

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÇOK KATLI ÇELİK YAPILARDA DEPREM
PERFORMANSININ BELİRLENMESİ ve DOĞRUSAL
OLMAYAN DAVRANIŞIN İNCELENMESİ**

İnşaat Müh. Fatih GÜNER

**FBE İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı Programında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Savunma Tarihi : 05 Şubat 2007
Tez Danışmanı : Prof. A. Zafer ÖZTÜRK
Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Mustafa ZORBOZAN
: Prof. Dr. Tuncer ÇELİK

İSTANBUL, 2007

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	iv
KISALTMA LİSTESİ	ix
ŞEKİL LİSTESİ	x
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
ÖNSÖZ	xii
ÖZET	xiii
ABSTRACT	xiv
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 Gereken Koşullar	5
2.1.2 Yapı Sistemlerinin Doğrusal Olmama Nedenleri	5
2.1.3 Yapı Sistemlerinin Dış Yükler Altındaki Doğrusal Olmayan Davranışı	6
2.1.4 Malzeme Bakımından Doğrusal Olmayan Sistemlerin Hesabı	8
2.1.4.1 Doğrusal Olmayan Dinamik Analiz	9
2.1.4.2 Doğrusal Olmayan Statik Analiz	9
2.1.4.2.1 Plastik Mafsallı Hipotezi	9
2.1.4.2.2 Doğrusal Olmayan Statik Analiz (İtme Analizi)	13
3. PERFORMANSA DAYALI TASARIM ve DEĞERLENDİRME	17
3.1 Mevcut Binaların Değerlendirilmesi	19
3.1.1 Performans Seviyeleri	19
3.1.1.1 Yapı Elemanlarında Performans Seviyeleri	19
3.1.1.2 Bina Performans Seviyeleri	20
3.1.2 Binalar İçin Hedeflenen Performans Seviyeleri	21
3.1.3 Bina Performansının Belirlenmesinde Deprem Hesabı	23
3.1.3.1 Bina Performansının Doğrusal Elastik Hesap Yöntemleri İle Belirlenmesi	23
3.1.3.2 Bina Performansının Doğrusal Elastik Olmayan Hesap Yöntemleri İle Belirlenmesi	25
3.1.3.2.1 Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile İtme Analizi	25
3.1.3.2.2 Performans Noktasının (Doğrusal Olmayan Spektral Yer Değiştirmenin) Belirlenmesi İçin Bir Yöntem	26
4. ÇOK KATLI ÇELİK YAPILARDA DEPREM PERFORMANSININ BELİRLENMESİ ve DOĞRUSAL OLMAYAN DAVRANIŞIN İNCELENMESİ ÜZERİNE UYGULAMALAR	33
4.1 Yapının Özellikleri	36
4.2 Yapı Taşıyıcı Sisteminin Malzeme Özellikleri	36
4.3 Yapıya Etki Eden Yükler	36

4.3.1	Düşey Yükler	36
4.3.1.1	Döşeme Üzerinde Düzgün Yayıllı Yükler	36
4.3.1.1.1	Sabit Yükler	37
4.3.1.1.2	Hareketli Yükler	37
4.3.2	Duvar Sabit Yükleri	38
4.3.3	Düşey Yük Analizi	38
4.4	Yatay Yükler	39
4.4.1	Rüzgar Yükleri	39
4.4.2	Deprem Yükleri	40
4.5	Taşıyıcı Sistemlerin Doğrusal Analizi, Dikkate Alınan Tasarım Kuralları ve Boyutlandırılması	41
4.5.1	Analiz ve Boyutlandırmada Göz Önünde Tutulan Varsayımlar	42
4.5.2	Doğrusal Analiz	42
4.5.3	Boyutlandırmada Esas Alınan Yük Birleşimleri	43
4.5.4	Taşıyıcı Sistemlerde Dikkate Alınan Tasarım Kuralları	44
4.5.4.1	Arttırılmış Deprem Etkileri	44
4.5.4.2	Profillerin Kesit Koşulları	45
4.5.4.3	Kolonların Kirişlerden Daha Güçlü Olması Koşulu	46
4.5.4.4	Görelî Kat Ötelemelerinin Sınırlandırılması	47
4.5.4.5	Merkezi Çaprazlı Taşıyıcı Sistemlerde Yatay Yüklerin Dağılımı	49
4.5.5	Profillerin Gerilme Kontrolleri ve Boyutlandırma	49
4.6	Taşıyıcı Sistemlerin Doğrusal Olmayan Analizi ve Değerlendirilmesi	51
4.6.1	Analiz Özelliklerinin Tanımlanması	51
4.6.2	Taşıyıcı Sistemlerin ve Yapı Elemanlarının Performans Değerlendirmesi	56
4.6.3	Doğrusal Olmayan Davranışa İlişkin Parametrelerin Hesaplanması	56
5.	SONUÇLAR	59
	KAYNAKLAR	61
	EKLER	62
	ÖZGEÇMİŞ	123

SİMGE LİSTESİ

A	: Kesit alanı
A_{net}	: Net kesit alanı
A_o	: Etkin yer ivme katsayısı
$A(T_1)$	: Birinci moda ait spektral ivme katsayısı
a_1	: Birinci moda ait modal ivme değeri
$a_1^{(i)}$	: i'inci itme adımında birinci moda ait modal ivme değeri
a_{y1}	: Birinci moda ait eşdeğer akma ivmesi
b	: I kesitlerinde yarım başlık genişliği, dikdörtgen kutu kesitlerde ise başlık genişliği
b_f	: FEMA 356'ya göre kesitin basınç başlığının genişliği
b_t	: FEMA 356'ya göre kesitin basınç başlığını kalınlığı
C_{mx}	: M_x momenti diyagramı ve hesap yapılan düzleme dik doğrultuda çubuğun tutulma düzenini göz önünde tutan katsayı
C_{my}	: M_y momenti diyagramı ve hesap yapılan düzleme dik doğrultuda çubuğun tutulma düzenini göz önünde tutan katsayı
C_{R1}	: Birinci moda ait spektral yer değiştirme oranı
D_a	: Akma gerilmesi arttırma katsayısı
d_i	: Binanın i'inci katında deprem etkilerine göre eleman ucunda hesaplanan yer değiştirme
d_{i-1}	: Binanın (i-1)'inci katında deprem etkilerine göre eleman ucunda hesaplanan yer değiştirme
d_1	: Birinci moda ait modal yer değiştirme değeri
$d_1^{(i)}$	: i'inci itme adımında birinci moda ait modal yer değiştirme değeri
$d_1^{(p)}$	: En son p'inci itme adımında elde edilen birinci moda ait maksimum modal yer değiştirme istemi
E	: Çeliğin elastisite modülü
e	: Güvenlik katsayısı
F_i	: Taşıyıcı sistemin göz önüne alınan doğrultuda hesaplanan kat deprem kuvveti
F_{ye}	: FEMA 356'ya göre çelik akma dayanımı
g	: Yerçekimi ivmesi
H_i	: Taşıyıcı sistem kat yüksekliklerinin kümülatif toplamı
h	: Kesit yüksekliği
h_i	: Binanın i'inci katının yüksekliği

I	: Bina önem katsayısı
L_b	: FEMA 356'ya göre kiriş boyu
L_c	: FEMA 356'ya göre kolon boyu
l_p	: Plastik mafsal boyu
l_p'	: Kesit üzerinde doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin düzgün yayılı olduğu uzunluk
M	: Eğilme momenti
M_e	: Kesitin doğrusal elastik olarak taşıyabileceği en büyük moment
M_i	: Taşıyıcı sistemin göz önüne alınan doğrultuda hesaplanan dışmerkezlilik momenti
M_p	: Kesitin taşıyabileceği en büyük plastik moment, çerçeve elemanlarının eğilme momenti kapasitesi
M_p'	: Normal kuvvet etkisi altında hesaplanmış plastik moment
M_{pa}	: Kolonun alt ucunda hesaplanan moment kapasitesi
M_{pi}	: Kirişin sol ucu i'de hesaplanan pozitif veya negatif moment kapasitesi
M_{pj}	: Kirişin sol ucu j'de hesaplanan pozitif veya negatif moment kapasitesi
$M_{pü}$	: Kolonun üst ucunda hesaplanan moment kapasitesi
m	: Çatı eğimine bağlı olarak kar yükü azaltma değeri
m_i	: Binanın i nolu katının kütlesi
N_{bp}	: Eksenel basınç kapasitesi
N_{cp}	: Eksenel çekme kapasitesi
N_d	: En elverişsiz yüklemeden elde edilen tasarım eksenel kuvveti
n	: Hareketli yük katılım katsayısı
P	: Yatay kuvvet
P	: FEMA 356'ya göre düşey yükler (G+Q) altında kolon kesitindeki eksenel kuvvet
P_B	: Doğrusal elastik burkulma yükü
P_{CL}	: FEMA 356'ya göre azaltılmış yükler (0.9G) altında kolon kesitindeki eksenel kuvvet
P_{cr}	: Kritik yük
P_G	: Göçme yükü
P_i	: İşletme yükü
P_k	: Kar yükü hesap değeri
P_{ko}	: Kar yükü
P_{L1}	: Birinci mertebe limit yük
P_{L2}	: İkinci mertebe limit yük

P_{ye}	: FEMA 356'ya göre kolonun eksenel kuvvet dayanımı
q	: Hız basıncı (emme)
r	: İç kuvvetin eleman kapasitesine bölümü (etki/kapasite oranı)
R	: Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
$R_a(T)$	: Deprem yükü azaltma katsayısı
R_{y1}	: Birinci moda ait dayanım azaltma katsayısı
S	: Statik moment
$S(T)$	: Spektrum katsayısı
$S(T_n)$	: n'inci doğal titreşim moduna ait elastik ivme spektrum katsayısı
$S(T_1)$	: Birinci moda ait elastik ivme spektrum katsayısı
S_a	: Doğrusal elastik spektral ivme
S_{ae1}	: İtme analizinin ilk adımında elde edilen birinci moda ait doğrusal elastik spektral yer değiştirme
$S_{ae}(T_n)$	: n'inci doğal titreşim moduna ait spektral ivme değeri
$S_{aR}(T_n)$	: n'inci doğal titreşim moduna ait azaltılmış spektral ivme değeri
S_d	: Doğrusal elastik spektral yer değiştirme
S_{d1l}	: Birinci moda ait doğrusal elastik olmayan spektral yer değiştirme
S_{de1}	: Birinci moda ait doğrusal elastik spektral yer değiştirme
T	: Bina doğal titreşim periyodu
T_A, T_B	: Spektrum karakteristik periyotları
T_1	: Birinci moda ait doğal titreşim periyodu
t	: Kesitin başlık kalınlığı
t_w	: Kesitin gövde kalınlığı
u_{Ns}	: Gerçek akma noktasındaki yer değiştirme
u_{Nmaks}	: Göçme noktasındaki maksimum yer değiştirme
u_{Ny}	: Eşdeğer akma noktasındaki yer değiştirme
$u_{N1}^{(p)}$	: Binanın en üst katı olan N.katın en son p'inci itme adımında elde edilen birinci moda ait maksimum yer değiştirme istemi
$u_{N1}^{(i)}$	: Binanın en üst katı olan N.katın i'inci adımdaki maksimum yer değiştirmesi
V_{t1}	: Birinci moda ait taban kesme kuvveti
$V_{t1}^{(i)}$	: Birinci moda ait i'inci adımdaki taban kesme kuvveti
V_t	: Taşıyıcı sisteme etki eden toplam deprem kuvveti (taban kesme kuvveti)
V_{td}	: İşletme yükleri (tasarım yatay yükleri)
V_{te}	: Elastik deprem yükleri

V_{ts}	: Gerçek akma noktasındaki limit yük (toplam yatay yükler)
V_{ty}	: Eşdeğer göçme noktasındaki limit yük
W	: Binanın toplam ağırlığı
w	: Rüzgar yükü hesap değeri
w_i	: Binanın i nolu katının ağırlığı
W_p	: Plastik mukavemet momenti
Y	: Emniyet gerilmesi faktörü
Z	: FEMA 356'ya göre deprem yönüne göre belirlenen plastik mukavemet momenti
$Z2,Z3,Z4$	: Zemin sınıfları
α_1	: Birinci moda ait modal kütle katsayısı
Γ_1	: Birinci moda ait modal katılım çarpanı
Δ	: Yer değiştirme
Δ_i	: Binanın i'inci katındaki görelî kat ötelemesi
$(\Delta_i)_{maks}$	: Binanın i'inci katındaki maksimum görelî kat ötelemesi
$(\delta_i)_{maks}$	: Binanın i'inci katında hesaplanan en büyük görelî kat ötelemesi
γ	: Çeliğin birim hacim ağırlığı
η_{bi}	: Binanın i'inci katında hesaplanan burkulma düzensizliği katsayısı
θ	: Birim dönme
θ_p	: Plastik mafsaldaki toplam plastik dönme
$\theta_{p,maks}$	: Plastik mafsâl dönme kapasitesi
θ_Y	: FEMA 356'ya göre kesitin ilk akma dönmesi
λ	: Eşdeğer deprem yükü azaltma katsayısı
μ	: Süneklik oranı
ν	: Çeliğin poisson oranı
ϕ_{N1}	: Birinci moda ait binanın en üst katı olan N'inci katın modal genlik değeri
π	: Pi sayısı
σ_a	: Çeliğin akma gerilmesi
σ_{bem}	: Sadece eksenel basınç kuvveti etkisi altında uygulanacak emniyet gerilmesi
σ_{by}	: Sadece M_y eğilme momenti etkisi altında hesaplanan eğilme basınç gerilmesi
σ_{bx}	: Sadece M_x eğilme momenti etkisi altında hesaplanan eğilme basınç gerilmesi
σ_{Bx}	: Sadece M_x eğilme momenti etkisi altında hesaplanan eğilme basınç emniyet gerilmesi
σ_{By}	: Sadece M_y eğilme momenti etkisi altında hesaplanan eğilme basınç emniyet

gerilmesi

σ_{eb}	: Sadece eksenel basınç kuvveti etkisi altında hesaplanan gerilme
σ_{ex}^I	: x-x asal eksen etrafındaki burkulma için hesaplanan gerilme
σ_{ey}^I	: y-y asal eksen etrafındaki burkulma için hesaplanan gerilme
χ	: Eğrilik
χ_p	: Kesitin eğilme momentine karşı gelen eğrilik
$\chi_{p,maks}$	: En büyük eğrilik
Ω	: Yapı rezerv katsayısı
ω_B	: Zemin karakteristik periyodu T_B ye ait doğal açısal frekansı
Ω_0	: Büyütme katsayısı

KISALTMA LİSTESİ

AISC	: American Institute of Steel Connstruction
ATC	: Applied Technology Council
ATC 40	: Guidelines and Commentary for Seismic Rehabilitation of Buildings
ATC 19	: Structural Response Modification Factors
CG	: Can güvenliği performans seviyesi
DBYBHY-06	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2006
FEMA 273, 356	: NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings
G	: Göçme durumu
GÇ	: Göçme sınırı
GÖ	: Göçmenin önlenmesi performans seviyesi
GV	: Güvenlik sınırı
HK	: Hemen kullanım performans seviyesi
MN	: Minimum hasar sınırı
SAP	: Integrated Software for Structural Analysis and Desing
TS 498	: Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri
TS 4561	: Çelik Yapıların Plastik Teoriye Göre Hesap Kuralları
TS 648	: Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Çeşitli teorilere göre elde edilen yük parametresi-yer değiştirme bağıntıları	7
Şekil 2.2 Eğilme momenti-eğrilik bağıntısı.....	10
Şekil 2.3 Bir çubuk elemanı üzerinde plastik mafsall oluşumu.....	11
Şekil 2.4 Plastik mafsall boyu	12
Şekil 2.5 Plastik mafsall hipotezinin geçerli olduğu bir yapı sisteminin artan yükler altındaki davranışı	14
Şekil 2.6 Mekanizma durumları	15
Şekil 3.1 Kesit hasar sınırları ve hasar bölgeleri	20
Şekil 3.2 Elastik ivme spektrum eğrisi	22
Şekil 3.3 Yatay yük dağılımı	26
Şekil 3.4 Kapasite eğrisinden modal kapasite eğrisinin elde edilmesi.....	27
Şekil 3.5 Elastik ivme spektrumunun spektral yer değiştirme-spektral ivme formatına dönüştürülmesi	29
Şekil 3.6 Doğrusal olmayan spektral yer değiştirmenin belirlenmesi ($T_1^{(1)} \geq T_B$).....	29
Şekil 3.7 Doğrusal olmayan spektral yer değiştirmenin belirlenmesi ($T_1^{(1)} < T_B$).....	31
Şekil 4.1 Üç boyutlu taşıyıcı sistem modeli	34
Şekil 4.2 Kat planı	35

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2 Yapı sistemlerinin doğrusal olmama nedenleri	6
Çizelge 3.1 Bina görelî kat ötelemesi oranları	21
Çizelge 3.2 Binalar için hedeflenen performans seviyeleri	22
Çizelge 4.1 Kat ağırlıkları	39
Çizelge 4.2 Kat deprem yükleri ve ek dış merkezlik momentleri	40
Çizelge 4.3 Maksimum görelî kat ötelemesi koşuluna ait değerler.....	49
Çizelge 4.4 Plastik mafsalların modelleme parametreleri ve kabul edilen plastik şekil değiştirme kapasiteleri	53
Çizelge 4.5 Performans noktasına karşı gelen görelî kat ötelemesi oranları.....	55

ÖNSÖZ

Çalışmalarım sırasında bilgisini ve hoşgörüsünü esirgemeyen değerli hocam Sayın Prof. Zafer ÖZTÜRK'e en derin şükranlarımı sunarım.

Ayrıca bu çalışmanın oluşmasında, katkılarından dolayı Yrd. Doç. Dr. Bülent AKBAŞ'a ve Arş. Gör. Nihan DOĞRAMACI'ya, yardımını esirgemeyen Arş. Gör. Baykal HANCIOĞLU'na teşekkürlerimi sunmayı borç bilirim.

Her zaman maddi ve manevi desteklerini gördüğüm anne ve babama büyük sabır ve anlayışlarından dolayı minnettar kalacağım.

Ocak 2007

Fatih GÜNER

ÖZET

Deprem bölgelerindeki yapıların belirli bir güvenlik altında ve ekonomik olarak tasarımı, yapı taşıyıcı sistemlerinin deprem etkileri altındaki doğrusal olmayan davranışlarının yeterli düzeyde bilinmesi ile yakından ilgilidir. Bu durum, betonarme yapıların yanında özellikle son yıllarda yoğun bir şekilde gündeme gelen çok katlı çelik yapılar için de geçerlidir.

Aktif deprem kuşağı üzerinde bulunan ülkemizde yaşanan büyük depremlerin sonuçları incelendiğinde, yapılardaki hasar miktarının ve buna bağlı olarak can kaybının çok büyük olduğu açıkça görülmektedir. Bu hususlar göz önünde tutulduğunda deprem mühendisliğinin birinci hedefi, depremlerin yapılarda can kaybına neden olabilecek büyük hasarlara yol açmadan atlatılabilmesidir. Bu amaca yönelik olarak yapılan çalışmaların başında, mevcut yapıların deprem güvenliklerinin performans analizi ile belirlenmesi gelmektedir.

Yapı sistemlerinin hesabı doğrusal ve doğrusal olmayan hesap olarak iki şekilde incelenebilir. Doğrusal olmayan hesap yöntemlerinin doğrusal hesap yöntemlerine göre daha karmaşık olması ve bu yöntemlerle analizin daha çok zaman alması nedeni ile yönetmeliklerde yapı sistemlerinin doğrusal olmayan davranışı dolaylı olarak göz önüne alınmaya çalışılmaktadır. Son zamanlarda bilgisayarların hızlanması, bilgisayar hesap yöntemlerinin ve programlarının gelişmesinden dolayı doğrusal olmayan hesap daha kolay yapılabilmektedir. Malzeme bilimindeki ilerlemeler de yapı sistemlerini oluşturan elemanların malzeme özelliklerinin daha iyi tanınmasına ve bu özelliklerin hesaplamalarda dikkate alınmasına paralel olarak sistemlerin doğrusal olmayan analizine katkı sağlamaktadır.

Bu hususlar göz önüne alınarak, yüksek lisans tezi olarak sunulan bu çalışmada, çok katlı çelik yapıları temsil etmek üzere seçilen taşıyıcı sistem modelinin 2006 Türk Deprem Yönetmeliği (DBYBHY-06) ve Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları (TS 648) standardına göre analizi ve boyutlandırması yapılmıştır. Boyutlandırma yapılırken, deprem yönetmeliğinde tanımlanan Z2, Z3 ve Z4 zemin sınıfları için ayrı ayrı uygulanmak üzere göreceli kat ötelemesi sınırlandırması dikkate alınarak ve alınmayarak, geometrik özellikleri ve düşey yükleri aynı altı adet taşıyıcı sistem incelenmiştir. Bu sistemlerin performans noktalarının bulunmasında ve yer değiştirme performans değerlendirmesinin yapılmasında deprem yönetmeliği kullanılmış, FEMA 356'ya göre eleman performans seviyeleri belirlenmiş ve ATC 19'a göre de doğrusal olmayan davranışa ilişkin parametreler hesaplanmıştır.

Çalışmanın sayısal incelemelerinde elde edilen sonuçlara dayanarak, yönetmeliklerde yer alan doğrusal davranış esaslı yöntemler doğrusal olmayan teoriler çerçevesinde değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçların tasarımcılar için faydalı olacağı ve diğer araştırmacıların sonuçlarını karşılaştırmada referans olacağına inanılmaktadır.

Anahtar kelimeler: Çok katlı çelik yapılar, doğrusal analiz, itme analizi, performansla dayalı tasarım, süneklik oranı, yapı davranış katsayısı.

ABSTRACT

The safe and economical desing of structure in earthquake regions is closely related to the knowledge of the nonlinear behavior and ductility of structural systems. Along with the reinforced concrete structures, this is also true for multistorey steel structures which have become more in recent years.

When results of strong earthquakes, that took place in our country which is sited in a zone of high seismicty, are studied, it is clearly seen that level of damage on structures is high and loss of life caused by structural damage is great. When these consequences are considered, the first aim of earthquake engineering is to endure earthquakes without having too much structural damage that will be the cause of human loss. Among studies conducted to achieve this goal, the evaluation of earthquake safety of existing structures by performance based analyses takes the firs place.

Building systems under earthquake forces can be investigated by two approaches as linear an nonlinear analysis. 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. Recently, nonlinear analysis become easier and more practical, regarding to speed of computers, development of computer analysis methods and programs. The developments in material science has helped engineers to understand the material characteristics of components of the structures systems beter and implementation of these characteristics in structural calculations also assists in the developments of the nonlinear anaysis methods of structural systems.

Regarding these points, in this study, which is presented as a Master of Science Thesis, steel frame model selected to represent the multistorey steel structures is designed and analysed regarding to the 2006 Turkish Seismic Code (DBYBHY-06) and Building Code for Steel Structures (TS 648). By design for Z2, Z3 and Z4 soil profile types defined at seismic code, six different systems are investigated by considering and omitting drift boundaries. To find the performance points and to do displacement performance appraisal of these systems, seismic code is used, components performance levels are determined by FEMA 356, and parameters regarding nonlinear behavior are calculated by ATC 19.

It is believed that conclusions obtained by the numerical analyses of the study will prove useful to designers and provide a reference against which other researchers can compare their results.

Keywords: Multistorey steel structures, linear analysis, pushover analysis, performance based design, ductility ratio, response modification factor.

1. GİRİŞ

1.1 Konu

Ülkemizde yerleşimin yoğun olduğu bölgelerin önemli bir bölümünün, yüksek deprem riski taşıyan aktif deprem kuşakları üzerinde yer alması ve özellikle 17 Ağustos 1999 Marmara depreminden sonra çok fazla can kayıplarının olması ve büyük maddi hasar meydana gelmesi, yapıların depreme karşı yeterli güvenlik ve ekonomik tasarımın önemini açıkça ortaya koymaktadır. Bu ise yapı sistemlerinin doğrusal olmayan davranışlarının yakından izlenebilmesi ile mümkün olmaktadır.

Günümüzde, diğer mühendislik dallarında olduğu gibi inşaat mühendisliği alanında da bilimsel gelişmelere paralel olarak yoğun kurumsal ve deneysel çalışmalar gerçekleştirilmektedir. Özellikle malzeme bilimindeki ilerlemeler, yapı sistemlerini oluşturan elemanların malzeme özelliklerinin daha iyi tanınmasına ve bu özelliklerin hesaplamalarda dikkate alınması ile sistemlerin doğrusal olmayan çözümlerinin yapılmasına katkı sağlamaktadır. Böylece statik ve dinamik dış etkiler altında zorlanan yapıların kapasitelerinin en etkin bir biçimde kullanılabilmesi, yapıların elastik ötesi davranışlarının daha yakından izlenebilmesi ve göçme güvenliklerinin belirlenebilmesi mümkün olmaktadır.

Yapıların deprem etkilerine karşı yeterli bir dayanıma sahip olmalarının sağlanabilmesi amacı ile çeşitli yaklaşımlar geliştirilmiştir. Geleneksel tasarım felsefesinin dışında bunların en güncel olanı, yapının elastik ötesi kapasitesinin varlığına dayanarak, elastik ötesi deprem isteminin belirlenmesini öngören performansa dayalı tasarım kavramıdır. Yöntemin esası, doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin etkisi ile deprem enerjisini sönümleyen yapının performans noktasındaki hasar durumunun belirlenmesi veya diğer bir deyişle, deprem güvenliğinin incelenmesidir. Böylece mevcut yapıların güçlendirilmesi ve yeni yapılacak olan yapıların daha ekonomik ve gerçekçi bir biçimde tasarlanması sağlanabilmektedir.

Ülkemizde, özellikle 1999 Marmara depreminden sonra yatırımcıların endüstriyel ve ticari olarak kullanılacak çelik yapılara olan ilgisi giderek artmaktadır. Bu durum çok katlı çelik yapıların deprem performanslarının değerlendirilmesinin ve güncellenen deprem yönetmeliğinin bu çerçevede incelenmesinin önemini ortaya koymaktadır.

1.2 Konu ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Performansa dayalı tasarım ve değerlendirme günümüz inşaat mühendisliğinin en yeni kavramları arasında arasındadır. Yer değiştirme ve şekil değiştirmeye bağlı performans kriterlerini esas alan yapısal değerlendirme ve tasarım kavramı ilk olarak Amerika Birleşik Devletleri'nde deprem bölgelerindeki mevcut yapıların deprem güvenliklerinin daha gerçekçi olarak belirlenmesi ve yeterli güvenlikte olmayanların güçlendirilmeleri çalışmaları sırasında ortaya konulmuş ve geliştirilmiştir.

Amerika Birleşik Devletleri'nin California eyaletinde, 1989 Loma Prieta ve 1994 Nortridge depremlerinin neden olduğu büyük hasar, deprem etkileri altında yeterli bir dayanımı öngören performans kriterine alternatif olarak, yer değiştirme ve şekil değiştirmeye 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 projesi ve Federal Emergency Management Agency (FEMA) tarafından NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings - FEMA 273, FEMA 356 çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Daha sonra, bu çalışmaların değerlendirilerek geliştirilmesi amacı ile ATC 55 projesi yürütülmüş ve projenin bulgularını içeren FEMA 440 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 projelerde bu alandaki araştırmalara katkı sağlamıştır.

İlk geliştirilme nedeni mevcut yapıların deprem etkisi altındaki davranışlarının ve buna bağlı olarak gerçek deprem güvenliklerinin belirlenmesi olan performans kavramının, daha sonra genişletilerek SEAOC Vision 2000 adı altında, yeni yapılacak yapılara da uygulanması söz konusu edilmiştir. Bu açıdan bakılacak olursa, yakın bir gelecekte bu kavrama ilişkin bilgilerin yeni yapılacak yapılara ait yönetmeliklerde de yer alması beklenmektedir.

Ülkemizde, özellikle 1999 Marmara depreminin ardından, 2003 yılında deprem yönetmeliğine mevcut binaların deprem güvenliklerinin belirlenmesi ve güçlendirilmesi ile ilgili bir bölüm eklenmesi ve buna paralel olarak yönetmeliğin diğer bölümlerinin güncelleştirilmesi çalışmaları başlatılmış ve Mart 2006 tarihinde de yeni deprem yönetmeliği yayınlanmıştır.

1.3 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmanın amacı, ülkemizdeki yönetmelik ve standartlara göre boyutlandıran çelik yapıların deprem performanslarının belirlenmesi ve yönetmeliklerde yer alan doğrusal davranış esaslı yöntemlerin doğrusal olmayan teoriler çerçevesinde değerlendirilmesidir.

Bu amaca yönelik olarak, çok katlı çelik yapıları temsil etmek üzere iş merkezi olarak kullanılması düşünülen örnek bir yapının, taşıyıcı sistem modeli üzerinde farklı parametreler dikkate alınarak ülkemizdeki yönetmelik ve standartlara göre boyutlandırılmış; taşıyıcı sistemlerin deprem performansları ve deprem etkileri altındaki doğrusal olmayan davranışları ayrıntılı olarak incelenmiştir.

Çalışmada izlenen yol aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır:

- Çelik yapı sistemlerinin doğrusal olmayan davranışlarının incelenmesi ve doğrusal olmayan sistemlerin hesap yöntemlerinin gözden geçirilmesi.
- Performansa dayalı tasarım ve değerlendirme kavramının yeni deprem yönetmeliği çerçevesinde açıklanması.
- Çok katlı çelik yapıları temsil etmek üzere seçilen taşıyıcı sistem modeli üzerinde farklı parametreler dikkate alınarak ülkemizdeki yönetmelik ve standartlara göre boyutlandırılması, deprem performanslarının belirlenmesi ve doğrusal olmayan davranışın göstergesi olan süneklik oranı, yapı rezerv katsayısı ve taşıyıcı sistem davranış katsayısının hesaplanması.
- Sayısal uygulamalardan elde edilen sonuçların açıklanması.

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 gösterir. Bu genel durumun dışında kalan sistemler arasında, narin yapılar ve elastik zemine oturan sistemler ile bölgesel zayıflıklar ve stabilite yetersizlikleri içeren yapılar sayılabilir. Düşey yüklerle birlikte yatay etkilere de maruz yapıların güvenli ve ekonomik olarak boyutlandırılması, kullanılan malzeme davranışının iyi bilinmesiyle mümkündür. Kullanılan malzemede elastik sınırlar içinde kalınarak boyutlandırma ise çoğu zaman mümkün olmamaktadır. Bu sebeple malzemenin elastik ötesi davranışı göz önüne alınmalıdır.

Günümüzde yapı mühendisliğinde genellikle uygulanmakta olan ve doğrusal elastik teoriye göre sistem analizine dayanan yaklaşımlarda (emniyet gerilmeleri esasına göre tasarım ve taşıma gücü yöntemine göre tasarım), yapının tasarım yükleri altında doğrusal olmayan şekil değiştirmeler yapmasına ve belirli sınırlarda hasar oluşmasına izin verilir. Yapı sistemlerinin doğrusal olmayan davranışı ise çeşitli şekillerde göz önüne alınmaya çalışılmaktadır. Örneğin ikinci mertbe etkilerini hesaba katmak ve burkulmaya karşı güvenlik sağlamak amacı ile moment büyütme yönteminden ve burkulma katsayılarından yararlanılmakta, doğrusal olmayan şekil değiştirmeler nedeni ile iç kuvvet dağılımının değişmesi yeniden dağılım ilkesi yardımı ile göz önüne alınmaya çalışılmaktadır. Diğer taraftan, deprem etkilerine göre hesapta, malzemenin doğrusal elastik ötesi davranışını hesaba katmak üzere yapı tarafından tüketilebilecek enerjiye karşı gelmesi düşünülen düzeltme katsayıları tanımlanmakta ve elastik deprem yükleri bu katsayıya bölünerek küçültülmektedir. Ancak yapıların büyük depremler sırasında elastik ötesi davranış göstermesi bekleniyorsa tasarımcıların yapının çeşitli elemanlarını doğru boyutlandırmaları ve detaylandırabilmeleri için o elemandaki şekil değiştirme ve oluşacak yük seviyelerini bilmeleri gerekmektedir. Doğrusal elastik hesap için seçilen katsayılarla bu parametreleri gerçekçi şekilde tespit etmek çoğu zaman mümkün olmamaktadır. Önceden tahmin edilen bu katsayılar göre analiz edilen yapının bu katsayılarla uygun hareket etmesi beklenir. Gerçekte ise, deprem yükleri yapıyı bu katsayıların sebep olacağı tahmin edilen davranışın dışında bir davranışa maruz bırakır ve kesit yük seviyeleri de tasarımcının kestirmesi gereken bu davranışa göre şekillenir.

Doğrusal sistem davranışını esas alan analiz yöntemlerinde, malzemenin gerilme-şekil değiştirme bağıntıları doğrusal elastik olarak alınmakta ve yer değiştirmelerin çok küçük

olduğu varsayılmaktadır. Buna karşılık, dış etkiler işletme yükü sınırını aşarak yapının taşıma gücüne yaklaştıkça gerilmeler doğrusal elastik sınırını aşmakta ve yer değiştirmeler çok küçük kabul edilemeyecek değerler almaktadır.

Başka bir açıdan değerlendirilecek olursa doğrusal analiz, yapının elastik kapasitesini ve ilk akmanın nerede olacağını iyi bir şekilde tahmin edebilir ancak mekanizmadaki hasarın ve akma sırasında kuvvet dağılımını belirlemede yetersiz kalır. Doğrusal olmayan analizle, çok küçük olmayan yer değiştirmelerin denge denklemlerine ve gerekli olduğu hallerde geometrik uygunluk koşullarına etkilerini hesaba katmak suretiyle, yapı sistemlerinin göçme anına kadar nasıl davranacağını daha yakından izlenmesi, bu davranışındaki mod şekillerinin belirlenmesi ve bunun sonucunda daha gerçekçi çözümler elde edilmesi mümkün olabilmektedir.

Doğrusal olmayan sistem davranışını esas alan hesap yöntemlerinin geliştirilmesinde ve uygulanmasında genel olarak iki durum ile karşılaşmaktadır. 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 altındaki analizi ile elde edilen iç kuvvetler, şekil değiştirmeler ve yer değiştirmelerin çözüm olabilmeleri için aşağıdaki üç koşulu bir arada sağlamaları gerekmektedir.

- 1- Bünye denklemleri: Malzemenin cinsine ve özelliklerine bağlı olan gerilme-şekil değiştirme bağıntılarına 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 koşullarıdır.

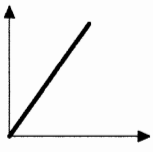
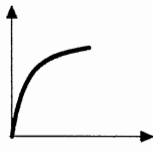
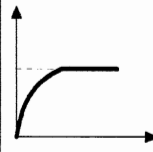
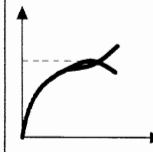
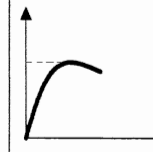
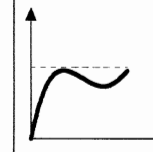
2.1.2 Yapı Sistemlerinin Doğrusal Olmama Nedenleri

Bir sisteminin dış yükler altındaki davranışının doğrusal olmaması genel olarak iki temel nedenden kaynaklanmaktadır.

- 1- Malzemenin doğrusal elastik olmaması nedeni ile gerilme-şekil değiştirme bağıntılarının (bünye denklemlerinin) doğrusal olmaması.
- 2- Geometri değişimlerinin yeter derecede küçük olmaması nedeni ile denge denklemlerinin (ve bazı özel hallerde geometrik süreklilik denklemlerinin) doğrusal olmaması.

Yapı sistemlerinin doğrusal olmamasına neden olan etkenler ve bu etkenleri göz önüne alan teoriler Çizelge 2 üzerinde topluca özetlenmiştir.

Çizelge 2 Yapı sistemlerinin doğrusal olmama nedenleri

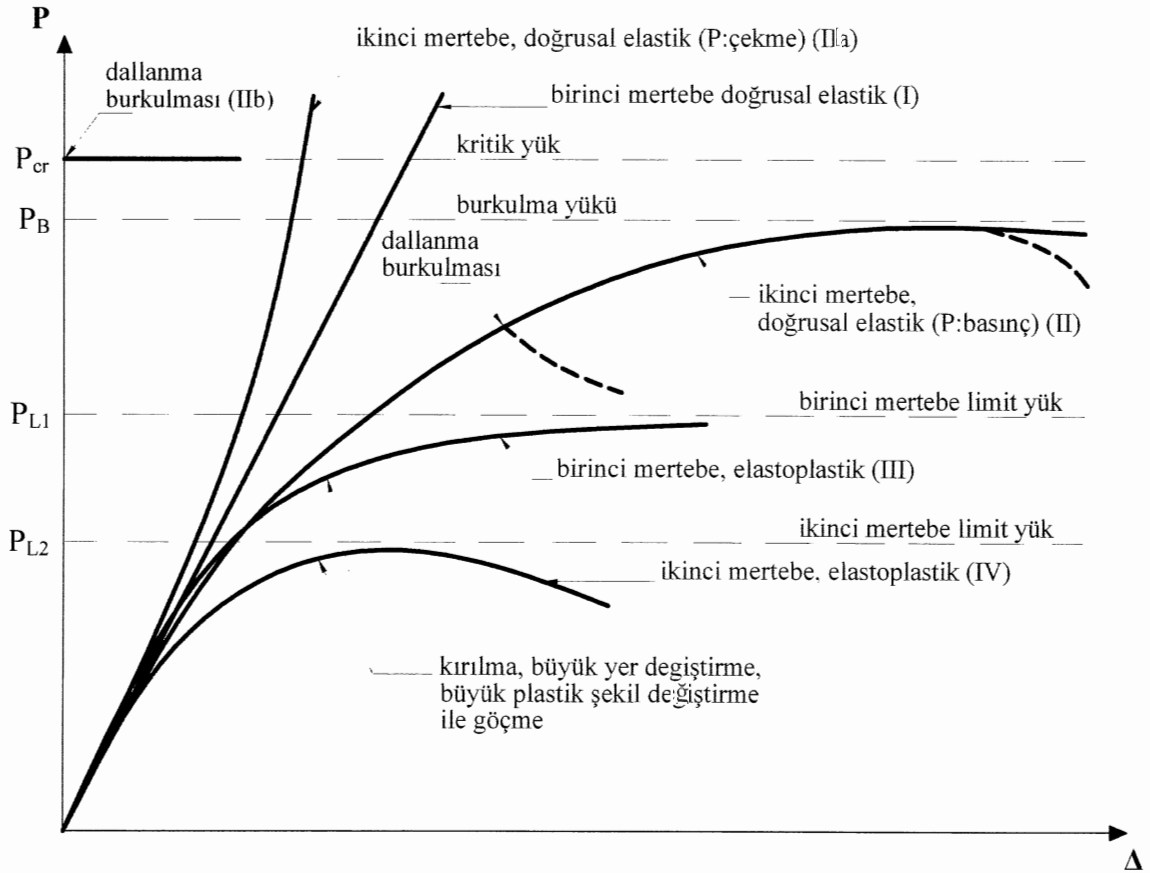
Çözümün Sağlaması Gereken Koşullar	Doğrusal Sistemler	Doğrusal Olmayan Sistemler				
		Malzeme Bakımından (1)	Geometri Değişimleri Bakımından (2)		Her İki Bakımdan (1+2)	
			İkinci Mertebe Teorisi	Sonlu Deplasman Teorisi	İkinci Mertebe Teorisi	Sonlu Deplasman Teorisi
Bünye Denklemleri (Gerilme-Şekil değiştirme 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 Yer değiştirmeler	Küçük	Küçük	Küçük	Küçük Değil	Küçük	Küçük Değil
P-Δ Bağıntıları						

2.1.3 Yapı Sistemlerinin Dış Yükler Altındaki Doğrusal Olmayan Davranışı

Düşey ve yatay yükler etkisi altındaki bir yapı sisteminin doğrusal ve doğrusal olmayan teorilere göre hesabı ile elde edilen yük parametresi-yer değiştirme (P-Δ) bağıntıları Şekil 2.1’de şematik olarak gösterilmiştir.

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 etkilerinin hesaba katıldığı ikinci mertebe teorisinde ise eksenel kuvvetin basınç veya çekme olmasına göre farklı sistem davranışları ile karşılaşılabilir. Örneğin eksenel kuvvetin basınç olması halinde (II) eğrisinden görüldüğü gibi artan dış yüklere daha hızlı artan yer değiştirmeler karşı gelmektedir. Dış yüklerin şiddetini ifade eden yük parametresi artarak *doğrusal elastik burkulma yükü* adı verilen bir P_B değerine eşit olunca yer değiştirmeler artarak sonsuza erişir ve sistem burkularak geçer. Bazı özel durumlarda, burkulmadan sonra artan yer değiştirmelere azalan yük parametresi karşı gelebilir. Örneğin asma sistemler gibi eksenel kuvvetin çekme olduğu durumlarda şekilde (IIa) ile gösterilen $P-\Delta$ diyagramı pekleşen özellik gösterir. Yanal yük etkisinde olmayan ve bu nedenle burkulmadan önce şekil değiştirme yapmayan sistemlerde, yük parametresinin bir P_{cr} değerinde dallanma burkulması oluşur ve şekildeki (IIb) diyagramından görüldüğü gibi yer değiştirmeler 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 şekil değiştirme yapan sistemlerde de oluşabilir (II).



Şekil 2.1 Çeşitli teorilere göre elde edilen yük parametresi-yer değiştirme bağıntıları

Sünek davranış gösteren malzemeden yapılmış sistemlerde, artan dış yüklerle birlikte iç kuvvetler de artarak bazı kesitlerde doğrusal elastik sınırı aşmakta ve bu kesitler dolayında doğrusal olmayan (plastik) şekil değiştirmeler meydana gelmektedir. Doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin plastik mafsallık (veya genel anlamda plastik kesit) adı verilen belirli kesitlerde toplandığı varsayımının esas alındığı bir yapı sisteminin birinci merteye teorisine göre hesabında, oluşan plastik mafsallar nedeni ile sistemin tümünün veya bir bölümünün mekanizma durumuna gelmesi, taşıma gücünün sona erdiğini ifade eder (III). Bu yük *birinci limit yük* adını alır.

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

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

2.1.4 Malzeme Bakımından Doğrusal Olmayan Sistemlerin Hesabı

Malzeme bakımından doğrusal olmayan sistemlerin hesabı, doğrusal olmayan dinamik analiz ve doğrusal olmayan statik analiz olmak üzere iki şekilde yapılabilir.

Doğrusal olmayan statik analiz metodu, doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin sistem üzerinde yayılı olması ve plastik mafsallık (plastik kesit) adı verilen belirli kesitlerde toplandığının varsayılması halleri için ayrı ayrı uygulanabilir.

Bu bölümde sadece doğrusal olmayan dinamik analiz yöntemi hakkında kısa bilgi verilecek ve bu çalışmanın kapsamı içinde olan plastik mafsallık hipotezi ve bu hipoteze dayanan doğrusal olmayan statik analiz yöntemi ayrıntılı olarak incelenecektir.

2.1.4.1 Doğrusal Olmayan Dinamik Analiz

En temel doğrusal olmayan analiz metodu, doğrusal olmayan dinamik analizdir ki bu yöntem uygulaması açısından oldukça karmaşık olmasına rağmen gerçeğe yakın sonuçlar vermektedir. Bu yöntemle, yönetmeliklerdeki ana kuralların ötesine geçilerek deprem mühendisliği bilgileri ile gerçek, üretilmiş veya benzeştirilmiş deprem kayıtlarının kullanılması gerekmektedir.

Doğrusal olmayan dinamik analiz yönteminin esası, taşıyıcı sistem elemanlarının tekrarlı yükler altındaki dinamik davranışını göz önüne alınarak sistemin hareket denkleminin adım adım entegre edilmesidir. Yöntemde, bir ana ait bilinen büyüklüklere bağlı olarak bir adım sonraki ana ait büyüklükler art arda tespit edilebilir. Bu özelliğinden dolayı yönteme, *zaman tanım alanında hesap yöntemi* de denilmektedir. Analiz sırasında her bir zaman artımında sistemde meydana gelen yer değiştirme, plastik şekil değiştirme ve iç kuvvetler ile bu büyüklüklerin deprem istemine karşı gelen maksimum değerleri hesaplanır.

2.1.4.2 Doğrusal Olmayan Statik Analiz

2.1.4.2.1 Plastik Mafsal Hipotezi

Doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin sistem üzerinde sürekli olarak yayıldığı göz önüne alınması hesapları uzun ve yorucu bir duruma sokar. Buna karşılık, toplam şekil değiştirmelerin doğrusal şekil değiştirmelere oranı olarak tanımlanan *süneklik oranı* μ 'nın büyük olduğu ve doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin küçük bir bölgeye yayıldığı sistemlerde, doğrusal olmayan şekil değiştirmelerinin plastik mafsal adı verilen belirli kesitlerde toplandığı, bunun dışındaki bölgelerde ise sistemin doğrusal elastik davrandığı kabul edilebilir. Bu hipoteze *plastik mafsal hipotezi* adı verilmektedir. Yeterli düzeyde sünek davranış gösteren sistemlerde (çelik yapılar ve bazı koşullar altında betonarme yapılar), plastik mafsal hipotezi uygulanarak sistem hesapları önemli ölçüde kısaltılabilir. Bir taşıyıcı sistem üzerinde plastik mafsal hipotezi,

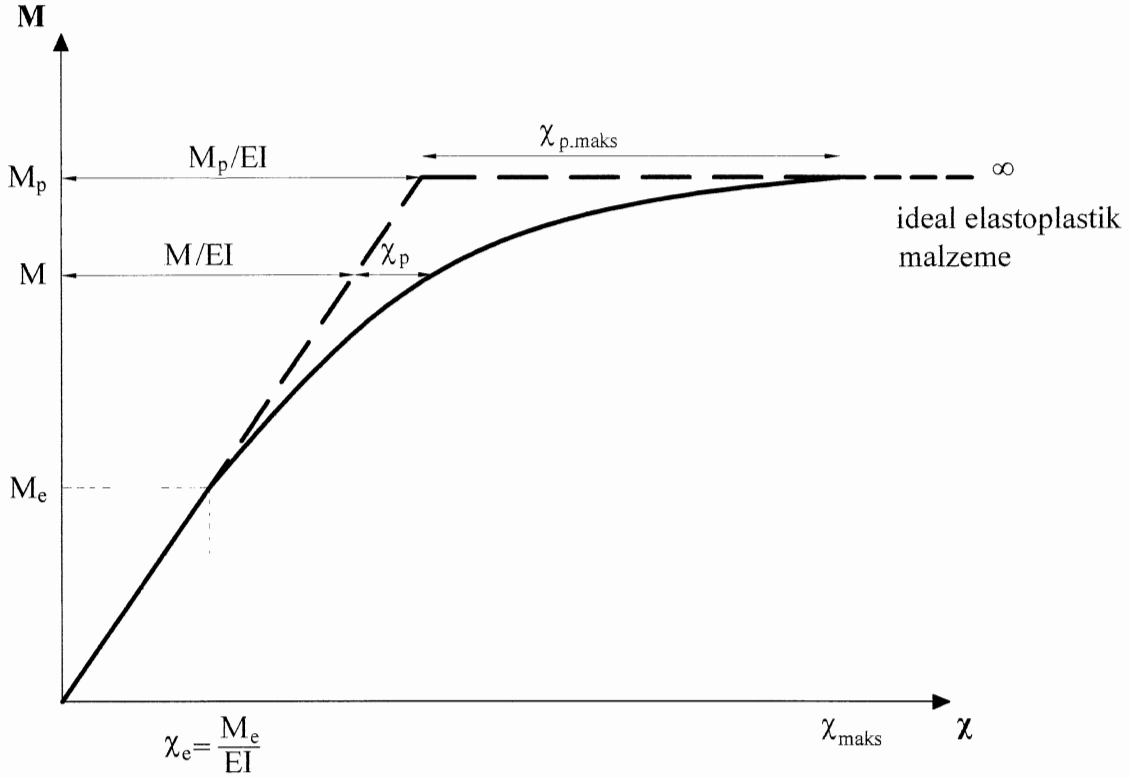
- Tekil yüklerin etki ettiği yerlerde
- Düğüm noktalarına birleşen eleman uçlarında
- Yayılı yük etkisi altındaki elemanlarda kesme kuvvetinin sıfır olduğu yerlerde uygulanabilir.

Plastik mafsal hipotezinin uygulanması için gerçek eğilme momenti-eğrilik bağıntısının iki doğru parçasından oluşacak şekilde idealleştirilmesi gerekir (Şekil 2.2). Bu idealleştirme,

(2.1) ve (2.2) bağıntıları ile temsil edilmektedir.

$$M < M_p \text{ için } \chi = \frac{M}{EI} \quad (2.1)$$

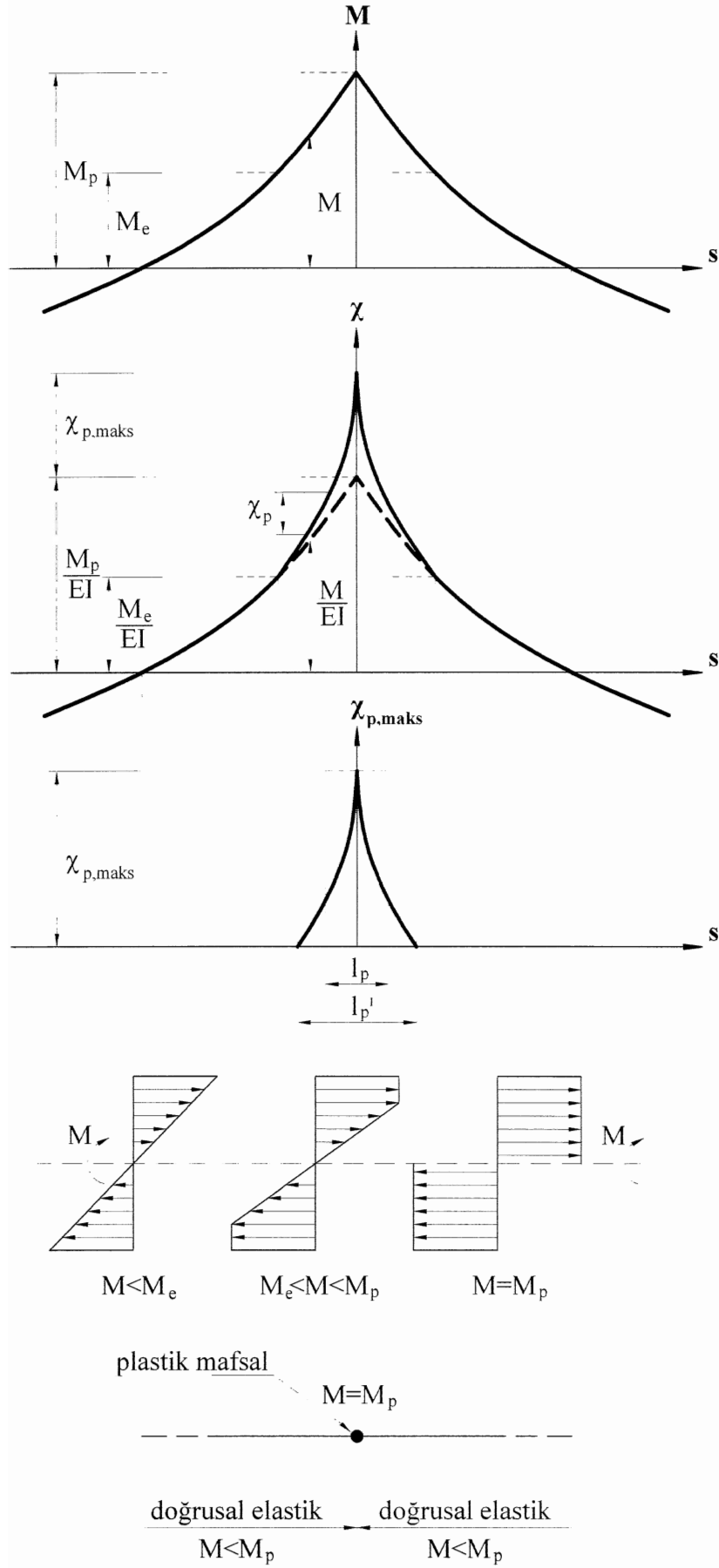
$$M = M_p \text{ için } \chi \rightarrow \chi_{p,maks} \quad (2.2)$$



Şekil 2.2 Eğilme momenti-eğrilik bağıntısı

Eğilme momenti-eğrilik bağıntısı Şekil 2.2’de verilen bir düzlem çubuk elemanın artan dış yükler altında bir bölgesine ait eğilme momenti diyagramı, toplam şekil değiştirmeleri, doğrusal olmayan şekil değiştirmeler ve kesitteki gerilme dağılımı Şekil 2.3’de gösterilmiştir.

Şekilden de anlaşılabacağı üzere, artan dış yüklerin belirli bir değerinde eleman kesitinin en dış lifleri akma sınır gerilmesine ulaşır ve plastikleşir. Yükün değeri daha da arttırılırsa akma sınır gerilmesine ulaşan dış liflerinde gerilme sabit kalacağından bu sefer kesitin tarafsız eksene doğru başka lifleri de akma sınır gerilmesine ulaşır. Kesitteki bu duruma karşılık gelen moment ve şekil değiştirme halleri M_p ve M_e sınırları arasındadır. Arttırılmış yüklerin oluşturduğu M_p momenti sınırında ise artık kesit tamamen plastikleşmiş durumdadır. Plastikliğin kesit içerisinde tamamen yayılmasına ve teorik olarak eğriliğin sonsuz artmasına karşı gelen M_p momentine *plastik moment* denir.

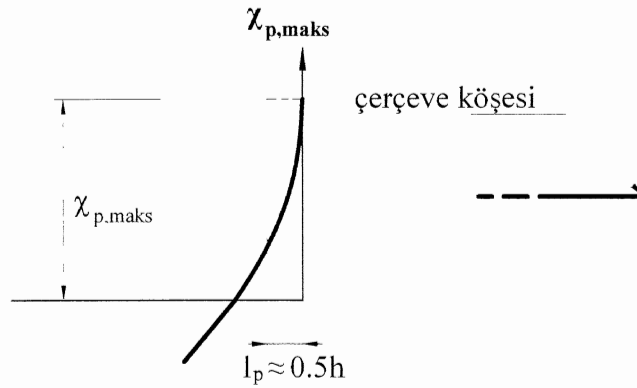


Şekil 2.3 Bir çubuk elemanı üzerinde plastik mafsal oluşumu

Moment M_p değerine ulaşıncaya kadar plastikleşmemiş kesit bölgeleri dönmeye karşı koyar. Kesit momenti M_p değerine ulaşıncaya kesit tamamen dönmeye izin verir ve eğrilik sonsuz olur (Şekil 2.2). M_p momentini oluşturan dış yük değeri tekrar arttırılmaya çalışılırsa M_p momentinin olduğu nokta, bu yük artımı için gerçek bir mafsal davranışı gösterir. Başka bir deyişle, o noktadaki kesitte *plastik mafsal* oluşmuş demektir. M_p kesitin taşıyabileceği maksimum plastik moment olup (2.1) bağıntısıyla hesaplanır.

$$M_p = W_{px} \sigma_a = \int_A \sigma_a y dx dy = \sigma_a 2S_x \quad (2.1)$$

Bu ifadede σ_a , malzemenin akma sınır gerilmesidir. W_{px} ise, göz önüne alınan doğrultuda kesitin plastik mukavemet momentini ifade eder ve kesitin aynı doğrultudaki statik momenti cinsinden hesaplanır.



Şekil 2.4 Plastik mafsal boyu

Şekil 2.4’de görüldüğü gibi, doğrusal olmayan şekil değiştirmeler l_p uzunluğundaki bir bölgede yoğunlaşmaktadır. Ancak bu hipotezde, doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin momentin akma momentinden büyük olduğu taşıyıcı eleman parçası üzerinde, l_p' uzunluğundaki bir bölgede sürekli olarak düzgün yayıldığı varsayılmaktadır. Buna göre plastikleşen bölgedeki toplam plastik dönme,

$$\theta_p = \int_{l_p'} \chi_p ds \quad (2.2)$$

şeklinde hesaplanır ve *plastik mafsal dönmesi* olarak isimlendirilir.

Kesit momenti M_p değerine erişten sonra dış yükler arttırılmaya devam ederse plastik mafsalın dönmesi artarak *dönme kapasitesi* adı verilen bir sınır değere ve en büyük eğrilik de $\chi_{p,maks}$ değerine ulaşır. Bu durumda meydana gelen büyük plastik şekil değiştirmeler nedeni ile

kesit kullanılmaz hale gelir. Yapı sisteminin bir veya daha çok kesitindeki plastik mafsallarda dönmelerinin kendilerine ait dönme kapasitelerine ulaşması halinde ise, yapı sisteminin kullanım dışı kaldığı varsayılır.

Plastik mafsallarda dönme kapasitesi ise,

$$\theta_{p,maks} = \int_{l_p} \chi_p ds \quad (\chi \rightarrow \chi_{p,maks}) \quad (2.3)$$

$$l_p \cong 0.5h \quad (2.4)$$

şeklinde, eğilme momenti diyagramı şekline ve (M- χ) bağıntısına bağlı olarak belirlenebilir. Burada,

h: kesit yüksekliği

l_p : plastik mafsallarda dönme kapasitesi olarak tanımlanmaktadır (Şekil 2.4).

Yukarıda ayrıntılı olarak açıklanan plastik mafsallarda dönme kapasitesinin esasları aşağıda sıralanmıştır:

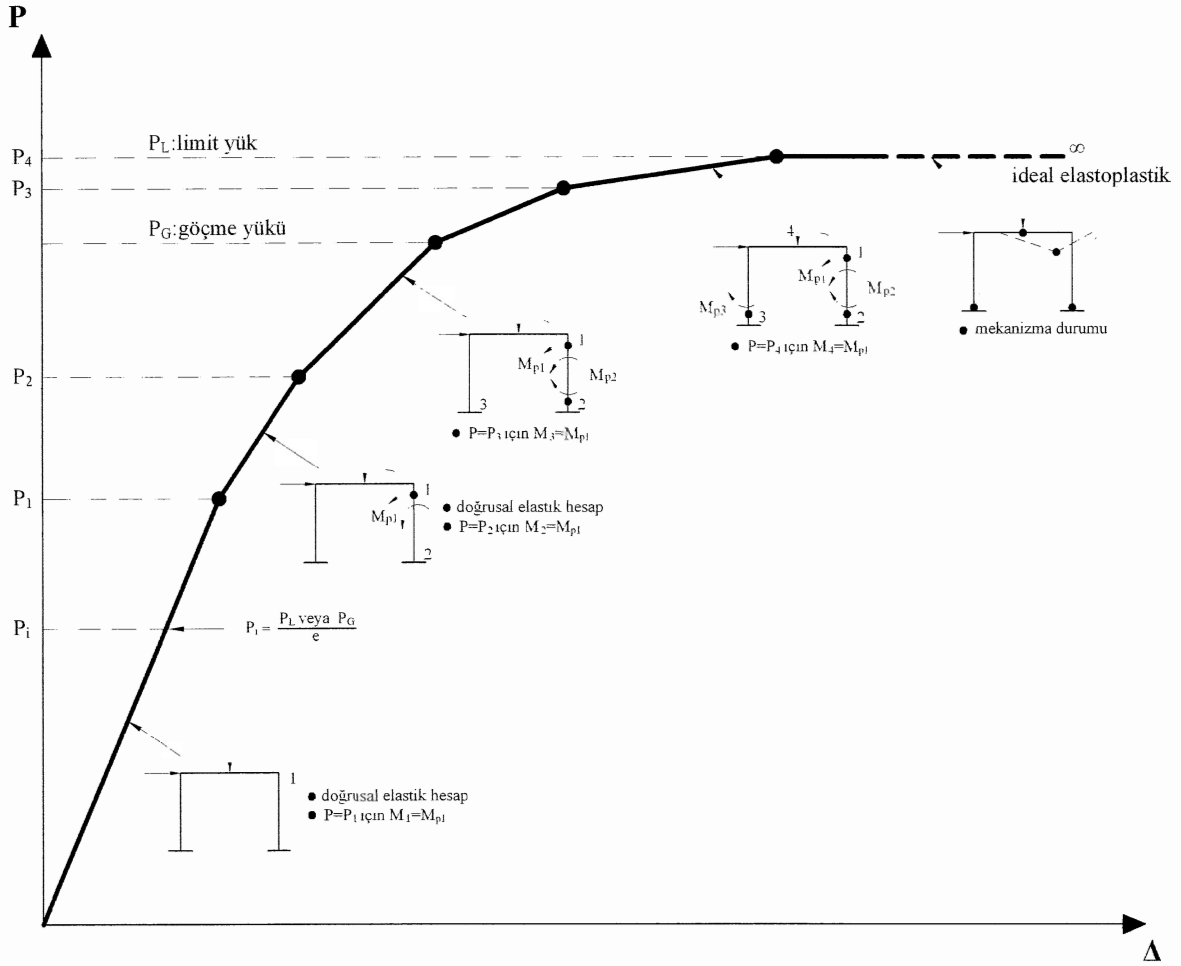
- 1- Bir kesitteki eğilme momenti artarak M_p plastik moment değerine eşit olunca o kesitteki bir plastik mafsallarda oluşur. Plastik mafsallarda klasik bir mafsallardan tek farkı, kesitteki eğilme momentinin ($M=M_p$) sabit kalması ve kesitin serbestçe dönmesidir. Başka bir deyişle, serbest dönmenin sabit bir moment altında olmasıdır. Plastik mafsallardaki θ_p plastik dönmesi artarak $\theta_{p,maks}$ dönme kapasitesine erişince sistem kullanılmaz duruma gelir; yani göçer.
- 2- Plastik mafsallar arasında sistem doğrusal elastik davranır.
- 3- Kolon gibi kesite eğilme momenti ile birlikte normal kuvvetin etki etmesi halinde, M_p plastik momentini yerine kesitteki N normal kuvvetine bağlı olarak akma koşulunu sağlayacak şekilde belirlenen M_p' plastik momentini kullanılır.

2.1.4.2.2 Doğrusal Olmayan Statik Analiz (İtme Analizi)

Doğrusal olmayan statik analiz veya başka bir deyişle itme analizi, dinamik analiz ile kıyaslandığında sisteme ait şekil değiştirme ve yer değiştirme seviyelerini yaklaşık olarak aynı doğrulukta tespit edebilen pratik bir uygulamadır. Bu hesap yönteminde, elemandaki potansiyel plastik mafsallarda kesitin, doğrusal olmayan yük-şekil değiştirme karakteristikleri önceden tanımlanmış bir sözde yarı rijit birleşim gibi davrandığı varsayılmaktadır.

Plastik mafsallarda dönme kapasitesinin geçerli olduğu bir yapı sisteminin artan dış yükler altındaki davranışı Şekil 2.5'de şematik olarak gösterilmiştir. Düşey yüklerin varlığı ile deprem yükünü

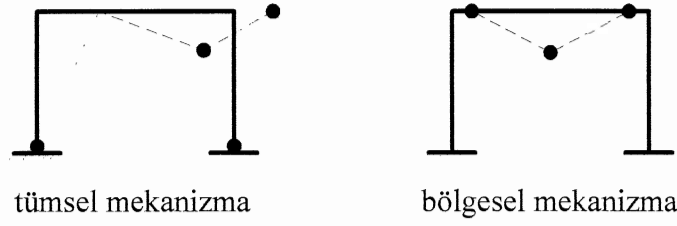
temsil eden bir yatay yükleme altında elde edilen bu eğri, *yatay yük-yer değiştirme eğrisi* olarak adlandırılır.



Şekil 2.5 Plastik mafsallı hipotezin geçerli olduğu bir yapı sisteminin artan yükler altındaki davranışı

Yatay yük uygulanması sırasında yapıda düşey yüklerin bulunduğu kabul edilerek ve yatay yük adım adım artırılarak taşıyıcı sistem çözümü yapılır. Yatay yük-yer değiştirme eğrisinin elastik bölgede davranışı doğrusaldır. Ancak artan yükler altında sistemin davranışı yumuşar ve eğrinin eğimi azalır. Taşıyıcı sistem üzerindeki kritik kesitler daha önceden tanımlanan plastik mafsallı kabulüne göre kontrol edilerek, kesitin plastik moment taşıma kapasitesine ulaştıktan sonraki yüklemelerde moment artmadan kesitin döndüğü kabul edilir. Her bir plastik mafsallı oluşmasından sonra o noktaya M_p plastik momentini dış yük olarak etki ettirmek suretiyle elde edilen sistem doğrusal elastik teoriye göre hesaplanır. Yükleme ile elemanlarda hasar olarak belirlenen bu tür plastik şekil değiştirmeler artarak devam eder. Her adımda kesitlerdeki plastik şekil değiştirmeler sonucu oluşan rijitlik değişimi de göz önüne alınır.

Eğer plastik mafsallarda yeterli dönme kapasitesi varsa belirli sayıda plastik mafsallın oluşması ile taşıyıcı sistem kısmen veya tamamen stabilitesini yitirerek yük taşıyamaz hale gelmekte ve bundan sonra yükün şiddetinde bir artma olmaksızın büyük yer değiştirmeler oluşabilmektedir. Taşıyıcı sistemin bu haline *mekanizma* adı verilir (Şekil 2.6). 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 yüküdür. Sistemin belirli noktalar dışında doğrusal elastik davrandığı bu yöntemde limit yük doğrudan hesaplanabilir.



Şekil 2.6 Mekanizma durumları

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

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

$$P_i = \frac{P_G \text{ veya } P_L}{e} \quad (2.5)$$

şeklinde hesaplanabilir. Bağlıntıdaki e , *güvenlik katsayısı*'nı ifade etmektedir. İşletme yükleri altında doğrusal elastik sınırın pek aşılmaması, zararlı yer değiştirme 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 etki ettirildikten 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.

Düşey yüklerin büyük oranda yapı ağırlığından oluştuğu, buna karşılık rüzgar ve deprem etkilerini temsil eden yatay yüklerin değişme olasılığının daha fazla olduğu yapı sistemlerinde, gerçek göçme güvenliliğinin belirlenmesi açısından ikinci yolun daha gerçekçi sonuç vereceği söylenebilir.

Yöntemde kullanılan yapı yüksekliğince yayılı yatay yük dağılımı için değişik alternatifler önerilmiştir. Bu alternatifler arasında; kat kütleleriyle orantılı üniform yük dağılımı, spektral çözümleme sonucunda elde edilen modların süperpozisyonu ile bulunacak yük dağılımı, itme analizinin her adımında meydana gelen yer değiştirme profiline uygun yük dağılımı sayılabilir. Ancak genelde kullanılan, doğrusal elastik davranış sonuçları ile bulunan, yapının etkin serbest titreşim modu şekline uygun yük dağılımıdır. Yer değiştirme parametresi olarak, gene hakim mod etkin olacağı için sadece en üst katın yer değiştirmesinin dikkate alınması yeterlidir. Yatay yük parametresi olarak da taban kesme kuvveti alınır.

3. PERFORMANSA DAYALI TASARIM ve DEĞERLENDİRME

Günümüzde sismik tasarım esasları köklü bir değişim süreci içerisinde. Bunun önemli sebeplerinden biri; Amerika Birleşik Devletleri'nin California eyaletinde 1989 Loma Prieta ve 1994 Norridge depremlerinde yürürlükteki yönetmeliklere göre yapılan yapıların, deprem etkileri altında yeterli bir dayanımı öngören performans kriterleri açısından olumlu sonuçlar vermesine rağmen, hasar seviyelerinin yüksek olması nedeni ile önemli ekonomik kayıplar meydana gelmesidir. Bu nedenle, yer değiştirme ve şekil değiştirmeye bağlı daha gerçekçi performans kriterlerini esas alan yöntemlerin geliştirilmesi gereksinimi ortaya çıkmıştır.

Yer değiştirme ve şekil değiştirmeye bağlı performans kriterlerini esas alan yapısal değerlendirme ve tasarım kavramı ilk olarak Amerika Birleşik Devletleri'nde deprem bölgelerindeki mevcut yapıların deprem güvenliklerinin daha gerçekçi olarak belirlenmesi ve yeterli güvenlikte olmayanların güçlendirilmeleri çalışmaları sırasında ortaya konulmuş ve geliştirilmiştir. Applied Technology Council (ATC) tarafından Guidelines and Commentary for Seismic Rehabilitation of Buildings - ATC 40 projesi ve Federal Emergency Management Agency (FEMA) tarafından NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings - FEMA 273, FEMA 356 çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Daha sonra, bu çalışmaların değerlendirilerek geliştirilmesi amacı ile ATC 55 projesi yürütülmüş ve projenin bulgularını içeren FEMA 440 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 projelerde bu alandaki araştırmalara katkı sağlamıştır.

İlk geliştirilme nedeni mevcut yapıların deprem etkisi altındaki davranışlarının ve buna bağlı olarak gerçek deprem güvenliklerinin belirlenmesi olan performans kavramının, daha sonra genişletilerek Structural Engineers Association of California (SEAOC) tarafından derlenen SEAOC Vision 2000 adı altında, yeni yapılacak yapılara da uygulanması söz konusu edilmiştir. Geleceğin deprem yönetmeliklerinde, klasik tasarım kurallarının yanında daha ayrıntılı incelemeyi gerektiren performans kavramına dayalı boyutlama ilkelerinin bulunacağı tahmin edilmektedir.

Deprem mühendisliğinde performansa dayalı tasarım, deprem etkisi altında yapıdan beklenen performans seviyesinin ortaya çıkması için kullanılacak yöntemleri verir. Performans seviyesi, depremden sonra yapıda meydana gelecek hasar seviyesi ile ölçülür.

Aslında performansa dayalı tasarım, sismik tasarımın geleneksel metotları ile önemli

revizyonlarını içeren güçlü ve yeni bir yaklaşım tarzıdır. Mevcut deprem yönetmeliklerinde, belirlenen deprem etkisi ve sınır durumlar ile bir performans seviyesi tanımlanmıştır. Diğer bir açıdan deprem yönetmeliklerinin oluşumu incelenir ise, 20 yıldan daha öncekilerinde bile birden fazla performans seviyesinin tanımlandığı görülebilir: yapının küçük depremleri hasarsız atlatması, büyük depremleri can güvenliği tehlikesi bulunmayan sınırlı hasarla atlatması ve çok büyük depremleri de toptan göçme olmaksızın atlatması. Performansa dayalı tasarımda ise belirli bir deprem etkisinde yapıda birden fazla performans seviyesinin ortaya çıkması öngörülür.

Günümüz deprem yönetmeliklerin tasarım kriterleri, gerilmenin limit halinin ve uygulanacak yanal yüklemenin tahmininden hesaplanmış eleman kuvvetlerinin belirlenmesi esasına dayanır. Kullanılan yönetmeliklerde yapının sismik kapasitesinin ve istemin hesaplaması ile ilgili belirsizlikler bulunmaktadır. Performansa dayalı tasarımda, yapı belirtilen sismik risklere maruz bırakıldığında, ifade edilen performans amaçlarının başarısı açısından daha genel bir tasarım felsefesine sahiptir. Performans hedefleri, aşılmaması gereken bir gerilme değeri, bir yükleme, bir yer değiştirme, bir limit durum veya amaç hasar seviyesi olabilir. Belirli bir hasar durumu açısından, yapının tanımlan performansında yük yer değiştirme ilişkisi, gerilmelerden daha iyi sonuçlar vermektedir.

Yapılarda deprem etkisinin belirlenmesinde çok büyük belirsizlikler olduğu bilinmektedir. Bunun gibi, yapıların deprem etkisindeki davranışında da benzer belirsizliklerin olduğu kabul edilir. Taşıyıcı sistemler, kapasiteleri, karşılamaları beklenen deprem etkilerinden daha büyük olacak şekilde düzenlenirler. Bir taşıyıcı sistemin yatay yük taşıma kapasitesi, malzeme dayanımlarının, taşıyıcı sistemin düzeninin ve rijitlik dağılımının oldukça karmaşık bir fonksiyonudur. Bu nedenle, bir yapı için ayrıntılı yapılacak her türlü değerlendirme ve çözümlemelerin de bu belirsizliklerden kaynaklanan yaklaşıklıkları içereceği gözden uzak tutulmamalıdır.

Performansa dayalı tasarımın yöntemlerinin ortaya koyulmasında, birbirine yakın üç yaklaşım mevcuttur: Applied Technology Council (ATC 40, 55), Federal Emergency Management Agency (FEMA 273, 274, 356, 440) ve Structural Engineers Association of California (SEAOC Vision 2000). Bu dokümanlar deprem yönetmeliklerinde kullanılan metotların sismik koşullarının geliştirilmesi şeklinde denenmiştir.

Ülkemizde özellikle 1999 Marmara depreminin ardından, 2003 yılında deprem yönetmeliğine mevcut binaların deprem güvenliklerinin belirlenmesi ve güçlendirilmesi ile ilgili bir bölüm

eklenmesi ve buna paralel olarak yönetmeliğin diğer bölümlerinin güncelleştirilmesi çalışmaları başlatılmış, Mart 2006 tarihinde de yeni deprem yönetmeliği yayınlanmıştır. Bu çalışmalar çerçevesinde yer değiştirme ve şekil değiştirmeye dayalı performans değerlendirilmesi kavramı deprem yönetmeliği kapsamına alınmıştır.

Aşağıdaki bölümlerde performansa dayalı tasarım ve değerlendirme yaklaşımı, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2006 (DBYBHY-06) çerçevesinde açıklanacaktır.

3.1 Mevcut Binaların Değerlendirilmesi

Deprem bölgelerinde bulunan mevcut ve güçlendirilecek tüm binalar ve bina türü yapıların deprem etkileri altındaki davranışlarının değerlendirilmesinde uygulanacak hesap kuralları, güçlendirme kararlarında esas alınacak ilkeler ve güçlendirme tasarımı ilkeleri yönetmelikte tanımlanmıştır. Yönetmelikte verilen hesap yöntemleri, değerlendirme esasları ve güçlendirme yöntemleri, ülkemizdeki yapı stoku düşünülerek mevcut betonarme ve yığma yapılar için hazırlanmış olmasına karşılık, verilen işlemler yeni yapıların ve çelik binaların projelendirilmesi için de kullanılabilir.

Mevcut yapıların değerlendirilmesi aşamasında, kullanım süresi içinde deprem ve benzeri dış etkilere ve değişikliklere maruz kalmış olması muhtemel yapıların taşıyıcı sistemindeki belirsizlikler, yapıdan derlenen verilerin kapsamına göre tanımlanan *bilgi düzeyi katsayıları* ile hesap yöntemlerine yansıtılır. Binalardan toplanan bilgilere göre belirlenen bu katsayılar, yönetmelikte detaylı şekilde açıklanmıştır.

3.1.1 Performans Seviyeleri

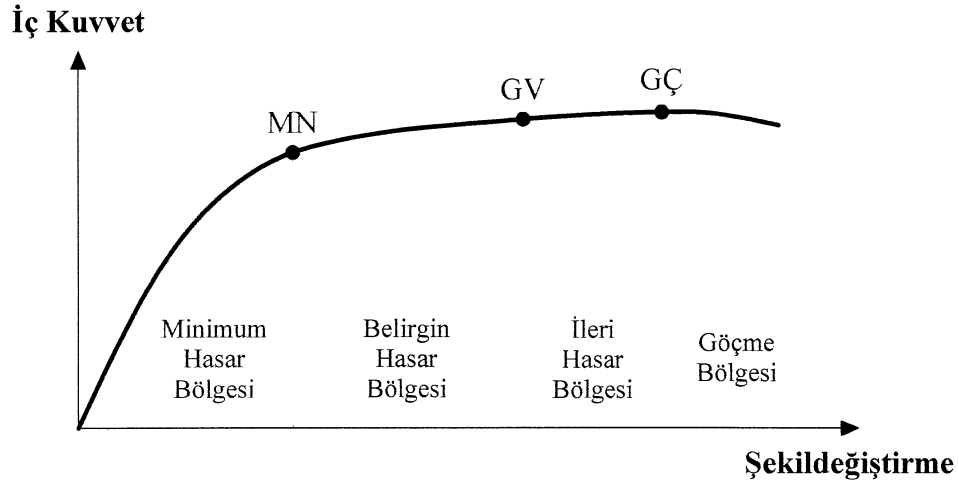
Yönetmelikte performans seviyeleri, yapı elemanlarında performans seviyeleri ve binada performans seviyeleri olmak üzere iki bölüme ayrılmış ve bunlar için sınır durumlar belirlenmiştir.

3.1.1.1 Yapı Elemanlarında Performans Seviyeleri

Yapı elemanlarında performans seviyeleri elemanlardaki hasarın düzeyine göre belirlenir ve isimlendirilir. Hasar sınırlarının belirlenmesinde, yapı elemanları sünek ve gevrek olarak iki sınıfa ayrılmıştır. Sünek ve gevrek eleman tanımları, elemanların kapasitelerine hangi kırılma türünde ulaştığı ile ilgili olup betonarme elemanlar, kırılma türü eğilme ise *sünek*, kesme ise

gevrek olarak sınıflandırılmıştır.

Sünek elemanlar için kesit düzeyinde üç sınır durum tanımlanmıştır. Bunlar *Minimum Hasar Sınırı* (MN), *Güvenlik Sınırı* (GV) ve *Göçme Sınırı* (GÇ)'dir. Minimum hasar sınırı kritik kesitte elastik ötesi davranışın başlangıcını, güvenlik sınırı kesitin dayanımını güvenli olarak sağlayabileceği elastik ötesi davranışın sınırını, göçme sınırı ise kesitin göçme öncesi davranışının sınırını tanımlamaktadır. Gevrek elemanlar için ise elastik ötesi davranışın oluşmasına izin verilmez.



Şekil 3.1 Kesit hasar sınırları ve hasar bölgeleri

Kritik kesitleri MN'ye ulaşamayan elemanlar *Minimum Hasar Bölgesi*'nde, MN ile GV arasında kalan elemanlar *Belirgin Hasar Bölgesi*'nde, GV ve GÇ arasında kalan elemanlar *İleri Hasar Bölgesi*'nde, GÇ'yi aşan elemanlar ise *Göçme Bölgesi*'nde kabul edilir. Kesit hasar sınırları ve bölgeleri Şekil 3.1'de gösterilmiştir.

Yönetmelikte, kırılma türüne ve uygulanan deprem hesabına bağlı olarak betonarme ve yığma yapı elemanlarının hasar sınırlarının sayısal değerleri, etki/kapasite oranları cinsinden veya kesitlerin birim şekil değiştirmeleri cinsinden tanımlanmıştır.

3.1.1.2 Bina Performans Seviyeleri

Bina performans seviyeleri, uygulanan deprem etkisi altında taşıyıcı elemanlarda oluşması beklenen hasar durumları ile ilişkilidir ve dört farklı hasar durumu cinsinden tanımlanmıştır. Uygulanan deprem hesabının neticesinde eleman hasar bölgelerine karar verilmesi ile bina performans seviyesi belirlenir.

Yönetmelikte, betonarme yapı elemanlarının hasar bölgeleri cinsinden üç farklı bina performans

seviyesi tanımlanmış olup bunlar; *Hemen Kullanım Durumu* (HK), *Can Güvenliği Durumu* (CG), *Göçmenin Önlenmesi Durumu* (GÖ) dur. Göçmenin önlenmesi performans seviyesini sağlayamayan binalar *Göçme Durumu* (G)'unda olduğu kabul edilir.

Bina performans seviyesinin belirlenmesinde uygulanacak başka bir kabul kriteri de ardışık iki kat arasındaki en büyük yer değiştirmeyi ifade eden görel kat ötelemesi değeridir. Her bir deprem doğrultusu için, binanın herhangi bir katındaki görel kat ötelemesi oranının her performans seviyesi için Çizelge 3.1' i sağlaması gerekir.

Çizelge 3.1 Bina görel kat ötelemesi oranları

Görel Kat Ötelemesi Oranı	Performans Seviyesi		
	Hemen Kullanım	Can Güvenliği	Göçmenin Önlenmesi
$(\delta_i)_{maks}/h_i$	0.008	0.02	0.03

Çizelge'de $(\delta_i)_{maks}$, ilgili kattaki düşey taşıyıcı elemanların uçları arasında hesaplanan en büyük görel kat ötelemesini, h_i ise kat yüksekliğini göstermektedir.

Çizelgede verilen değerler, hasarın bina performans seviyelerine bağlı olarak sınırlandırılması için kullanılan, binanın bütününe ait kabul kriterleridir. Bu suretle global hasar sınırlandırılması yanında, ikinci mertebe etkilerinin de sınırlandırılması dikkate alınmış olur.

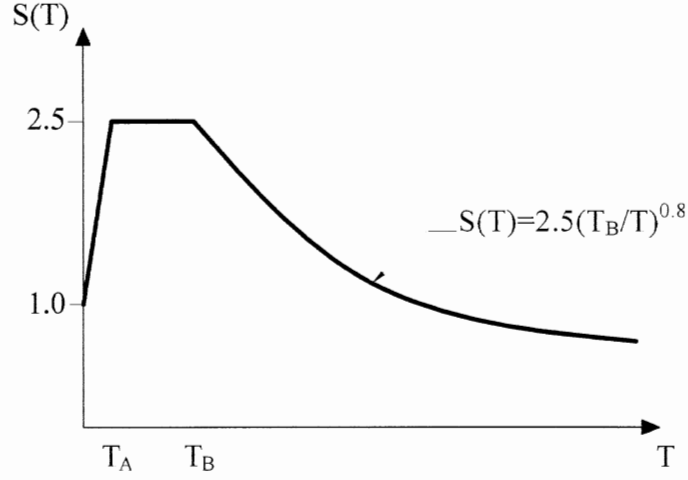
Yönetmelikte, yeni yapılacak yapıların hesabında uygulanacak görel kat ötelemesi koşuluna ait değer olan 0.02, burada can güvenliği performans seviyesine karşılık geldiği görülmektedir.

3.1.2 Binalar İçin Hedeflenen Performans Seviyeleri

Performansa dayalı tasarımda, seçilen bir bina performans seviyesinin hangi deprem etkisi altında elde edilmesi öngörüldüğünün belirlenmesi gerekir. Deprem etki seviyesinin belirlenmesi ise spektrum eğrilerinin tanımlanması ile yapılır.

Deprem 50 yıl içindeki aşılma olasılığından hareket edilerek üç farklı deprem ivme spektrumu tanımlanmıştır. Şekil 3.2'de görülen ve yönetmelikte yeni yapılacak yapıların deprem hesabında kullanılan ivme spektrumu, 50 yılda aşılma olasılığı %10 olan deprem etkisini esas almaktadır. 50 yılda aşılma olasılığı %50 olan depremin ivme spektrumu Şekil 3.2'de gösterilen spektrumun yaklaşık yarısı, 50 yılda aşılma olasılığı %2 olan depremin ivme

spektrumu ise, Şekil 3.2’de gösterilen spektrumun yaklaşık 1.5 katı olarak kabul edilmiştir.



Şekil 3.2 Elastik ivme spektrum eğrisi

Deprem etki seviyeleri ve binaların kullanım amaçları cinsinden kabul edilebilir performans seviyeleri Çizelge 3.2’de gösterilmiştir. Çizelgede boş bırakılan yerler ise kullanılması önerilmeyen bina performans seviyeleridir.

Çizelge 3.2 Binalar için hedeflenen performans seviyeleri

Binanın Kullanım Amacı ve Türü	Deprem Aşılma Olasılığı		
	50 yılda %50	50 yılda %10	50 yılda %2
Deprem Sonrası Kullanılması Gereken Binalar: Hastaneler, sağlık tesisleri, itfaiye binaları, haberleşme ve enerji tesisleri, ulaşım istasyonları, vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, afet yönetim merkezleri, vb.	-	HK	CG
İnsanların Uzun Süreli ve Yoğun Olarak Bulunduğu Binalar: Okullar, yatakhaneler, yurtlar, pansiyonlar, askeri kışlalar, cezaevleri, müzeler, vb.	HK	-	CG
İnsanların Kısa Süreli ve Yoğun Olarak Bulunduğu Binalar: Sinema, tiyatro, konser salonları, kültür merkezleri, spor tesisleri	-	CG	GÖ
Tehlikeli Madde İçeren Binalar: Toksik, parlayıcı ve patlayıcı özellikleri olan maddelerin bulunduğu ve depolandığı binalar	-	HK	GÖ
Diğer Binalar: Yukarıdaki tanımlara girmeyen diğer binalar (konutlar, işyerleri, oteller, turistik tesisler, endüstri yapıları, vb.)	-	CG	-

3.1.3 Bina Performansının Belirlenmesinde Deprem Hesabı

Mevcut ve güçlendirilmiş binaların deprem performansını belirlemek amacı ile doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleri kullanılabilir.

Deprem hesabında kullanılacak her iki türdeki yöntem için DBYBHY-06 Bölüm 2’de belirtilen, yapıların depreme dayanıklı olarak hesaplanmasında esas alınan deprem yükleri ve uygulanan hesap kurallarına ilave olarak, aşağıdaki ilke ve kurallarda dikkate alınması gerekir.

- Deprem etkisinin belirlenmesinde, Şekil 3.2’ de verilen elastik ivme spektrumu kullanılır. Ancak farklı aşılma olasılıkları için bu spektrum üzerinde 3.2.2’ ye göre yapılan değişiklikler göz önüne alınmalıdır. Deprem hesabında yönetmelikte tanımlanan bina önem katsayısı uygulanmaz.
- Deprem kuvvetleri binaya her iki doğrultuda ve yönde ayrı ayrı etki ettirilmelidir.
- Deprem hesabında kullanılacak zemin özellikleri DBYBHY-06 Bölüm 6’ya göre belirlenir.
- Döşemelerin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda, her katta iki yatay yer değiştirme ile düşey eksen etrafında dönme serbestlik dereceleri göz önüne alınır. Kat serbestlik dereceleri her katın kütle merkezinde tanımlanır; ayrıca ek dış merkezlik uygulanmaz.

3.1.3.1 Bina Performansının Doğrusal Elastik Hesap Yöntemleri İle Belirlenmesi

Bina performansının belirlenmesinde kullanılan doğrusal hesap yöntemleri, yeni yapılacak binaların boyutlandırılmasında kullanılan eşdeğer deprem yükü yöntemi ve mod birleştirme yöntemidir. Her iki yöntemin kullanımında ek kurallar vardır.

Eşdeğer deprem yükü yöntemi, bodrum üzerinde toplam yüksekliği 25 metreyi ve toplam kat sayısı 8’i aşmayan, ayrıca ek dışmerkezlik göz önüne alınmaksızın hesaplanan burulma düzensizliği katsayısı $\eta_{bi} < 1.4$ olan binalara uygulanır. Toplam eşdeğer deprem yükünün (taban kesme kuvvetinin) hesaplanmasında, $R_a(T)=1$ ve λ katsayısı bodrum hariç bir ve iki katlı binalarda 1.0, diğerlerinde 0.85 alınarak (3.1) eşitliği uygulanır.

$$V_{el} = \frac{WA(T_1)}{R_a(T)} \geq 0.1A_oIW\lambda \quad (3.1)$$

$$A(T_1) = A_oIS(T_1) \quad (3.2)$$

Bu bağıntılarda,

V_{t1} : Birinci moda ait taban kesme kuvveti

W : Binanın toplam ağırlığı

$A(T_1)$: Birinci moda ait spektral ivme katsayısı

A_0 : Etkin yer ivme katsayısı

I : Bina önem katsayısı

$S(T_1)$: Birinci moda ait elastik ivme spektrum katsayısı

λ : Eşdeğer deprem yükü azaltma katsayısıdır.

Eşitlikteki $R_a(T)$ ise, *deprem yükü azaltma katsayısı* olup, binanın doğal periyoduna ve tasarım ivme spektrumunun karakteristik periyoduna bağlı olarak aşağıdaki şekilde belirlenir.

$$T < T_A \text{ için } R_a(T) = R \quad (3.3)$$

$$0 \leq T \leq T_A \text{ için } R_a(T) = 1.5 + (R - 1.5) \frac{T}{T_A} \quad (3.4)$$

(3.3) ve (3.4) bağıntılarındaki R , *taşıyıcı sistem davranış katsayısı*dır ve binada, deprem yüklerinin karşılanması durumuna göre belirlenir (DBYBHY-06, Madde 2.5).

Mod birleştirme yönteminin kullanılması durumunda, azaltılmış ivme spektrum ordinatının belirlenmesinde $R_a(T)=1$ alınarak (3.5) bağıntısı uygulanır. Uygulanan deprem doğrultusu ve yönü ile uyumlu olan eleman iç kuvvetlerinin ve kapasitelerinin hesaplanmasında, bu doğrultuda hakim olan modda elde edilen iç kuvvet doğrultuları esas alınır.

$$S_{aR}(T_n) = \frac{S_{ae}(T_n)}{R_a(T)} \quad (3.5)$$

$$S_{ae}(T_n) = A_0 I S(T_n) g \quad (3.6)$$

Bu bağıntılarda,

$S_{aR}(T_n)$: n'inci doğal titreşim moduna ait azaltılmış spektral ivme değeri

$S_{ae}(T_n)$: n'inci doğal titreşim moduna ait spektral ivme değeri

$S(T_n)$: n'inci doğal titreşim moduna ait elastik ivme spektrum katsayısı

g: Yerçekimi ivmesi dir.

Deprem etkisi altında doğrusal hesap yöntemlerinin kullanılması neticesinde belirlenen iç kuvvetlerin, eleman kapasitelerine bölümünden oluşan *etki/kapasite oranı* r'lerin, eleman kırılma türü ve hasar sınırı cinsinden ifade edilen sınır değerlerle karşılaştırılarak, kesit ve bina düzeyinde yapısal performans değerlendirmesi yapılır. Yönetmelikte betonarme ve yığma yapı elemanları için bu sınır değerler tanımlanmıştır.

3.1.3.2 Bina Performansının Doğrusal Elastik Olmayan Hesap Yöntemleri İle Belirlenmesi

Doğrusal elastik olmayan analiz yöntemleri; *Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi*, *Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi* ve *Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi* olarak çeşitlenmektedir. İlk iki yöntem, doğrusal olmayan deprem isteminin belirlenmesi için itme analizinde kullanılan yöntemlerdir.

Malzeme bakımından doğrusal olmayan sistemlerin davranışı ve hesap yöntemlerine ilişkin bilgiler Bölüm 2'de anlatıldı. Bu bölümde sadece çalışmada boyutlandırılan taşıyıcı sistemlerin değerlendirmesinde kullanılan artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile itme analizi ve bina performansının belirlenmesi için uygulanan grafiksel yöntem açıklanacaktır.

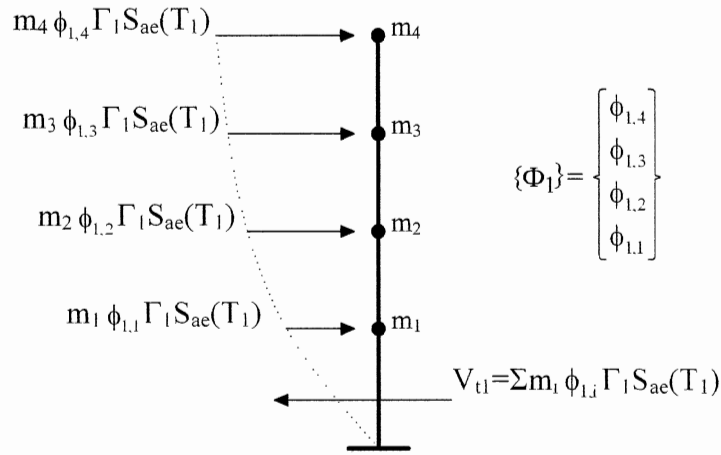
3.1.3.2.1 Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile İtme Analizi

Yönetmelikte, doğrusal elastik olmayan analiz için yığılı plastik davranış modelini esas alan plastik mafsallık hipotezi geçerlidir. Basit eğilme durumunda plastik mafsallık boyunun uzunluğu l_p , çalışan doğrultudaki kesit boyutu h 'nin yarısına eşit alınır. Sadece eksenel kuvvet altında plastik şekil değiştirme yapan elemanların plastik şekil değiştirme bölgelerinin uzunluğu ise, ilgili elemanın serbest boyuna eşit alınır. Plastik mafsallar, teorik olarak tanımlanan plastik mafsallık boyunun tam ortasına yerleştirilmesi gerekir. Ancak pratik uygulamalarda, kolon ve kirişlerde plastik kesitler, kolon kiriş birleşim bölgesinin hemen dışına, diğer bir deyişle kolon veya kirişlerin net açıklıklarının uçlarına konularak idealleştirilebilir. Ancak, düşey yüklerin etkisinden ötürü kiriş açıklıklarında da plastik mafsalların oluşabileceği göz önüne alınmalıdır.

Yöntemin kullanılabilmesi için, binanın kat sayısının bodrum hariç 8'den fazla olmaması ve herhangi bir katta ek dışmerkezlik göz önüne alınmaksızın doğrusal elastik davranışa göre hesaplanan burulma düzensizliği katsayısının, $\eta_{bi} < 1.4$ koşulunu sağlaması gereklidir. Ayrıca göz önüne alınan deprem doğrultusunda, doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan

birinci (deprem doğrultusundaki hakim) titreşim moduna ait etkin kütlenin, bina toplam kütesine oranının en az 0.70 olması zorunludur.

Artımsal itme analizi sırasında eşdeğer deprem yükü dağılımının, taşıyıcı sistemdeki plastik mafsall oluşumlarından bağımsız biçimde sabit kaldığı varsayımı yapılır. Bu durumda bina yüksekliğince yatay yük dağılımının, doğrusal elastik davranış için hesaplanan birinci (hakim) doğal titreşim mod şekli genliği ile ilgili kütlenin çarpımından elde edilen değerle orantılı olduğu kabul edilir (Şekil 3.3). Kat döşemeleri rijit diyafram olarak idealleştirilen binalarda, birinci (hakim) doğal titreşim mod şeklinin genlikleri olarak her katın kütle merkezindeki birbirine dik iki yatay öteleme ile kütle merkezinden geçen düşey eksen etrafındaki dönme göz önüne alınır.



Şekil 3.3 Yatay yük dağılımı

Yöntemde, birinci (hakim) doğal titreşim mod şekli genliği esas alınarak belirlenen eşdeğer statik deprem yükleri, sistem mekanizma haline veya önceden belirlenen bir sınır değere ulaşana kadar adım adım arttırılır; her adımda sistemin malzeme ve geometri bakımından doğrusal olmayan teoriye göre hesabı yapılarak koordinatları tepe yer değiştirmesi-taban kesme kuvveti (u_{N1}, V_{t1}) olan *kapasite eğrisi* elde edilir. Tepe yer değiştirmesi, göz önüne alınan deprem doğrultusundaki her itme adımında, binanın en üst katındaki kütle merkezinde hesaplanan yer değiştirmedir. Taban kesme kuvveti ise aynı doğrultuda hesaplanan deprem yüklerinin toplamıdır.

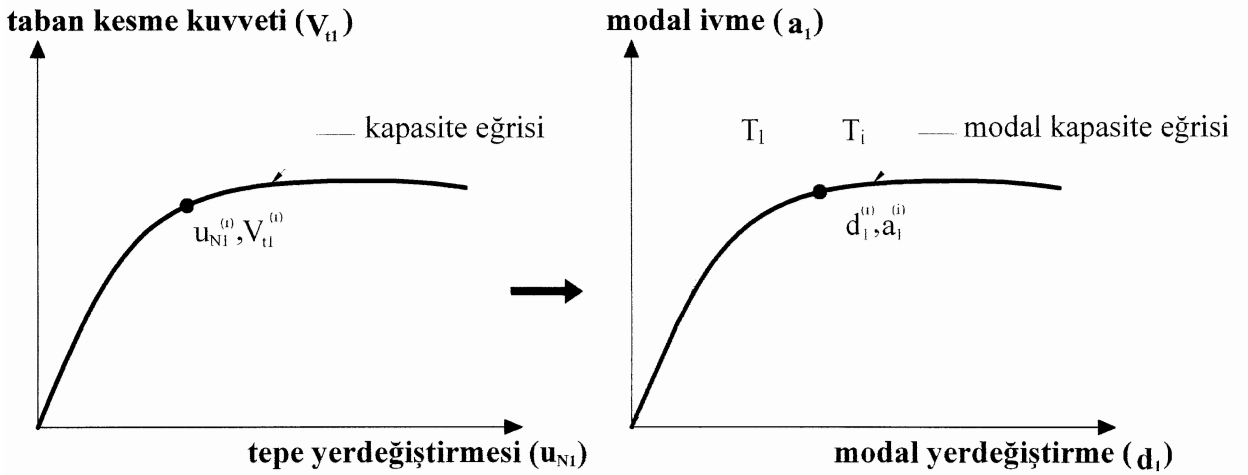
3.1.3.2.2 Performans Noktasının (Doğrusal Olmayan Spektral Yer Değiştirmenin) Belirlenmesi İçin Bir Yöntem

Performansa dayalı tasarım ve değerlendirmenin iki anahtar elemanı istem ve kapasitedir. İstem, yer hareketini belirtir ve deprem etki seviyesine göre tanımlanan spektrum eğrisi ile,

kapasite ise yapının deprem istemine karşı tepki verebilme yeteneğinin bir göstergesi olup analizde doğrusal olmayan elastik yöntemlerin kullanılması halinde elde edilen itme eğrisi ile temsil edilmektedir.

Performans, deprem istemine karşı yapının yapabileceği maksimum tepkinin durumu ile belirlenir. Başka bir deyişle yapı, deprem istemine tepki gösterebilecek kapasiteye sahip olmalıdır. İstem ve tepki parametresi olarak maksimum yer değiştirme değeri kullanılabilir. Yöntemde, istem ve tepkinin eşit olduğu noktanın belirlenmesi gerekir. *Performans noktası* adı verilen bu noktada, yapıdan istenen performansın gerçekleşip gerçekleşmediği kontrol edilir. Yöntemin uygulanabilmesi, kapasite ve istemin karşılaştırılabilmesi için kapasite eğrisi ile spektrum eğrisinin aynı eksenler üzerinde gösterilmesi gerekir. Bunun için her iki eğride yer değiştirme-ivme formatına dönüştürülür.

İstem spektrumu tek serbestlik dereceli sisteme ait olduğu için çok serbestlik dereceli sisteme ait kapasite eğrisinin de eşdeğer tek serbestlik dereceli sisteme dönüştürülür. Bunun için, itme analizi neticesinde elde edilen (u_{N1}, V_{t1}) eğrisine her adımda (3.7), (3.8) bağıntıları uygulanarak koordinatları modal yer değiştirme-modal ivme (d_1, a_1) olan *modal kapasite eğrisi* elde edilir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 Kapasite eğrisinden modal kapasite eğrisinin elde edilmesi

$$a_1^{(i)} = \frac{V_{t1}^{(i)}}{\alpha_1 W} \quad (3.7)$$

$$d_1^{(i)} = \frac{u_{N1}^{(i)}}{\phi_{N1} \Gamma_1} \quad (3.8)$$

$$\alpha_1 = \frac{\left(\sum_{i=1}^N w_i \phi_{i1} \right)^2}{\left(\sum_{i=1}^N w_i \right) \left(\sum_{i=1}^N w_i \phi_{i1}^2 \right)} \quad (3.9)$$

$$\Gamma_1 = \frac{\left(\sum_{i=1}^N m_i \phi_{i1} \right)}{\left(\sum_{i=1}^N m_i \phi_{i1}^2 \right)} \quad (3.10)$$

Bu bağıntılarda,

$a_1^{(i)}$: i'inci itme adımında birinci moda ait modal ivme değeri

$V_{t1}^{(i)}$: Birinci moda ait i'inci adımdaki taban kesme kuvveti

α_1 : Birinci moda ait modal kütle katsayısı

$d_1^{(i)}$: i'inci itme adımında birinci moda ait modal yer değiştirme değeri

$u_{N1}^{(i)}$: Binanın en üst katı olan N.katın i'inci adımdaki maksimum yer değiştirmesi

ϕ_{N1} : Birinci moda ait binanın en üst katı olan N'inci katın modal genlik değeri

Γ_1 : Birinci moda ait modal katılım çarpanı

w_i : i nolu katın ağırlığı

ϕ_{i1} : Birinci moda ait i nolu kattaki modal genlik değeri

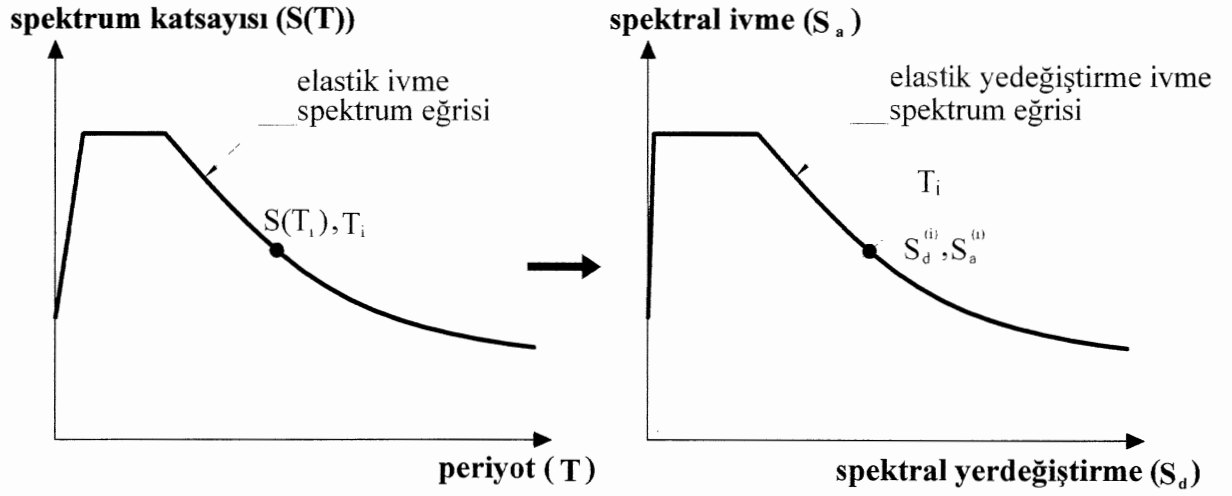
m_i : i nolu katın kütlesi dir.

(u_{N1}, V_{t1}) eğrisi ve bundan türetilen (d_1, a_1) eğrisi, sistemin rijitliği yanında yapı elemanlarının kapasitelerine de bağlı olduğundan kapasite eğrileri olarak isimlendirilirler.

Farklı aşılma olasılıkları da dikkate alınarak tanımlanmış elastik ivme spektrum eğrisi üzerinde ise (3.11) ve (3.12) bağıntıları kullanılarak, koordinatları spektral yer değiştirme-spektral ivme (S_d - S_a) olan eğri elde edilebilir (Şekil 3.5).

$$S_a = A_o IS(T_1) \quad (3.11)$$

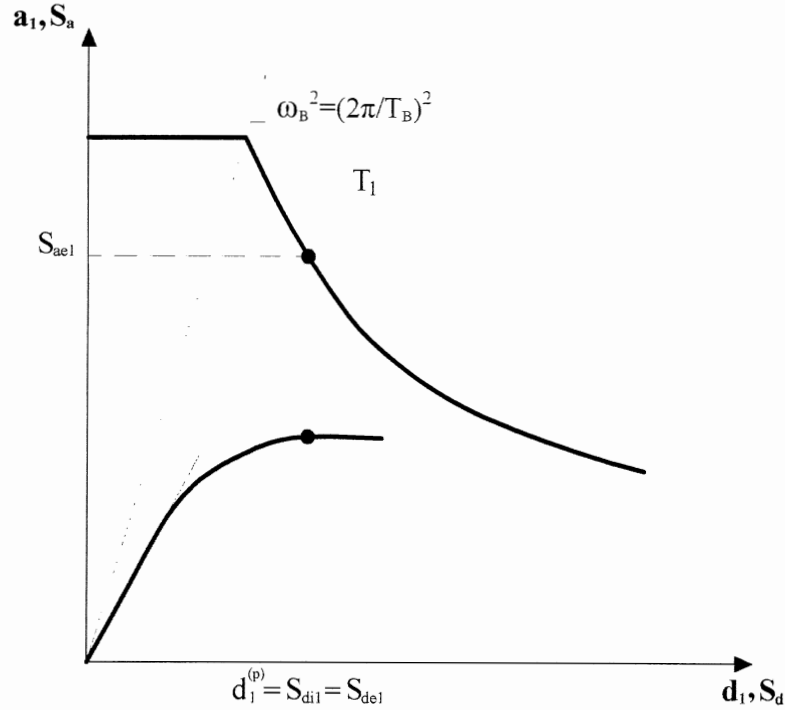
$$S_d = S_a \frac{T_1^2}{4\pi^2} g \quad (3.12)$$



Şekil 3.5 Elastik ivme spektrumunun spektral yer değiştirme-spektral ivme formatına dönüştürülmesi

Performans noktası, modal kapasite eğrisi ile spektral yer değiştirme-spektral ivme eğrisi göz önüne alınarak, birinci moda ait maksimum modal yer değiştirme, diğer bir deyişle modal yer değiştirme isteminin hesaplanması ile bulunur. Tanım olarak modal yer değiştirme istemi, $d_1^{(p)}$, *birinci moda ait doğrusal elastik olmayan spektral yer değiştirme*, S_{d1} 'e eşittir.

$$d_1^{(p)} = S_{d1} \quad (3.13)$$



Şekil 3.6 Doğrusal olmayan spektral yer değiştirmenin belirlenmesi ($T_1^{(1)} \geq T_B$)

İtme analizinin ilk adımında, doğrusal elastik davranış esas alınarak hesaplanan birinci (hakim) moda ait $T_1^{(1)}$ başlangıç periyodunun deprem ivme spektrumundaki karakteristik periyot T_B 'ye eşit veya daha uzun olması durumunda ($T_1^{(1)} \geq T_B$), doğrusal elastik olmayan spektral yer değiştirme S_{di1} , eşit yer değiştirme kuralı uyarınca $T_1^{(1)}$ başlangıç periyoduna karşı gelen *birinci moda ait doğrusal elastik spektral yer değiştirme* S_{de1} 'e eşit alınabilir (3.14). Bu durum, modal kapasite eğrisi ile koordinatları spektral yer değiştirme-spektral ivme olan eğrinin bir arada çizildiği Şekil 3.6'da gösterilmiştir.

$$S_{di1} = S_{de1} \quad (3.14)$$

$T_1^{(1)}$ başlangıç periyodunun, deprem ivme spektrumundaki karakteristik periyot T_B 'den daha kısa olması durumunda ($T_1^{(1)} < T_B$) ise, doğrusal elastik olmayan spektral yer değiştirme S_{di1} , doğrusal elastik spektral yer değiştirme S_{de1} 'e bağlı olarak (3.15) ile elde edilir.

$$S_{di1} = C_{R1} S_{de1} \quad (3.15)$$

Bu bağıntıdaki *spektral yer değiştirme oranı* C_{R1} ise ardışık yaklaşımla hesaplanabilir:

Ardışık yaklaşımlarda kullanmak üzere modal kapasite eğrisi, eğrinin altında ve üstünde kalan alanların eşit olması kuralı uyarınca iki doğrulu (bilineer) bir eğriye dönüştürülmesi gerekir. Bu eğrinin başlangıç doğrusunun eğimi ise itme analizinin ilk adımındaki ($i=1$) doğrunun eğimi olan $T_1^{(1)}$ başlangıç periyoduna eşit alınır.

a- Ardışık yaklaşımın ilk adımında $C_{R1}=1$ kabulü yapılarak bulunan S_{de1} değerine göre eşdeğer akma noktasının koordinatları eşit alanlar kuralı ile belirlenir (Şekil 3.7a). Şekil 3.7a'de görülen a_{y1}^0 esas alınarak C_{R1} , (3.16) bağıntısı ile tanımlanır.

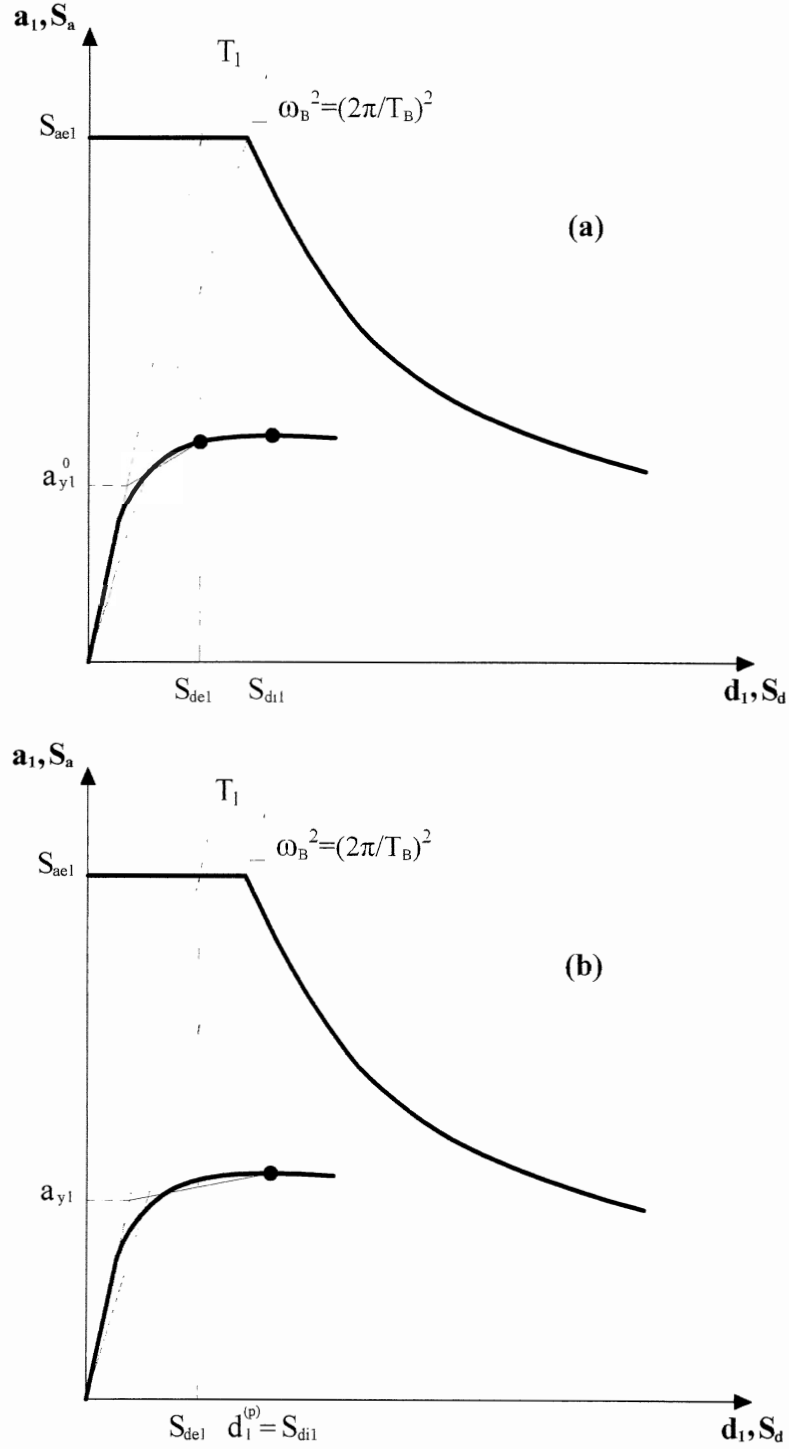
$$C_{R1} = \frac{1 + (R_{y1} - 1)T_B / T_1^{(1)}}{R_{y1}} \geq 1 \quad (3.16)$$

Bu bağıntıda R_{y1} , *birinci moda ait dayanım azaltma katsayısı* dır ve (3.17) bağıntısı ile hesaplanır.

$$R_{y1} = \frac{S_{ae1}}{a_{y1}} \quad (3.17)$$

b- (3.16)'ye göre hesaplanan C_{R1} , (3.15)'da yerine konularak hesaplanan S_{di1} değeri esas alınarak eşdeğer akma noktasının koordinatları, Şekil 3.7b'de gösterildiği üzere yeniden belirlenir ve buna göre a_{y1} , R_{y1} ve C_{R1} tekrar hesaplanır. Ardışık iki adımda elde edilen

sonuçların kabul edilebilir ölçüde birbirlerine yaklaştıkları adımda ardışık yaklaşıma son verilir.



Şekil 3.7 Doğrusal olmayan spektral yer değiştirmenin belirlenmesi ($T_1^{(1)} < T_B$)

Kapasite eğrisi üzerinde ardışık adımların sonunda belirlenen modal yer değiştirme istemi $d_1^{(p)}$ 'nin, başka bir deyişle performans noktasına karşı gelen yer değiştirmenin, (3.8) bağıntısında yerine konulması ile göz önüne alınan deprem doğrultusundaki tepe yer

değiştirmesi istemi $u_{N1}^{(p)}$ elde edilir.

$$u_{N1}^{(p)} = \phi_{N1} \Gamma_1 d_1^{(p)} \quad (3.18)$$

Performans noktasının bulunmasından sonra bu noktaya karşı gelen diğeri istem büyüklükleri (elemanların, sünek davranışa ilişkin birim şekil değıştirme istemleri ile gevrek davranışa ilişkin iç kuvvet istemleri), yönetmelikte tanımlanmış, şekil değıştirme ve iç kuvvet kapasiteleri ile karşılaştırılarak kesit ve bina düzeyinde performans değeriendirilmesi yapılır. Yönetmelikte betonarme ve yığma yapı elemanları için bu sınır değeri tanımlanmıştır.

4. ÇOK KATLI ÇELİK YAPILARDA DEPREM PERFORMASININ BELİRLENMESİ ve DOĞRUSAL OLMAYAN DAVRANIŞIN İNCELENMESİ ÜZERİNE UYGULAMALAR

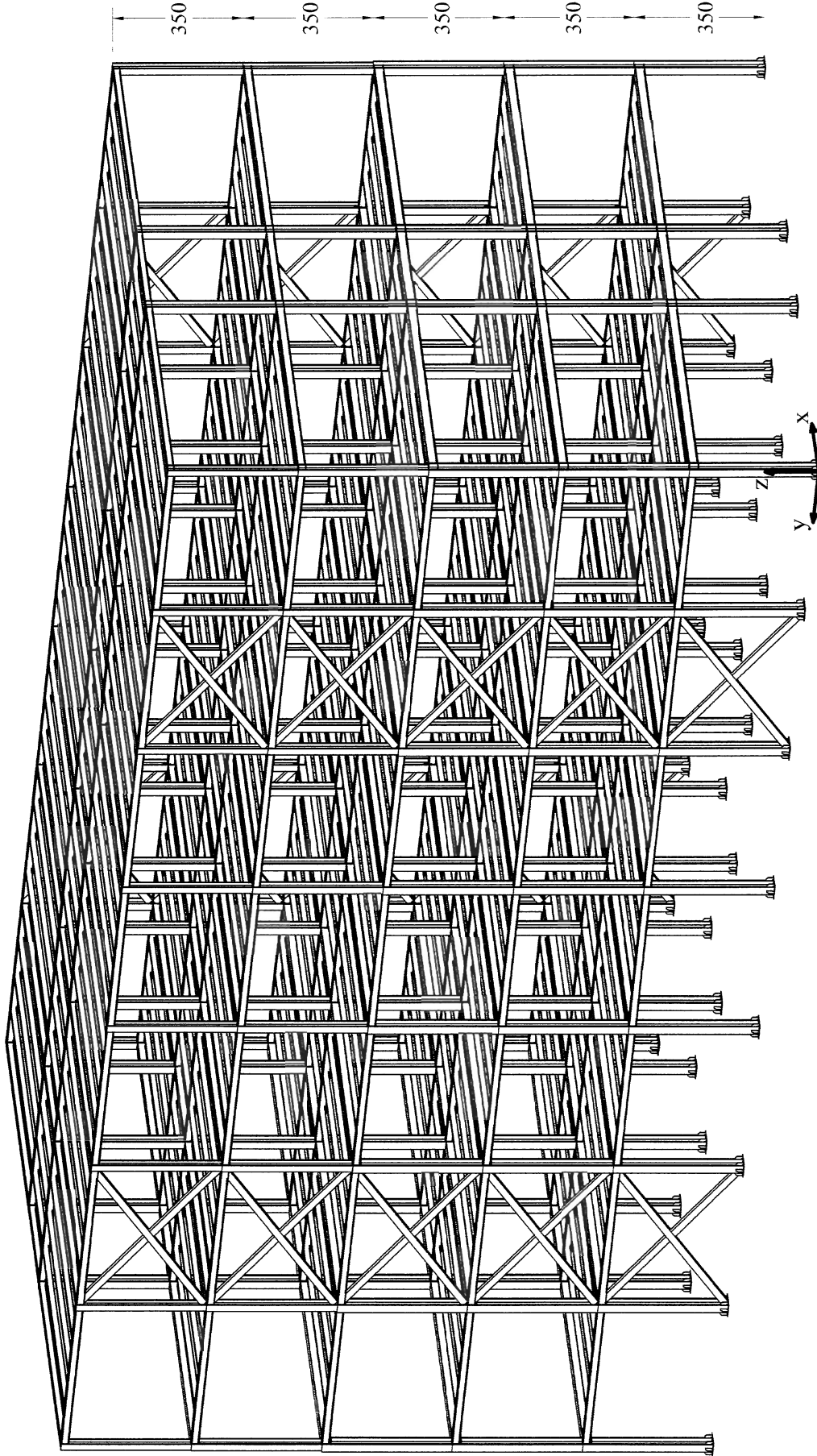
Ülkemizdeki yönetmelik ve standartlarda yer alan, malzemenin doğrusal davranışı esasına dayalı yöntemlere göre tasarlanan çelik yapıların, deprem etkileri altında doğrusal olmayan davranışını tanımlayan teoriler çerçevesinde değerlendirilmesi üzerine sayısal incelemeler bu bölümde yer almaktadır.

Bu amaçla, çok katlı çelik yapıları temsil etmek üzere seçilen, iş merkezi olarak kullanılması düşünülen örnek bir yapının taşıyıcı sistem modeli üzerinde farklı parametreler dikkate alınarak performans değerlendirmesi yapıldı ve deprem etkileri altındaki doğrusal olmayan davranışının göstergesi olan süneklik oranı, yapı rezerv katsayısı ve yapı davranış katsayısı belirlendi.

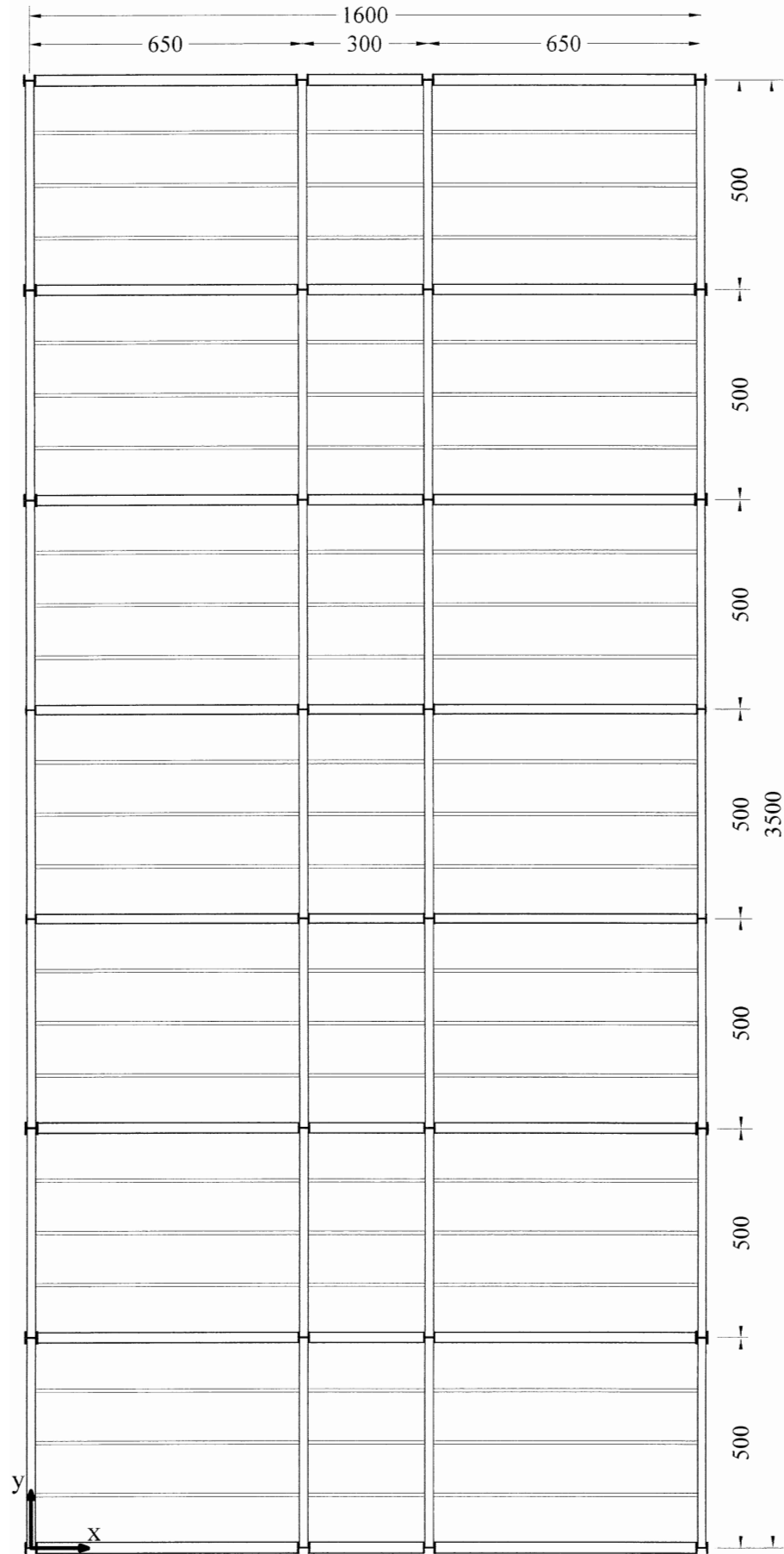
Yapının taşıyıcı sistemi, deprem yüklerini bir doğrultuda moment aktaran çerçeveler diğer doğrultuda ise çerçeveler ile birlikte düşeyde sürekli merkezi çaprazlı perdeler tarafından karşıladığı düşünülerek üç boyutlu modellendi. Düşey yükleri TS 498'e göre belirlenen taşıyıcı sistem, DBYBHY-06'da ifade edilen deprem etkileri altında hesap ve tasarım kuralları çerçevesinde, Z2, Z3 ve Z4 zemin sınıfları için ayrı ayrı uygulanmak üzere görelî kat ötelemesi sınırlandırması dikkate alınarak ve alınmayarak analiz edildi ve TS 648'e göre elemanların gerilme kontrolleri yapılarak boyutlandırıldı. Başka bir deyişle analiz ve boyutlandırma, düşey yükleri ve geometrik özellikleri aynı olan altı adet taşıyıcı sistem üzerinde yapıldı.

Üç boyutlu analizi ve boyutlandırması yapılan taşıyıcı sistemlerin, sabit düşey yükler ve sadece X doğrultusunda (deprem yüklerinin tamamının çerçevelerle taşındığı doğrultuda) orantılı artan deprem etkileri altındaki doğrusal olmayan davranışlarını temsil eden kapasite eğrileri elde edildi, performans noktaları artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemine göre bulundu ve eleman düzeyinde performans değerlendirmesi FEMA 356'ya, bina düzeyinde performans değerlendirmesi ise deprem yönetmeliğine göre yapıldı.

Taşıyıcı sistemlerin doğrusal ve doğrusal olmayan analizlerinde, boyutlandırılmasında, kapasite eğrilerinin elde edilmesinde ve performans seviyelerinin belirlenmesinde SAP 2000 programından yararlanıldı.



Şekil 4.1 Üç boyutlu taşıyıcı sistem modeli



Şekil 4.2 Kat planı

4.1 Yapının Özellikleri

İş merkezi olarak kullanılması düşünülen yapı, beş kattan oluşmakta ve her bir katının yüksekliği 3.5 m, toplam yüksekliği ise 17.5 m dir. Taşıyıcı sistemin simetrik davranış göstermesi ve böylece işlemleri kısaltmak maksadı ile yapıda çeşitli amaçlar için bulunması gereken döşeme boşluklarına yer verilmedi. Yapı cephesinde giydirme cephe duvar kaplaması, her bir iç aksları üzerinde ise bölme duvarlar olduğu kabul edildi. Yapı çatısı, teras çatı olarak tasarlandı ve dış akslarda parapet duvar olduğu varsayıldı.

Yapının taşıyıcı sistemi çerçeveler ve düşey çapraz elemanlardan oluşmakta ve tüm kolonların güçlü eksenleri X doğrultusuna dik olacak şekilde yerleşmektedir. Sistem, X doğrultusunda üç, Y doğrultusunda ise yedi açıklık olup; Y doğrultusuna dik, üzerindeki betonarme döşeme ile kompozit olan döşeme kirişleri bulunmaktadır. Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de taşıyıcı sistemin geometrik özellikleri görülmektedir.

4.2 Yapı Taşıyıcı Sisteminin Malzeme Özellikleri

Yapı elemanlarında Avrupa profilleri kullanıldı. Bazı esasların dikkate alınması amacı ile kolonlarda kompakt yapma kesitler de tercih edildi. Kullanılan yapı çeliğinin özellikleri aşağıda verilmiştir.

Çelik sınıfı: St 37

Elastisite modülü: $E = 2 \cdot 10^9 \text{ kN/m}^2$

Poisson oranı: $\nu = 0.3$

Birim hacim ağırlığı: $\gamma = 78.5 \text{ kN/m}^3$

Akma dayanımı: $\sigma_a = 24000 \text{ kN/m}^2$

4.3 Yapıya Etki Eden Yükler

4.3.1 Düşey Yükler

4.3.1.1 Döşeme Üzerinde Düzgün Yayılı Yükler

Döşeme üzerinde düzgün yayılı olan yükler, taşıyıcı sistemin X doğrultusundaki döşeme kirişleri ve çerçeve kirişleri tarafından taşındığı varsayıldı ve bu doğrultudaki kirişler üzerine düzgün yayılı olarak etki ettirildi. Bu nedenle, döşeme yüklerinin Y doğrultusundaki çerçeve

kirişlerine etkilerini, döşeme kirişlerinin mesnet tepkileri oluşturmaktadır.

4.3.1.1.1 Sabit Yükler

- Çatı katında:

İzolasyon (2 cm şap, 10 cm ısı yalıtımı ve 5 cm su yalıtımı) = 0.5 kN/m^2

Betonarme plak (10 cm) = 2.5 kN/m^2

Trapezoidal sac (1 mm) = 0.15 kN/m^2

Asma tavan ve çelik taşıyıcısı = 0.15 kN/m^2

Tesisat = 0.3 kN/m^2

Toplam sabit yük = 3.6 kN/m^2

İç akslarda = $1.25 \cdot 3.6 = 4.5 \text{ kN/m}$

Dış akslarda = $0.5 \cdot 1.25 \cdot 3.6 = 2.25 \text{ kN/m}$

- Normal katlarda:

Kaplama (PVC yer döşemesi) = 0.06 kN/m^2

Betonarme plak (10 cm) = 2.5 kN/m^2

Trapezoidal sac (1 mm) = 0.15 kN/m^2

Asma tavan ve çelik taşıyıcısı = 0.15 kN/m^2

Tesisat = 0.3 kN/m^2

Toplam sabit yük = 3.16 kN/m^2

İç akslarda = $1.25 \cdot 3.16 = 3.95 \text{ kN/m}$

Dış akslarda = $0.5 \cdot 1.25 \cdot 3.16 = 1.98 \text{ kN/m}$

4.3.1.1.2 Hareketli Yükler

- Çatı katında:

TS 498'e göre kar yükü,

$$P_k = mP_{ko} \quad (4.1)$$

bağıntısı ile belirlenir.

$$\text{Kar yükü } P_k \text{ (m= 1 ve } P_{ko}= 0.75 \text{ kN/m}^2 \text{ için) } = 0.75 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Zaman zaman kullanılan çatılar (TS 498) } = \underline{2 \text{ kN/m}^2}$$

$$\text{Toplam hareketli yük} = 2.75 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{İç akslarda} = 1.25 \cdot 2.75 = 3.44 \text{ kN/m}$$

$$\text{Dış akslarda} = 0.5 \cdot 1.25 \cdot 2.75 = 1.72 \text{ kN/m}$$

- Normal katlarda:

$$\text{Büro odaları (TS 498) } = 2 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{İç akslarda} = 1.25 \cdot 2 = 2.5 \text{ kN/m}$$

$$\text{Dış akslarda} = 0.5 \cdot 1.25 \cdot 2 = 1.25 \text{ kN/m}$$

$$\text{Büro koridorları (TS 498) } = 5 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{İç akslarda} = 1.25 \cdot 5 = 6.25 \text{ kN/m}$$

$$\text{Dış akslarda} = 0.5 \cdot 1.25 \cdot 5 = 3.13 \text{ kN/m}$$

4.3.2 Duvar Sabit Yükleri

Bölme duvar yükleri X ve Y doğrultusunda, iç akslardaki çerçeve kirişleri üzerine etki ettirildi. Çatı katı dış akslarında 1 m yüksekliğindeki parapet duvarın yükü ise dış aks kirişlerine etki ettirildi. Giydirme cephe duvarlarının sadece dış aks kolonları tarafından taşındığı varsayıldı ve yükleri, her bir katta kolonlar arasındaki açıklıklara göre dağıtıldı.

- Bölme duvarları (10 cm gaz beton) $= 0.83 \cdot (3.5 - 0.25) = 2.7 \text{ kN/m}$
- Beton parapet duvar (20 cm duvar) $= 25 \cdot 1 \cdot 0.2 = 5 \text{ kN/m}$
- Cephe duvarları (giydirme cephe) $= 0.5 \text{ kN/m}^2$

4.3.3 Düşey Yük Analizi

Yapıya etki eden düşey yüklerinin taşıyıcı sistem üzerindeki dağılımı Ek 1'de verilmiştir. Profillerin sabit yükleri ise boyutlarına göre program tarafından sağlanmaktadır. Belirtilen yükler altında tasarımları tamamlanan her bir taşıyıcı sistemin, program verilerinden

yararlanarak elde edilen kat ağırlıkları Çizelge 4.1’de görülmektedir. Taşıyıcı sistemlerin analizinde hareketli yük katılım katsayısı $n=0.3$ alındığından kat ağırlıkları da bu azaltmayı içermektedir (DBYBHY-06, Madde 2.7.1.2).

Çizelge 4.1 Kat ağırlıkları

	Görelî Kat Ötelemesi			Görelî Kat Ötelemesi		
	Etkin Tasarım			Etkin Olmayan Tasarım		
	Zemin Sınıflarına Göre Kat Ağırlıkları (kN)					
Kat No	Z2	Z3	Z4	Z2	Z3	Z4
1	3149.89	3218.17	3300.97	3144.01	3162.84	3181.68
2	3142.04	3211.50	3295.87	3131.84	3155.39	3173.83
3	3122.82	3186.39	3265.65	3109.87	3123.60	3141.65
4	3096.53	3142.83	3194.23	3096.53	3103.59	3115.75
5	3336.09	3349.04	3368.26	3336.09	3341.97	3347.86
Σ	15847.37	16107.92	16424.98	15818.33	15887.39	15960.77

4.4 Yatay Yükler

4.4.1 Rüzgar Yükleri

TS 498’e göre rüzgar yükü,

$$w = 0.8q \quad (4.2)$$

$$w = -0.4q \quad (4.3)$$

bağıntıları ile belirlenir. Göz önüne alınan rüzgar doğrultusunda, yapının ön yüzündeki basınç (4.2) bağıntısı ile, arka yüzündeki çekme ise (4.3) bağıntısı ile hesaplanır. Bu bağıntılarda q değerleri,

- 0-8 m için $q = 0.5 \text{ kN/m}^2$ ve
- 9-20 m için $q = 0.8 \text{ kN/m}^2$ olarak belirtilmiştir.

Yapıya etki eden rüzgar yükleri dış akslardaki kolonlar üzerine aralarındaki açıklıklara göre düşeyde yayılı olarak dağıtıldı. Ek 1’de taşıyıcı sistem üzerindeki rüzgar yükleri verilmiştir.

Görelî Kat Ötelemesi Etkin Tasarım									
Z2 Zemin Sınıfı	Kat	h_i	H_i	W_i	$W_i H_i$	F_{ix}	F_{iy}	M_{ix}	M_{iy}
	No	(m)	(m)	(kN)	(kNm)	(kN)	(kN)	(kNm)	(kNm)
	1	3.5	3.5	3149.89	11024.63	36.30	99.53	63.52	79.62
	2	3.5	7.0	3142.04	21994.31	72.41	198.56	126.72	158.85
	3	3.5	10.5	3122.82	32789.58	107.95	296.01	188.92	236.81
	4	3.5	14.0	3096.53	43351.37	142.73	391.36	249.77	313.09
	5	3.5	17.5	3336.09	58381.52	192.21	527.05	336.37	421.64
	Σ			15847.37		551.60	1512.51		
	$V_{tx}= 551.60 \text{ kN}, V_{ty}= 1512.51 \text{ kN}$								
Z3 Zemin Sınıfı	1	3.5	3.5	3218.17	11263.60	58.99	134.04	103.23	107.23
	2	3.5	7.0	3211.50	22480.50	117.73	267.52	206.03	214.01
	3	3.5	10.5	3186.39	33457.05	175.22	398.14	306.63	318.51
	4	3.5	14.0	3142.83	43999.62	230.43	523.59	403.25	418.88
	5	3.5	17.5	3349.04	58608.13	306.93	697.44	537.13	557.95
	Σ			16107.92		889.29	2020.72		
	$V_{tx}= 889.29 \text{ kN}, V_{ty}= 2020.72 \text{ kN}$								
Z4 Zemin Sınıfı	1	3.5	3.5	3300.97	11553.38	101.04	140.49	176.82	112.39
	2	3.5	7.0	3295.87	23071.06	201.77	280.54	353.09	224.43
	3	3.5	10.5	3265.65	34289.33	299.87	416.95	524.78	333.56
	4	3.5	14.0	3194.23	44719.28	391.09	543.77	684.40	435.02
	5	3.5	17.5	3368.26	58944.61	515.49	716.75	902.11	573.40
	Σ			16424.98		1509.26	2098.50		
	$V_{tx}= 1509.26 \text{ kN}, V_{ty}= 2098.50 \text{ kN}$								

Görelî Kat Ötelemesi Etkin Olmayan Tasarım									
	Kat	h_i	H_i	W_i	$W_i H_i$	F_{ix}	F_{iy}	M_{ix}	M_{iy}
	No	(m)	(m)	(kN)	(kNm)	(kN)	(kN)	(kNm)	(kNm)
Z2 Zemin Sınıfı	1	3.5	3.5	3144.01	11004.02	34.84	99.41	60.97	79.53
	2	3.5	7.0	3131.84	21922.90	69.41	198.05	121.46	158.44
	3	3.5	10.5	3109.87	32653.62	103.38	294.99	180.92	235.99
	4	3.5	14.0	3096.53	43351.37	137.25	391.63	240.19	313.30
	5	3.5	17.5	3336.09	58381.52	184.84	527.41	323.47	421.93
	Σ			15818.33		529.72	1511.48		
	$V_{tx} = 529.72 \text{ kN}, V_{ty} = 1511.48 \text{ kN}$								
Z3 Zemin Sınıfı	1	3.5	3.5	3162.84	11069.95	49.72	131.91	87.00	105.53
	2	3.5	7.0	3155.39	22087.71	99.20	263.20	173.60	210.56
	3	3.5	10.5	3123.60	32797.82	147.30	390.82	257.78	312.65
	4	3.5	14.0	3103.59	43450.26	195.14	517.75	341.50	414.20
	5	3.5	17.5	3341.97	58484.52	262.66	696.90	459.66	557.52
	Σ			15887.39		754.03	2000.58		
	$V_{tx} = 754.03 \text{ kN}, V_{ty} = 2000.58 \text{ kN}$								
Z4 Zemin Sınıfı	1	3.5	3.5	3181.68	11135.87	72.24	133.77	126.42	107.01
	2	3.5	7.0	3173.83	22216.81	144.12	266.87	252.21	213.50
	3	3.5	10.5	3141.65	32987.35	213.99	396.25	374.48	317.00
	4	3.5	14.0	3115.75	43620.56	282.96	523.98	495.19	419.19
	5	3.5	17.5	3347.86	58587.53	380.05	703.77	665.09	563.02
	Σ			15960.77		1093.36	2024.65		
	$V_{tx} = 1093.36 \text{ kN}, V_{ty} = 2024.65 \text{ kN}$								

Taşıyıcı sistemlere her bir deprem doğrultusunda etki eden toplam deprem yükleri, bunların katlara dağılımı ve dış merkezlik momentleri Çizelge 4.2’de gösterilmiştir.

4.5 Taşıyıcı Sistemlerin Doğrusal Analizi, Dikkate Alınan Tasarım Kuralları ve Boyutlandırılması

Taşıyıcı sistemler DBYBHY-06’da ifade edilen deprem etkileri altında hesap ve tasarım kuralları çerçevesinde, Z2, Z3, Z4 zemin sınıfları ve görelî kat ötelemesinin boyutlandırmada ve doğrusal olmayan davranıştaki etkisini de incelemek amacı ile, öteleme etkin ve etkin olmayan durumları için ayrı ayrı analiz edildi ve çelik yapıların elastik teoriye dayalı hesabı için kullanılan TS 648’e göre elemanların gerilme kontrolleri yapılarak boyutlandırıldı.

Taşıyıcı sistemlerin doğrusal olmayan teoriler çerçevesinde daha gerçekçi incelenebilmesi amacı ile elemanlar limit kesitlerde boyutlandırılmaya çalışıldı. Deprem yüklerinin

karşılansında çerçeve kirişlerine mafsallı bağlanan döşeme kirişlerinin etkisi olmayacağından bu elemanlar boyutlandırılmadı. Profil kesitleri birleşim elemanlarının birleşim detayları oluşturulabilecek şekilde seçildi.

4.5.1 Analiz ve Boyutlandırmada Göz Önünde Tutulan Varsayımlar

- a- Taşıyıcı sistem analizlerinde malzemenin doğrusal elastik davrandığı varsayıldı. Malzeme davranışı olarak programda tanımlı, pekleşme etkisini de içeren gerilme birim şekil değiştirme eğrisi kullanıldı. İkinci mertebe etkileri ise TS 648'in öngördüğü şekilde burkulma katsayıları ile hesaba katıldı.
- b- Her iki doğrultuda yapıya etki eden deprem yüklerinin karşılanmasında, taşıyıcı sistemlerin süneklik düzeyinin yüksek olduğu kabul edildi. X doğrultusundaki deprem yüklerinin sadece çerçeveler tarafından taşındığı, Y doğrultusundaki deprem yüklerinin ise çerçeveler ile birlikte düşeyde sürekli merkezi çaprazlı perdeler tarafından taşındığı varsayıldı.
- c- Döşeme kirişlerinin Y doğrultusundaki çerçeve kirişleri üzerine sadece tekil yük aktaracak şekilde mafsallı bağlandığı ve üzerindeki betonarme döşeme ile kompozit davranış gösterecek şekilde tasarlandığı kabul edildi. Kompozit döşemenin ise kendi düzleminde rijit diyafram hareketi yapacak şekilde çerçeve kirişleri üzerine bağlandığı varsayıldı.
- d- Taşıyıcı sistemlerin döşemeleri rijit diyafram hareketi yaptığından elemanların daha ekonomik boyutlandırılması amacı ile her iki doğrultuda çerçevelerin düğüm noktalarının moment aktaran rijit birleşimler, mesnetlerinin ise temelde ankastre olduğu; merkezi çapraz elemanların da kolon kiriş birleşim bölgelerine sadece eksenel yük taşıyacak şekilde mafsallı bağlandığı kabul edildi.
- e- Çerçeve kirişlerinin yanal burkulmasının rijit diyafram hareketi yapan döşeme sistemi tarafından önlendiği varsayıldı.

4.5.2 Doğrusal Analiz

Taşıyıcı sistemlerin doğrusal analizinde mod birleştirme yöntemi kullanıldı (DBYBHY-06, Madde 2.8). Her bir taşıyıcı sistem için mod sayısı, deprem doğrultularının her birinde her bir mod için hesaplanan etkin kütlelerin toplamının binanın toplam kütlelerinin %90'ından daha az olmaması kuralına göre, 10 olarak belirlendi.

Analizde kullanılan yapı kütleleri, profillerin kendi kütleleri ve eğer varsa üzerlerinde tanımlanan düşey yüklerin oluşturduğu kütlelerin toplamı olarak program tarafından sağlanmakta ve her bir profilin düğüm noktalarına üç yönde atanmaktadır. Bu şekilde

tanımlanan yapı kütleleri hareketli yükün % 70 azaltılmış durumunu da içermektedir.

Taşıyıcı sistemler Z2, Z3 ve Z4 zemin sınıfları için yönetmelikte tanımlanan elastik tasarım ivme spektrumları kullanılarak, görelî kat ötelemesi sınırlandırması etkin ve etkin olamayan durumları için ayrı ayrı analiz edildi. Herhangi bir titreşim modunda göz önüne alınacak azaltılmış ivme spektrumu ordinatı, (3.5) ve (3.6) bağıntılarından yararlanılarak belirlendi (4.4).

$$S_{aR}(T_n) = \frac{A_o IS(T_n)g}{R_a(T)} \quad (4.4)$$

Buradaki ifadelerin taşıyıcı sistemlerde kullanılan ortak değerleri,

Etkin yer ivme katsayısı, $A_o = 0.40$

Bina önem katsayısı, $I = 1$

Yerçekimi ivmesi, $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ dir.

Deprem yükü azaltma katsayısı $R_a(T)$ ise, taşıyıcı sistemlerin doğal periyotları tasarım ivme spektrumunun karakteristik periyodundan küçük olduğundan taşıyıcı sistem davranış katsayısı R' 'ye eşit olmaktadır (3.3). Taşıyıcı sistem davranış katsayısı da her iki doğrultu için deprem yüklerinin karşılanması durumuna göre,

- X doğrultusu için $R = 8$ ve
- Y doğrultusu için $R = 6$ olarak alındı (Madde 2.5.1.3).

4.5.3 Boyutlandırmada Esas Alınan Yük Birleşimleri

Taşıyıcı sistemlerin boyutlandırılmasında, düşey yükler, rüzgar yükleri ve deprem yüklerinin aralarındaki ortak etkileşimden oluşan üç tip yük birleşimi kullanıldı. Yatay yük etkilerinde, deprem yüklemesinden oluşan kesit tesirlerinin rüzgar yüklemesinden oluşanlara göre daha elverişli sonuçlar verdiği görüldü.

1) Düşey yükler:

- $G+Q$

2) Düşey yükler+rüzgar yükleri:

- $G+Q+RX$

- $G+Q-RX$
- $G+Q+RY$
- $G+Q-RY$

3) Düşey yükler+deprem yükleri:

- $G+Q+DX$
- $G+Q+DX+DEX$
- $G+Q+DX-DEX$
- $0.9G+DX$
- $G+Q+DY$
- $G+Q+DY+DEY$
- $G+Q+DY-DEY$
- $0.9G+DY$

4.5.4 Taşıyıcı Sistemlerde Dikkate Alınan Tasarım Kuralları

4.5.4.1 Arttırılmış Deprem Etkileri

Taşıyıcı sistemlerin kolonlarının, düşey yükler ve depremin ortak etkisinden oluşan eksenel kuvvet ve eğilme momentleri altında gerekli gerilme kontrollerini sağlamaları yanında, arttırılmış deprem yüklemelerinden oluşan eksenel basınç ve çekme kuvvetleri altında da yeterli dayanım kapasitesine sahip olmaları gerekir (DBYBHY-06, Madde 4.2.4).

Arttırılmış deprem yüklemelerini veren bağıntılar,

$$G+Q\pm\Omega_0 D \quad (4.5)$$

veya daha elverişsiz sonuç vermesi halinde

$$0.9G\pm\Omega_0 D \quad (4.6)$$

şeklinde tanımlanmıştır.

Modal analiz sonucu hesaplanan deprem yüklerinden oluşan iç kuvvetlere uygulanacak Ω_0

büyütme katsayısı'nın değerleri, her iki doğrultuda deprem yüklerinin karşılanması durumuna göre belirlendi. Bu şekilde belirlenen arttırılmış deprem yüklemeleri aşağıda verilmiştir.

- G+Q+2.5DX
- 0.9G+2.5DX
- G+Q+2DY
- 0.9G+2DY

Taşıyıcı sistemlerin kolonlarının arttırılmış deprem yüklemelerinden oluşan eksenel basınç ve çekme kuvvetleri, bu kuvvetler altındaki dayanım kapasitelerini ifade eden (4.7) ve (4.8) bağıntıları ile kontrol edildi.

$$N_{bp} = 1.7\sigma_{bem}A \quad (4.7)$$

$$N_{cp} = \sigma_a A_{net} \quad (4.8)$$

Bu bağıntılarda,

N_{bp} : Eksenel basınç kapasitesi

σ_{bem} : Eksenel basınç kuvveti etkisi altında uygulanacak emniyet gerilmesi

A: Kesit alanı

N_{cp} : Eksenel çekme kapasitesi

σ_a : Akma dayanımı

A_{net} : Net kesit alanıdır.

4.5.4.2 Profillerin Kesit Koşulları

Her iki deprem doğrultusunda süneklik düzeyi yüksek olarak tasarlanan taşıyıcı sistemlerin çerçevelerinin kiriş ve kolonları ile merkezi çaprazlı perdelerin kiriş, kolon ve çapraz elemanlarında aşağıdaki kesit koşulları sağlandı (DBYBHY-06, Madde 4.3.1 ve 4.6.1.1).

Bu koşullar; eğilme etkisindeki I kesitlerinde,

$$b/t \geq 0.3\sqrt{E/\sigma_a} \quad (4.9)$$

$$h/t_w \geq 3.2\sqrt{E_s/\sigma_a} \quad (4.10)$$

eğilme ve eksenel basınç etkisindeki I kesitlerinde,

$$|N_d/\sigma_a A| \leq 0.10 \text{ için} \quad (4.11)$$

$$h/t_w \geq 3.2\sqrt{E/\sigma_a} \left(1 - 1.7 \left| \frac{N_d}{\sigma_a A} \right| \right) \quad (4.12)$$

$$|N_d/\sigma_a A| > 0.10 \text{ için} \quad (4.13)$$

$$h/t_w \geq 1.33\sqrt{E/\sigma_a} \left(2.1 - \left| \frac{N_d}{\sigma_a A} \right| \right) \quad (4.14)$$

ve eksenel basınç etkisindeki dikdörtgen kutu kesitlerde,

$$b/t \text{ veya } b/t \geq 0.7\sqrt{E/\sigma_a} \quad (4.15)$$

şeklinde tanımlanmıştır. Bu bağıntılarda,

b: I kesitlerinde yarım başlık genişliği, dikdörtgen kutu kesitlerde ise başlık genişliği

t: Kesitin başlık kalınlığı

h: Kesitin gövde yüksekliği

t_w: Kesitin gövde kalınlığı

N_d: En elverişsiz yüklemenden elde edilen tasarım eksenel kuvveti dir.

4.5.4.3 Kolonların Kirişlerden Daha Güçlü Olması Koşulu

Taşıyıcı sistemlerin çerçevelerinde göz önüne alınan deprem doğrultusunda her bir düğüm noktasına birleşen kolonların eğilme momenti kapasitelerinin toplamı, o düğüm noktasına birleşen kirişlerin kolon yüzündeki eğilme momenti kapasiteleri toplamının 1.1D_a katından daha büyük olması gerekir (4.16), (DBYBHY-06, Madde 4.3.2).

$$M_{pa} + M_{pü} \geq 1.1D_a (M_{pi} + M_{pj}) \quad (4.16)$$

Bu bağıntıda,

M_{pa}: Kolonun alt ucunda hesaplanan moment kapasitesi

M_{pu} : Kolonun üst ucunda hesaplanan moment kapasitesi

M_{pi} : Kirisin sol ucu i’de hesaplanan pozitif veya negatif moment kapasitesi

M_{pj} : Kirisin sağ ucu j’de hesaplanan pozitif veya negatif moment kapasitesi

D_a : Akma gerilmesi arttırma katsayısıdır.

(4.16) bağıntısında, yapı çeliğinin sınıfına ve eleman türüne bağlı olarak belirlenen akma gerilmesi arttırma katsayısı 1.2 olarak alındı (Madde 4.2.3.6).

Depremin her iki yönü için çerçeve elemanlarının eğilme momenti kapasiteleri (4.17) bağıntısı ile belirlendi (Madde 4.2.5). Kolonların eğilme momenti kapasitelerinin hesaplanmasında, bu kapasiteleri en küçük yapan tasarım eksenel kuvvetleri de dikkate alındı (TS 4561, Madde 2.4.5).

$$M_p = W_p \sigma_a \quad (4.17)$$

Burada,

M_p : Çerçeve elemanlarının eğilme momenti kapasitesi

W_p : Deprem yönüne göre belirlenen plastik mukavemet momenti dir.

Taşıyıcı sistemlerde yapılan kontrollerde (4.16) bağıntısının sadece kolonlarının zayıf eksenlerine dik olan Y deprem doğrultusu için olumsuz sonuçlar verdiği görüldü. Taşıyıcı sistemlerin kirişlerinde limit kesitler kullanıldığından, (4.16) koşulunun sağlanması için düğüm noktalarına bağlanan kolonların profil sınıflarını arttırmak, kolonları itme analizinin uygulandığı X doğrultusunda gereğinden fazla güçlendireceğinden ve doğrusal olmayan teoriler çerçevesinde daha gerçekçi değerlendirmeler yapabilmek amacı ile bu kolonlar için (4.16) bağıntısını limit şekilde sağlayacak kompakt yapma kesitler kullanıldı. En üst kat kolonlarının ise bu koşulu sağlayıp sağlamadığına bakılmadı.

4.5.4.4 Göreli Kat Ötelemelerinin Sınırlandırılması

Bu kuralın dikkate alındığı taşıyıcı sistemlerde, her bir deprem doğrultusu için herhangi bir katta hesaplanan en büyük göreli kat ötelemesi (4.18)’deki koşul sağlanması gerekir.

$$\frac{\Delta_{i maks} R}{h_i} \leq 0.02 \quad (4.18)$$

Bu bağıntıda,

$(\Delta_i)_{\text{maks}}$: i'inci katındaki maksimum görelî kat ötelemesi

R: Her bir deprem doğrultusu için 4.5.2'de verilen taşıyıcı sistem davranış katsayısı

h_i : i'inci katının kat yüksekliği dir.

$(\Delta_i)_{\text{maks}}$ ise, herhangi bir kattaki kolon veya perdelerin uçlarında deprem etkilerini içeren yüklemelerden elde edilen ve ardışık iki kat arasındaki yer değiştirme farkını ifade eden görelî kat ötelemelerinin kat içindeki en büyük değeridir (4.19).

$$\Delta_i = d_i - d_{i-1} \quad (4.19)$$

Burada,

Δ_i : i'inci katındaki görelî kat ötelemesi

d_i : i'inci katında deprem etkilerine göre eleman ucunda hesaplanan yer değiştirme

d_{i-1} : (i-1)'inci katında deprem etkilerine göre eleman ucunda hesaplanan yer değiştirme dir.

Bu kural dikkate alınarak boyutlandırılan taşıyıcı sistemlerde, her iki deprem doğrultusu için (4.18) bağıntısının sadece deprem yüklerinin tamamının çerçevelerle taşındığı doğrultu olan X doğrultusunda olumsuz sonuçlar verdiği; Y doğrultusunda ise deprem etkilerinden meydana gelen kat yer değiştirmelerinin, yanal ötelemelere karşı oldukça rijit olan merkezi çapraz perdeler tarafından karşılandığı görüldü. Bu nedenle, elemanları daha ekonomik boyutlandırmak ve görelî kat ötelemesinin dikkate alınmadığı diğer sistemlerde bu parametrenin etkisini incelemek amacı ile taşıyıcı sistemlerin tüm kolonlarının güçlü eksenleri X doğrultusuna dik olacak şekilde yerleştirildi. Bu doğrultudaki kolonları rijitleştirmek yerine aynı doğrultudaki kirişlerin başlık genişliğini arttırmak, koşulun sağlanmasında daha etkin olduğundan bu yola gidildi ve buna uygun kiriş profilleri seçildi.

Taşıyıcı sistemlerin kolonlarının X doğrultusundaki en büyük görelî kat ötelemeleri program verilerinden elde edilerek ve sistemin simetrik olmasından da yararlanarak Çizelge 4.3'de verilmiştir. Bu doğrultudaki en elverişsiz sonuçları veren yükleme ek dış merkezlik etkisini de içeren G+Q+DX-DEX yüklemesidir. Döşemelerin rijit diyafram hareketi yapması nedeni ile X doğrultusundaki herhangi bir aksa ait kolonların bu doğrultudaki yer değiştirmeleri aynı olacağından, tablodaki veriler sadece Y doğrultusundaki bir aksa ait kolonların yer değiştirmelerini göstermektedir.

Çizelge 4.3 Maksimum görel kat ötelemesi koşuluna ait değerler

			Z2 Zemin Sınıfı			Z3 Zemin Sınıfı			Z4 Zemin Sınıfı		
Kat No	Kol. No	Düğ. Nok.	d_i (m)	$(\Delta_i)_{maks}$ (m)	$\frac{(\Delta_i)_{maks} R}{h_i}$	d_i (m)	$(\Delta_i)_{maks}$ (m)	$\frac{(\Delta_i)_{maks} R}{h_i}$	d_i (m)	$(\Delta_i)_{maks}$ (m)	$\frac{(\Delta_i)_{maks} R}{h_i}$
1.Kat	S11	1	0.0000	0.0053	0.0120	0.0000	0.0054	0.0122	0.0000	0.0053	0.0121
	S12	2	0.0000	0.0052	0.0119	0.0000	0.0053	0.0121	0.0000	0.0052	0.0119
	S13	3	0.0000	0.0051	0.0118	0.0000	0.0052	0.0119	0.0000	0.0051	0.0117
	S14	4	0.0000	0.0051	0.0116	0.0000	0.0051	0.0117	0.0000	0.0050	0.0114
2.Kat	S21	5	0.0053	0.0089	0.0203	0.0054	0.0088	0.0201	0.0053	0.0088	0.0201
	S22	6	0.0052	0.0088	0.0200	0.0053	0.0087	0.0199	0.0052	0.0086	0.0198
	S23	7	0.0051	0.0087	0.0198	0.0052	0.0086	0.0196	0.0051	0.0085	0.0194
	S24	8	0.0051	0.0086	0.0196	0.0051	0.0084	0.0193	0.0050	0.0083	0.0190
3.Kat	S31	9	0.0141	0.0089	0.0203	0.0142	0.0089	0.0204	0.0141	0.0089	0.0204
	S32	10	0.0140	0.0088	0.0200	0.0140	0.0088	0.0200	0.0139	0.0088	0.0200
	S33	11	0.0138	0.0086	0.0197	0.0138	0.0086	0.0197	0.0136	0.0086	0.0196
	S34	12	0.0137	0.0085	0.0195	0.0136	0.0085	0.0194	0.0133	0.0084	0.0192
4.Kat	S41	13	0.0230	0.0086	0.0196	0.0231	0.0089	0.0204	0.0231	0.0089	0.0204
	S42	14	0.0227	0.0084	0.0193	0.0227	0.0088	0.0200	0.0226	0.0087	0.0199
	S43	15	0.0225	0.0083	0.0190	0.0224	0.0086	0.0197	0.0221	0.0085	0.0195
	S44	16	0.0222	0.0082	0.0187	0.0220	0.0084	0.0193	0.0217	0.0083	0.0191
5.Kat	S51	17	0.0316	0.0073	0.0167	0.0320	0.0084	0.0193	0.0320	0.0088	0.0200
	S52	18	0.0312	0.0072	0.0164	0.0315	0.0083	0.0189	0.0313	0.0086	0.0196
	S53	19	0.0308	0.0071	0.0161	0.0310	0.0081	0.0186	0.0307	0.0084	0.0192
	S54	20	0.0304	0.0069	0.0158	0.0305	0.0080	0.0183	0.0300	0.0082	0.0188
		21	0.0389			0.0404			0.0407		
		22	0.0383			0.0398			0.0399		
		23	0.0378			0.0391			0.0391		
		24	0.0373			0.0385			0.0383		

4.5.4.5 Merkezi Çaprazlı Taşıyıcı Sistemlerde Yatay Yüklerin Dağılımı

Taşıyıcı sistemlerin Y doğrultusunda bulunan ve sadece eksenel yük taşıyan merkezi çaprazlı elamanlar, o doğrultuda etkiyen deprem yüklerinin en çok %70'ini karşılanacak şekilde düzenlenmesi gerekir (DBYBHY-06, Madde 4.6.2). Bu amaca yönelik olarak düşeyde sürekli merkezi çaprazlı elemanlar yatayda iki sıra olacak şekilde yerleştirildi ve boyutlandırıldı.

4.5.5 Profillerin Gerilme Kontrolleri ve Boyutlandırma

Taşıyıcı sistemlerin doğrusal olmayan teoriler çerçevesinde daha gerçekçi incelenebilmesi amacı ile elemanlar limit kesitlerde boyutlandırılmaya çalışıldı. Elemanlarının kesit tesirleri altındaki gerilme oranlarının (kesitteki gerilmenin emniyet gerilmesine oranlarının)

kontrolünde programın emniyet gerilmesi esasına dayalı AISC 89 tasarım modülü kullanıldı.

TS 648'de kullanılan hesap yöntemi ile AISC 89 yönetmeliğindeki aynı olup kullanılan bağıntılar ise birbirine oldukça benzerdir. Yapılan incelemeler aradaki farklılığın sonuca etkisinin ihmal edilebilecek düzeyde olduğunu göstermektedir. Her iki yönetmelikte eksenel basınç ve iki yönlü eğilme etkisindeki yapı elemanlarının gerilme kontrolleri aşağıdaki gibi yapılır (TS 648, Madde 3.4).

Genel kontrol,

$$\frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} + \frac{C_{mx}\sigma_{bx}}{\left(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma'_{ex}}\right)\sigma_{Bx}} + \frac{C_{my}\sigma_{by}}{\left(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma'_{ey}}\right)\sigma_{By}} \leq 1.0 \quad (4.20)$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{0.6\sigma_a} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} + \frac{\sigma_{by}}{\sigma_{By}} \leq 1.0 \quad (4.21)$$

bağıntıları ile yapılır. Eğer

$$\frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} \leq 0.15 \quad (4.22)$$

ise, (4.21) ve (4.22) bağıntıları yerine sadece

$$\frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} + \frac{\sigma_{by}}{\sigma_{By}} \leq 1.0 \quad (4.23)$$

bağıntısı kullanılabilir. Bu bağıntılardaki ifadeler,

σ_{eb} : Sadece eksenel basınç kuvveti etkisi altında hesaplanan gerilme

σ_{bem} : Sadece eksenel basınç kuvveti etkisi altında uygulanacak emniyet gerilmesi

σ_{bx}, σ_{by} : Sadece M_x, M_y eğilme momentleri etkisi altında hesaplanan eğilme basınç gerilmeleri

σ_{Bx}, σ_{By} : Sadece M_x, M_y eğilme momentleri etkisi altında hesaplanan eğilme basınç emniyet gerilmeleri

$\sigma'_{ex}, \sigma'_{ey}$: x-x ve y-y asal eksenleri etrafındaki burkulmalar için hesaplanan gerilmeler

C_{mx}, C_{my} : M_x, M_y , moment diyagramlarını ve hesap yapılan düzleme dik doğrultuda çubuğun tutulma düzenini göz önünde tutan katsayılar dır.

FEMA 356’da çelik yapı elemanlarına ait plastik mafsallık kesitlerinin genelleştirilmiş iç kuvvet-şekil değiştirme ilişkisi ve bu eğri üzerinde tanımlanabilen eleman performans seviyeleri Şekil 4.3’de gösterilmiştir.

Kısmi dayanımlı rijit birleşimlere karşı gelen bu eğri, moment ve moment ile birlikte eksenel kuvvet etkisi altındaki elemanlar için düşünülecek olursa eğri üzerindeki noktalar aşağıdaki gibi açıklanabilir:

- B: Kesitte elastik sınırın aşıldığı ve ilk plastik dönmenin meydana geldiği başka bir deyişle kesit momenti M' ’nin, plastik moment M_p ’e eşit olduğu duruma karşı gelir.
- C: Kesitin pekleşmesi sebebi ile plastik moment dayanımındaki en büyük değerdir. B-C arasındaki pekleşme bölgesindeki eğim elastik bölgedeki (A-B arasındaki) eğimin %3’ü olarak kabul edilmiştir.
- D: Kesitte artık dayanımının olması durumuna karşı gelir.
- E: Kesitin göçmesi durumuna karşılık gelir. Bu noktadaki dönme değeri elastik ve plastik dönmelerin toplamı olarak kesitin dönme kapasitesini belirtir.

Eğri üzerinde tanımlı a, b ve c parametreleri ile eleman performans seviyeleri, kolon ve kiriş kesitlerinin narinlik oranlarına bağlı olarak, *akma dönmesi* θ_y cinsinden Çizelge 4.4’de verilmiştir (FEMA 356, Tablo 5.6).

Çizelgede,

b_f : Kesitin basınç başlığının genişliği

b_t : Kesitin basınç başlığının kalınlığı

h : Kesitin gövde yüksekliği

t_w : Kesitin gövde kalınlığı

P : Düşey yükler (G+Q) altında kolon kesitindeki eksenel kuvvet

P_{CL} : Azaltılmış sabit yükler (0.9G) altında kolon kesitindeki eksenel kuvvet

_3: plastik dönme= $11(1-1.7N/N_p)\theta_y$

_4: plastik dönme= $17(1-1.7N/N_p)\theta_y$

_5: plastik dönme= $8(1-1.7N/N_p)\theta_y$

_6: plastik dönme= $14(1-1.7N/N_p)\theta_y$ dir.

Çizelge 4.4 Plastik mafsalların modelleme parametreleri ve kabul edilen plastik şekil değiştirme kapasiteleri

Elemanlar	Modelleme Parametreleri			Kabul Edilen Kriterler				
	Plastik Dönme Açısı (Radyan)		Artık Gerilme Oranı	Plastik Dönme Açısı (Radyan)				
				HK	Birincil elemanlar		İkincil elemanlar	
	a	b	c			CG	GÖ	CG
Kiriş-Eğilme								
$\frac{b_f}{2t_f} \leq \frac{52}{\sqrt{F_{ye}}}$ ve $\frac{b_f}{2t_f} \leq \frac{418}{\sqrt{F_{ye}}}$	90y	110y	0.6	10y	60y	80y	90y	110y
$\frac{b_f}{2t_f} \leq \frac{65}{\sqrt{F_{ye}}}$ veya $\frac{b_f}{2t_f} \leq \frac{640}{\sqrt{F_{ye}}}$	40y	60y	0.2	0.250y	20y	30y	30y	40y
Diğer	Hem gövde hemde başlık narinliği yukarıdaki iki satır arasında lineer interpolasyon yapılarak hesaplanmalı, küçük olan değer kullanılmalıdır.							
Kolon-Eğilme								
P/P _{CL} <0.20 için								
$\frac{b_f}{2t_f} \leq \frac{52}{\sqrt{F_{ye}}}$ ve $\frac{b_f}{2t_f} \leq \frac{300}{\sqrt{F_{ye}}}$	90y	110y	0.6	10y	60y	80y	90y	110y
$\frac{b_f}{2t_f} \leq \frac{65}{\sqrt{F_{ye}}}$ veya $\frac{b_f}{2t_f} \leq \frac{460}{\sqrt{F_{ye}}}$	40y	60y	0.2	0.250y	20y	30y	30y	40y
Diğer	Hem gövde hemde başlık narinliği yukarıdaki iki satır arasında lineer interpolasyon yapılarak hesaplanmalı, küçük olan değer kullanılmalıdır.							
0.20<P/P _{CL} <0.50 için								
$\frac{b_f}{2t_f} \leq \frac{52}{\sqrt{F_{ye}}}$ ve $\frac{b_f}{2t_f} \leq \frac{260}{\sqrt{F_{ye}}}$	_3	_4	0.2	0.250y	_5	_3	_6	_4
$\frac{b_f}{2t_f} \leq \frac{65}{\sqrt{F_{ye}}}$ veya $\frac{b_f}{2t_f} \leq \frac{400}{\sqrt{F_{ye}}}$	10y	1.50y	0.2	0.250y	0.50y	0.80y	1.20y	1.20y
Diğer	Hem gövde hemde başlık narinliği yukarıdaki iki satır arasında lineer interpolasyon yapılarak hesaplanmalı, küçük olan değer kullanılmalıdır.							

$$\theta_y = \frac{ZF_{ye}I_b}{6EI_b} \quad (4.24)$$

$$\theta_y = \frac{ZF_{ye}I_c}{6EI_c} \left(1 - \frac{P}{P_{ye}}\right) \quad (4.25)$$

Akma dönmesi θ_y ise, kolon ve kiriş kesitlerinin özelliklerine bağlı olarak (4.24) ve (4.25) bağıntıları ile hesaplanır (FEMA 356, Madde 5.5.2.2.2).

Bu bağıntılarda,

Z: Deprem yönüne göre belirlenen plastik mukavemet momenti

F_{ye} : Çelik akma dayanımı

L_b : Kiriş boyu

L_c : Kolon boyu

P_{ye} : Kolonun eksenel kuvvet dayanımıdır.

Taşıyıcı sistemler üzerinde plastik mafsallar, kolon kiriş birleşim bölgesinin hemen dışına diğer bir deyişle kolon veya kirişlerin net açıklıklarının uçlarına konularak idealleştirildi. Kolonlarda eksenel kuvvetle kesitin güçlü ve zayıf eksenleri etrafındaki eğilme momentlerinin birbirleri arasındaki etkileşime izin veren PM_xM_y tipi plastik mafsalları atandı. Kirişlerde ise sadece güçlü eksen etrafındaki eğilme momentinden dolayı oluşan M_x tipi plastik mafsalları atandı. Sadece X doğrultusunda itme analizi uygulandığından düşey çapraz elemanlara ve çerçeve kirişlerine mafsallı bağlanan döşeme kirişlerine plastik mafsalları tanımlanmadı.

Çizelge 4.5 Performans noktasına karşı gelen görelî kat ötelemesi oranları

Görelî Kat Ötelemesi Etkin Tasarım							
	Kat No	Düğ. Nok.	d_i (m)	$(\delta_i)_{maks}$ (m)	$\frac{(\delta_i)_{maks}}{h_i}$	Performans Seviyesi	Performans Aralığı
Z2 Zemin Sınıfı	1	1	0.0000	0.0347	0.0099	CG	HK-CG
	2	2	0.0347	0.0685	0.0196	CG	HK-CG
	3	3	0.1032	0.0767	0.0219	GÖ	CG-GÖ
	4	4	0.1800	0.0718	0.0205	GÖ	CG-GÖ
	5	5	0.2518	0.0542	0.0155	CG	HK-CG
		6	0.3060				
Z3 Zemin Sınıfı	1	1	0.0000	0.0324	0.0093	CG	HK-CG
	2	2	0.0324	0.0631	0.0180	CG	HK-CG
	3	3	0.0955	0.0726	0.0207	GÖ	CG-GÖ
	4	4	0.1681	0.0742	0.0212	GÖ	CG-GÖ
	5	5	0.2423	0.0677	0.0193	CG	HK-CG
		6	0.3100				
Z4 Zemin Sınıfı	1	1	0.0000	0.0346	0.0099	CG	HK-CG
	2	2	0.0346	0.0642	0.0184	CG	HK-CG
	3	3	0.0988	0.0720	0.0206	GÖ	CG-GÖ
	4	4	0.1708	0.0702	0.0201	GÖ	CG-GÖ
	5	5	0.2410	0.0610	0.0174	CG	HK-CG
		6	0.3020				
Görelî Kat Ötelemesi Etkin Olmayan Tasarım							
	Kat No	Düğ. Nok.	d_i (m)	$(\delta_i)_{maks}$ (m)	$\frac{(\delta_i)_{maks}}{h_i}$	Performans Seviyesi	Performans Aralığı
Z2 Zemin Sınıfı	1	1	0.0000	0.0358	0.0102	CG	HK-CG
	2	2	0.0358	0.0728	0.0208	GÖ	CG-GÖ
	3	3	0.1086	0.0841	0.0240	GÖ	CG-GÖ
	4	4	0.1927	0.0756	0.0216	GÖ	CG-GÖ
	5	5	0.2683	0.0537	0.0154	CG	HK-CG
		6	0.3220				
Z3 Zemin Sınıfı	1	1	0.0000	0.0378	0.0108	CG	HK-CG
	2	2	0.0378	0.0813	0.0232	GÖ	CG-GÖ
	3	3	0.1191	0.1036	0.0296	GÖ	CG-GÖ
	4	4	0.2226	0.1058	0.0302	G	
	5	5	0.3285	0.0875	0.0250	GÖ	CG-GÖ
		6	0.4160				
Z4 Zemin Sınıfı	1	1	0.0000	0.0628	0.0180	CG	HK-CG
	2	2	0.0628	0.1078	0.0308	G	
	3	3	0.1706	0.1201	0.0343	G	
	4	4	0.2908	0.1093	0.0312	G	
	5	5	0.4001	0.0819	0.0234	GÖ	CG-GÖ
		6	0.4820				

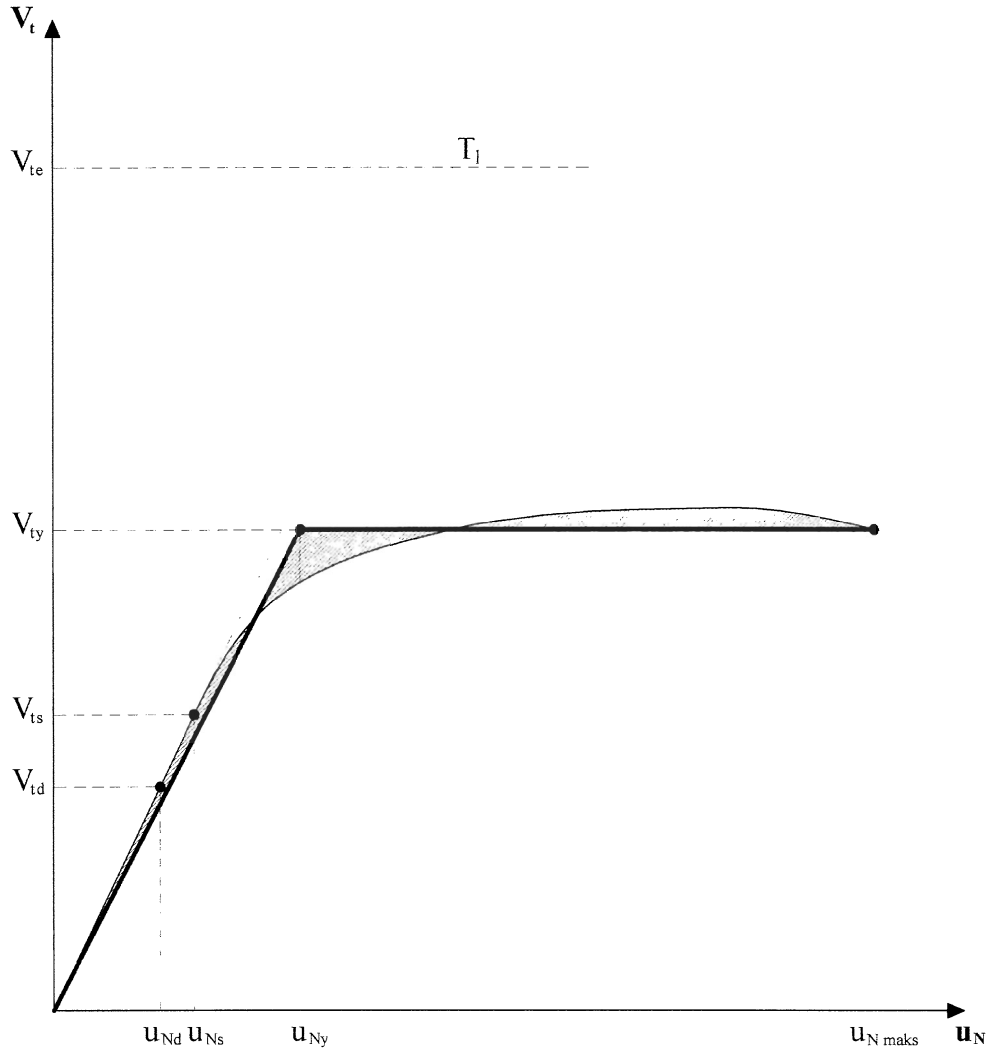
4.6.2 Taşıyıcı Sistemlerin ve Yapı Elemanlarının Performans Değerlendirmesi

Taşıyıcı sistemlerin artımsal itme analizleri neticesinde kapasite eğrilerinin elde edilmesi ve bu eğriler üzerinde performans noktalarının belirlenmesi, Bölüm 3’de verilen kurallar çerçevesinde yapıldı. Elde edilen performans noktasına göre sistemlerin bütününe ait performans seviyesi, Çizelge 3.1’de görelî kat ötelemeleri cinsinden verilen değerlere göre, yapı elemanlarının performans seviyeleri ise Çizelge 4.4’de ifade edildiği gibi belirlendi.

Her bir sistemin performans noktasındaki görelî kat ötelemeleri ile elemanların plastik mafsâl dönmeleri, programın bu noktaya karşı gelen hesap adımına ait değerlerdir. Taşıyıcı sistemlerin yer değiştirmeler cinsinden performans seviyeleri Çizelge 4.5’de verilmiştir. Döşemelerin rijit diyafram hareketi yapması sebebi ile tablodaki değerler kat döşemeleri üzerindeki herhangi bir noktayı belirtmektedir. Yapı elemanlarının performans seviyeleri de Ek 3’de verilmiştir. Kapasite eğrileri üzerinde performans noktasının belirlenmesi ve bu noktaya ait değerler ise Ek 4’de verilmiştir.

4.6.3 Doğrusal Olmayan Davranışa İlişkin Parametrelerin Hesaplanması

Doğrusal olmayan davranışa ilişkin parametrelerin hesaplanmasında her bir taşıyıcı sistem için oluşturulan kapasite eğrilerinden yararlanıldı. Bu parametrelerin hesaplanmasında kapasite eğrileri, eğrinin altında ve üstünde kalan alanların eşit olması kuralına göre iki doğrulu bir eğriye dönüştürülerek idealize edildi. Yapı elemanlarında veya sistemde stabilite kaybı olmadan taşınabilecek limit yük, göçme yükü ve bu yükün kapasite eğrisi üzerindeki yeri de göçme noktası olarak tanımlandı. Aynı düzlemde gösterilen idealize edilmiş ve gerçek kapasite eğrileri üzerinde belirlenen göçme noktasına göre yapı süneklik oranı, yapı rezerv katsayısı ve yapı davranış katsayısı (taşıyıcı sistem davranış katsayısı); performans noktasına göre de süneklik oranı hesaplandı. Göçme noktası esas alınarak yapı davranış katsayısının hesaplanmasına ilişkin yöntem Şekil 4.4’ de açıklanmış ve kullanılan bağıntılar aşağıda verilmiştir. Emniyet gerilmesi esaslı boyutlandırma için yapı davranış katsayısının belirlenmesinde kullanılan bu yöntem ATC 19’dan uyarlanmıştır.



Şekil 4.4 Yapı davranış katsayısının hesaplanması

Süneklik oranı (μ): Toplam yer değiştirmelerin doğrusal yer değiştirmelere oranıdır.

$$\mu = \frac{u_{Nmaks}}{u_{Ny}} \quad (4.26)$$

Yapı rezerv katsayısı (Ω): Göçme yükünün tasarım yatay yüküne oranıdır.

$$\Omega = \frac{V_{ty}}{V_{ts}} \quad (4.27)$$

Emniyet gerilmesi faktörü (Y):

$$Y = \frac{V_{ts}}{V_{td}} \quad (4.28)$$

Yapı davranış katsayısı (R):

$$R = \frac{V_{te}}{V_{td}} = Y\mu\Omega \quad (4.29)$$

Yapı davranış katsayısının hesaplanmasında kullanılan emniyet gerilmesi faktörü için ABD’de kullanılan değeri olan 1.5 alındı. Taşıyıcı sistemlerin doğrusal olmayan davranışa ilişkin parametrelerinin değerleri Ek 4’de gösterilmiştir.

5. SONUÇLAR

Ülkemizdeki yönetmelik ve standartlarda yer alan, malzemenin doğrusal davranışı esasına dayalı yöntemlere göre tasarlanan çelik yapıların, deprem etkileri altındaki performansının belirlenmesi ve doğrusal olmayan davranışının incelenmesi üzerine yapılan çalışmanın sayısal uygulamalarından elde edilen sonuçlar aşağıda açıklanmıştır.

Farklı parametreler dikkate alınarak üç boyutlu analiz ve boyutlandırması yapılan yapının taşıyıcı sisteminde sadece deprem yüklerinin tamamının çerçevelerle taşındığı doğrultuda doğrusal olmayan davranışı incelendiğinden çalışmanın sayısal verilerinden elde edilen sonuçlar çok katlı sünek çerçeve sistemleri için genelleştirilebilir.

- 1) Bütün taşıyıcı sistemlerde, yapı elemanlarında ilk plastik kesitler yatay işletme yükünden sonra oluşmaktadır. Bu sonuç, sistemlerin işletme yükleri altında yönetmeliklerin öngördüğü şekilde elastik davrandığını göstermektedir.
- 2) Zemin sınıfı Z2 den Z4'e doğru gittikçe, ardışık iki kat arasındaki yer değiştirme farkını ifade eden görelî kat ötelemelerinin taşıyıcı sistem içindeki değerleri artmakta ve buna bağlı olarak, bu parametrenin boyutlandırmaya olan etkisi dikkate alınan diğer tasarım kurallarına göre daha baskın hale gelmektedir.
- 3) Z3 ve Z4 zemin sınıflarının özellikleri dikkate alınarak analiz edilen taşıyıcı sistemlerde sadece görelî kat ötelemesi koşulunu dikkate alarak boyutlandırma yapmak, elemanların gerilme kontrollerini ve diğer tasarım kurallarını büyük ölçüde kapsamaktadır. Bu nedenle, büyük zemin sınıflarında, döşemeleri rijit diyafram hareketi yapan çerçeve türü sistemlerde bu tasarım kuralının uygulanmasının oldukça zor olduğu sonucuna varılabilir.
- 4) Can güvenliği performans seviyesini amaçlayan DBYBHY-06'a göre tasarlanan ve TS 648'e göre boyutlandırılan taşıyıcı sistemlerin, yer değiştirme kriteri esas alınarak belirlenen performans seviyeleri beklenildiği gibi, plastik mafsallardaki dönmeler esas alınarak belirlenen performans seviyeleri ise beklenildiğinden iyi sonuçlar vermektedir.
- 5) Zemin sınıfı Z2 den Z4'e doğru gittikçe tüm taşıyıcı sistemlerde plastik mafsallardaki dönmeler esas alınarak belirlenen yapı performansında azalma meydana gelmektedir.
- 6) Zemin sınıfı Z2 den Z4'e doğru gittikçe öteleme sınırlandırması dikkate alınmamış sistemlerde, özellikle yer değiştirmeler cinsinden belirlenen performans değerleri daha elverişsiz sonuçlar vermektedir. Ötelemeler dikkate alınmış sistemlerde ise, bu kritere göre belirlenen performans değerlerinde genel olarak daha olumlu sonuçlar ortaya çıkmakta ve doğrusal analiz neticesinde elde edilen öteleme oranlarına yaklaşılmaktadır. Bu sonuca göre, doğrusal teoriye dayalı tasarımların taşıyıcı sistemlerin görelî kat

ötelemelerini tahmin etmekte başarılı olduğu söylenebilir.

- 7) Taşıyıcı sistemler zemin sınıfının özellikleri göz önüne alacak şekilde aynı R katsayısı ile boyutlandırılmasına rağmen zemin sınıfı Z2 den Z4'e doğru gittikçe 8 olarak tanımlanan R katsayısı azalmaktadır. Taşıyıcı sistemlerin karakteristik özelliğinden dolayı yapı davranış katsayısı deprem yükü azaltma katsayısına eşit olmakta ve bu sonuç, zemin sınıfı arttıkça sistemlere etki eden deprem yüklerinin beklenenden fazla olduğunu göstermektedir. Özellikle öteleme sınırlandırılmış sistemlerde bu artma daha fazla olmakta ve Z4 zemin sınıfı için %30'a kadar çıkmaktadır.
- 8) Öteleme sınırlandırılmış sistemlerde performans noktasında belirlenen doğrusal olmayan yer değiştirme değeri ve bu noktaya göre hesaplanan süneklik oranı birbirine yakın değerler almaktadır. Bu sonuca göre, deprem isteminin yapı tepkisine eşit olduğu yer olarak tanımlanan performans noktasında taşıyıcı sistemler yer değiştirmeler açısından benzer davranış gösterdiği söylenebilir. Öteleme sınırlandırması dikkate alınmamış sistemlerde ise, zemin sınıfı arttıkça doğrusal olmayan yer değiştirme istemi ve süneklik oranı artmaktadır. Özellikle Z4 zemin sınıfı için yer değiştirme istemi göçme noktasına yakın bir yerde oluşmakta ve bunun bir sonucu olarak da bu noktaya göre belirlenen görelî kat ötelemesi oranları göçme durumuna karşı gelmektedir.
- 9) Zemin sınıfı arttıkça öteleme sınırlandırması dikkate alınmış sistemlerde, göçme noktası esas alınarak belirlenen doğrusal olmayan yer değiştirme değeri ve süneklik oranı azalmaktadır.

KAYNAKLAR

AISC-ASD, (1989), “Manual of Steel Construction, Allowable Stres Design”, 9th Edition, American Institute of Steel Construction, Chicago.

ATC 40, (1996) “Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings”, Applied Technology Council, California.

ATC 19, (1995) “Structural Response Modification Factors”, Applied Technology Council, California.

Celep Z., Kumbasar N., (2004) “Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı”, Beta Dağıtım, İstanbul.

Çakıroğlu A., Özden E., Özmen G., (1992), “Yapı Sistemlerinin Hesabı İçin Matris Metotları ve Elektronik Hesap Makinesi Programları, Cilt 1, 2”, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.

Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, (2006) “ Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.

FEMA 356, (2000) “Prestand and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings”, Federal Emergency Management Agency, Washington.

Ghobarah A., (2001) “Rerformance-Based Desing in Earthquake Engineering: State of Developmet” McMaster Universty, Hamilton, Canada

Özer E., (2004) “Yapı Sistemlerinin Lineer Olmayan Analizi Ders Notları”, www.ins.itu.edu.tr/eozer, İstanbul.

SAP2000 Advanced 9.0.3, (2004), “Three Dimensional Static and Dynamic Finete Element Analysis and Design of Structures, Structural and Engineering Software, Computer and Structures Inc., Berkeley, California.

TS 498, (1997) “Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

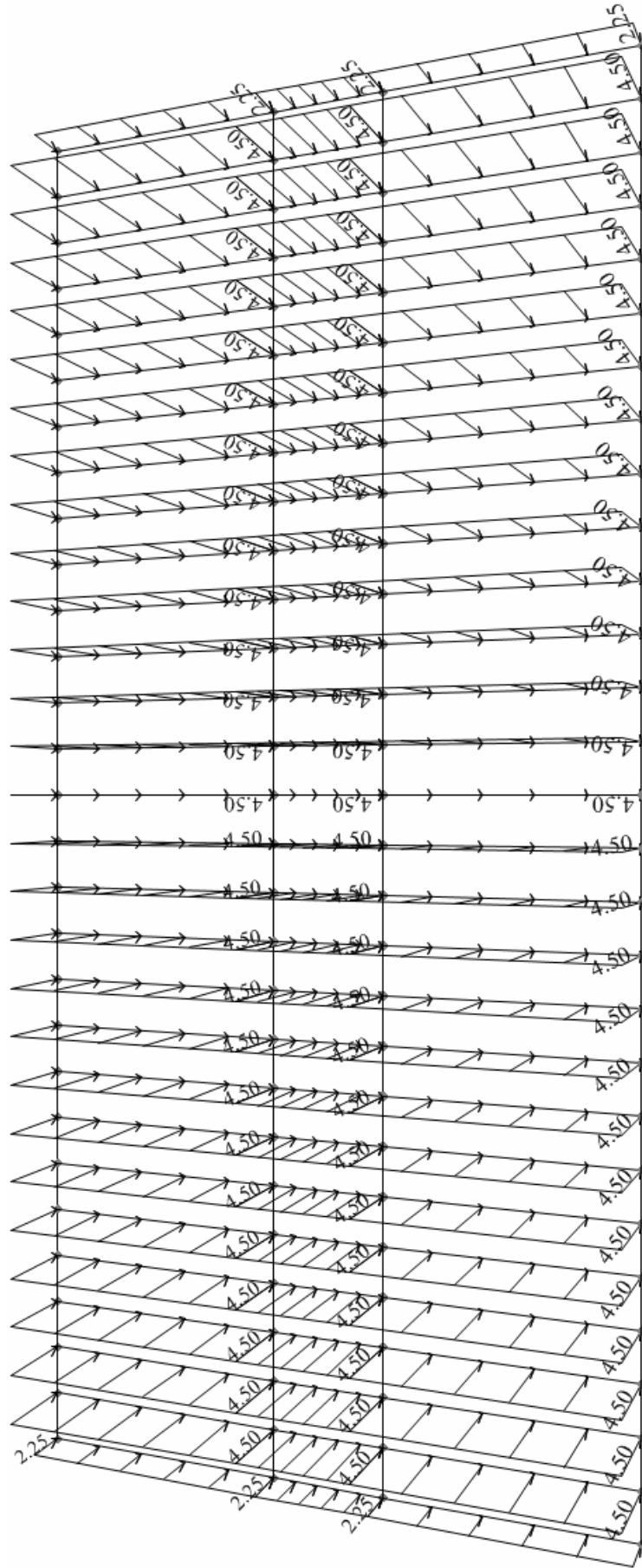
TS 648, (1980) “Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS 4561, (1985) “Çelik Yapıların Plastik Teoriye Göre Hesap Kuralları”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

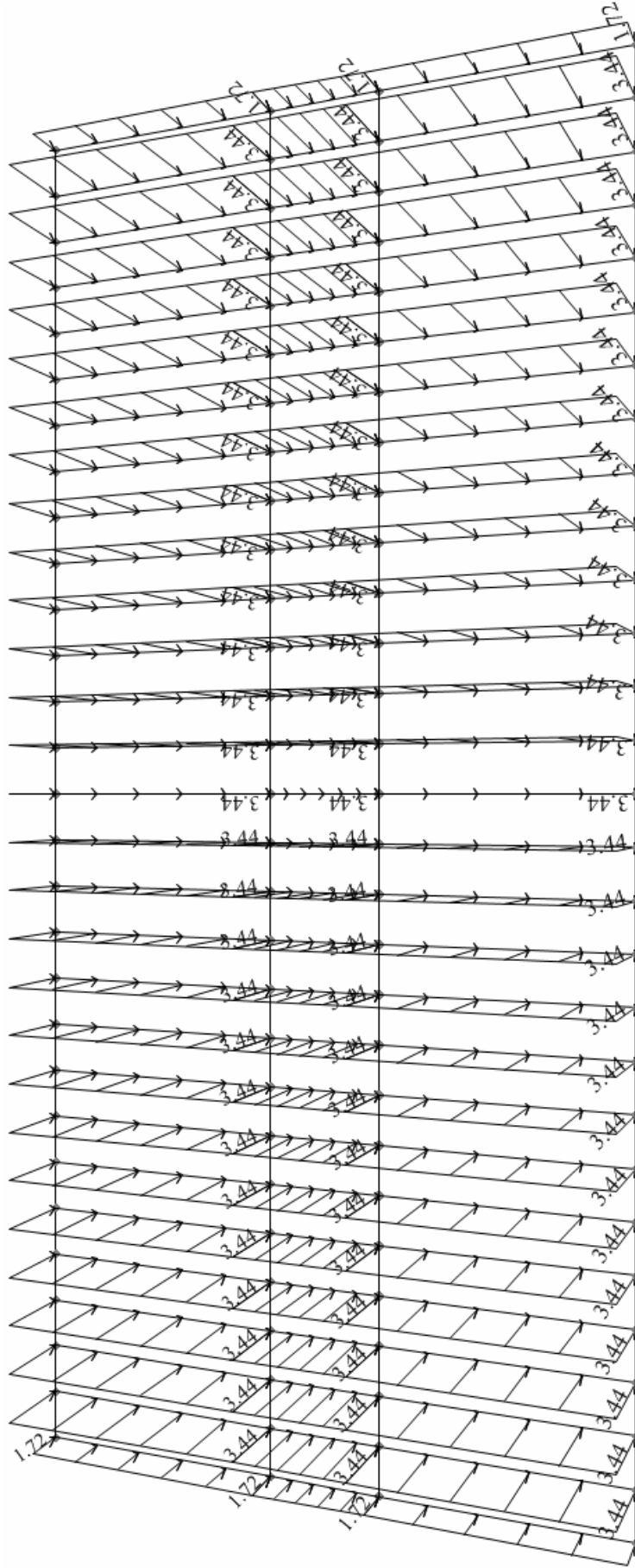
EKLER

- Ek 1 Yapıya etki eden yüklerinin taşıyıcı sistem üzerindeki dağılımı
- Ek 2 Yapı elemanlarının profil sınıfları ve gerilme oranları
- Ek 3 Yapı elemanlarının performans seviyeleri
- Ek 4 Performans noktaları ve doğrusal olmayan davranışa ilişkin parametrelerin değerleri

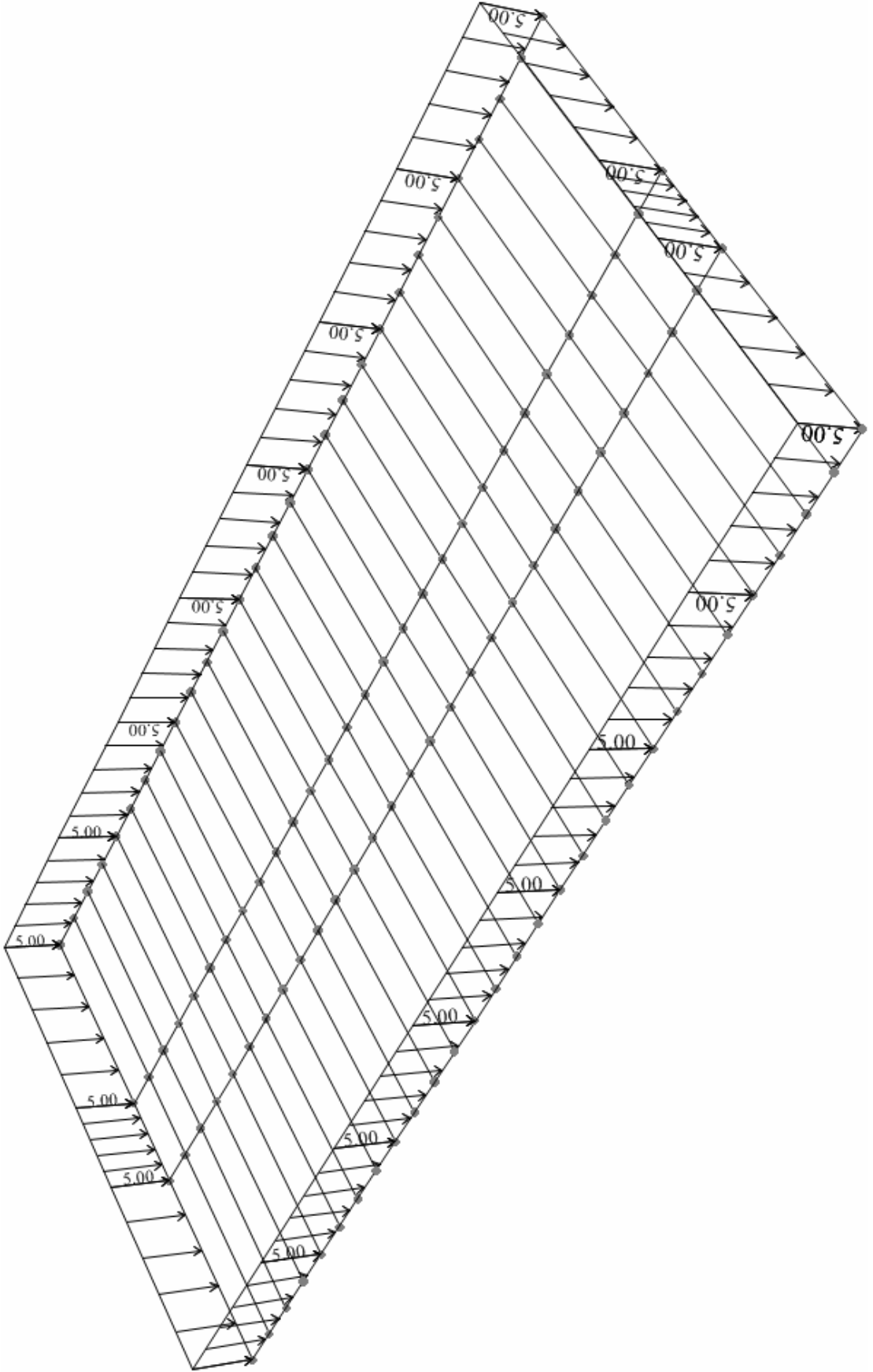
Ek 1 Yapıya etki eden yüklerinin taşıyıcı sistem üzerindeki dağılımı



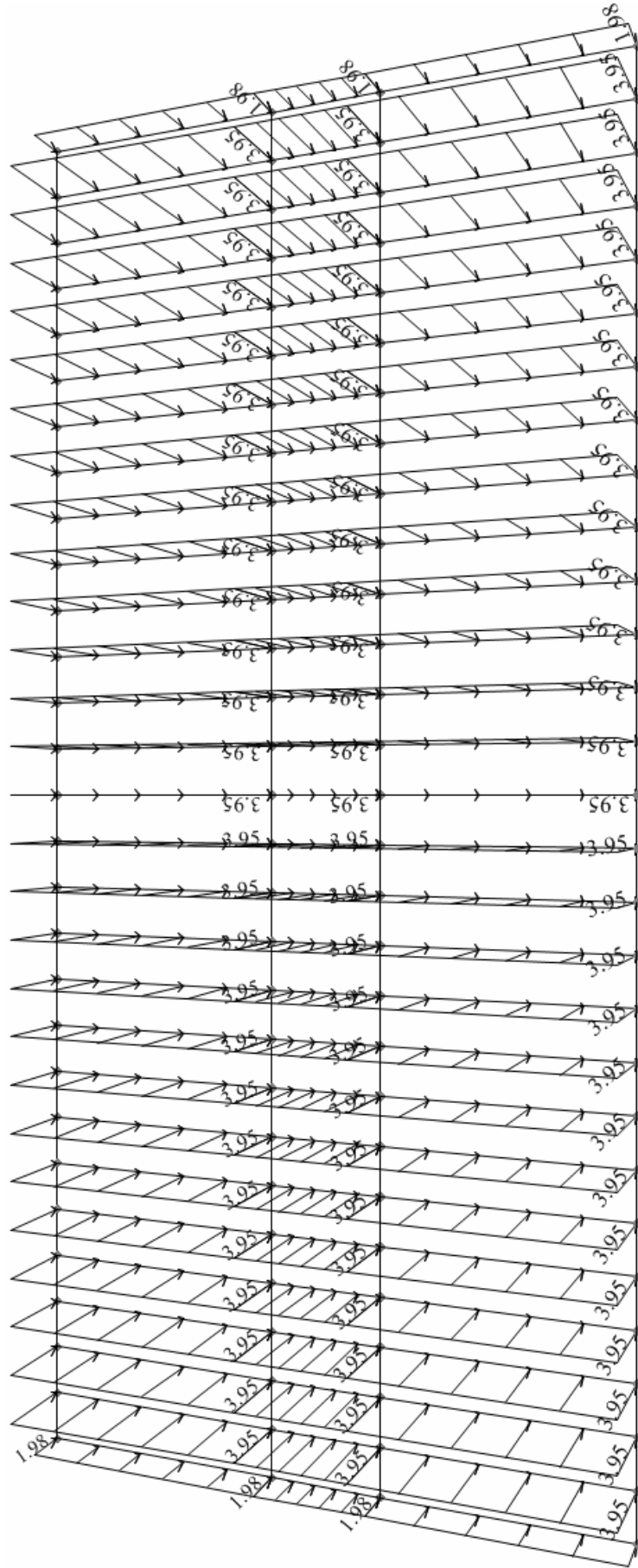
Şekil Ek 1.1 Çatı katı için döşeme üzerindeki sabit yükler



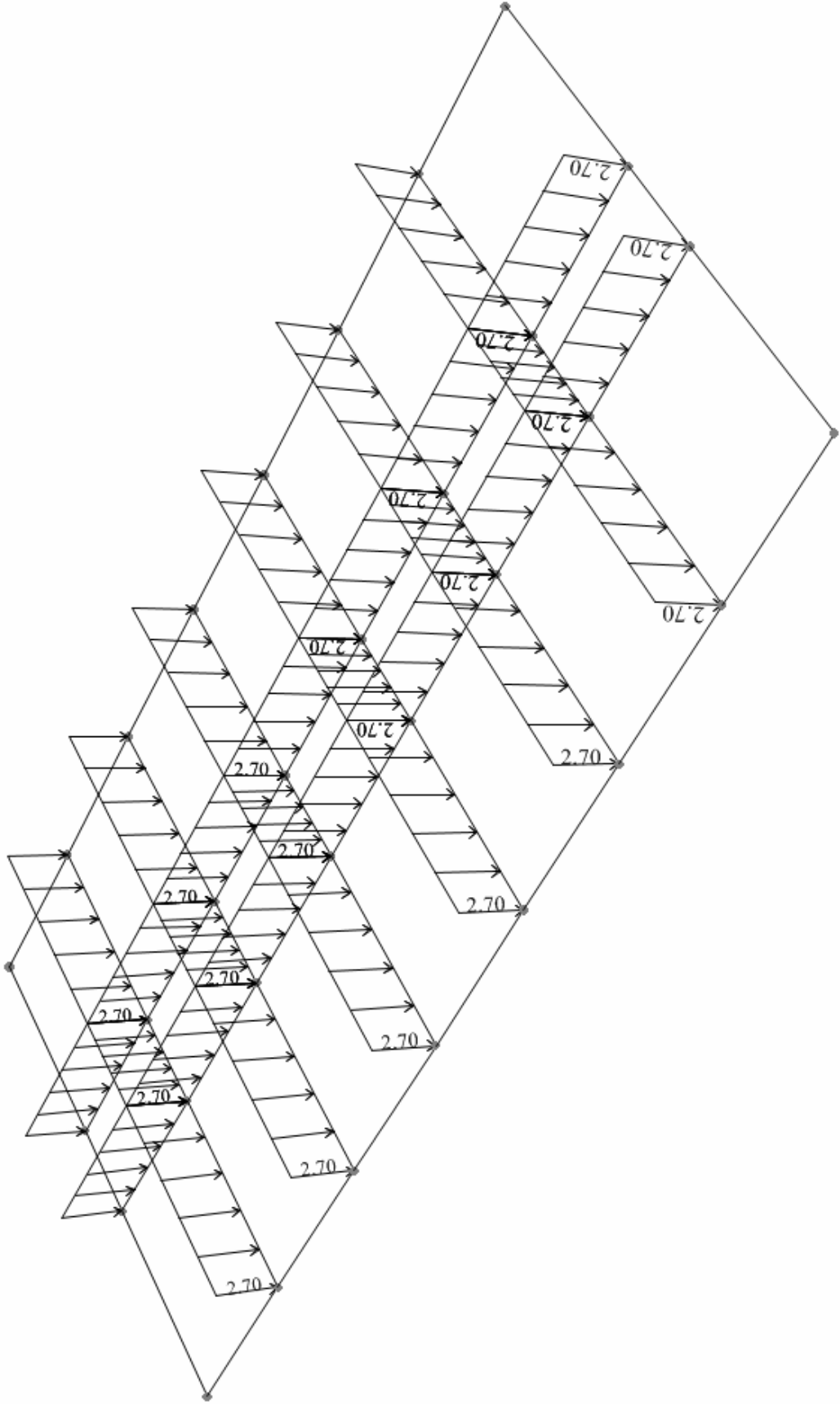
Şekil Ek 1.2 Çatı katı için döşeme üzerindeki hareketli yükler



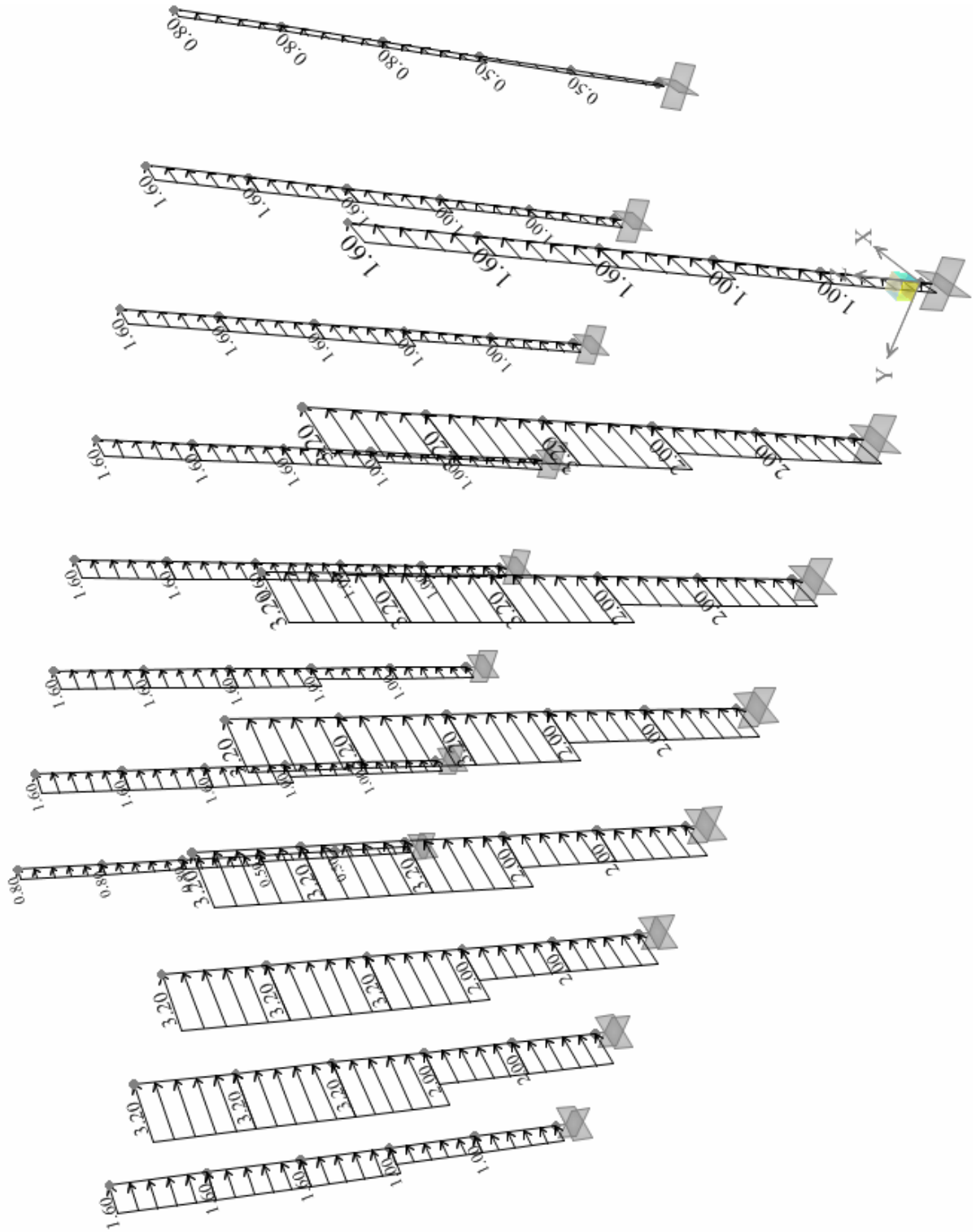
Şekil Ek 1.3 Çatı katı için dış akslardaki parapet duvar yükü



Şekil Ek 1.4 Normal katlar için döşeme üzerindeki sabit yükler



Şekil Ek 1.6 Normal katlar için çerçeve kirişleri üzerindeki duvar yükleri



Şekil Ek 1.7 X doğrultusunda etki eden rüzgar yükleri

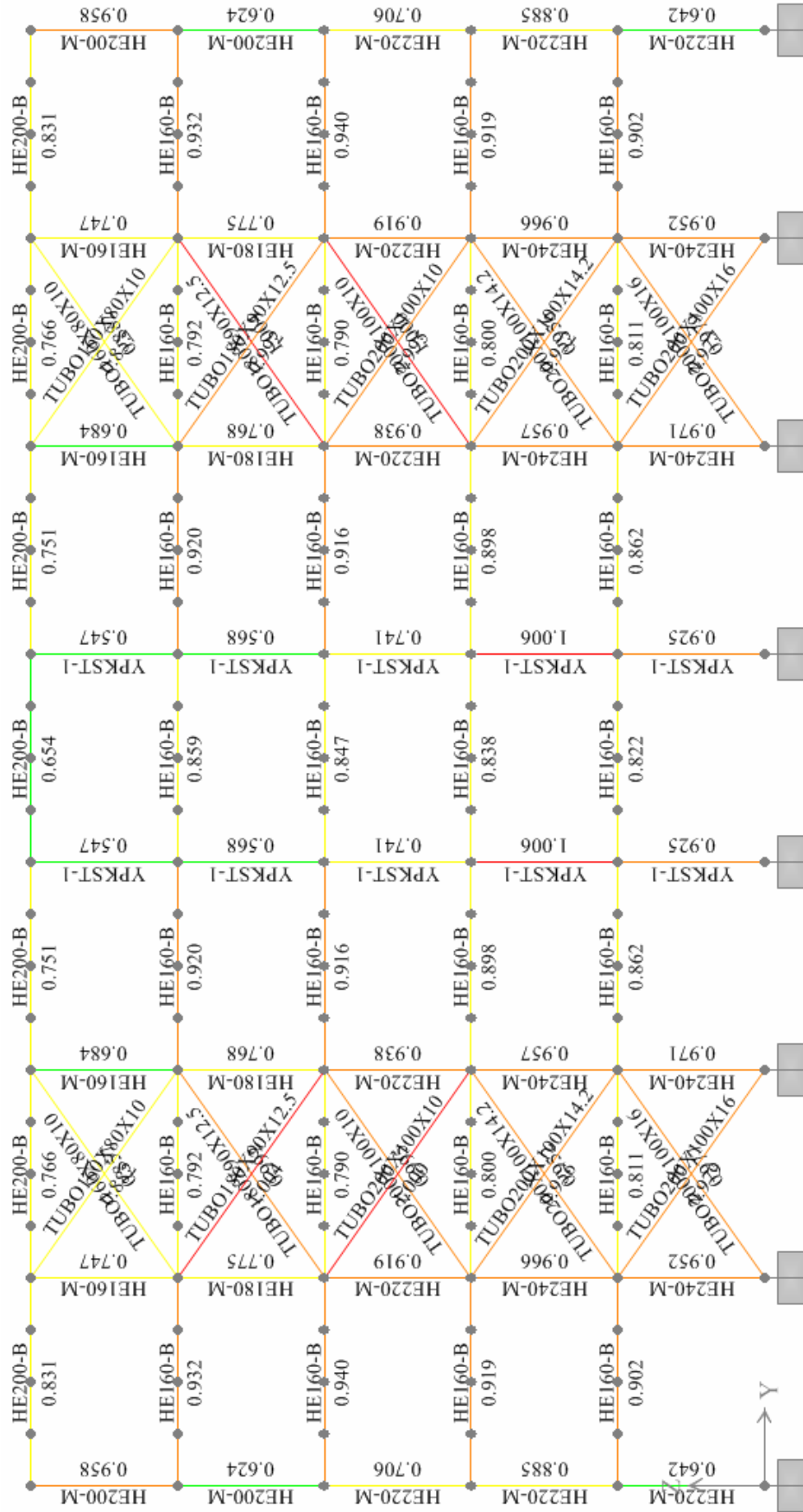


Şekil Ek 1.8 Y doğrultusunda etki eden rüzgar yükleri

Ek 2 Yapı elemanlarının profil sınıfları ve gerilme oranları

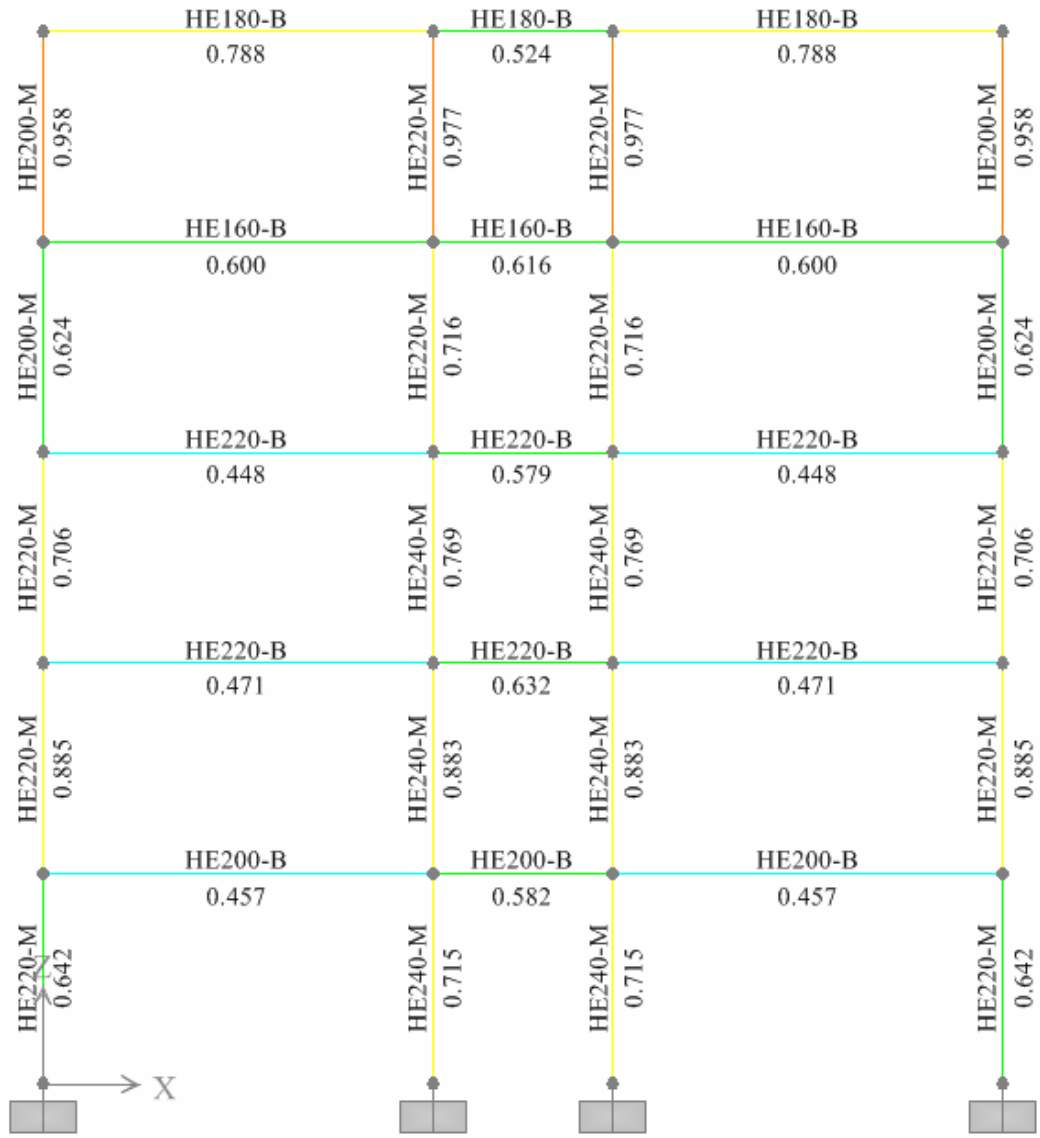
Çizelge Ek 2 Yapma kesitlerin karakteristik özellikleri

	Başlık genişliği	Gövde yüksekliği	Başlık kalınlığı	Gövde kalınlığı	Kesit alanı
	b (m)	h (m)	t (m)	t_w (m)	A (m²)
YPKST-1	0.2400	0.2140	0.0200	0.0150	0.0116
YPKST-2	0.2700	0.2600	0.0250	0.0100	0.0152

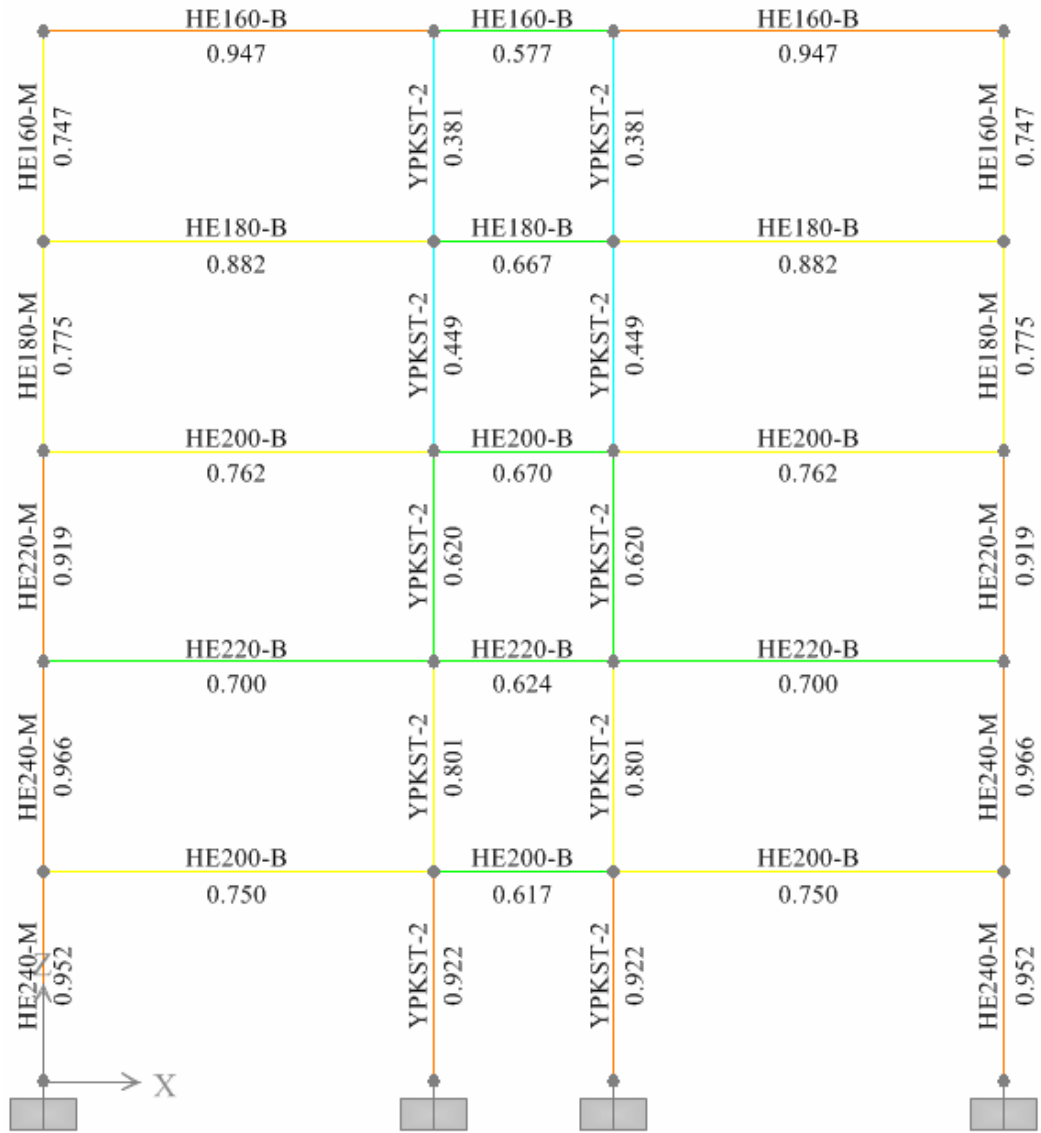


Şekil Ek 2.1 Z2 zemin sınıfı için görelî kat ötelemesi etkin tasarıma ait yapı elemanlarının profil sınıfları ve gerilme oranları (X=0 ve X=16)

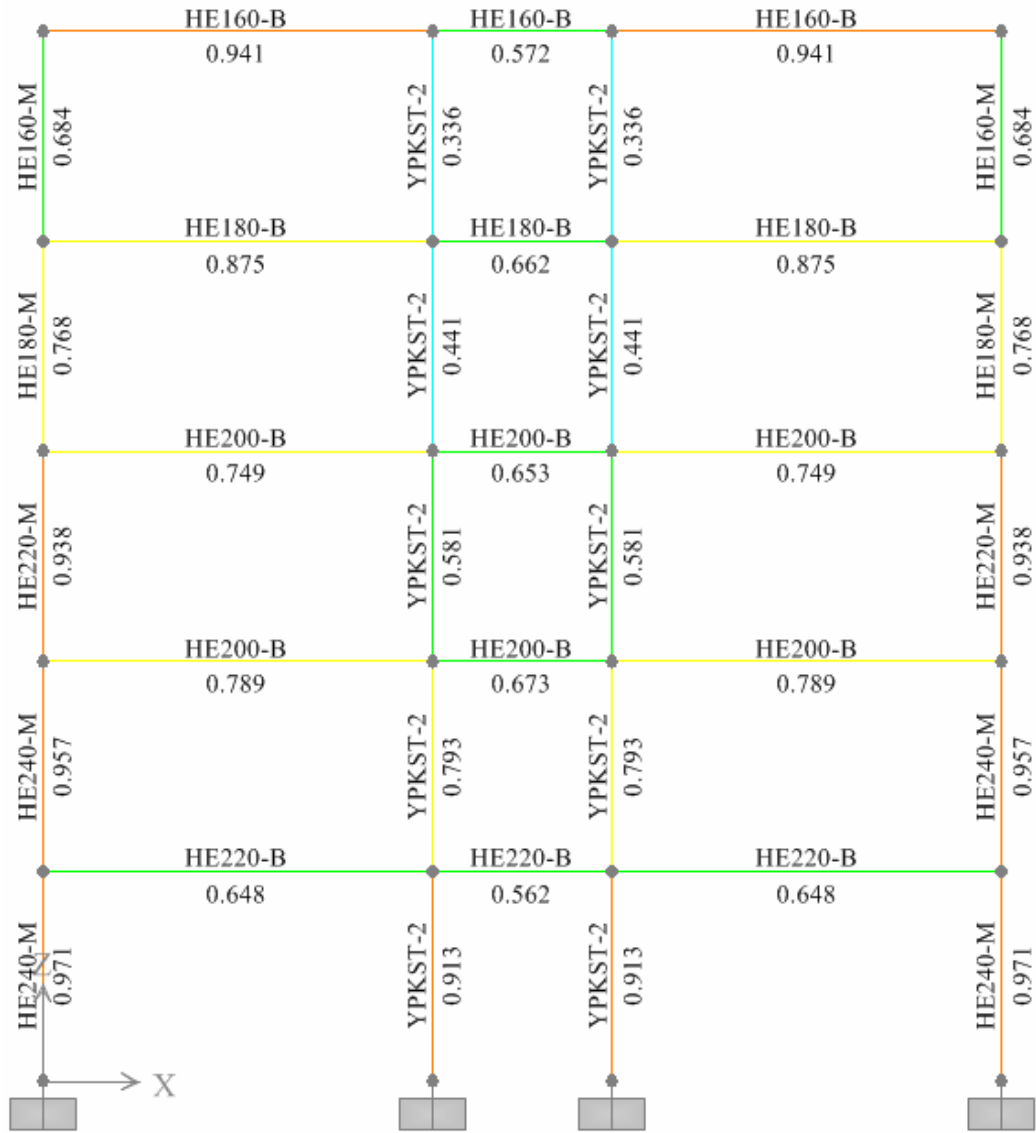
Şekil Ek 2.2 Z2 zemin sınıfı için göreceli kat ötelemesi etkin tasarıma ait yapı elemanlarının profil sınıfları ve gerilme oranları ($X=6.5$ ve $X=9.5$)



Şekil Ek 2.3 Z2 zemin sınıfı için görelî kat ötelemesi etkin tasarıma ait yapı elemanlarının profil sınıfları ve gerilme oranları (Y=0)



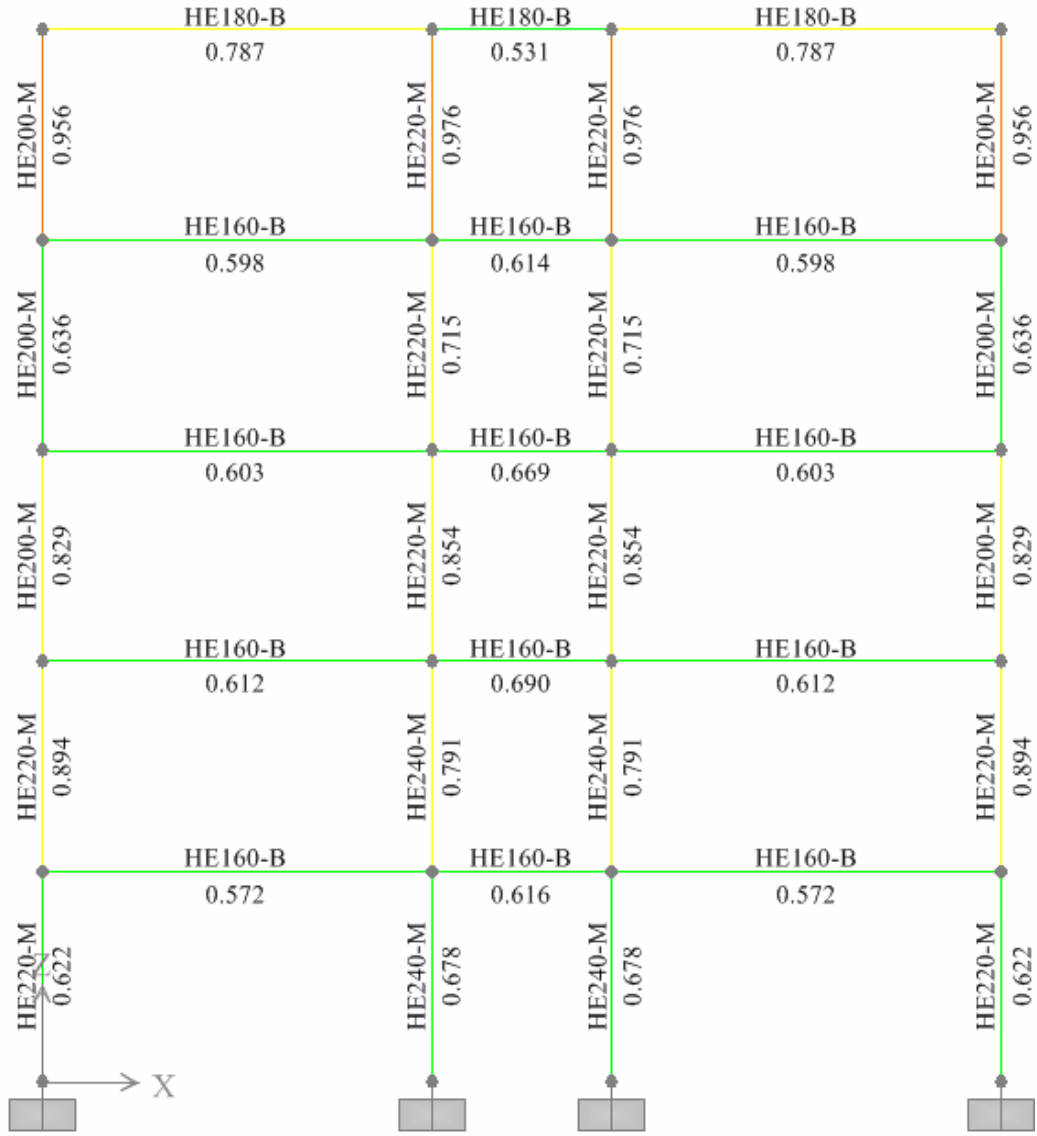
Şekil Ek 2.4 Z2 zemin sınıfı için görece kat ötelemesi etkin tasarıma ait yapı elemanlarının profil sınıfları ve gerilme oranları (Y=5)



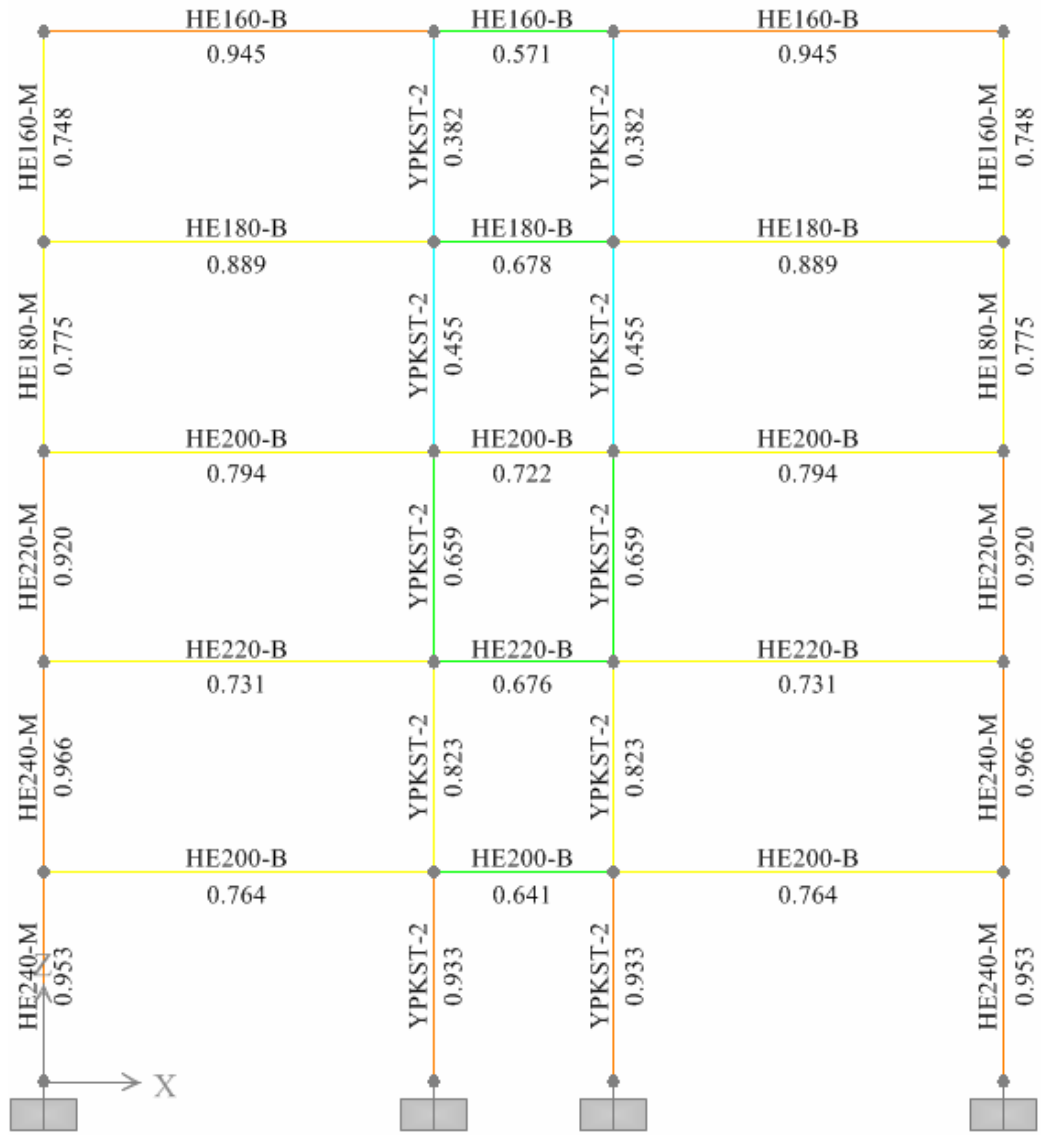
Şekil Ek 2.5 Z2 zemin sınıfı için göreceli kat ötelemesi etkin tasarıma ait yapı elemanlarının profil sınıfları ve gerilme oranları (Y=10)

Υ

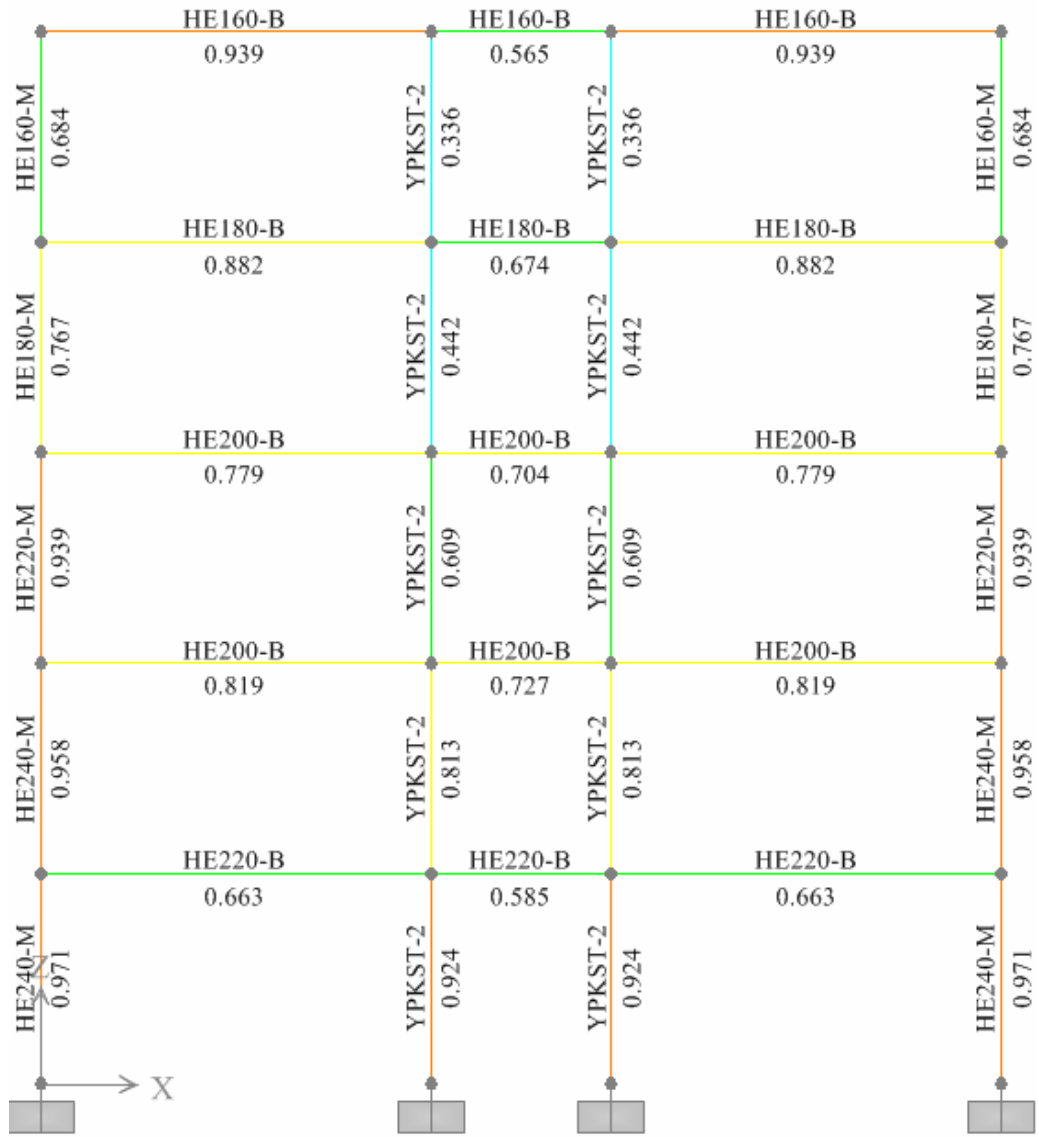
$$\begin{array}{c} \Upsilon \\ \uparrow \end{array}$$



Şekil Ek 2.8 Z2 zemin sınıfı için görelî kat ötelemesi etkin olmayan tasarıma ait yapı elemanlarının profil sınıfları ve gerilme oranları (Y=0)

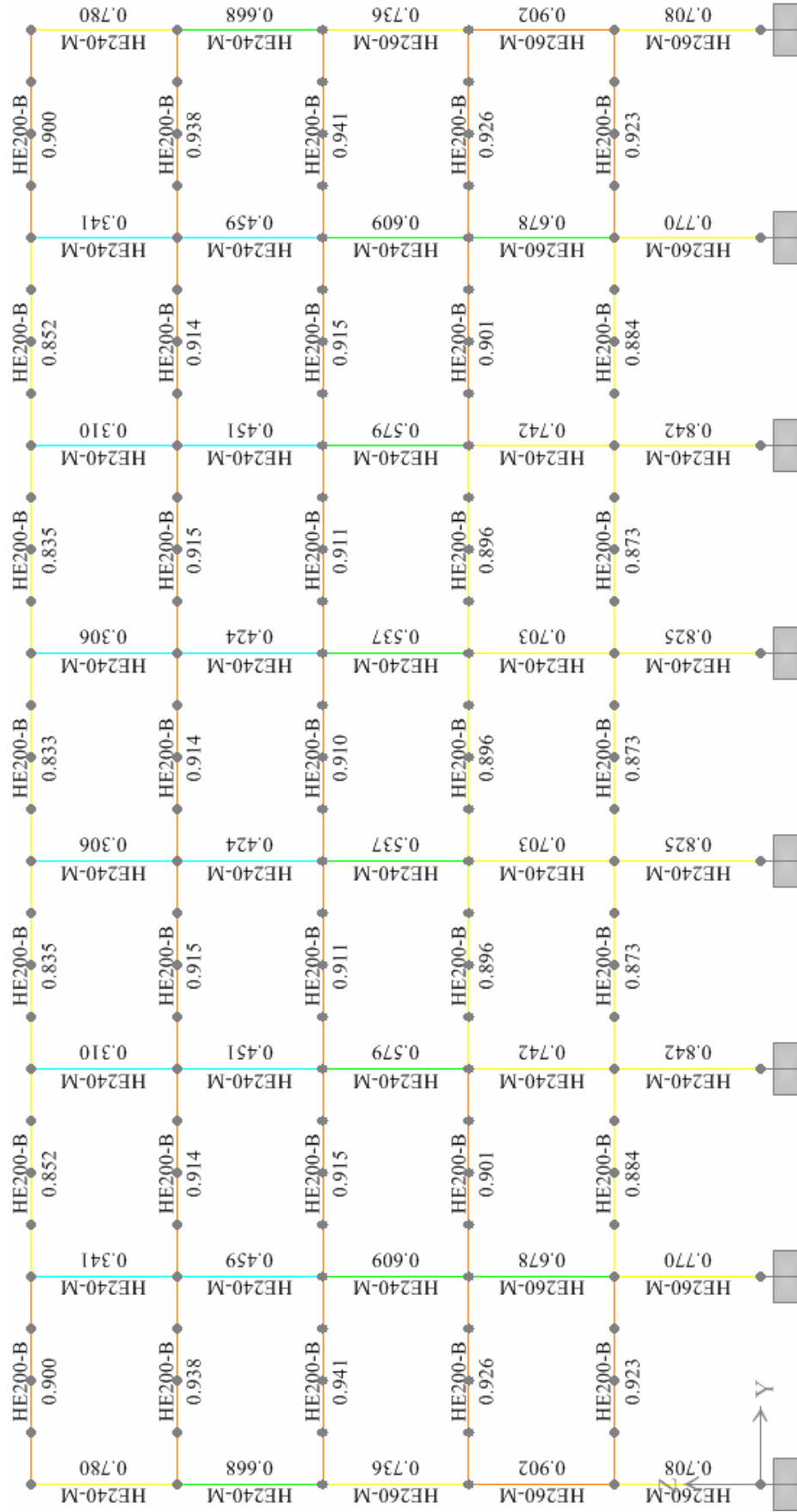


Şekil Ek 2.9 Z2 zemin sınıfı için görelî kat ötelemesi etkin olmayan tasarıma ait yapı elemanlarının profil sınıfları ve gerilme oranları (Y=5)

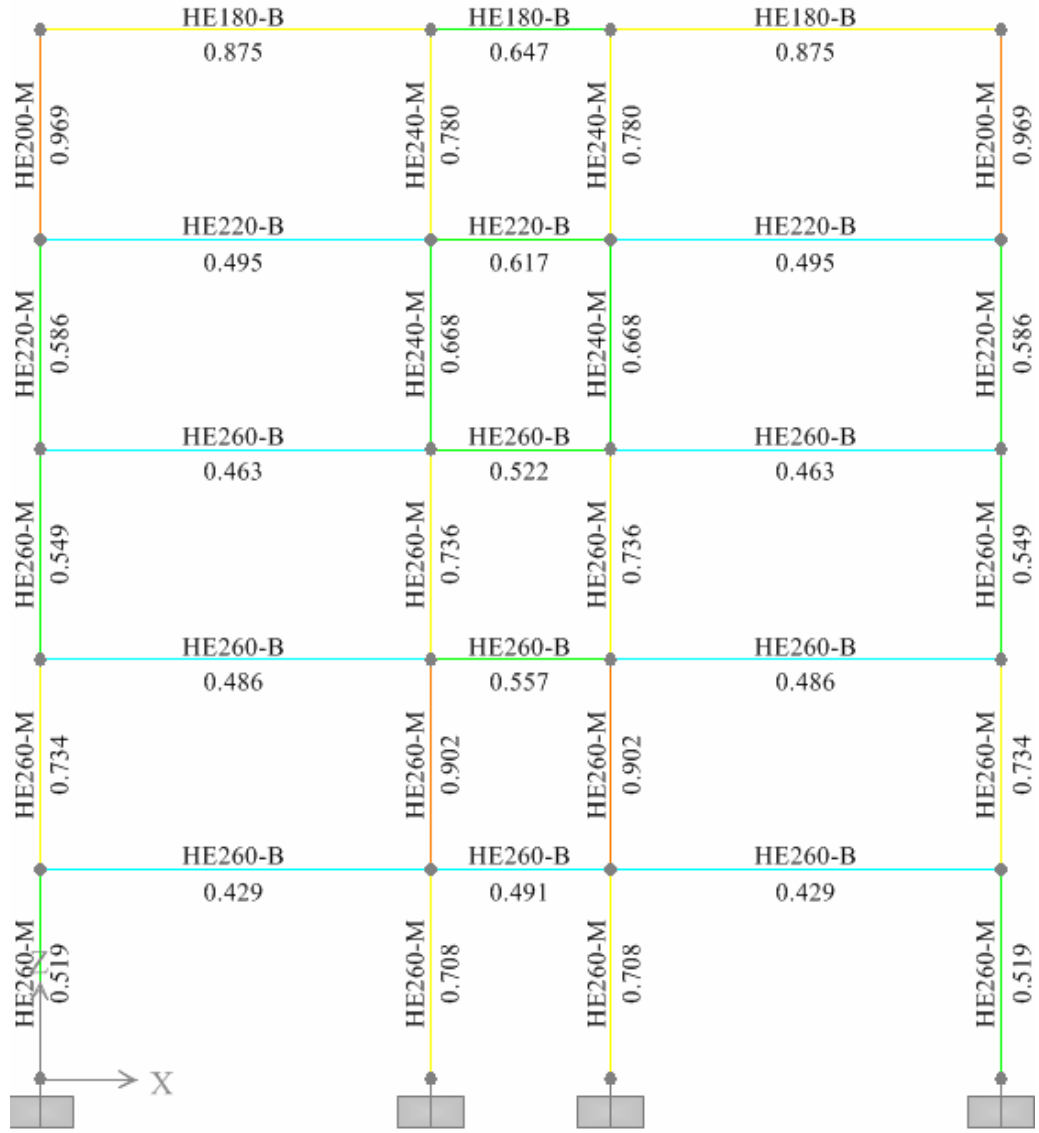


Şekil Ek 2.10 Z2 zemin sınıfı için görece kat ötelemesi etkin olmayan tasarıma ait yapı elemanlarının profil sınıfları ve gerilme oranları (Y=10)

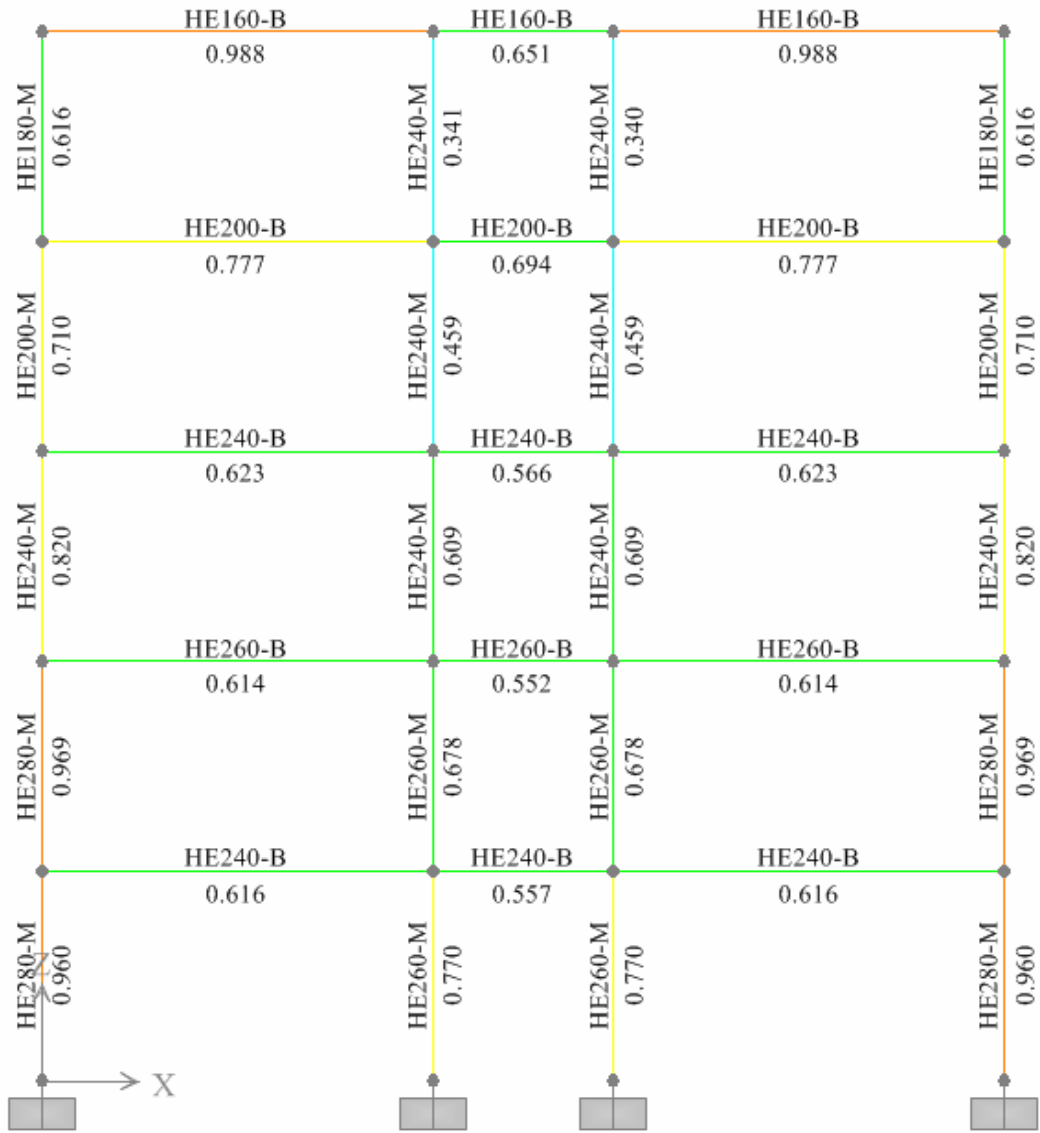
$\Uparrow$



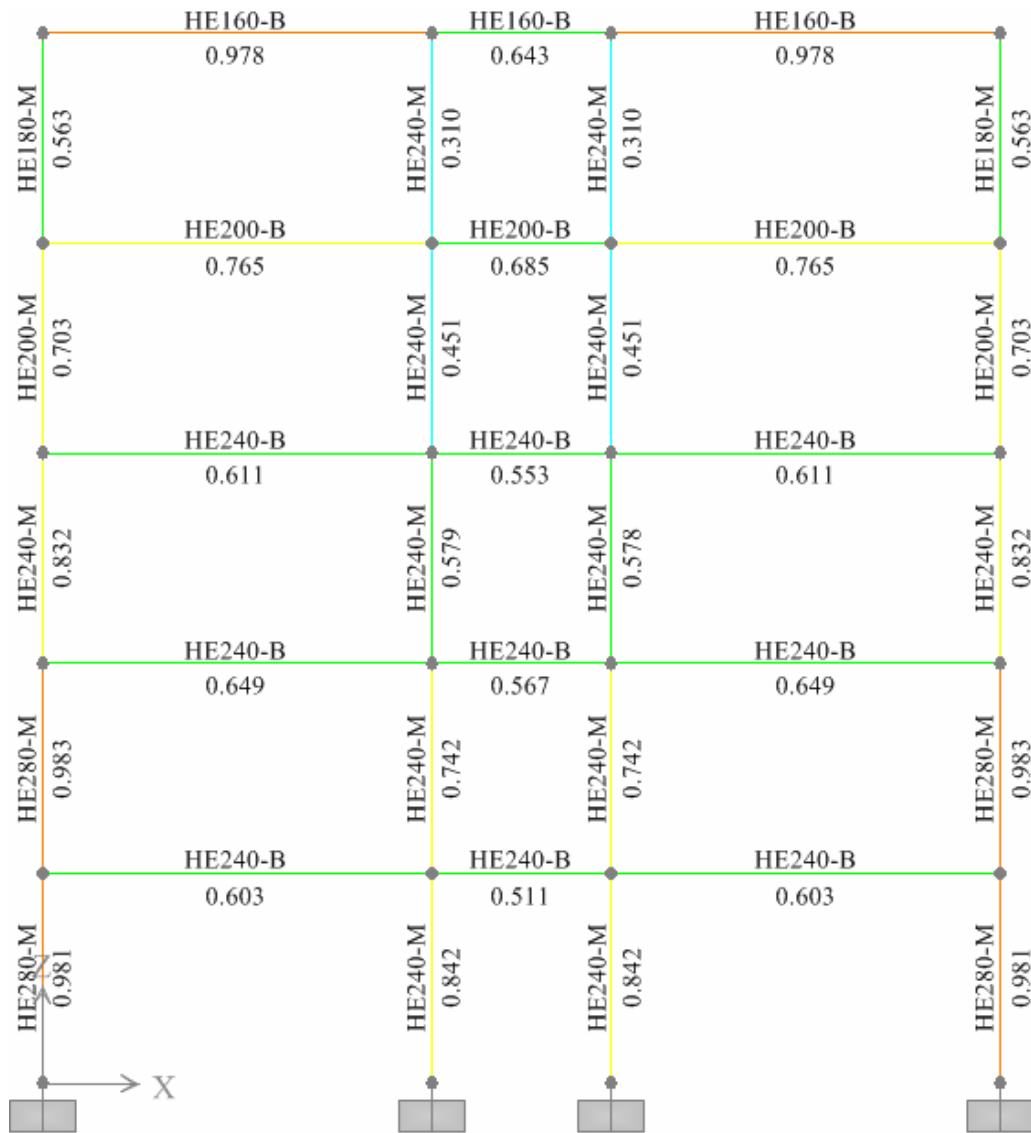
Şekil Ek 2.12 Z3 zemin sınıfı için görel kat ötelemesi etkin tasarıma ait yapı elemanlarının profil sınıfları ve gerilme oranları (X=6.5 ve X=9.5)



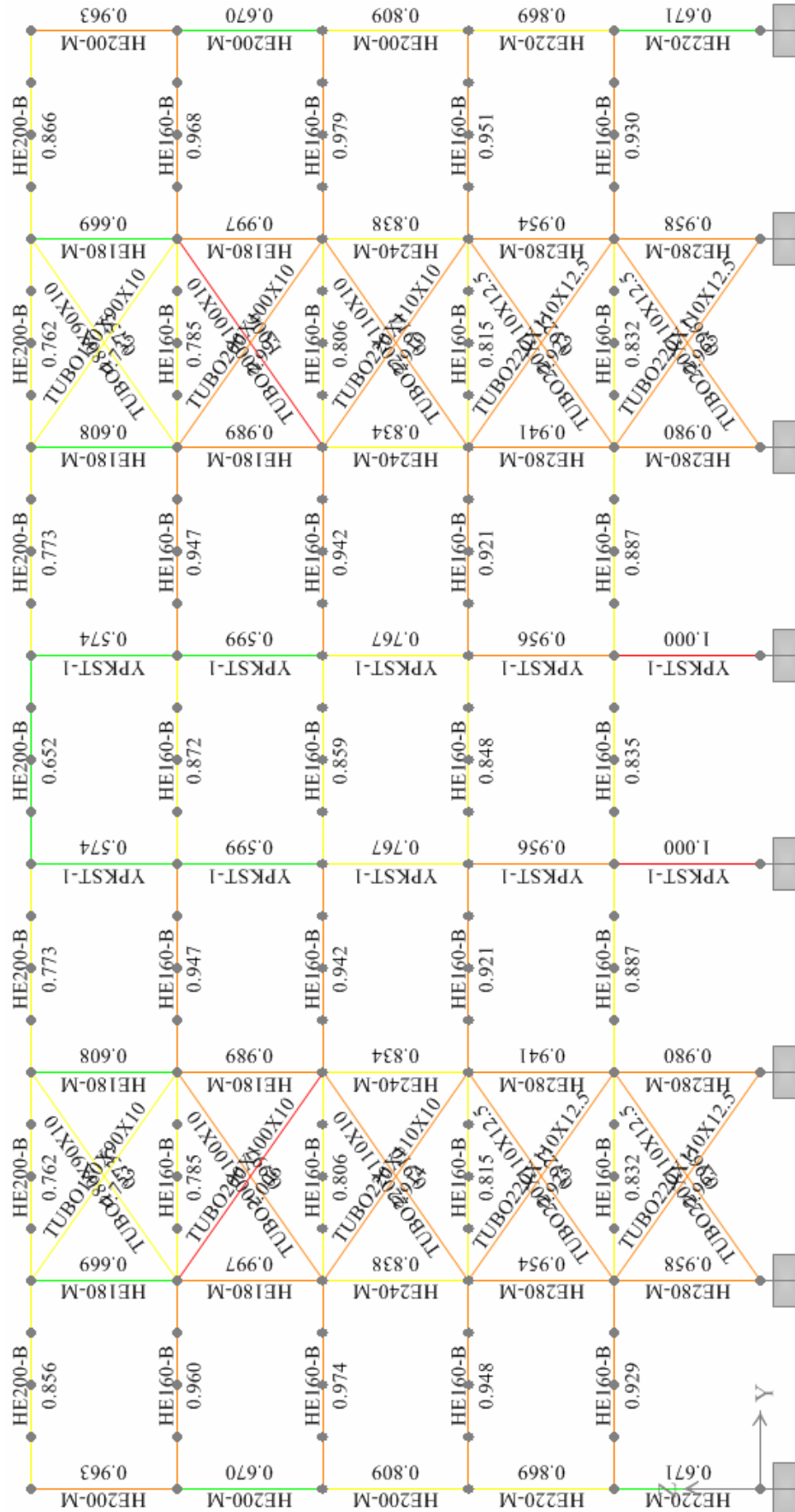
Şekil Ek 2.13 Z3 zemin sınıfı için göreceli kat ötelemesi etkin tasarıma ait yapı elemanlarının profil sınıfları ve gerilme oranları ($Y=0$)



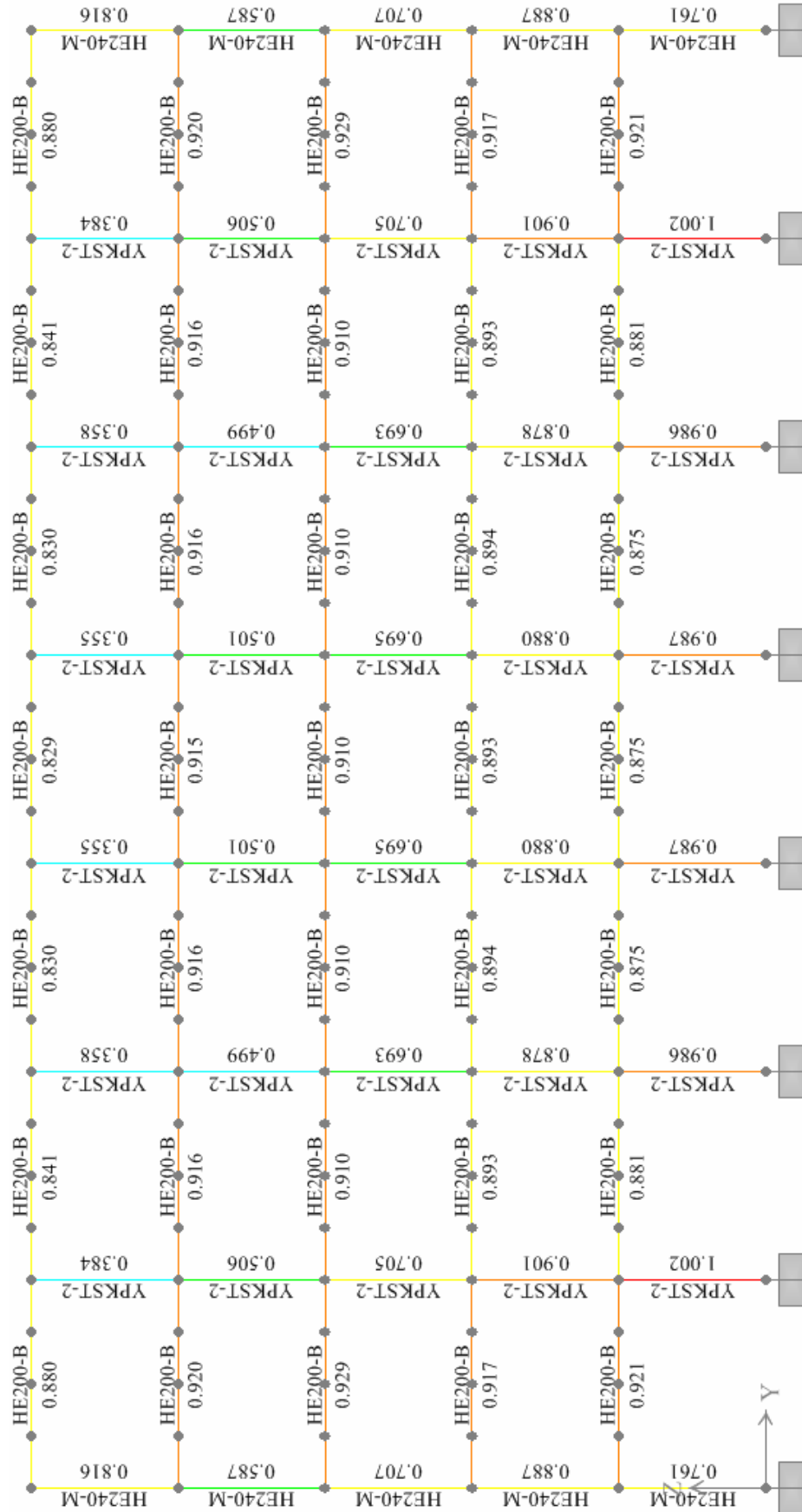
Şekil Ek 2.14 Z3 zemin sınıfı için göreceli kat ötelemesi etkin tasarıma ait yapı elemanlarının profil sınıfları ve gerilme oranları (Y=5)



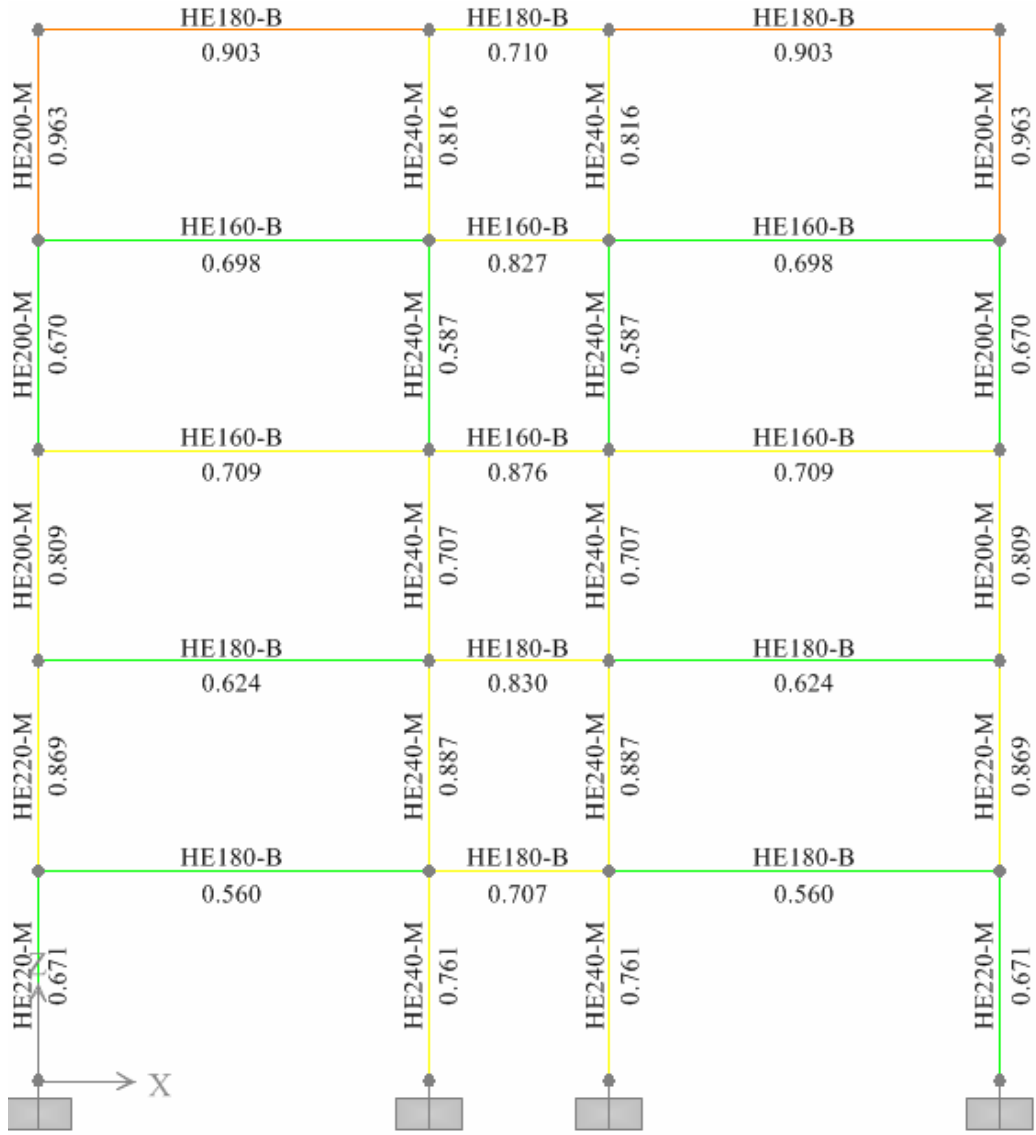
Şekil Ek 2.15 Z3 zemin sınıfı için göreceli kat ötelemesi etkin tasarıma ait yapı elemanlarının profil sınıfları ve gerilme oranları (Y=10)



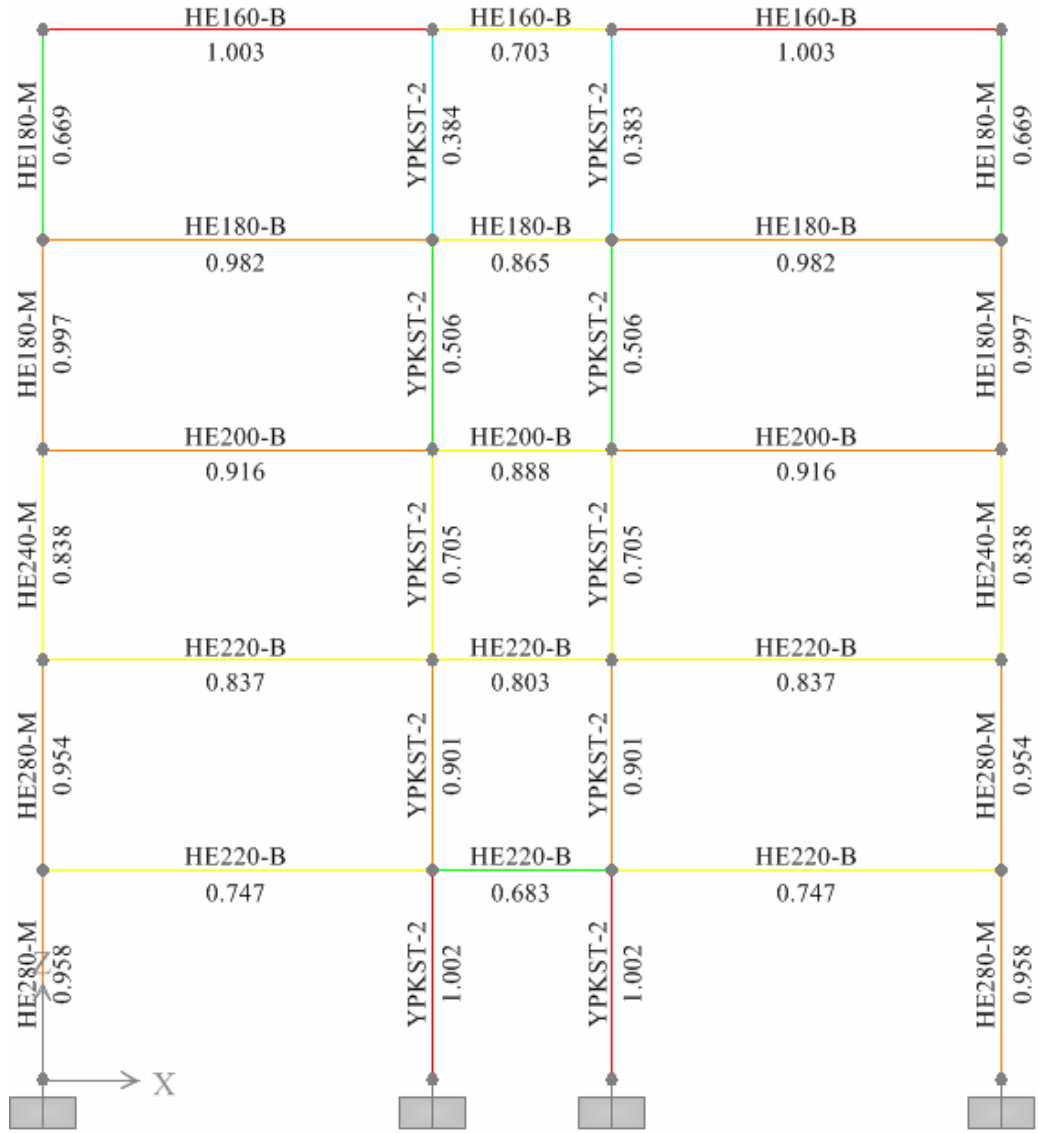
Şekil Ek 2.16 Z3 zemin sınıfı için görelî kat ötelemesi etkin olmayan tasarıma ait yapı elemanlarının profil sınıfları ve gerilme oranları (X=0 ve X=16)



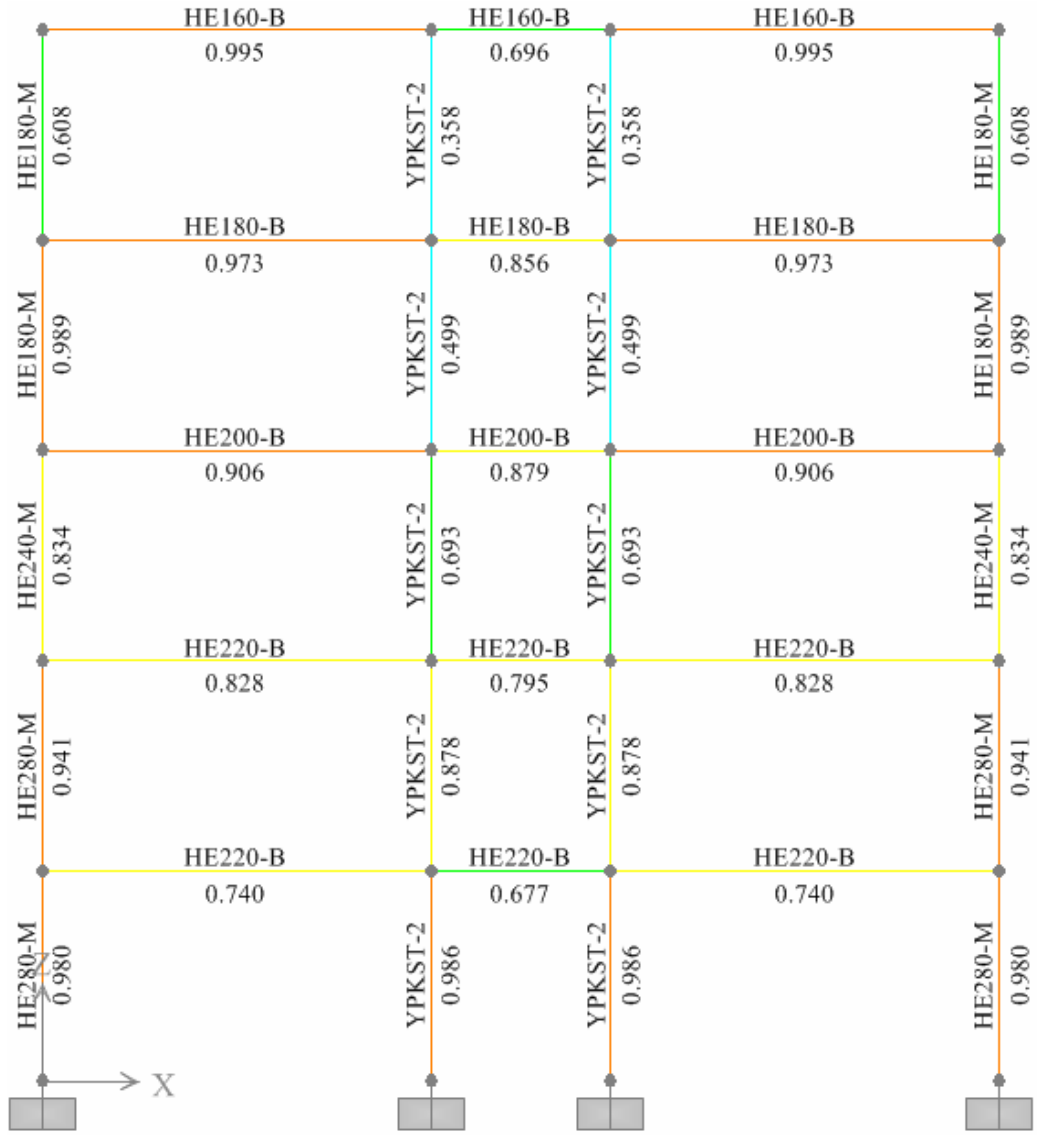
Şekil Ek 2.17 Z3 zemin sınıfı için görece kat ötelemesi etkin olmayan tasarıma ait yapı elemanlarının profil sınıfları ve gerilme oranları (X=6.5 ve X=9.5)



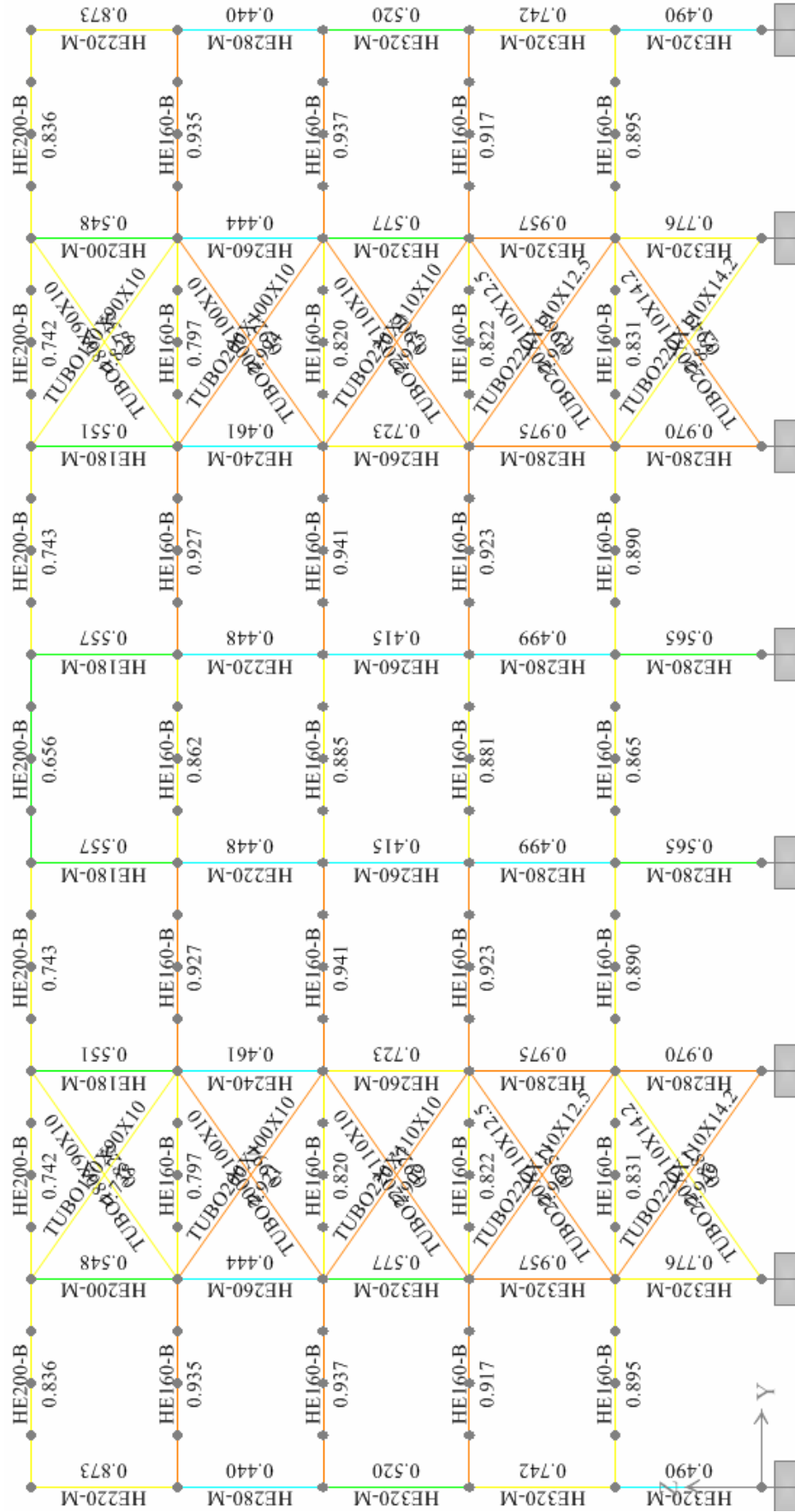
Şekil Ek 2.18 Z3 zemin sınıfı için göreceli kat ötelemesi etkin olmayan tasarıma ait yapı elemanlarının profil sınıfları ve gerilme oranları (Y=0)



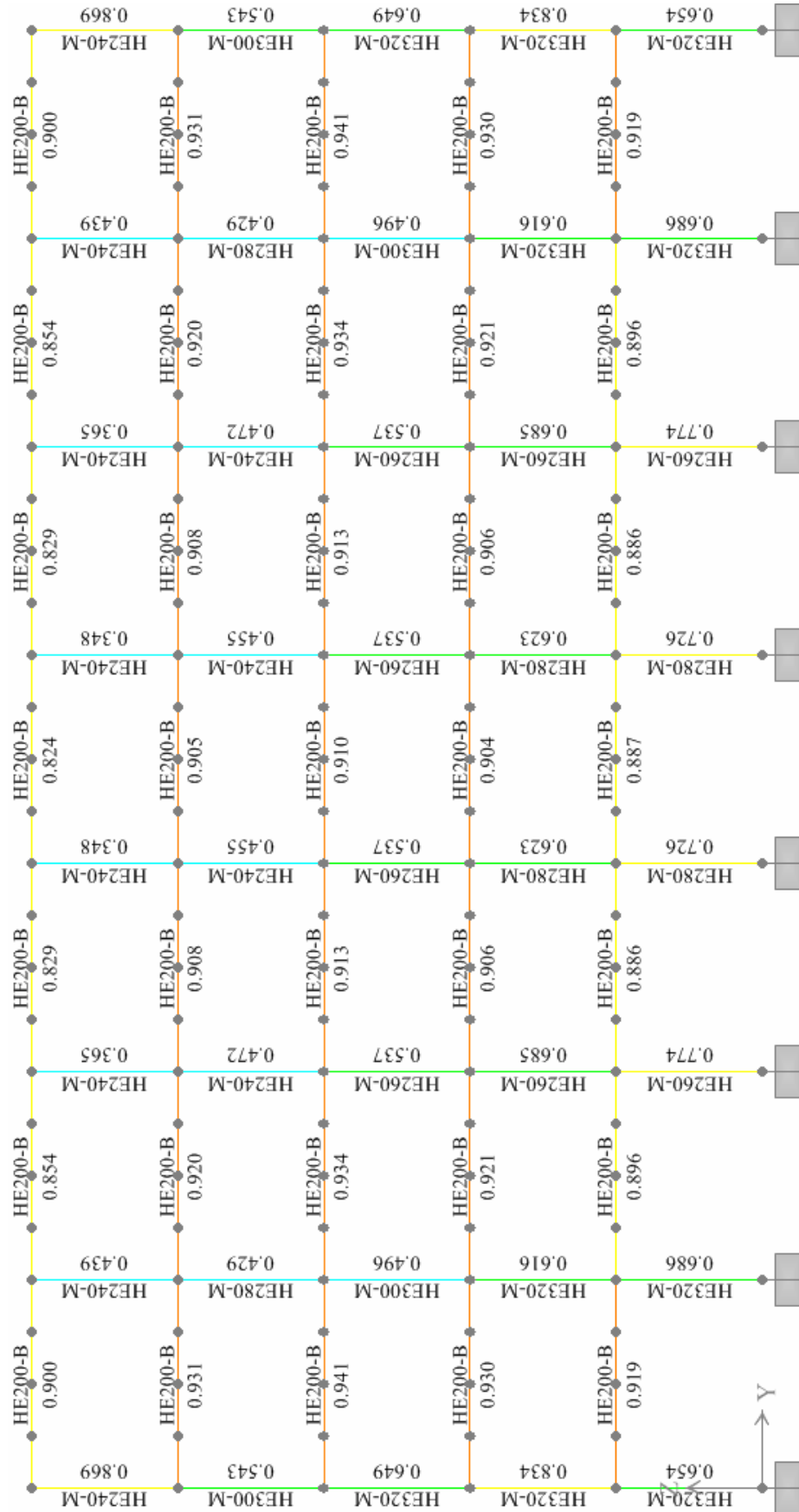
Şekil Ek 2.19 Z3 zemin sınıfı için göreceli kat ötelemesi etkin olmayan tasarıma ait yapı elemanlarının profil sınıfları ve gerilme oranları (Y=5)



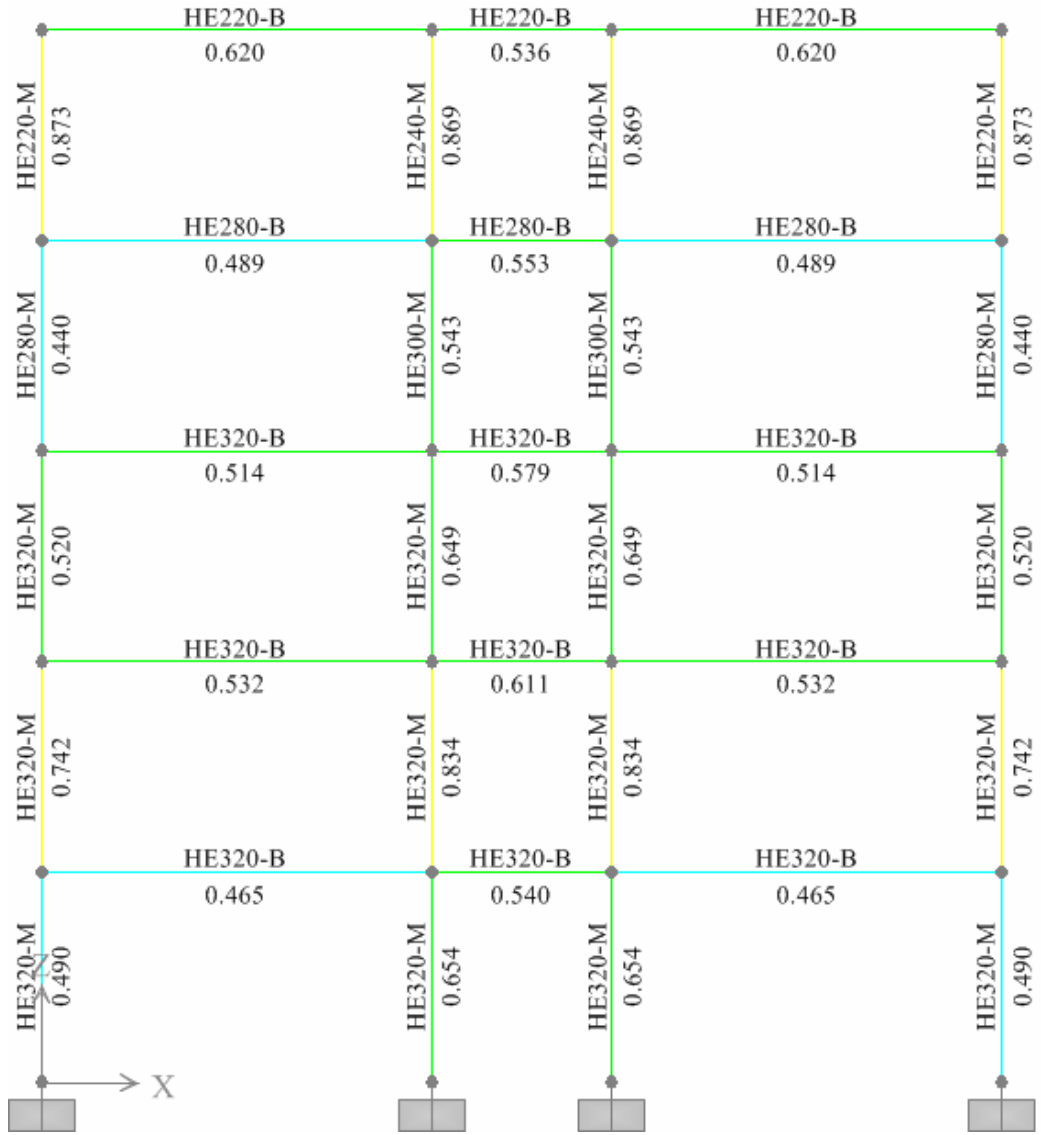
Şekil Ek 2.20 Z3 zemin sınıfı için göreceli kat ötelemesi etkin olmayan tasarıma ait yapı elemanlarının profil sınıfları ve gerilme oranları (Y=10)



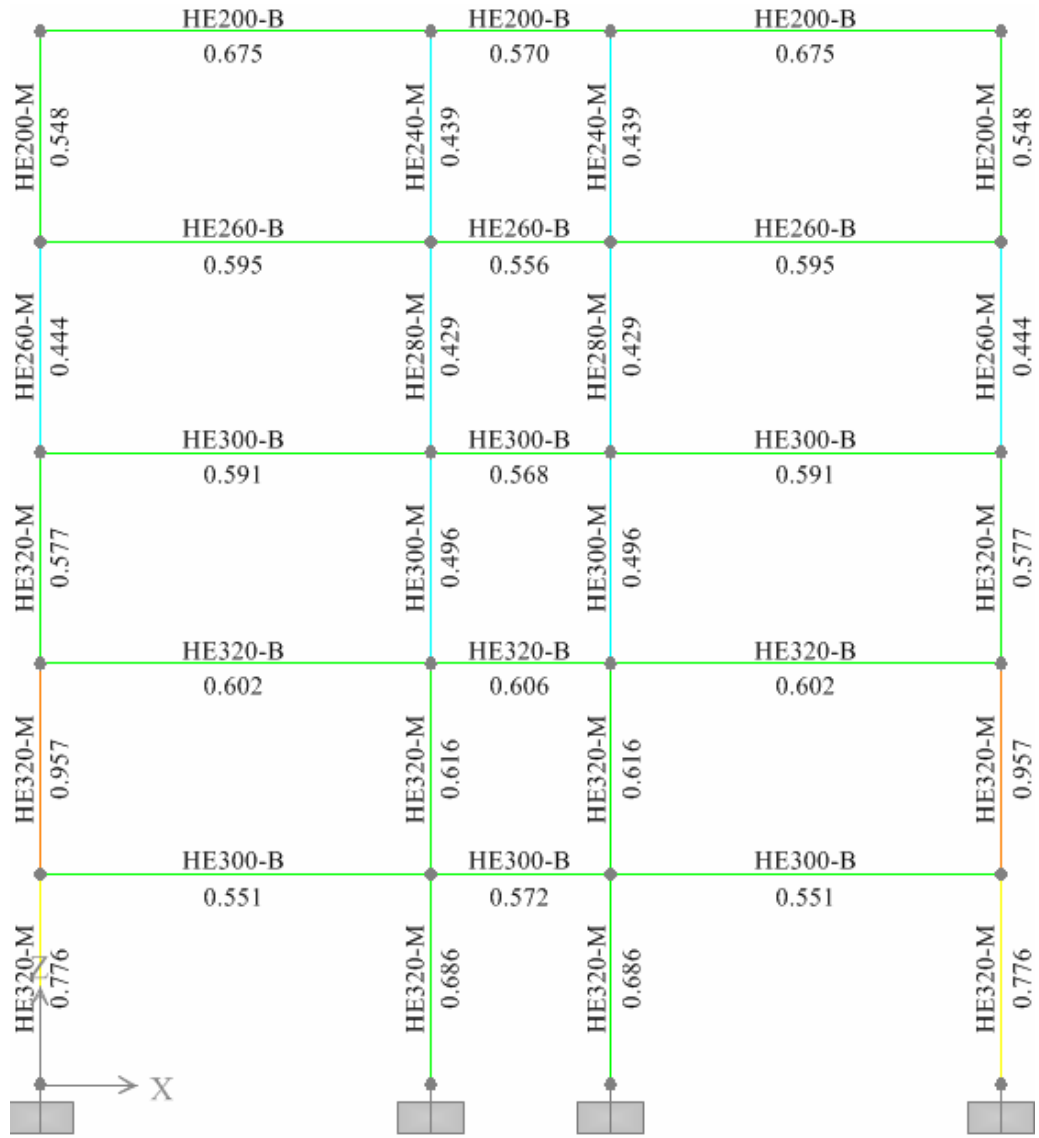
Şekil Ek 2.21 Z4 zemin sınıfı için görece kat ötelemesi etkin tasarıma ait yapı elemanlarının profil sınıfları ve gerilme oranları (X=0 ve X=16)



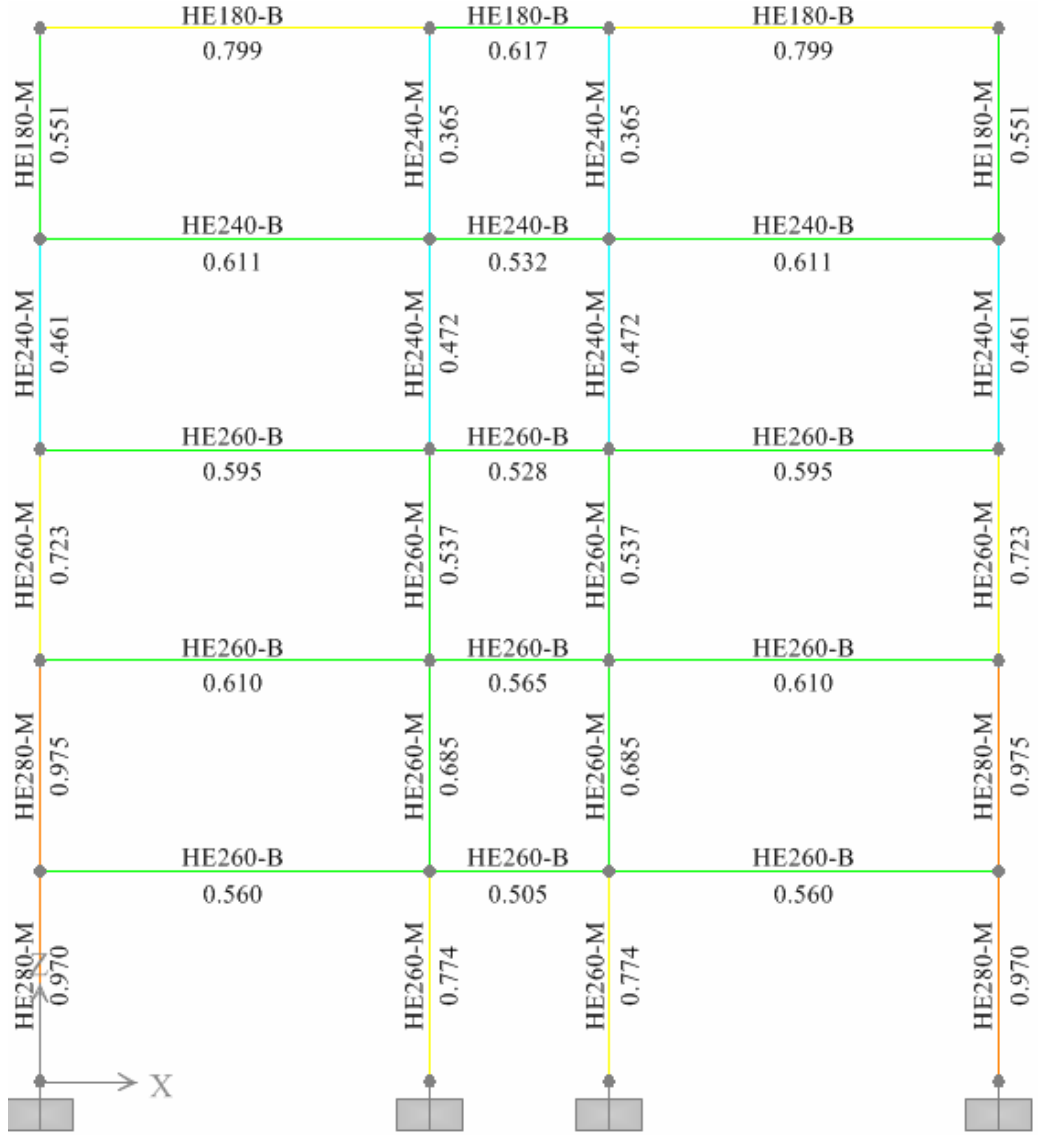
Şekil Ek 2.22 Z4 zemin sınıfı için görece kat ötelemesi etkin tasarıma ait yapı elemanlarının profil sınıfları ve gerilme oranları (X=6.5 ve X=9.5)



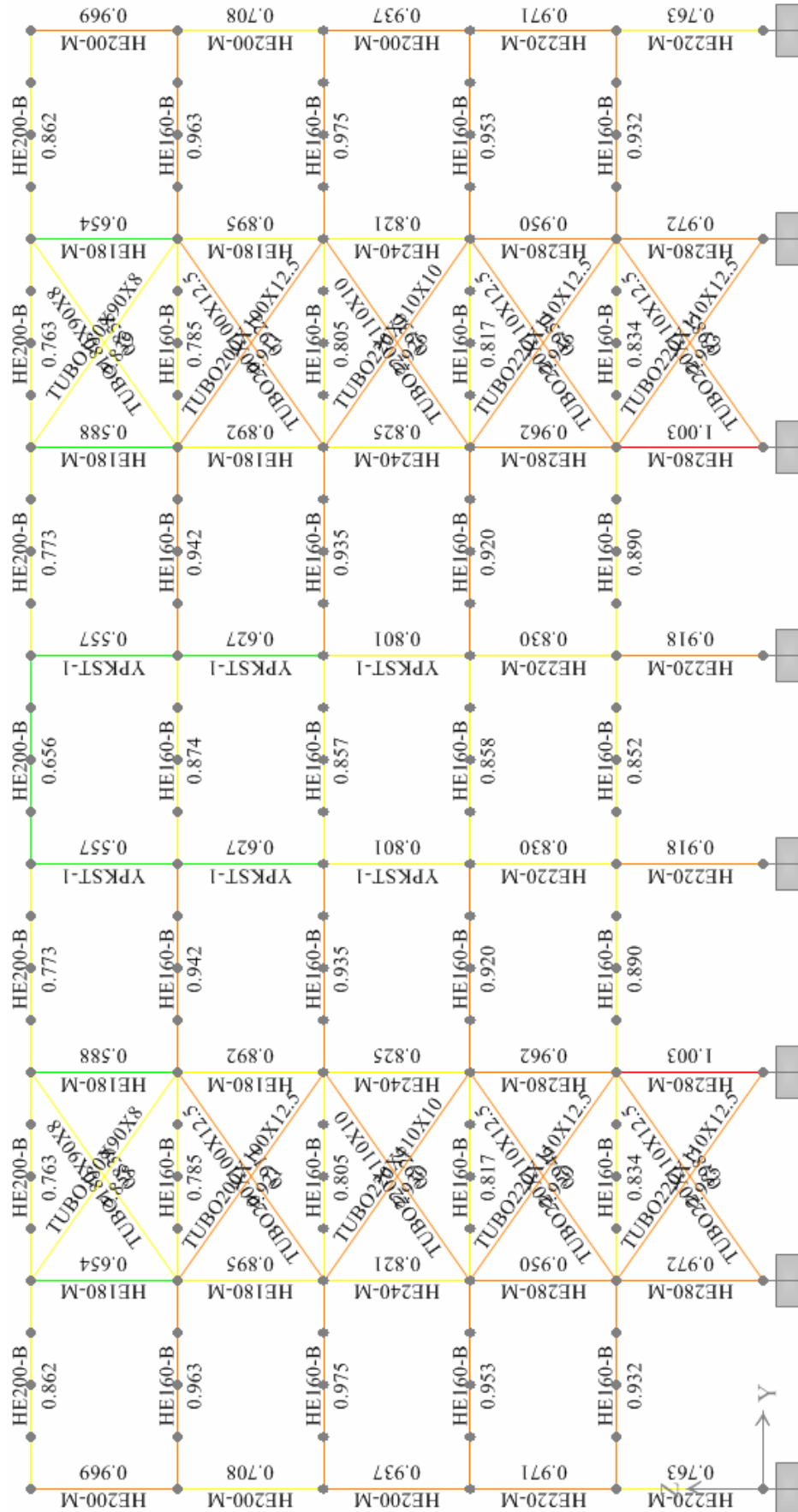
Şekil Ek 2.23 Z4 zemin sınıfı için görece kat ötelemesi etkin tasarıma ait yapı elemanlarının profil sınıfları ve gerilme oranları (Y=0)



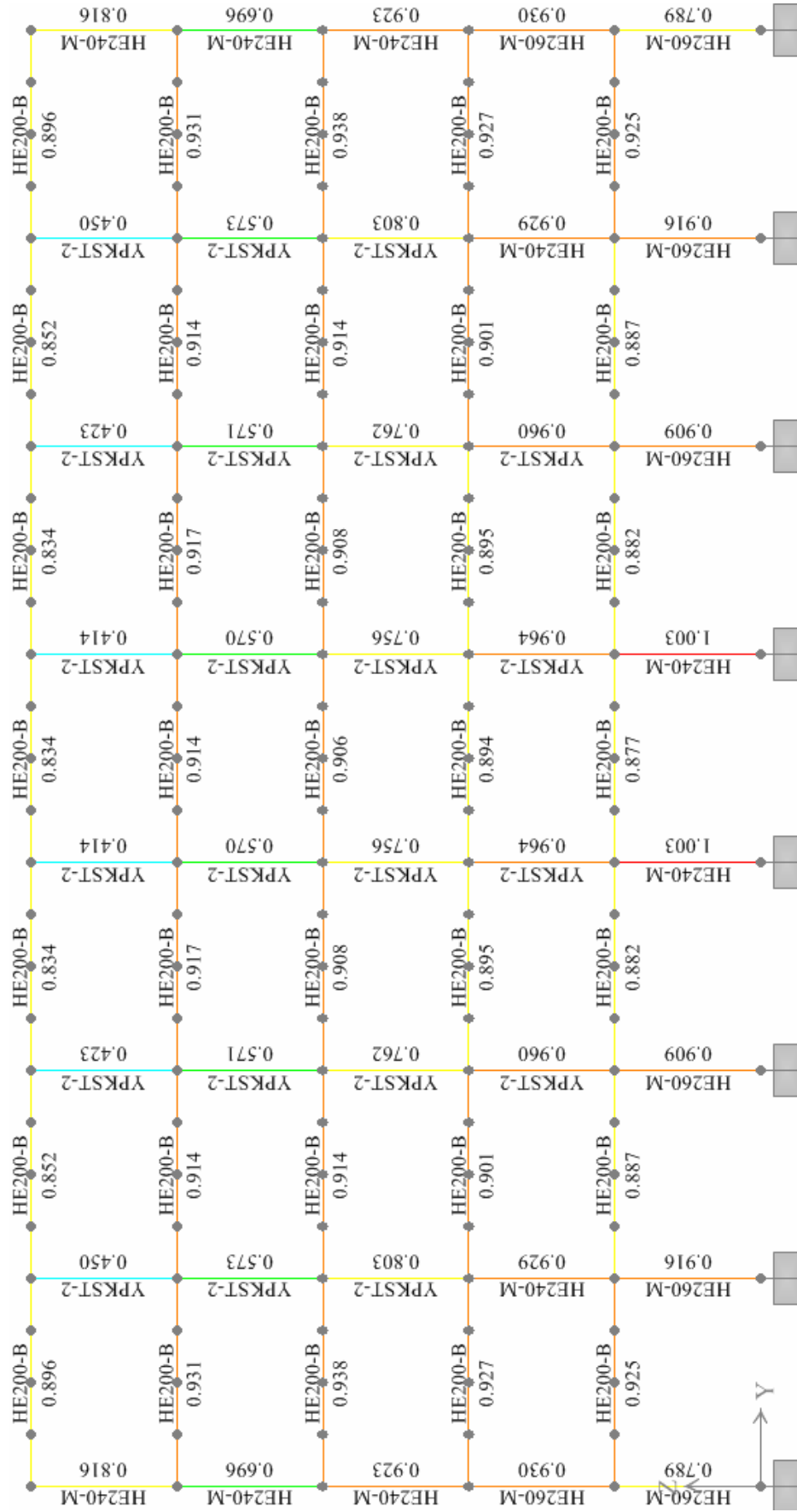
Şekil Ek 2.24 Z4 zemin sınıfı için görece kat ötelemesi etkin tasarıma ait yapı elemanlarının profil sınıfları ve gerilme oranları (Y=5)



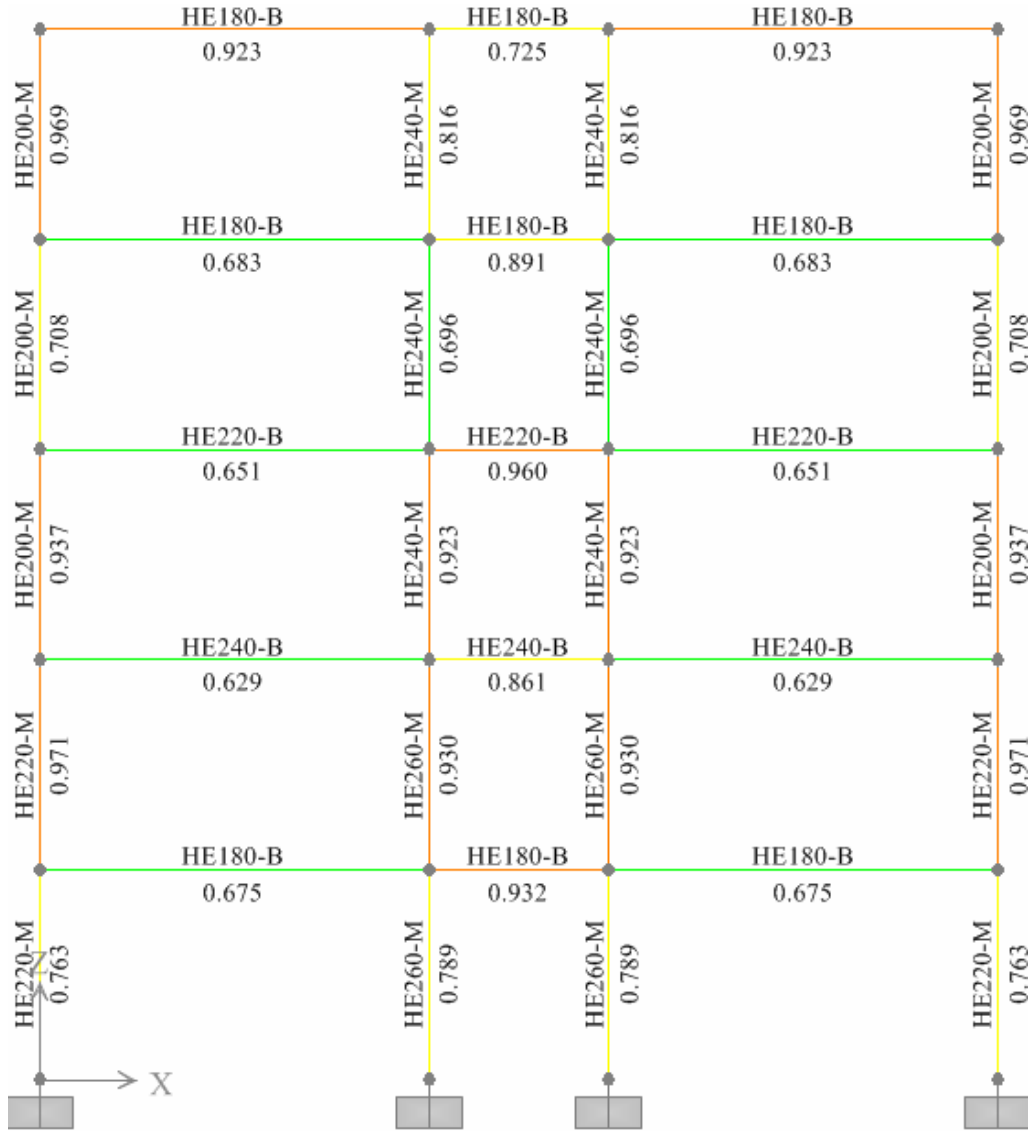
Şekil Ek 2.25 Z4 zemin sınıfı için görece kat ötelemesi etkin tasarıma ait yapı elemanlarının profil sınıfları ve gerilme oranları (Y=10)



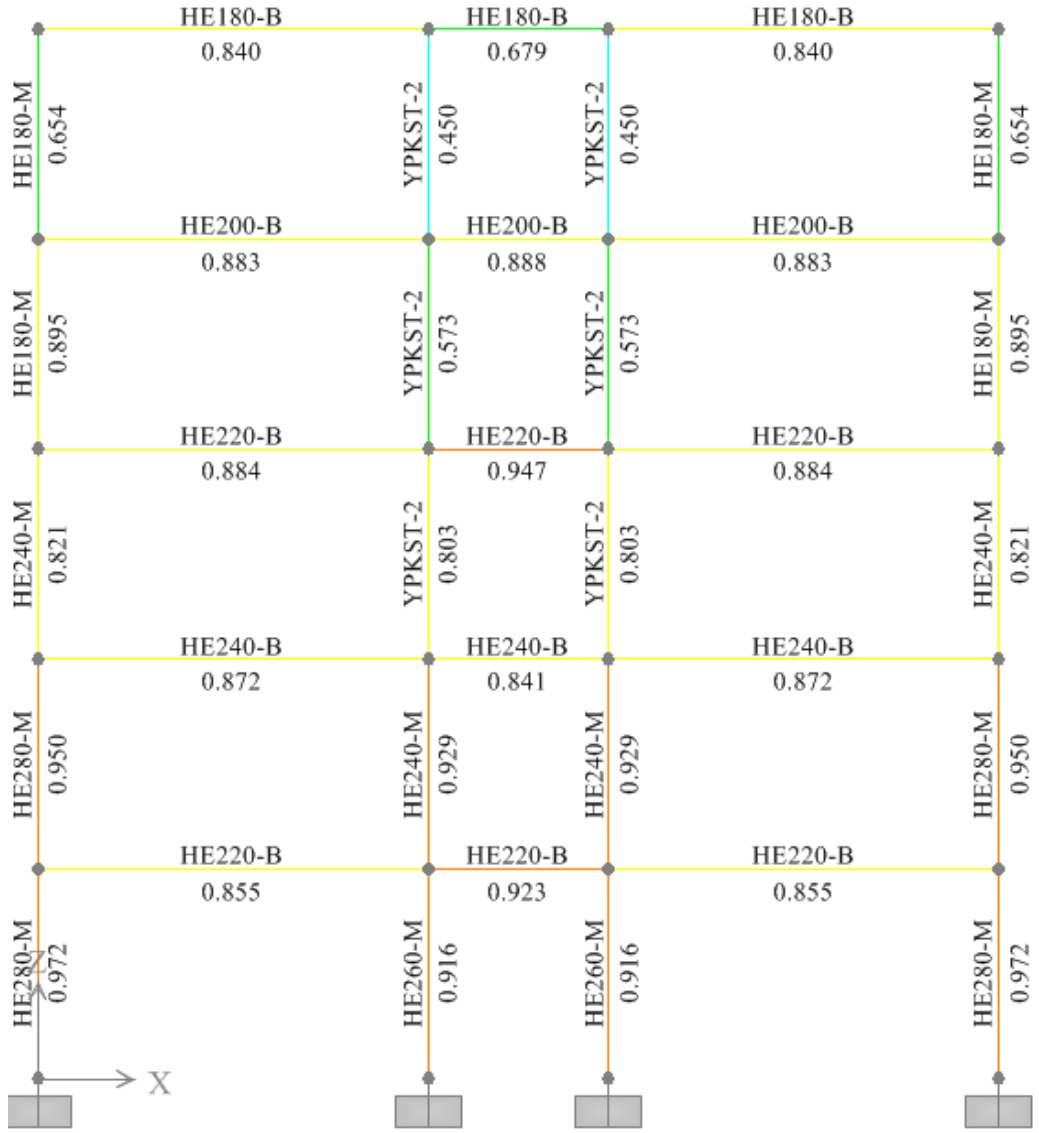
Şekil Ek 2.26 Z4 zemin sınıfı için görelî kat ötelemesi etkin olmayan tasarıma ait yapı elemanlarının profil sınıfları ve gerilme oranları (X=0 ve X=16)



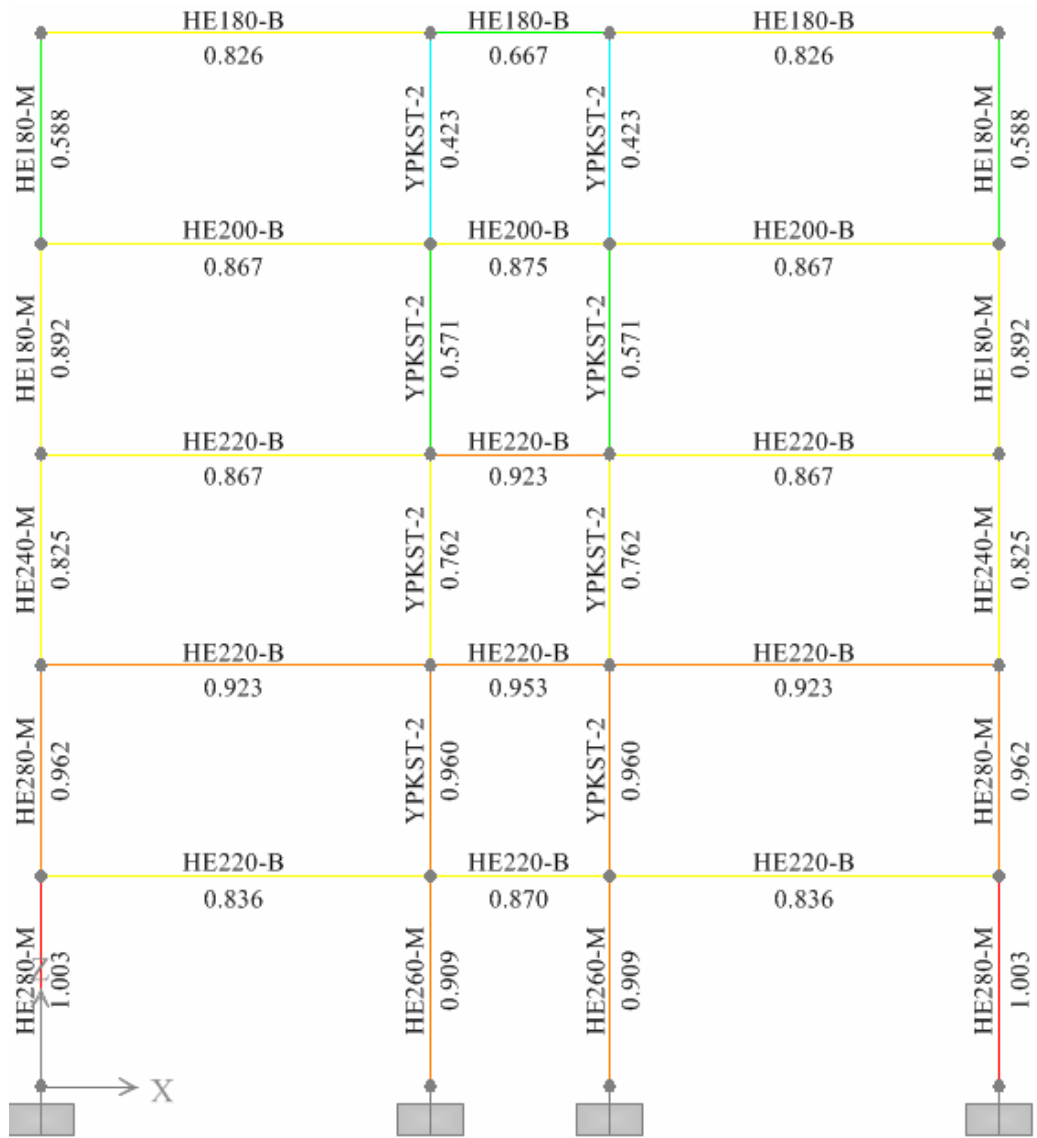
Şekil Ek 2.27 Z4 zemin sınıfı için göreceli kat ötelemesi etkin olmayan tasarıma ait yapı elemanlarının profil sınıfları ve gerilme oranları ($X=6.5$ ve $X=9.5$)



Şekil Ek 2.28 Z4 zemin sınıfı için görelî kat ötelemesi etkin olmayan tasarıma ait yapı elemanlarının profil sınıfları ve gerilme oranları (Y=0)



Şekil Ek 2.29 Z4 zemin sınıfı için görel kat ötelemesi etkin olmayan tasarıma ait yapı elemanlarının profil sınıfları ve gerilme oranları (Y=5)

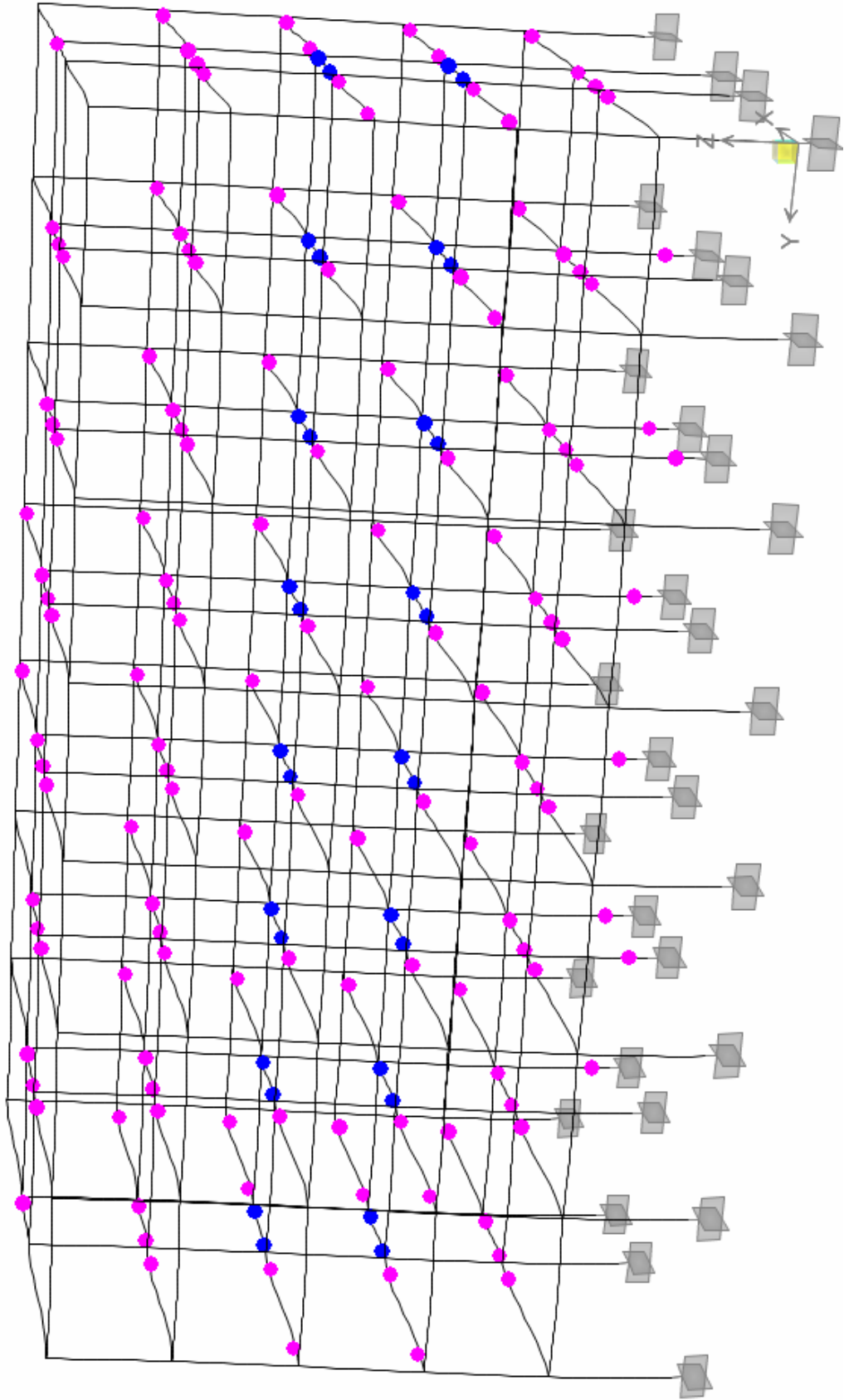


Şekil Ek 2.30 Z4 zemin sınıfı için göreceli kat ötelemesi etkin olmayan tasarıma ait yapı elemanlarının profil sınıfları ve gerilme oranları ($Y=10$)

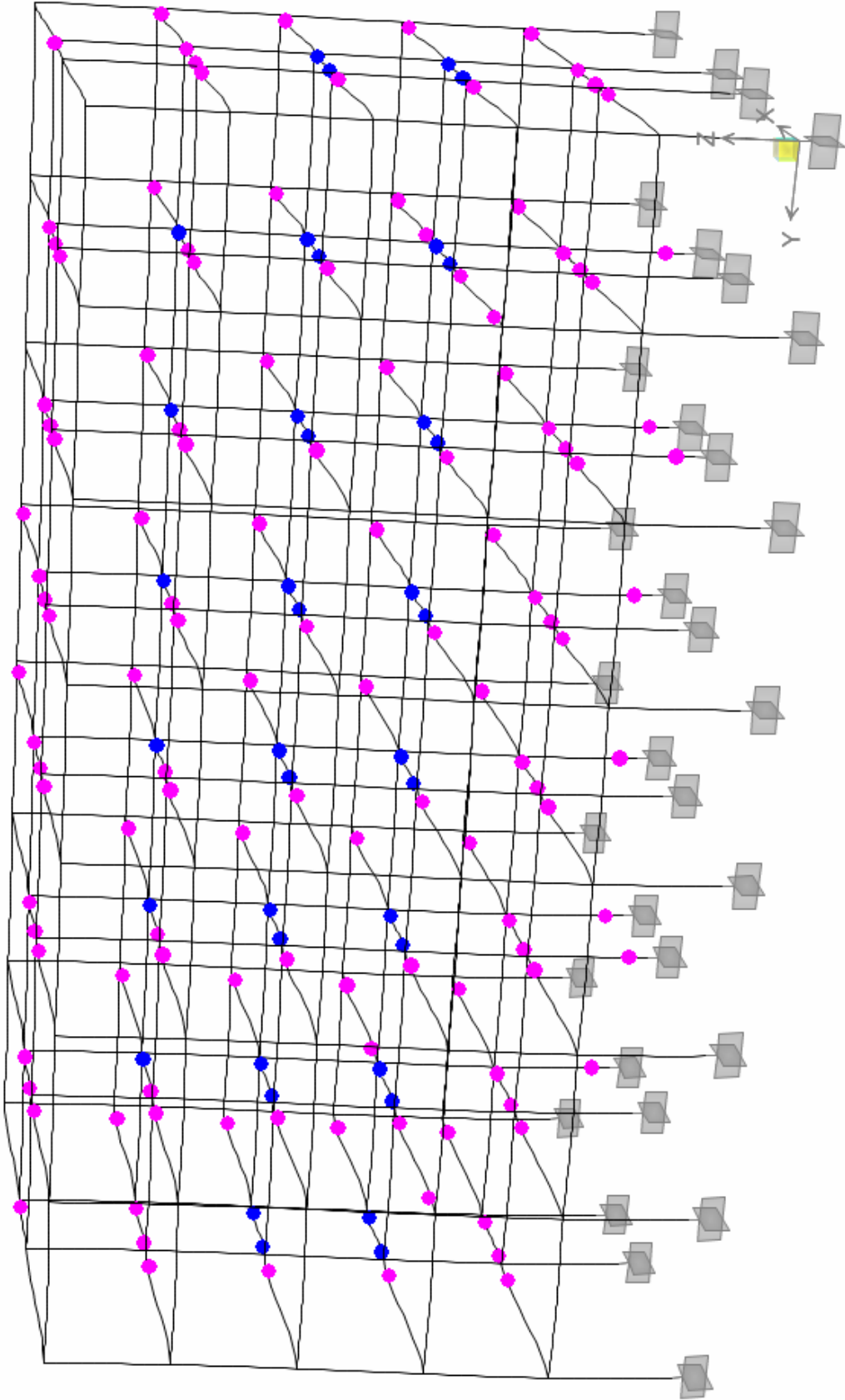
Ek 3 Yapı elemanlarının performans seviyeleri

Programda yapı elemanlarının performans seviyeleri, plastik mafsallarda tanımlanan iç kuvvet-şekil değiştirme bağıntılarına göre aşağıdaki gibi ifade edilir.

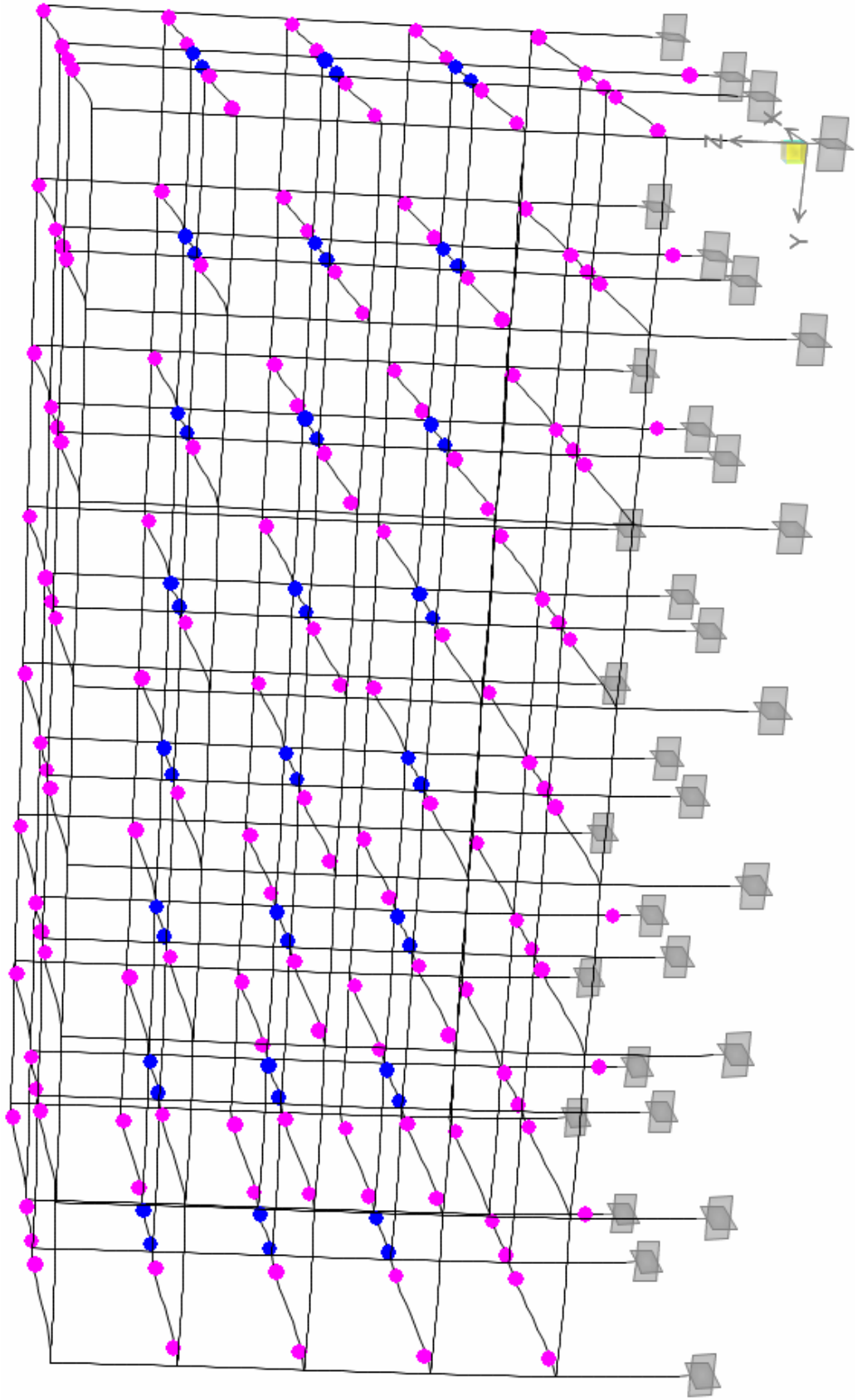
- Şekil 4.2’de B noktasına karşı gelir.
- Hemen kullanım performans seviyesine karşı gelir.
- Can güvenliği performans seviyesine karşı gelir.
- Göçme önlenmiş performans seviyesine karşı gelir.
- Şekil 4.2’de C noktasına karşı gelir.
- Şekil 4.2’de D noktasına karşı gelir.
- Şekil 4.2’de E noktasına karşı gelir.



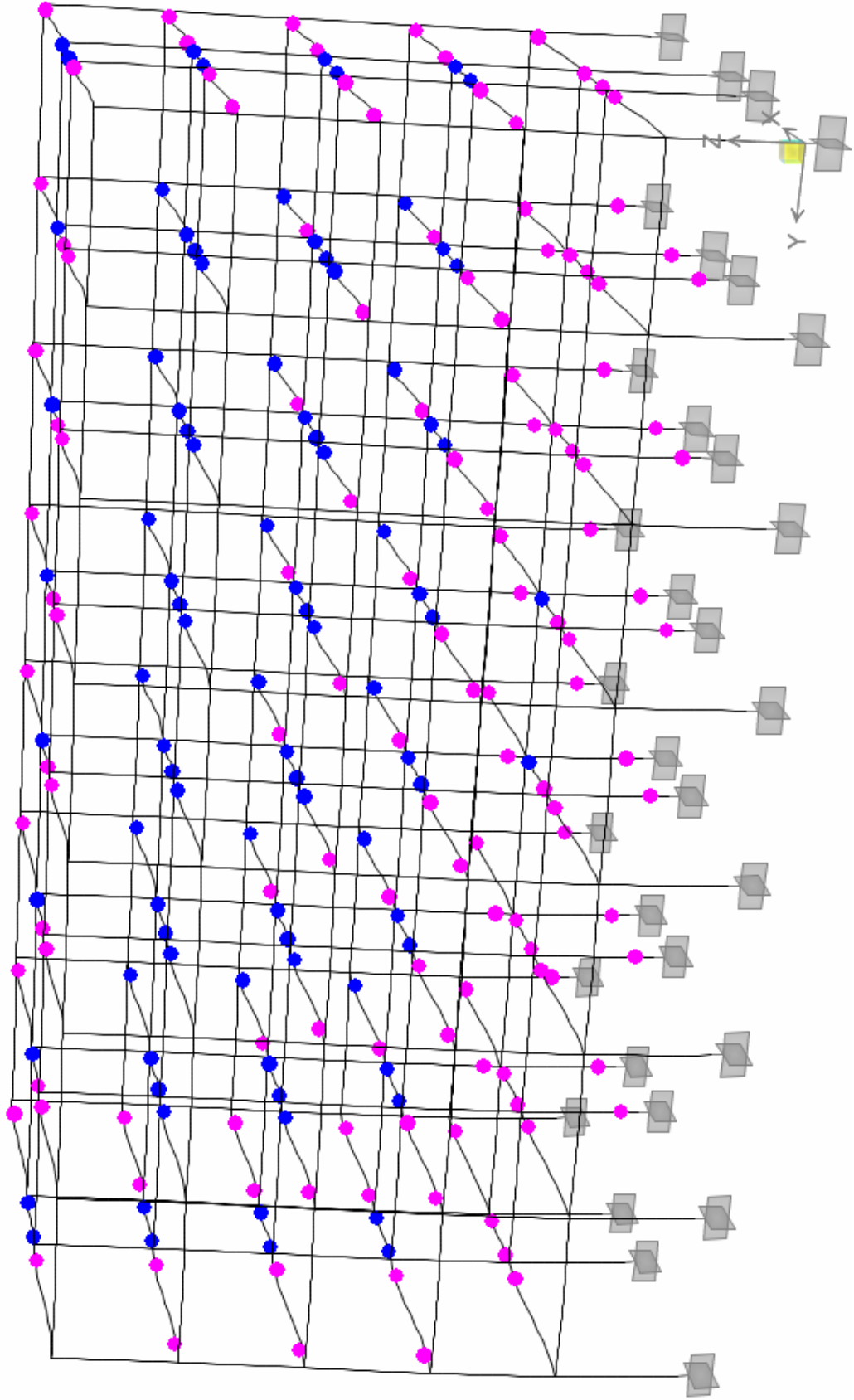
Şekil Ek 3.1 Z2 zemin sınıfı için görece kat ötelemesi etkin tasarıma ait eleman performans seviyeleri



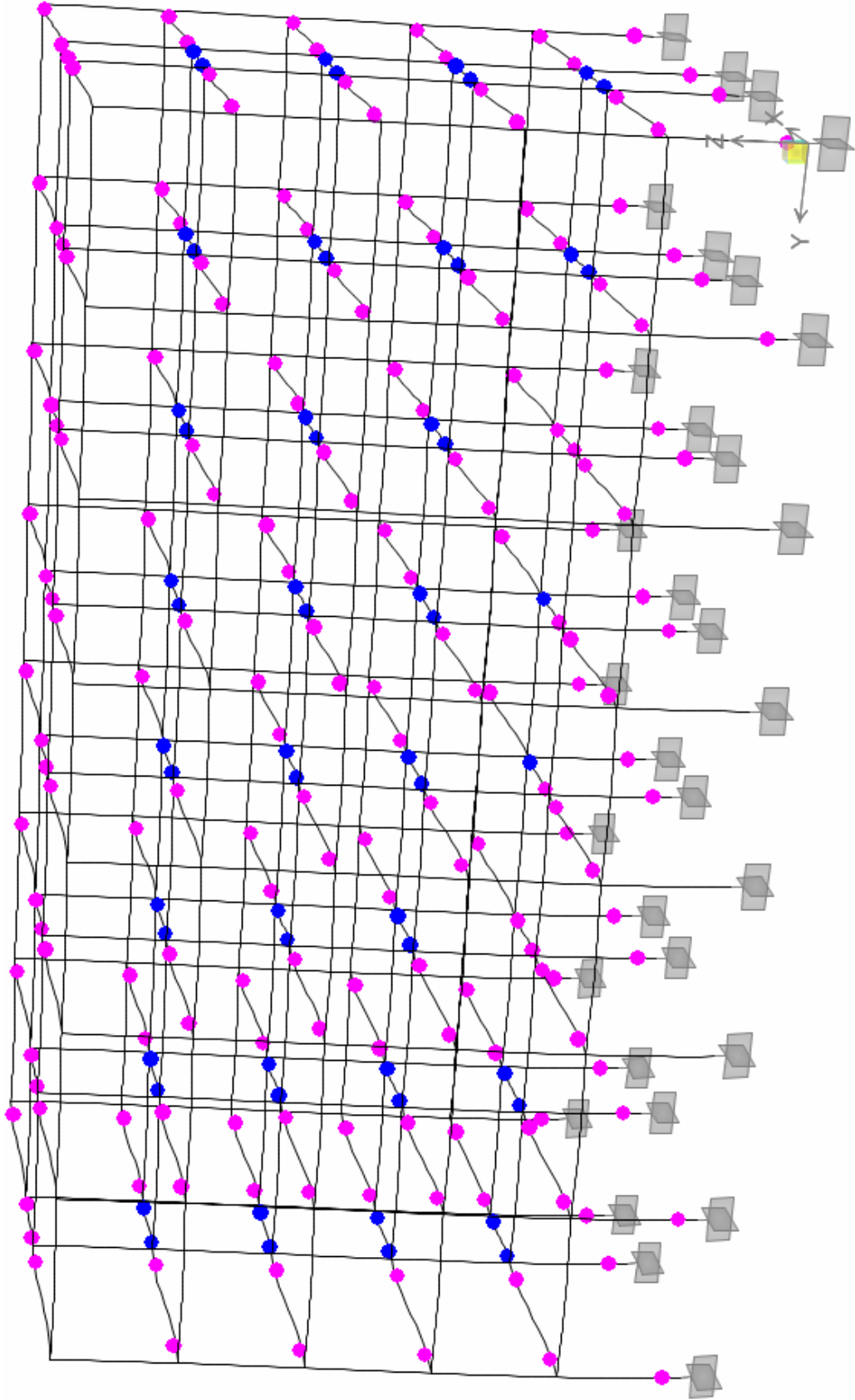
Şekil Ek 3.2 Z2 zemin sınıfı için görel kat ötelemesi etkin olmayan tasarıma ait eleman performans seviyeleri



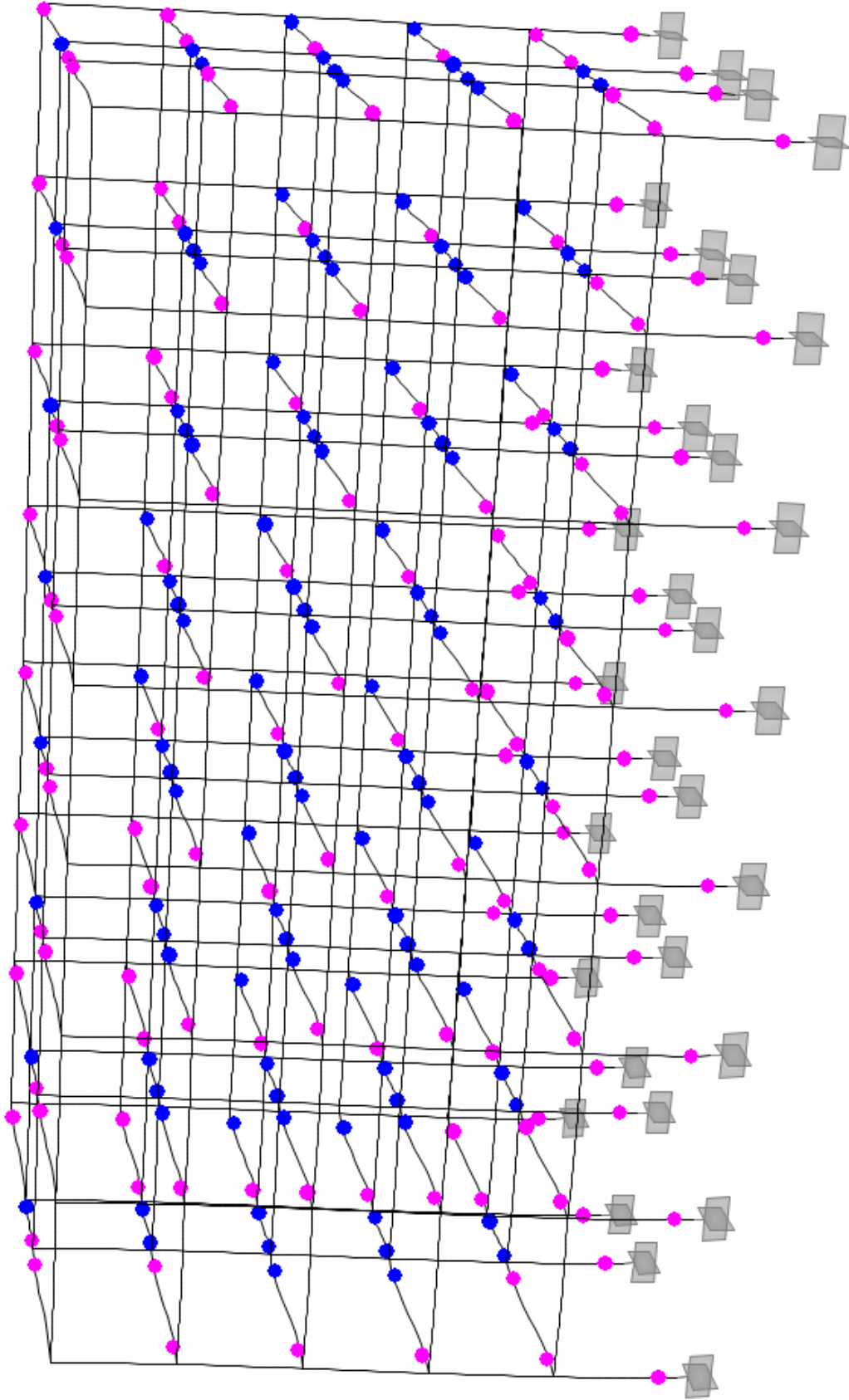
Şekil Ek 3.3 Z3 zemin sınıfı için görelî kat ötelemesi etkin tasarıma ait eleman performans seviyeleri



Şekil Ek 3.4 Z3 zemin sınıfı için görel kat ötelemesi etkin olmayan tasarıma ait eleman performans seviyeleri

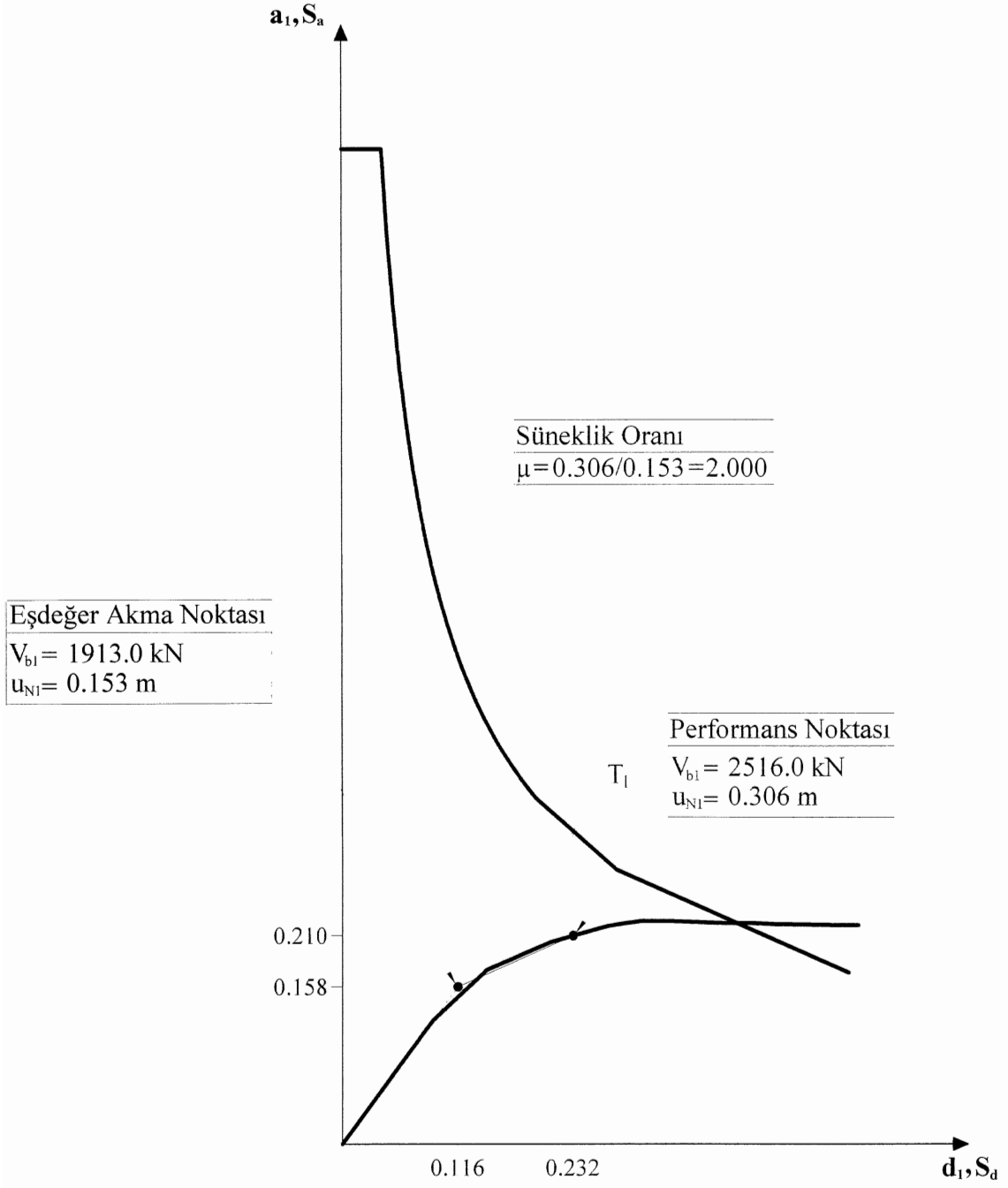


Şekil Ek 3.5 Z4 zemin sınıfı için göreceli kat ötelemesi etkin tasarıma ait eleman performans seviyeleri

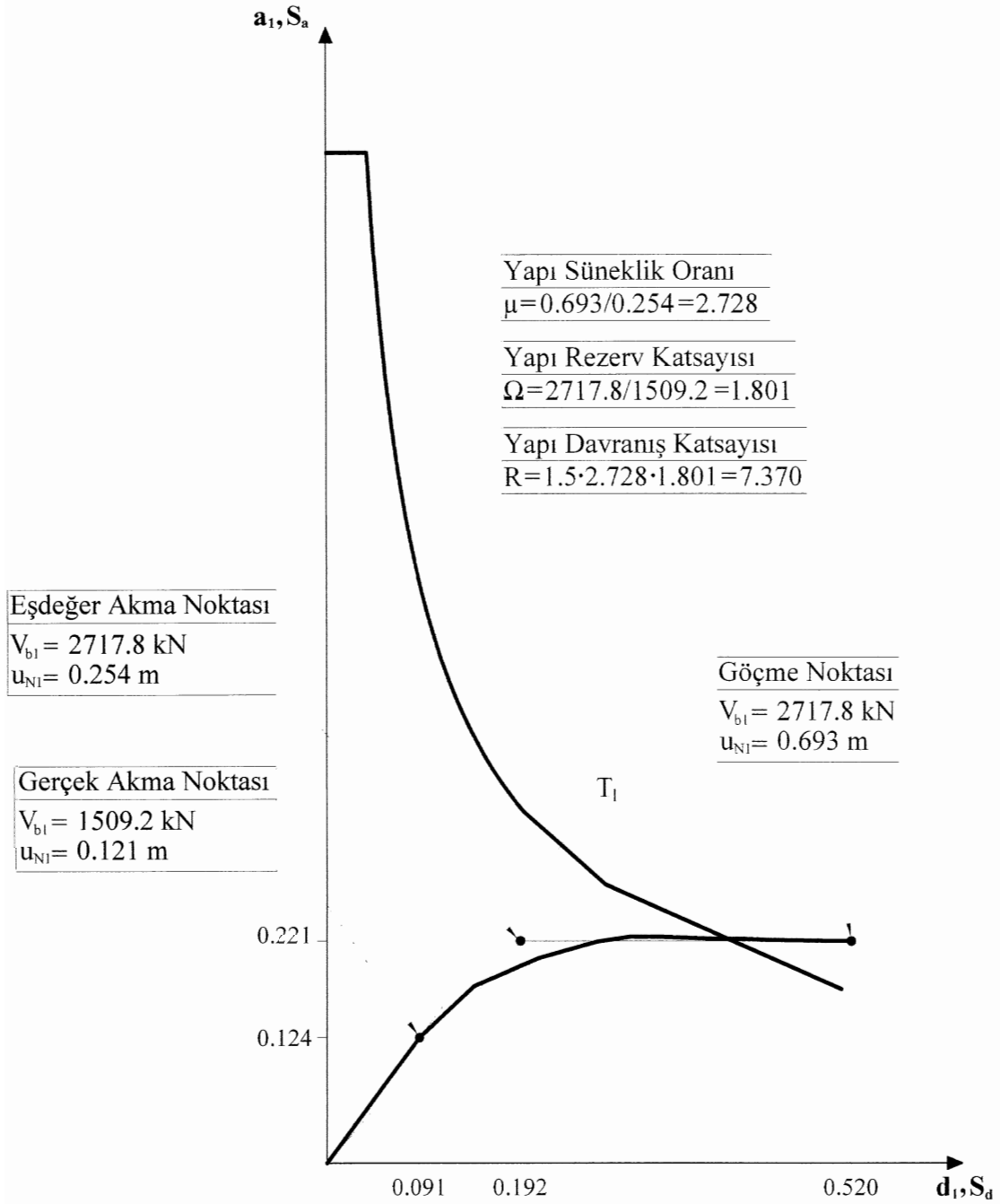


Şekil Ek 3.6 Z4 zemin sınıfı için görel kat ötelemesi etkin olmayan tasarıma ait eleman performans seviyeleri

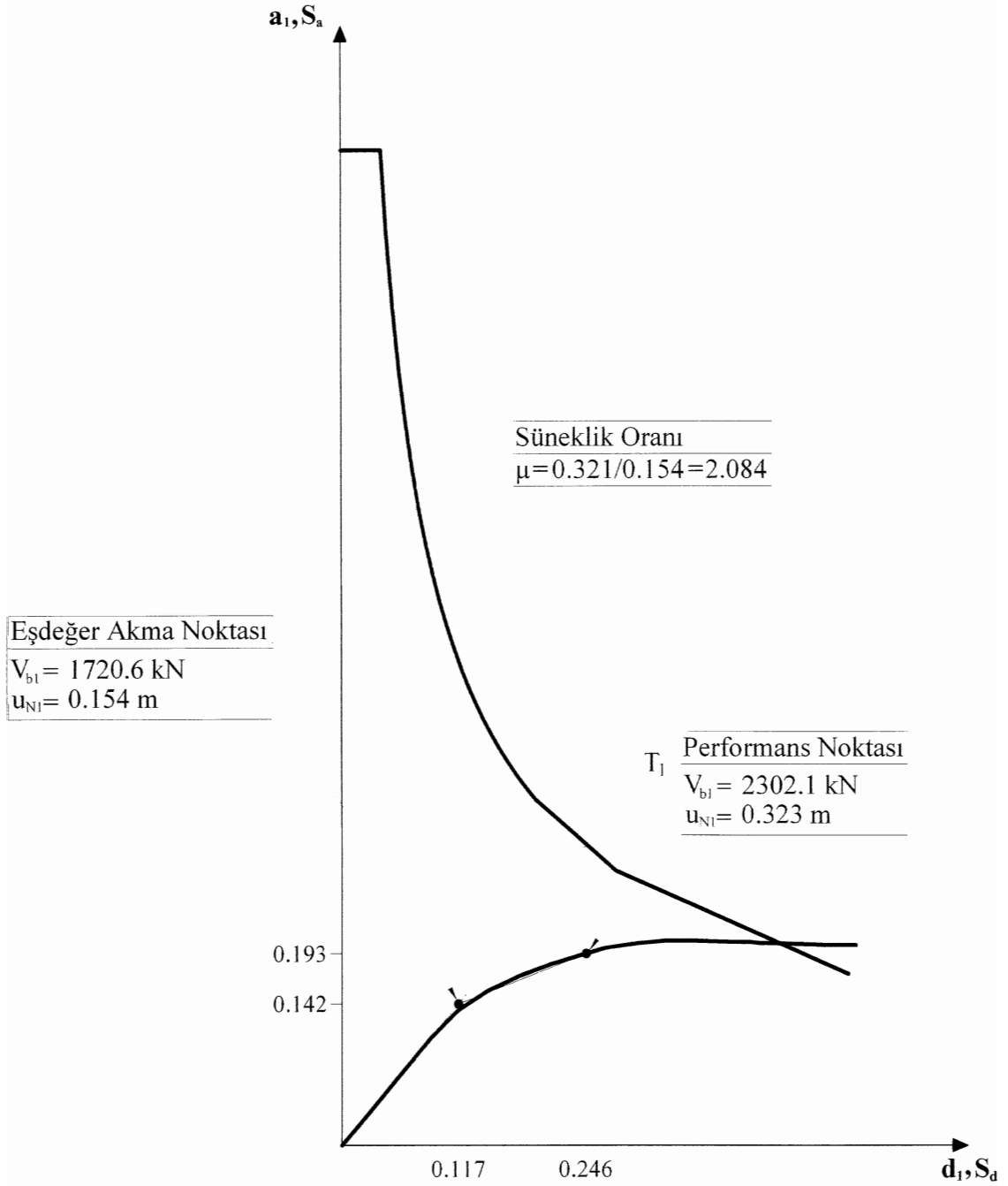
Ek 4 Performans noktaları ve doğrusal olmayan davranışa ilişkin parametrelerin değerleri



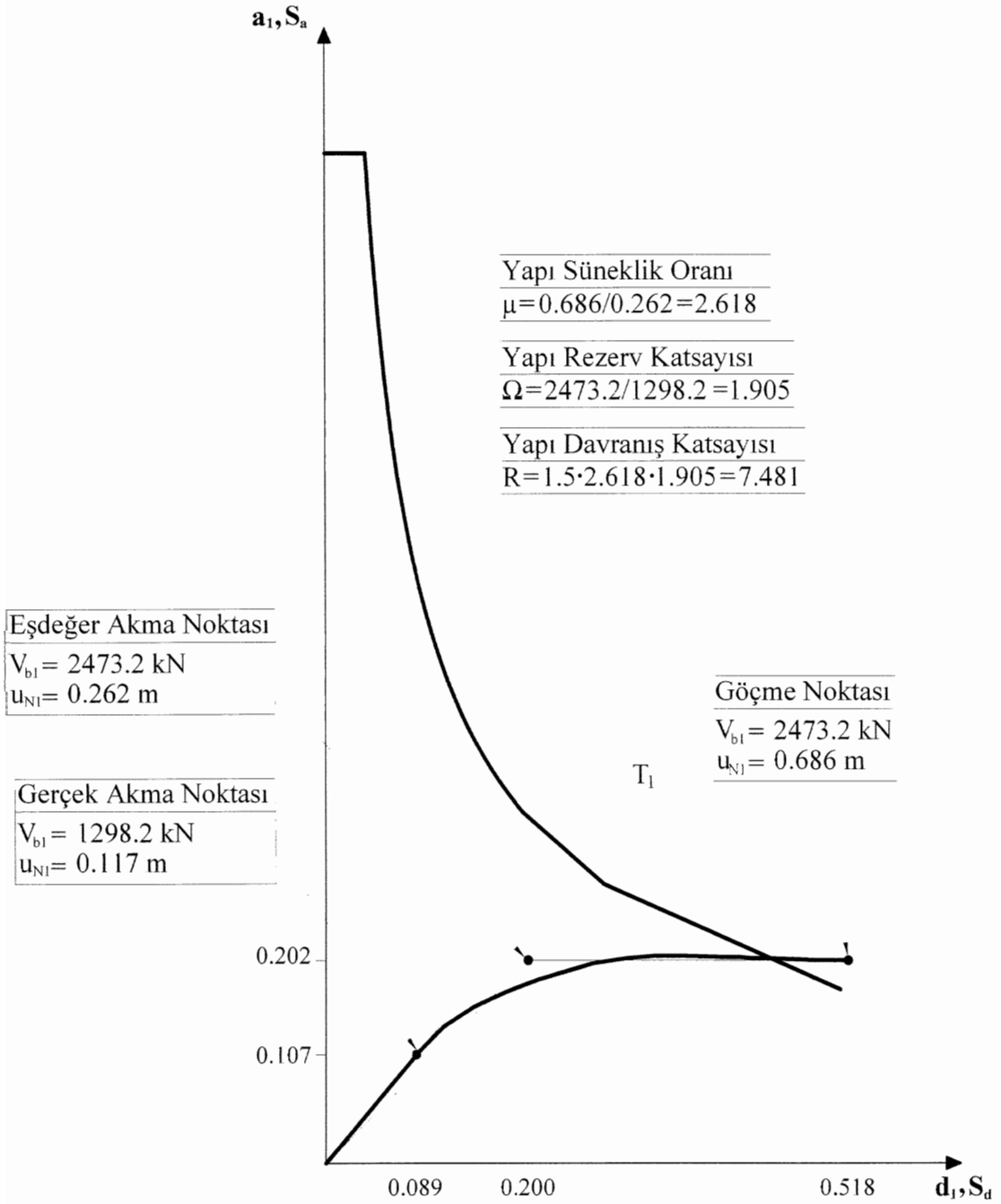
Şekil Ek 4.3 Z2 zemin sınıfı için görelî kat ötelemesi etkin tasarıma ait performans noktası



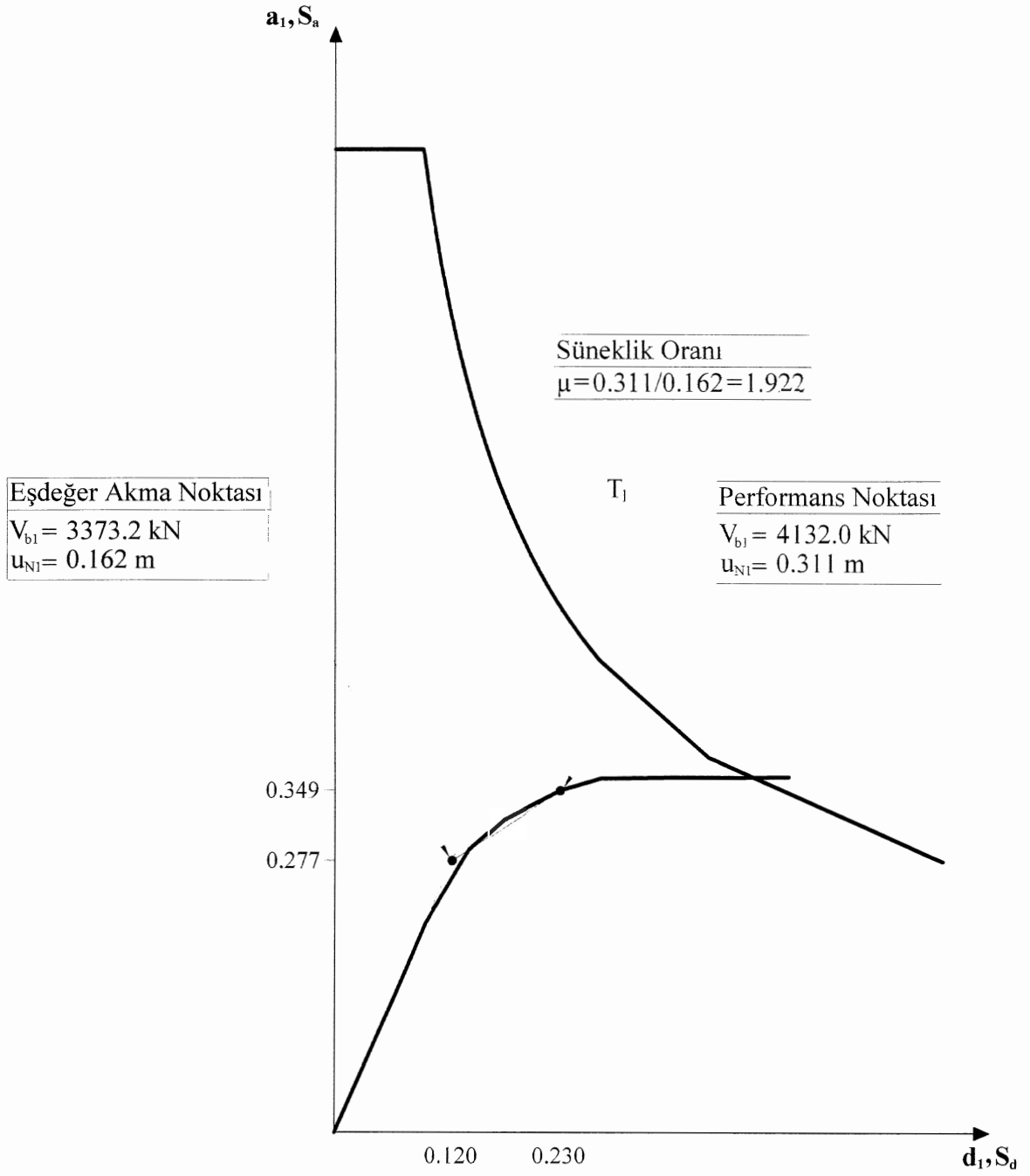
Şekil Ek 4.4 Z2 zemin sınıfı için göreceli kat ötelemesi etkin tasarımına ait doğrusal olmayan davranışa ilişkin parametreler



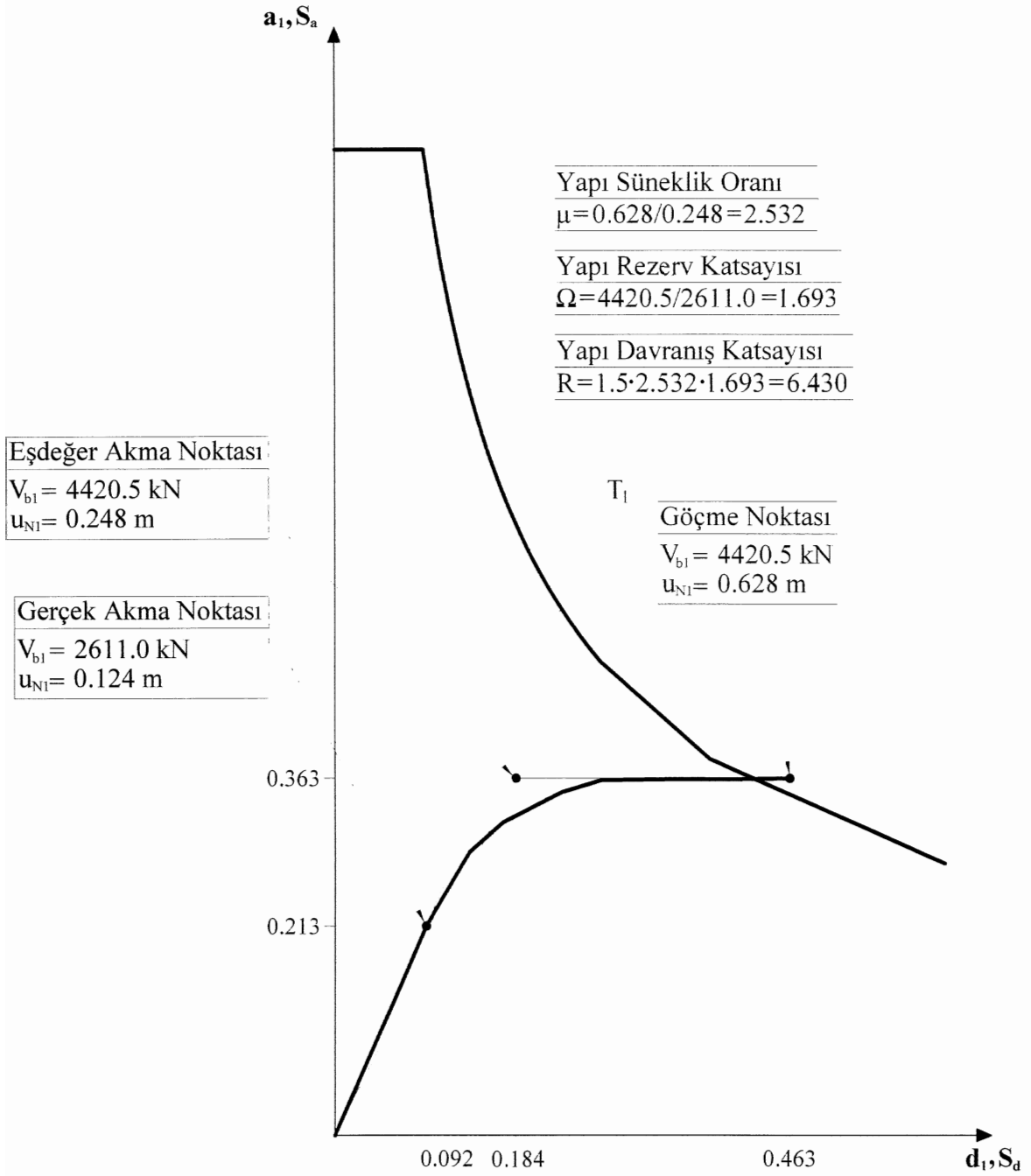
Şekil Ek 4.1 Z2 zemin sınıfı için görelî kat ötelemesi etkin olmayan tasarımına ait performans noktası



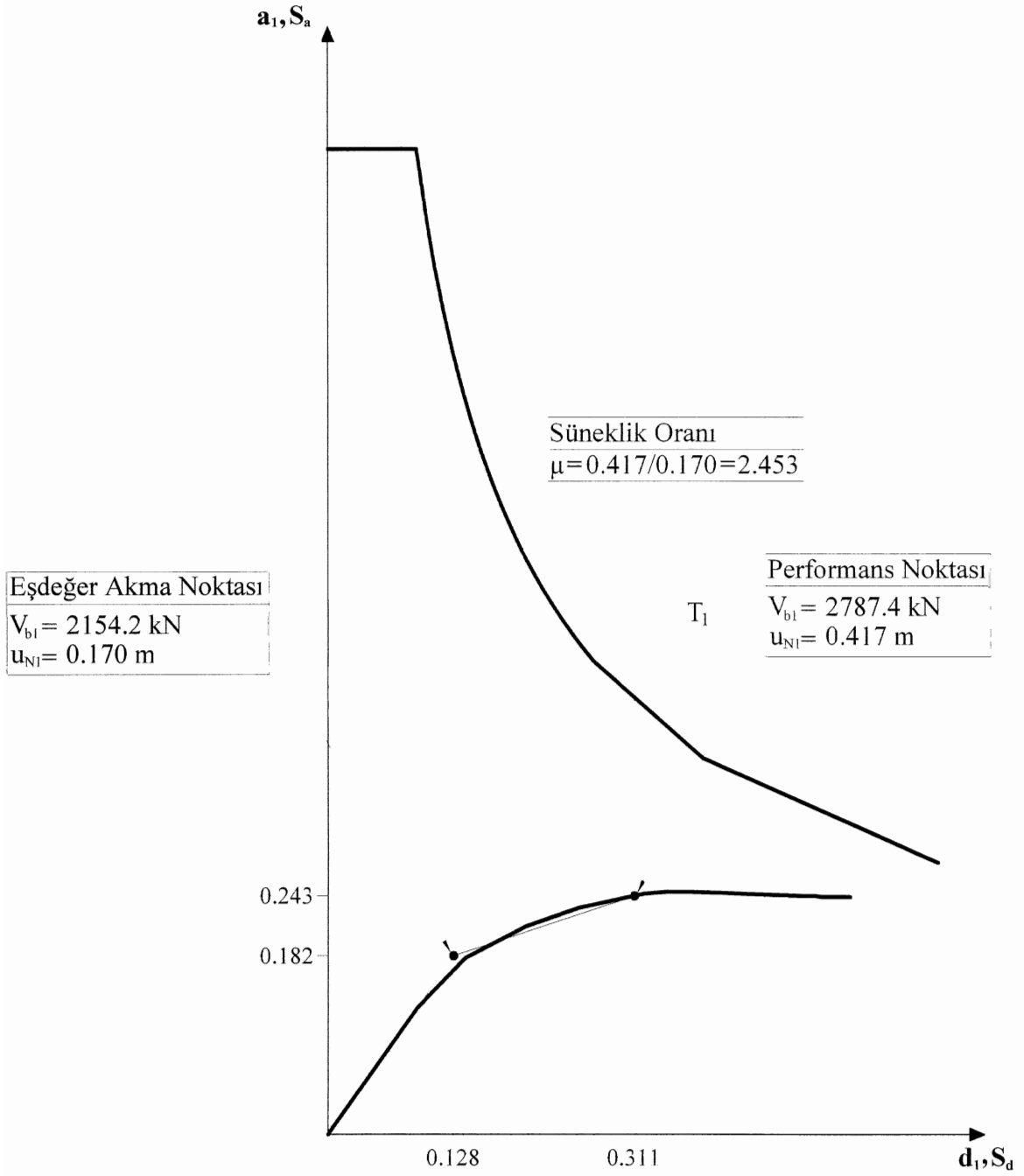
Şekil Ek 4.2 Z2 zemin sınıfı için görece kat ötelemesi etkin olmayan tasarımına ait doğrusal olmayan davranışa ilişkin parametreler



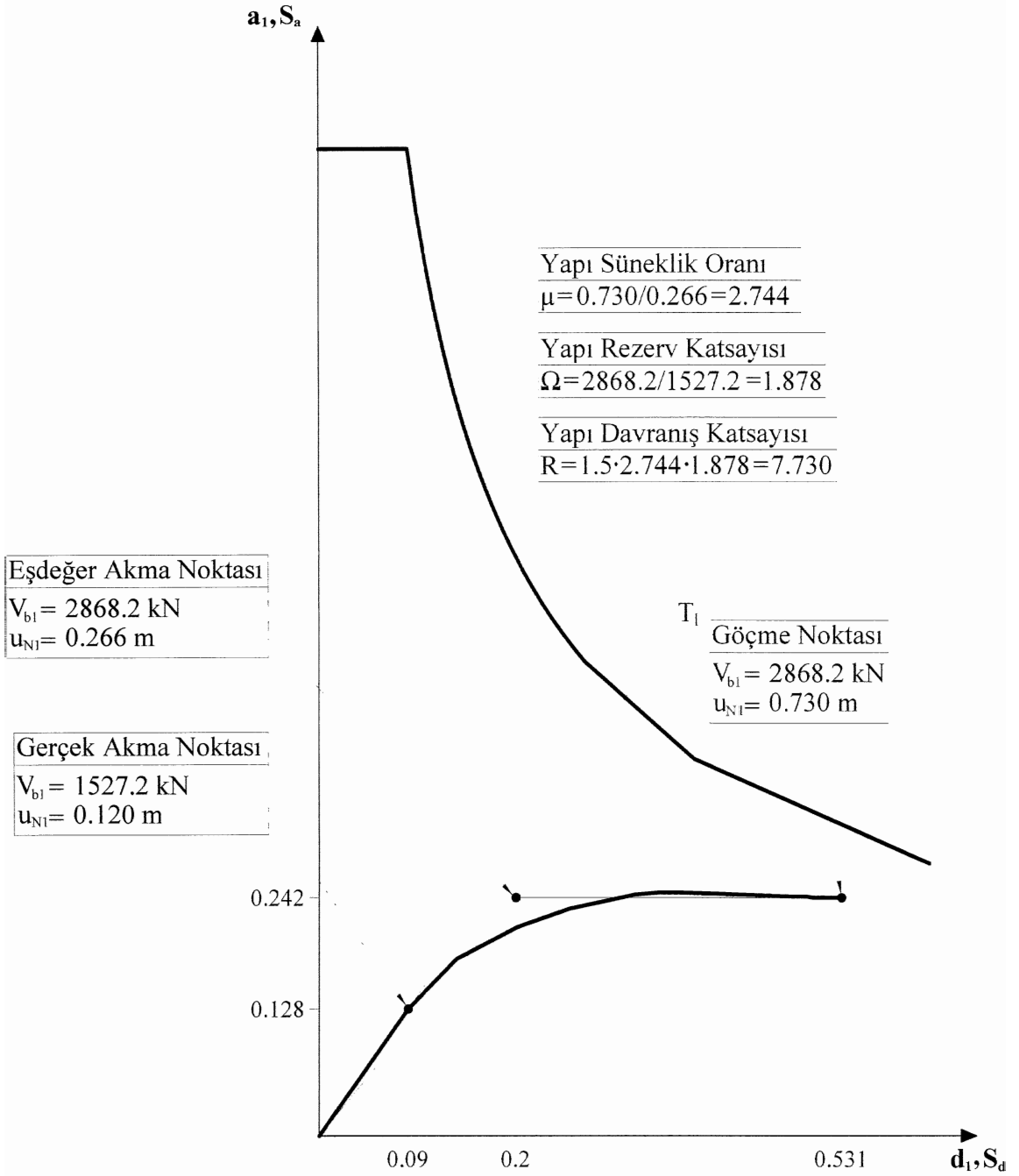
Şekil Ek 4.7 Z3 zemin sınıfı için görelî kat ötelemesi etkin tasarımına ait performans noktası



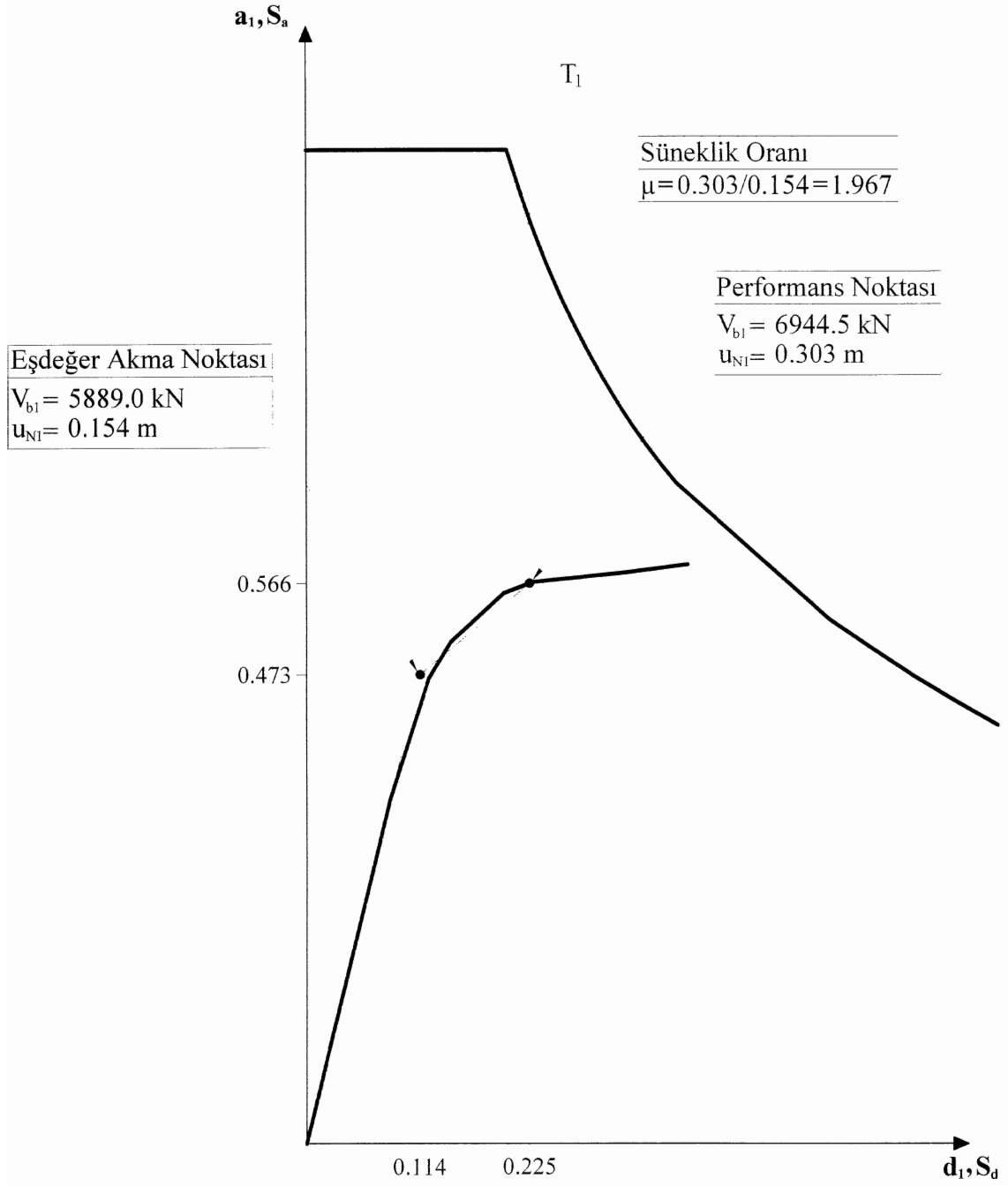
Şekil Ek 4.8 Z3 zemin sınıfı için görelî kat ötelemesi etkin tasarımına ait doğrusal olmayan davranışa ilişkin parametreler



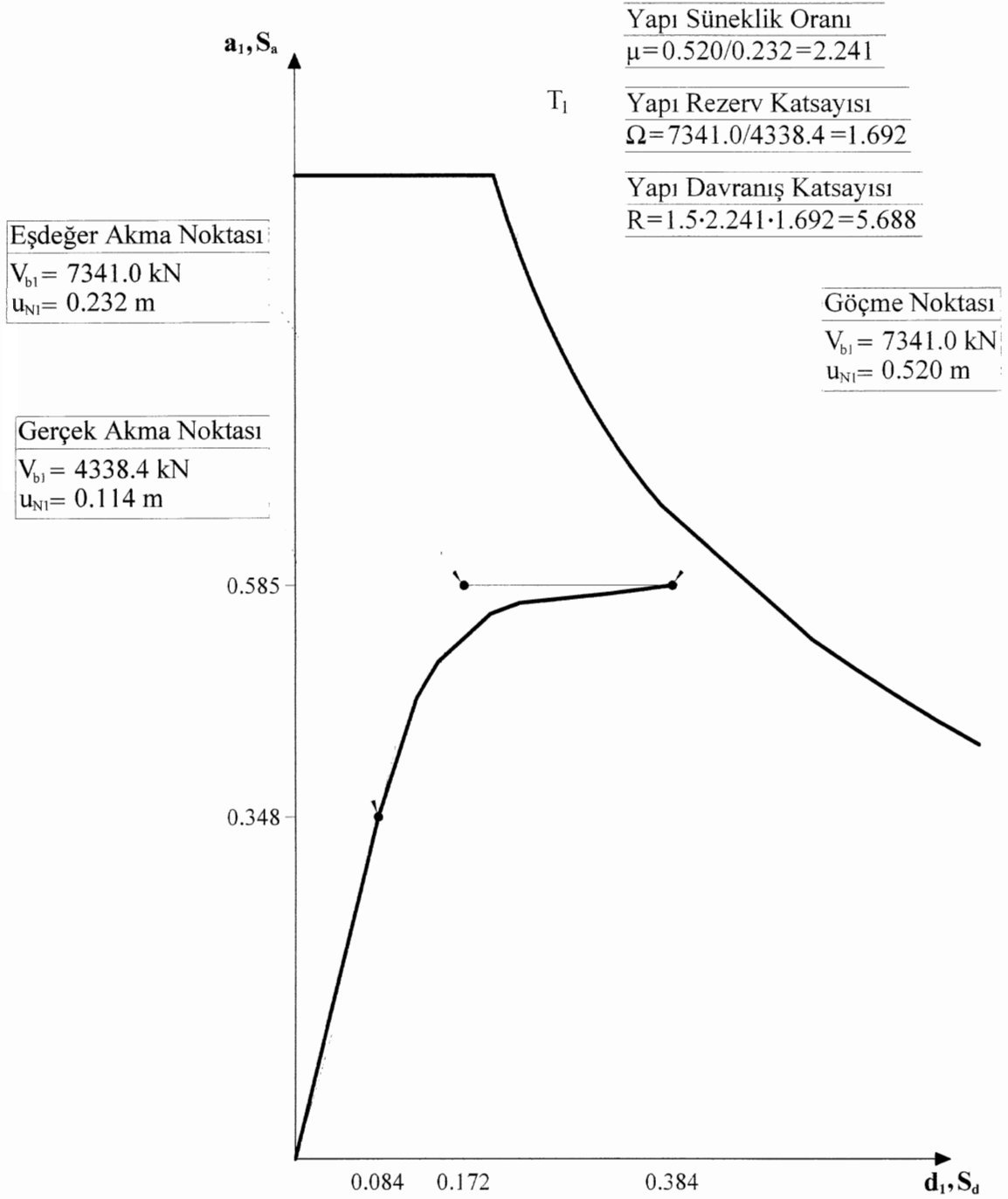
Şekil Ek 4.5 Z3 zemin sınıfı için görelî kat ötelemesi etkin olmayan tasarımına ait performans noktası



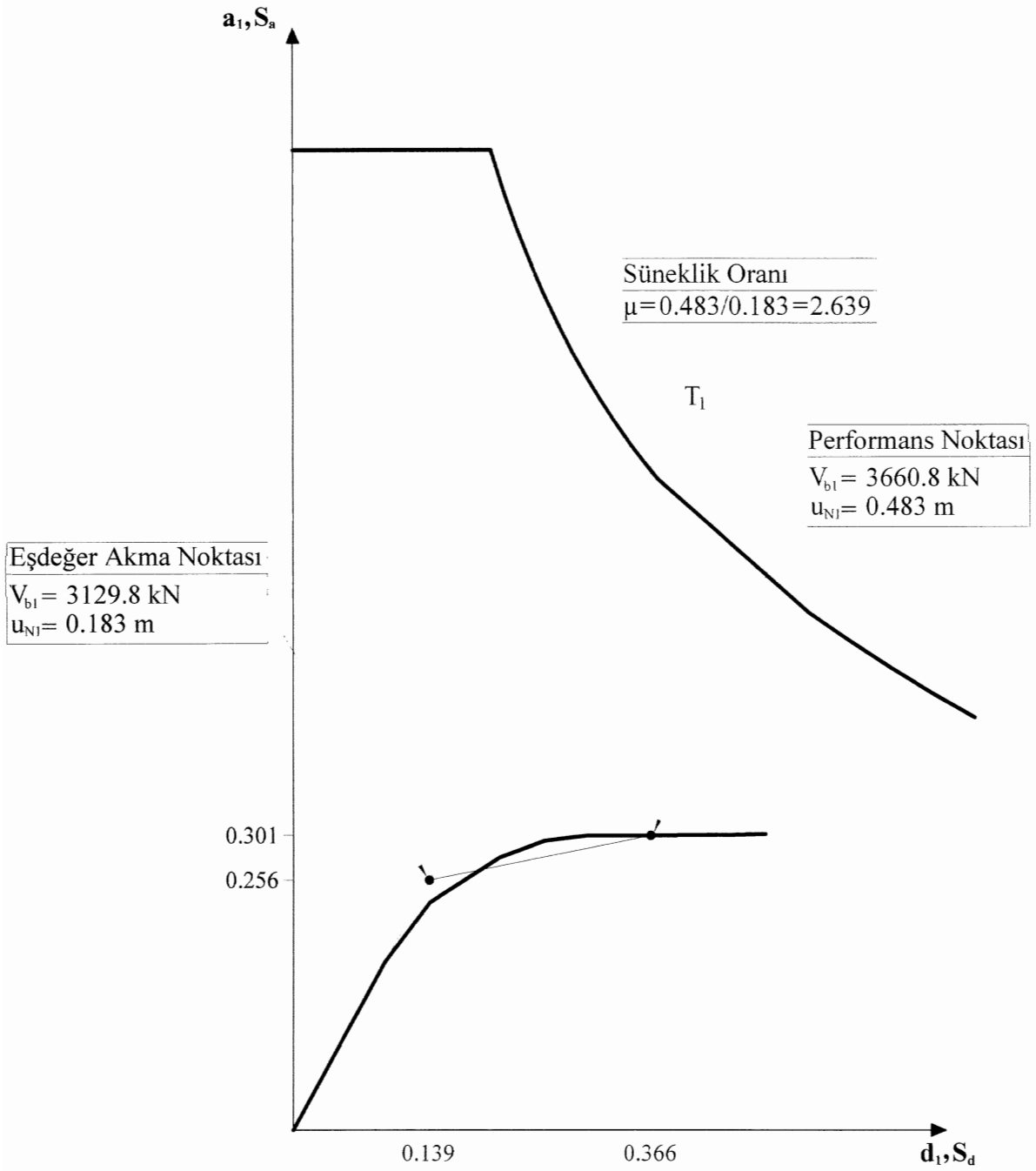
Şekil Ek 4.6 Z3 zemin sınıfı için görece kat ötelemesi etkin olmayan tasarımına ait doğrusal olmayan davranışa ilişkin parametreler



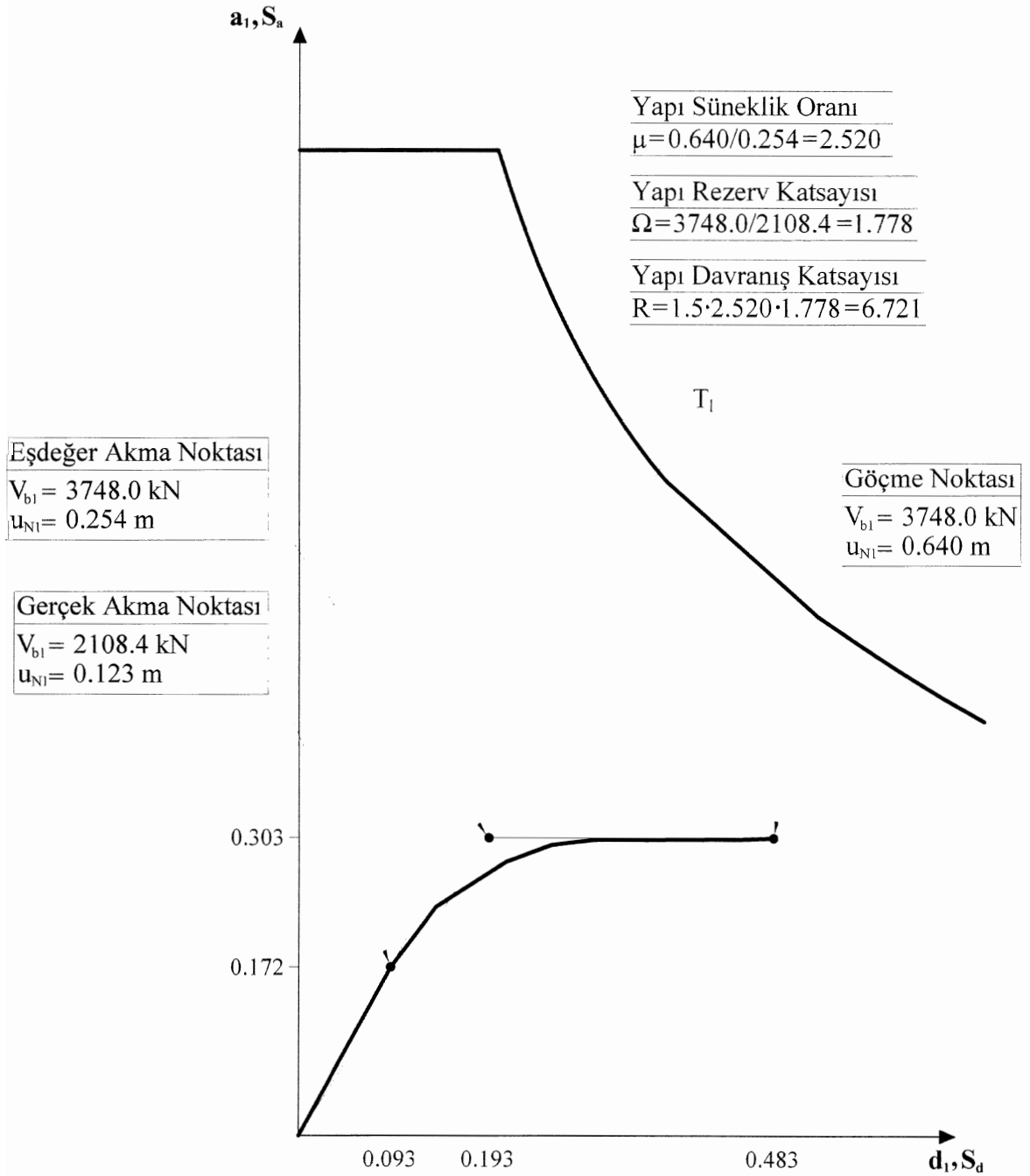
Şekil Ek 4.11 Z4 zemin sınıfı için görelî kat ötelemesi etkin tasarımına ait performans noktası



Şekil Ek 4.12 Z4 zemin sınıfı için göreceli kat ötelemesi etkin tasarımına ait doğrusal olmayan davranışa ilişkin parametreler



Şekil Ek 4.9 Z4 zemin sınıfı için görelî kat ötelemesi etkin olmayan tasarımına ait performans noktası



Şekil Ek 4.10 Z4 zemin sınıfı için görel kat ötelemesi etkin olmayan tasarımına ait doğrusal olmayan davranışa ilişkin parametreler

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 02.01.1980

Doğum yeri İstanbul

Lise 1994-1998 Ümraniye Yabancı Dil Ağırlıklı Lise

Lisans 1998-2002 Trakya Üniversitesi Çorlu Mühendislik Fakültesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 2004-2007 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Programı

Çalıştığı kurum

2006-Devam ediyor İstanbul Büyükşehir Belediyesi
Boğaziçi İmar Müdürlüğü