

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BETONARME KOLONLARIN EĞİLME MOMENTİ KAPASİTELERİNİN
DAYANIM FAZLALIĞI VE MALZEME ÖZELLİKLERİNDEKİ BELİRSİZLİKLER
DİKKATE ALINARAK BELİRLENMESİ**

CEM AYDEMİR

**DOKTORA TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YAPI PROGRAMI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. MUSTAFA ZORBOZAN**

İSTANBUL, 2011

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BETONARME KOLONLARIN EĞİLME MOMENTİ KAPASİTELERİNİN
DAYANIM FAZLALIĞI VE MALZEME ÖZELLİKLERİNDEKİ BELİRSİZLİKLER
DİKKATE ALINARAK BELİRLENMESİ**

Cem AYDEMİR tarafından hazırlanan tez çalışması 22.04.2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Mustafa ZORBOZAN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Mustafa ZORBOZAN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. İbrahim EKİZ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Zekai Celep
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Kadir GÜLER
İstanbul Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Murat Serdar KIRÇIL
Yıldız Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

ABYYHY 1998 'de getirilen yeni kavramlardan biri olan kapasite tasarımı gereği, depremin söz konusu olduğu durumlarda yapıya etkiyen deprem kuvvetlerinin tam olarak belirlenemeyeceğinden hareketle, kolon ve kirişlerin kesme hesabında temel alınacak kesme kuvvetinin elemanların uçlarındaki eğilme kapasiteleri temel alınarak saptanması öngörülmektedir. Bu çalışmada, kolonların eğilme kapasitelerinin gerçeğe yakın ve yaklaşık olarak belirlenme yöntemleri ortaya konup, kolonların eğilme kapasiteleri üzerine istatistiksel incelemeler yapılmıştır.

Bu çalışma boyunca yardımları, gösterdikleri ilgi ve sabırları için değerli hocam Doç. Dr. Mustafa ZORBOZAN ve tez izleme komitesi üyesi hocalarım Yrd. Doç.Dr. Murat Serdar KIRÇIL ve Prof. Dr. Kadir GÜLER'e içtenlikle teşekkür ederim.

Hayatım boyunca benden desteklerini esirgemiyen aileme ve bu çalışmanın her anında yanımda olan sevgili eşim Müberra ESER AYDEMİR'e minnettarım.

Mayıs, 2011

Cem AYDEMİR

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	vii
KISALTMA LİSTESİ	x
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xviii
ÖZET.....	xx
ABSTRACT	xxii
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	5
1.2 Çalışmanın Amacı.....	9
1.2.1 Kesit Analizlerinde İncelenen Temel Tasarım Parametreleri ve Göz Önüne Alınan Temel Belirsizlik Kaynakları.....	9
1.3 Orjinal Katkı.....	10
BÖLÜM 2	
OLASILIK MODELLERİ VE SAYISAL BENZEŞİM YÖNTEMLERİ	12
2.1 Rasgele Değişkenler ve Olasılık Modelleri	12
2.1.1 Rasgele Değişkenlerin Olasılık Dağılımı	12
2.1.2 Kesikli Dağılımlar	15
2.1.2.1 Üniform Dağılım	15
2.1.2.2 Diğer Kesikli Dağılım Modelleri	16
2.1.3 Sürekli Dağılımlar	17
2.1.3.1 Normal Dağılım	17
2.1.3.2 Diğer Sürekli Dağılım Modelleri	19
2.1.4 Çok Değişkenli Dağılımlar.....	19
2.2 Dağılım Modeli Hipotezi İçin Uyum Testleri	22
2.2.1 Khi-Kare Uyum Testi	23

2.2.2	Kolmogorov-Smirnov Uyum Testi.....	24
2.3	Sayısal Benzeşim Yöntemleri	24
2.3.1	Monte Carlo Benzeşim Yöntemi	24
2.3.1.1	Korelasyonsuz Bir Rasgele Değişkenin Sayısal Değerlerinin Türetilmesi	25
2.3.1.2	Korelasyonlu Rasgele Değişkenlerin Sayısal Değerlerinin Türetilmesi	26

BÖLÜM 3

BETONARME KOLON DAVRANIŞININ MONTE CARLO BENZEŞİM YÖNTEMİ İLE SAYISAL ANALİZİ..... 27

3.1	Genel.....	27
3.2	Temel Belirsizlik Kaynakları.....	28
3.2.1	Analitik Model Belirsizlikleri	28
3.2.1.1	Sargılı Beton Etkili Birim Kısılması Model Belirsizlik Katsayısı.....	38
3.2.2	Fiziksel Özelliklerdeki Değişkenlikler	39
3.2.2.1	Beton Basınç Dayanımı.....	39
3.2.2.2	Donatı Çeliği Akma ve Kopma Dayanımları.....	40
3.2.2.3	Donatı Çeliği Akma Dayanımına Bağlı Deterministik Değişkenler.....	41
3.2.2.4	Donatı Çeliği Pekleşme Başlangıç Birim Şekil Değiştirmesi.....	41
3.2.2.5	Donatı Çeliği Kopma Birim Şekil Değiştirmesi.....	41
3.2.2.6	Sargısız Beton Etkili Birim Kısılması	41
3.2.2.7	Kesit Boyutlarındaki Belirsizliklerin Modellenmesi.....	41
3.3	Monte Carlo Simülasyonu ve Kesit Analizleri	42
3.3.1	Korelasyonsuz Bir Rasgele Değişkenin Sayısal Değerlerinin Örnekleme.....	42
3.3.2	Korelasyonlu Rasgele Değişkenlerin Sayısal Değerlerinin Örnekleme.....	43
3.3.3	Örnek Kolonlar	43
3.3.4	Örnekleme Sayısı.....	45
3.4	Analiz Sonuçları.....	46
3.4.1	Kolon Moment Kapasitesinin Karakteristik Moment Kapasitesine Göre Oranındaki Değişkenlikler	47
3.4.2	Kolon Moment Kapasitesinin Karakteristik Moment Kapasitesine Göre Oranının Birikimli Olasılık Eğrileri	105
3.4.3	Kolon Moment Kapasitesinin Taşıma Gücü Momentine Göre Oranındaki Değişkenlikler	106
3.4.4	Kolon Moment Kapasitesinin Taşıma Gücü Momentine Göre Oranının Birikimli Olasılık Eğrileri.....	113

BÖLÜM 4

BETONARME KOLONLARIN OLASI MOMENT KAPASİTESİNİN BELİRLENMESİ İÇİN ÖNERİLEN YÖNTEMLER..... 114

4.1	Kolon Olası Moment Kapasitesinin Karakteristik Taşıma Gücü Momenti Yardımla Saptanması.....	114
-----	--	-----

4.1.1	Aşılma Olasılığı Belirli Bir Düzeydeki Dayanım Artış Katsayılarının ($\beta_{\%10}$) Belirlenmesi	115
4.1.2	Parametrik İncelemeler	154
4.1.2.1	Malzeme Sınıfı Farklılıklarının Etkileri	154
4.1.2.2	Donatı Düzeni ve Kesit Boyut Farklılıklarının Etkileri	155
4.1.2.3	Temel Belirsizlik Kaynaklarındaki Değişkenliklerin Etkileri	157
4.1.3	Regresyon Analizi	157
4.2	Kolon Olası Moment Kapastesinin Taşıma Gücü Momenti Yardımıyla Saptanması.....	159
4.2.1	Aşılma Olasılığı Belirli Bir Düzeydeki Dayanım Artış Katsayılarının ($\lambda_{r,\%10}$) Belirlenmesi	160
4.2.2	Parametrik İncelemeler	160
4.2.2.1	Malzeme Sınıfı Farklılıklarının Etkileri	160
4.2.2.2	Donatı Düzeni ve Kesit Boyut Farklılıklarının Etkileri	161
4.2.2.3	Temel Belirsizlik Kaynaklarındaki Değişkenliklerin Etkileri	162
4.2.3	Regresyon Analizi	163
BÖLÜM 5		
KARŞILAŞTIRMALAR		165
5.1	Önerilen Yöntemlerin Monte Carlo Simülasyonu ile Karşılaştırılması	166
5.2	Önerilen Yöntemlerin DeneySEL Sonuçlarla Karşılaştırılması.....	171
BÖLÜM 6		
SONUÇ VE ÖNERİLER		175
KAYNAKLAR.....		178
EK-A		
KHİ-KARE DAĞILIMI $C_{1-\alpha,f}$ DEĞERLERİ		183
EK-B		
KORELASYONSUZ RASGELE DEĞİŞKENLERİN SAYISAL DEĞERLERİNİN TÜRETİLMESİ ...		185
EK-C		
KORELASYONLU RASGELE DEĞİŞKENLERİN SAYISAL DEĞERLERİNİN TÜRETİLMESİ		186
EK-D		
MOMENT-EĞRİLİK ANALİZİ PROGRAMININ TANITIMI.....		187
ÖZGEÇMİŞ		195

SİMGE LİSTESİ

b	Kesit genişliği
A_c	Kolon kesit alanı
A_{st}	Toplam boyuna donatı alanı
$c_{1-\alpha f}$	f serbeslik derecesi ve $1-\alpha$ birikimli olasılığına karşı gelen kritik değer
D_n	Deneyssel ve teorik birikimli dağılım fonksiyonları arasında oluşan en büyük fark
D_n^α	Gözlem sayısı ve seçilen önem düzeyine bağlı değişen kritik değer
e_i	i. Aralıkta beklenen frekans
E_c	Beton elastisite modülü
E_s	Donatı çeliği elastisite modülü
$E(x)$	x rasgele değişkeninin beklenen değeri
f	Serbestlik derecesi
f_c	Beton basınç dayanımı
F_c	Beton basınç bileşkesinin genel ifadesi
f_{cc}	Sargılı betonun basınç dayanımı
f_{cd}	Beton tasarım basınç dayanımı
f_{ck}	Beton karakteristik silindirik basınç dayanımı
f_{co}	Sargısız betonun basınç dayanımı
f_{ct}	Beton çekme dayanımı
f_{ctk}	Beton karakteristik çekme dayanımı
f_{su}	Donatı çeliği karakteristik kopma dayanımı
f_y	Donatı çeliği akma dayanımı
f_{yd}	Donatı çeliği tasarım akma dayanımı
f_{yk}	Donatı çeliği karakteristik akma dayanımı
f_{yw}	Sargı donatısı akma dayanımı
f_{ywk}	Sargı donatısı karakteristik akma dayanımı
F_s	Donatıya etkiyen kuvvetin genel ifadesi
$f_X(x)$	X rasgele değişkeninin olasılık yoğunluk fonksiyonu
$F_X(x)$	X rasgele değişkeninin birikimli olasılık fonksiyonu
$f_{X,Y}(x,y)$	X ve Y rasgele değişkenlerinin ortak olasılık yoğunluk fonksiyonu
$F_{X,Y}(x,y)$	X ve Y rasgele değişkenlerinin ortak birikimli olasılık fonksiyonu
h	Kesit yüksekliği

K	Sargılı betonun kuşatma katsayısı
k_1	Eşdeğer dikdörtgen basınç bloğu derinliği katsayısı
L	Kolonun serbest yüksekliği
ℓ_n	Kolonun kirişler arasında kalan serbest yüksekliği
m	Boyutsuz taşıma gücü momenti
M_{maks}	Deneyssel olarak ya da analitik moment eğrilik analizinden elde edilen kolon moment kapasitesi
$M_{maks,i}$	i. örnekleme sayısında moment eğrilik analizinden elde edilen maksimum moment kapasitesi
M_p	Kolon olası eğilme momenti kapasitesi
M_{pa}	Kolonun serbest yüksekliğinin alt ucundaki eğilme momenti kapasitesi
M_{pi}	Kirişin sol ucu i'deki kolon yüzünde hesaplanacak pozitif ya da negatif pekleşmeli eğilme momenti kapasitesi
M_{pj}	Kirişin sağ ucu j'deki kolon yüzünde hesaplanacak pozitif ya da negatif pekleşmeli eğilme momenti kapasitesi
$M_{pü}$	Kolonun serbest yüksekliğinin üst ucundaki eğilme momenti kapasitesi
M_r	Malzeme hesap dayanımlarına göre belirlenen taşıma gücü momenti
M_n	Karakteristik malzeme dayanımlarına göre belirlenen taşıma gücü momenti
m_X	x rasgele değişkeninin ortalama değeri
n	Boyutsuz eksenel yük
n_i	i. Aralıkta gözlenen frekans
N	Eksenel yük
N_d	Yük katsayılarıyla çarpılmış düşey yükler ve deprem yüklerinin ortak etkisi altında hesaplanan eksenel kuvvet
N_r	Eksenel yük taşıma gücü
R	Kesit çapı
s	Sargı donatısı aralığı
s_i	Belirli bir örnek boyutundaki standart normal rasgele değişkenin i. değeri
u_i	Belirli bir örnek boyutunda 0~1 aralığındaki üniform rasgele değişkenin i. değeri
x	Tarafsız eksen derinliği
x_i	Belirli bir örnek boyutundaki X rasgele değişkeninin i. değeri
x_p	Kesitin plastik ağırlık merkezinin en dış basınç lifine olan uzaklığı
$Var(x)$	x rasgele değişkeninin varyansı
V_e	Kolon yanıl donatı hesabında esas alınacak kesme kuvveti
y_i	Belirli bir örnek boyutundaki Y rasgele değişkeninin i. değeri
α	Önem düzeyi
β	Kolon moment kapasitesinin karakteristik taşıma gücü momentine oranı
β_i	i. örnekleme sayısında moment eğrilik analizinden elde edilen maksimum moment kapasitesinin karakteristik moment taşıma gücüne oranı ($M_{maks, i}/M_n$)
$\beta_{%10}$	Aşılma olasılığı % 10 olan karakteristik moment taşıma gücü artış katsayısı
χ_m	Analitik model belirsizlik katsayısı
χ_{Mmaks}	Analitik moment eğrilik ilişkilerinden belirlenen maksimum moment kapasitesi model belirsizlik katsayısı
ϵ_c	En dış basınç lifindeki beton birim kısalması
ϵ_{ccu}	Sargılı betonun maksimum birim kısalması

ϵ_{ci}	Şeritli modellemede i. beton şeritinin ağırlık merkezindeki birim şekil değiştirme
ϵ_{cm}	Kesitin eğilme momenti kapasitesine ulaştığı andaki en dış basınç lifindeki beton birim kısalması
ϵ_{co}	Sargısız betondaki maksimum gerilmeye karşılık gelen birim kısalma
ϵ_{cco}	Sargılı betondaki maksimum gerilmeye karşılık gelen birim kısalma
ϵ_{cr}	Çekme altındaki betonda maksimum gerilmedeki birim uzama
ϵ_{ctu}	Çekme altındaki betondaki maksimum birim uzama
ϵ_{cu}	Sargısız betonun maksimum birim kısalması
ϵ_{si}	Şeritli modellemede kesitin i. donatı sırasında yer alan boyuna donatıların birim şekil değiştirmesi
ϵ_{sh}	Donatı çeliği pekleşme başlangıç birim şekil değiştirmesi
ϵ_{su}	Donatı çeliği kopma birim şekil değiştirmesi
ϕ	Eğrilik
Φ	Standart normal olasılık fonksiyonu
γ_c	Beton için malzeme hesap katsayısı (kısmi güvenlik katsayısı)
γ_s	Donatı çeliği malzeme hesap katsayısı (kısmi güvenlik katsayısı)
λ	Lognormal dağılan x rasgele değişkeni için $\ln x$ 'in ortalama değeri
λ_r	Kolon moment kapasitesinin taşıma gücü momentine oranı
$\lambda_{r,i}$	i. örnekleme sayısında moment eğrilik analizinden elde edilen maksimum moment kapasitesinin moment taşıma gücüne oranı ($M_{maks, i}/M_r$)
$\lambda_{r, \%10}$	Aşılma olasılığı %10 olan moment taşıma gücü artış katsayısı
ρ_s	Sargı donatısı hacimsel oranı
ρ_t	Kolonda toplam boyuna donatı oranı (A_{st}/A_c)
σ_c	Beton basınç gerilmesi
σ_x	x rasgele değişkeninin standart sapması
ω_s	Kolonda yanal donatı mekanik indeksi ($\omega_s = \rho_s \times f_{yw}/f_{ck}$)
ω_t	Kolonda toplam boyuna donatı mekanik indeksi ($\omega_t = \rho_t \times f_{yk}/f_{ck}$)
ξ	Lognormal dağılan x rasgele değişkeni için $\ln x$ 'in standart sapması

KISALTMA LİSTESİ

DBYBHY	Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkındaki Yönetmelik
ABYYHY	Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik
ACI	American Concrete Institute (Amerikan Beton Enstitüsü)
TS500	Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1. 1	Deprem yönetmeliğine göre kolonlarda kesme kuvveti V_e 'nin hesabında temel alınan eğilme momentleri [1, 2] 2
Şekil 1. 2	Büyük eksenel yükler altında M_{maks}/M_r oranı [8] 4
Şekil 1. 3	Deneysel moment kapasitesinin karakteristik moment kapasitesine oranlarının eksenel yük düzeyine göre değişimi [13] 6
Şekil 1. 4	Arttırılmış malzeme dayanımları ($f_y=1.3f_{yk}$, $f_c=1.3f_{ck}$) yardımıyla belirlenen kolon taşıma gücü momentlerinin ($M_{Aschheim}$) gerçek moment kapasitelerine (M_{maks}) oralarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri [7] 6
Şekil 1. 5	Dikdörtgen kesitli kolonlarda eş $M_{p,Ersoy} / M_r$ eğrileri [8] 7
Şekil 2. 1	Sürekli olasılık dağılımı (a) Olasılık yoğunluk fonksiyonu, (b) Birikimli olasılık dağılım fonksiyonu 14
Şekil 2. 2	Üniform kesikli olasılık dağılımı (a) Olasılık yoğunluk fonksiyonu, (b) Birikimli olasılık dağılım fonksiyonu 16
Şekil 2. 3	Normal olasılık yoğunluk fonksiyonları (a) Standart sapmanın değişken olması durumu, (b) Ortalama değerin değişken olması durumu 18
Şekil 2. 4	X ve Y sürekli rasgele değişkenlerine ilişkin ortak ve marjinal olasılık yoğunluk fonksiyonları 20
Şekil 2. 5	Boyutsuz korelasyon katsayıları 22
Şekil 2. 6	Standart normal rasgele değerlerin elde edilişi 26
Şekil 3. 1	Sayısal analiz yönteminin şematik gösterimi 29
Şekil 3. 2	Şeritli (Lifli) Model (Dikdörtgen kesit): (a) Kesitin geometrik tanımlaması, (b) Beton ve donatı çeliği gerilme-birim şekil değiştirme davranış modelleri (c) Analitik moment eğrilik ilişkileri (model-3) ve deneysel sonuçlarla karşılaştırılması 31
Şekil 3. 3	Şeritli (Lifli) Model (Dairesel kesit): (a) Kesitin geometrik tanımlaması, (b) Beton ve donatı çeliği gerilme-birim şekil değiştirme davranış modelleri (c) Analitik moment eğrilik ilişkileri (model-3) ve deneysel sonuçlarla karşılaştırılması 32
Şekil 3. 4	Farklı davranış modellerine göre belirlenen analitik moment kapasitelerinin deneysel moment kapasiteleriyle karşılaştırılması 33
Şekil 3. 5	Kolon deney düzeneklerinin şematik gösterimi 33
Şekil 3. 6	Karşılaştırmalarda kullanılan deney elemanlarında eksenel yük düzeyinin dağılımı 34

Şekil 3. 7	Karşılaştırmalarda kullanılan deney elemanlarında boyuna ve enine donatı yüzdelerinin dağılımı.....	34
Şekil 3. 8	Örnek kolonların isimlendirilmesi	44
Şekil 3. 9	Örnekleme sayısındaki değişimin kolon taşıma gücü momenti dayanım fazlalığı üzerine etkileri (S2R400/400M1Ws18 kolonu), a) $\rho_t=0.01$, b) $\rho_t=0.03$	45
Şekil 3. 10	Örnekleme sayısındaki değişimin kolon taşıma gücü momenti dayanım fazlalığı üzerine etkileri (S2R400/400M1Ws18 kolonu), a) $\rho_t=0.01$, b) $\rho_t=0.03$	46
Şekil 3. 11	β katsayılarının dağılım modelinin Khi-Kare yöntemiyle sınanması	47
Şekil 3. 12	S1R300/300 kolonunda β katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.12$	49
Şekil 3. 13	S1R300/300 kolonunda β katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.15$	50
Şekil 3. 14	S1R300/300 kolonunda β katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.18$	51
Şekil 3. 15	S2R400/400 kolonunda β katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.12$	53
Şekil 3. 27	S2R400/400 kolonunda β katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.15$	54
Şekil 3. 17	S2R400/400 kolonunda β katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.18$	55
Şekil 3. 18	S3R500/500 kolonunda β katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.12$	57
Şekil 3. 19	S3R500/500 kolonunda β katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.15$	58
Şekil 3. 20	S3R500/500 kolonunda β katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.18$	59
Şekil 3. 21	S4R600/600 kolonunda β katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.12$	61
Şekil 3. 22	S4R600/600 kolonunda β katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.15$	62
Şekil 3. 23	S4R600/600 kolonunda β katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.18$	63
Şekil 3. 24	S5R800/800 kolonunda β katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.12$	65
Şekil 3. 25	S5R800/800 kolonunda β katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.15$	66
Şekil 3. 26	S5R800/800 kolonunda β katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.18$	67
Şekil 3. 27	S6R250/500 kolonunda β katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.12$	69
Şekil 3. 28	S6R250/500 kolonunda β katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.15$	70

Şekil 3. 29	S6R250/500 kolonunda β katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.18$ 71
Şekil 3. 30	S4R400/600 kolonunda β katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.12$ 73
Şekil 3. 31	S4R400/600 kolonunda β katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.15$ 74
Şekil 3. 32	S4R400/600 kolonunda β katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.18$ 75
Şekil 3. 33	S1C300 kolonunda β katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.12$ 77
Şekil 3. 34	S1C300 kolonunda β katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.15$ 78
Şekil 3. 35	S1C300 kolonunda β katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.18$ 79
Şekil 3. 36	S2C400 kolonunda β katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.12$ 81
Şekil 3. 37	S2C400 kolonunda β katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.15$ 82
Şekil 3. 38	S2C400 kolonunda β katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.18$ 83
Şekil 3. 39	S3C500 kolonunda β katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.12$ 85
Şekil 3. 40	S3C500 kolonunda β katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.15$ 86
Şekil 3. 41	S3C500 kolonunda β katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.18$ 87
Şekil 3. 42	S4C600 kolonunda β katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.12$ 89
Şekil 3. 43	S4C600 kolonunda β katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.15$ 90
Şekil 3. 44	S4C600 kolonunda β katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.18$ 91
Şekil 3. 45	S4C700 kolonunda β katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.12$ 93
Şekil 3. 46	S4C700 kolonunda β katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.15$ 94
Şekil 3. 47	S4C700 kolonunda β katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.18$ 95
Şekil 3. 48	S5C800 kolonunda β katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.12$ 97
Şekil 3. 49	S5C800 kolonunda β katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.15$ 98
Şekil 3. 50	S5C800 kolonunda β katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.18$ 99

Şekil 3. 51	S6C1000 kolonunda β katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.12$ 101
Şekil 3. 52	S6C1000 kolonunda β katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.15$ 102
Şekil 3. 53	S6C1000 kolonunda β katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.18$ 103
Şekil 3. 54	β katsayıları birikimli olasılık eğrileri a) $\rho_t = 0.01$, b) $\rho_t = 0.02$ c) $\rho_t = 0.03$ d) $\rho_t = 0.04$ 105
Şekil 3. 55	λ_r katsayıları birikimli olasılık eğrileri a) $\rho_t = 0.01$, b) $\rho_t = 0.02$ c) $\rho_t = 0.03$ d) $\rho_t = 0.04$ 113
Şekil 4. 1	Örnek bir kolon kesiti için $\beta_{\%10}$ katsayılarının elde edilmesi 117
Şekil 4. 2	S1R300/300 kolonunda $\beta_{\%10}$ (M_p/M_n) katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.12$ 118
Şekil 4. 3	S2R400/400 kolonunda $\beta_{\%10}$ (M_p/M_n) katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.12$ 119
Şekil 4. 4	S3R500/500 kolonunda $\beta_{\%10}$ (M_p/M_n) katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.12$ 120
Şekil 4. 5	S4R600/600 kolonunda $\beta_{\%10}$ (M_p/M_n) katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.12$ 121
Şekil 4. 6	S5R800/800 kolonunda $\beta_{\%10}$ (M_p/M_n) katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.12$ 122
Şekil 4. 7	S6R250/500 kolonunda $\beta_{\%10}$ (M_p/M_n) katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.12$ 123
Şekil 4. 8	S4R400/600 kolonunda $\beta_{\%10}$ (M_p/M_n) katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.12$ 124
Şekil 4. 9	S2C400 kolonunda $\beta_{\%10}$ (M_p/M_n) katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.12$ 125
Şekil 4. 10	S3C500 kolonunda $\beta_{\%10}$ (M_p/M_n) katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.12$ 126
Şekil 4. 11	S4C600 kolonunda $\beta_{\%10}$ (M_p/M_n) katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.12$ 127
Şekil 4. 12	S4C700 kolonunda $\beta_{\%10}$ (M_p/M_n) katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.12$ 128
Şekil 4. 13	S5C800 kolonunda $\beta_{\%10}$ (M_p/M_n) katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.12$ 129
Şekil 4. 14	S6C1000 kolonunda $\beta_{\%10}$ (M_p/M_n) katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.12$ 130
Şekil 4. 15	S1R300/300 kolonunda $\beta_{\%10}$ (M_p/M_n) katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.15$ 131
Şekil 4. 16	S2R400/400 kolonunda $\beta_{\%10}$ (M_p/M_n) katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.15$ 132
Şekil 4. 17	S3R500/500 kolonunda $\beta_{\%10}$ (M_p/M_n) katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.15$ 133
Şekil 4. 18	S4R600/600 kolonunda $\beta_{\%10}$ (M_p/M_n) katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.15$ 134

Şekil 4. 19	S2C400 kolonunda $\beta_{\%10}$ (M_p/M_n) katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.15$ 135
Şekil 4. 20	S3C500 kolonunda $\beta_{\%10}$ (M_p/M_n) katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.15$ 136
Şekil 4. 21	S4C600 kolonunda $\beta_{\%10}$ (M_p/M_n) katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.15$ 137
Şekil 4. 22	S4C700 kolonunda $\beta_{\%10}$ (M_p/M_n) katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.15$ 138
Şekil 4. 23	S5C800 kolonunda $\beta_{\%10}$ (M_p/M_n) katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.15$ 139
Şekil 4. 24	S6C1000 kolonunda $\beta_{\%10}$ (M_p/M_n) katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.15$ 140
Şekil 4. 25	S1R300/300 kolonunda $\beta_{\%10}$ (M_p/M_n) katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.18$ 141
Şekil 4. 26	S2R400/400 kolonunda $\beta_{\%10}$ (M_p/M_n) katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.18$ 142
Şekil 4. 27	S3R500/500 kolonunda $\beta_{\%10}$ (M_p/M_n) katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.18$ 143
Şekil 4. 28	S4R600/600 kolonunda $\beta_{\%10}$ (M_p/M_n) katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.18$ 144
Şekil 4. 29	S5R800/800 kolonunda $\beta_{\%10}$ (M_p/M_n) katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.18$ 145
Şekil 4. 30	S6R250/500 kolonunda $\beta_{\%10}$ (M_p/M_n) katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.18$ 146
Şekil 4. 31	S4R400/600 kolonunda $\beta_{\%10}$ (M_p/M_n) katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.18$ 147
Şekil 4. 32	S2C400 kolonunda $\beta_{\%10}$ (M_p/M_n) katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.18$ 148
Şekil 4. 33	S3C500 kolonunda $\beta_{\%10}$ (M_p/M_n) katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.18$ 149
Şekil 4. 34	S4C600 kolonunda $\beta_{\%10}$ (M_p/M_n) katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.18$ 150
Şekil 4. 35	S4C700 kolonunda $\beta_{\%10}$ (M_p/M_n) katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.18$ 151
Şekil 4. 36	S5C800 kolonunda $\beta_{\%10}$ (M_p/M_n) katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.18$ 152
Şekil 4. 37	S6C1000 kolonunda $\beta_{\%10}$ (M_p/M_n) katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.18$ 153
Şekil 4. 38	Malzeme sınıfı farklılıklarının karakteristik moment kapasitesi artış katsayıları (β) üzerine etkileri: a) $\omega_s = 0.12$, $\rho_t = 0.01$ b) $\omega_s = 0.12$, $\rho_t = 0.03$ 154
Şekil 4. 39	Malzeme sınıfı farklılıklarının karakteristik moment kapasitesi artış katsayıları (β) üzerine etkileri: a) $\omega_s = 0.15$, $\rho_t = 0.01$ b) $\omega_s = 0.15$, $\rho_t = 0.03$ 155

Şekil 4. 40	Malzeme sınıfı farklılıklarının karakteristik moment kapasitesi artış katsayıları (β) üzerine etkileri: a) $\omega_s = 0.18$, $\rho_t = 0.01$ b) $\omega_s = 0.18$, $\rho_t = 0.03$	155
Şekil 4. 41	Donatı düzeni, kesit geometrisi ve boyutlarındaki farklılıklarının karakteristik moment kapasitesi artış katsayıları (β) üzerine etkileri: a) $\omega_s = 0.12$, $\rho_t = 0.01$ b) $\omega_s = 0.12$, $\rho_t = 0.03$	156
Şekil 4. 42	Donatı düzeni, kesit geometrisi ve boyutlarındaki farklılıklarının karakteristik moment kapasitesi artış katsayıları (β) üzerine etkileri: a) $\omega_s = 0.15$, $\rho_t = 0.01$ b) $\omega_s = 0.15$, $\rho_t = 0.03$	156
Şekil 4. 43	Donatı düzeni, kesit geometrisi ve boyutlarındaki farklılıklarının karakteristik moment kapasitesi artış katsayıları (β) üzerine etkileri: a) $\omega_s = 0.18$, $\rho_t = 0.01$ b) $\omega_s = 0.18$, $\rho_t = 0.03$	156
Şekil 4. 44	Karakteristik moment taşıma gücü dayanım fazlalığı üzerine etkin olan rasgele değişkenler: a) $\rho_t = 0.01$ b) $\rho_t = 0.03$	156
Şekil 4. 45	Önerilen (4.2) bağıntısı sonuçlarının karşılaştırılması	159
Şekil 4. 46	Malzeme sınıfı farklılıklarının taşıma gücü momenti artış katsayıları (λ_r) üzerine etkileri: a) $\omega_s = 0.12\sim 0.18$, $\rho_t = 0.01$ b) $\omega_s = 0.12\sim 0.18$, $\rho_t = 0.03$	161
Şekil 4. 47	Donatı düzeni, kesit geometrisi ve boyutlarındaki farklılıklarının taşıma gücü momenti artış katsayıları (λ_r) üzerine etkileri: a) $\omega_s = 0.12\sim 0.18$, $\rho_t = 0.01$ b) $\omega_s = 0.12\sim 0.18$, $\rho_t = 0.03$	161
Şekil 4. 48	Taşıma gücü momenti dayanım fazlalığı üzerine etkin olan rasgele değişkenler: a) $\rho_t = 0.01$ b) $\rho_t = 0.03$	162
Şekil 4. 49	Malzeme dayanımlarının deterministik kabulünün taşıma gücü momenti artış katsayıları üzerine etkileri: a) $\rho_t = 0.01$ b) $\rho_t = 0.03$	163
Şekil 4. 50	Önerilen (4.4) bağıntısı sonuçlarının karşılaştırılması	164
Şekil 5. 1	S3R500/500M1Ws12 kolonunda olası moment kapasitesinin belirlenmesi: (a) $f_y = 1.25 f_{yk}$ yaklaşımı [5] (b) $1.4M_r$ yaklaşımı [2] (c) Önerilen yöntem: (4.2) bağıntısıyla.....	166
Şekil 5. 2	S3R500/500M1Ws18 kolonunda olası moment kapasitesinin belirlenmesi: (a) $f_y = 1.25 f_{yk}$ yaklaşımı [5] (b) $1.4M_r$ yaklaşımı [2] (c) Önerilen yöntem: (4.2) bağıntısıyla.....	167
Şekil 5. 3	S4R600/600M1Ws12 kolonunda olası moment kapasitesinin belirlenmesi: (a) $f_y = 1.25 f_{yk}$ yaklaşımı [5] (b) $1.4M_r$ yaklaşımı [2] (c) Önerilen yöntem: (4.2) bağıntısıyla.....	167
Şekil 5. 4	S3R500/500M1Ws18 kolonunda olası moment kapasitesinin belirlenmesi: (a) $f_y = 1.25 f_{yk}$ yaklaşımı [5] (b) $1.4M_r$ yaklaşımı [2] (c) Önerilen yöntem: (4.2) bağıntısıyla.....	167
Şekil 5. 5	S5R800/800M1Ws18 kolonunda olası moment kapasitesinin belirlenmesi: (a) $f_y = 1.25 f_{yk}$ yaklaşımı [5] (b) $1.4M_r$ yaklaşımı [2] (c) Önerilen yöntem: (4.2) bağıntısıyla.....	168
Şekil 5. 6	S2C400M1Ws12 kolonunda olası moment kapasitesinin belirlenmesi: (a) $f_y = 1.25 f_{yk}$ yaklaşımı [5] (b) $1.4M_r$ yaklaşımı [2] (c) Önerilen yöntem: (4.2) bağıntısıyla	168

Şekil 5. 7	S2C400M2Ws12 kolonunda olası moment kapasitesinin belirlenmesi: (a) $f_y = 1.25 f_{yk}$ yaklaşımı [5] (b) $1.4M_r$ yaklaşımı [2] (c) Önerilen yöntem: (4.2) bağıntısıyla 168
Şekil 5. 8	S6C1000M3Ws18 kolonunda olası moment kapasitesinin belirlenmesi: (a) $f_y = 1.25 f_{yk}$ yaklaşımı [5] (b) $1.4M_r$ yaklaşımı [2] (c) Önerilen yöntem: (4.2) bağıntısıyla 169
Şekil 5. 9	Önerilen yöntemin deneysel sonuçlarla karşılaştırılması 173
Şekil 5. 10	Önerilen yöntemin deneysel sonuçlarla karşılaştırılması 173
Şekil 5. 11	M_{maks} / M_r oranlarının kolon eksenel yük seviyelerine göre değişimleri 174
Şekil EK-C. 1	Korelasyonlu rasgele değişkenin sayısal değerlerinin türetilmesi için Matlab program dilinde hazırlanan bir örnek: İki değişkenli normal dağılım 186
Şekil EK-D. 1	Moment eğrilik programının genel görünümü ve menüler 187
Şekil Ek-D. 2	Malzeme özellikleri tanımlama menüsü 187
Şekil Ek-D. 3	Malzeme özellikleri tanımı ve atanması 188
Şekil Ek-D. 4	Kesit özellikleri tanımlama menüsü 188
Şekil Ek-D. 5	Dikdörtgen elemanlarda kesit özellikleri tanımlanması ve atanması ... 189
Şekil Ek-D. 6	Dairesel elemanlarda kesit özellikleri tanımlanması ve atanması 189
Şekil Ek-D. 7	Sargı donatısının tanımlanması ve atanması 190
Şekil Ek-D. 8	Tekil analiz sonuçlarının görüntülenmesi ve kaydedilmesi 190
Şekil Ek-D. 9	Tekil analiz sonuçlarının hesap özeti 191
Şekil Ek-D. 10	Monte Carlo benzeşim yöntemiyle kesit analizlerinin giriş bilgileri ve çoklu analiz sonuçları 192
Şekil Ek-D. 11	Dikdörtgen kesitli elemanların geometrik tanımı ve belirli bir tarafsız eksen derinliğine göre hesap için hazırlanan bilgisayar programı (VB) fonksiyonu 193
Şekil Ek-D. 12	Dairesel kesitli elemanların geometrik tanımı ve belirli bir tarafsız eksen derinliğine göre hesap için hazırlanan bilgisayar programı (VB) fonksiyonu 194

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3. 1	Deneyssel ve analitik olarak belirlenen eğilme momenti kapasitelerinin karşılaştırılması	31
Çizelge 3. 2	Dairesel kesitli deney elemanlarının genel özellikleri.....	34
Çizelge 3. 2	Dairesel kesitli deney elemanlarının genel özellikleri (Devamı)	35
Çizelge 3. 3	Dikdörtgen kesitli deney elemanlarının genel özellikleri.....	36
Çizelge 3. 3	Dikdörtgen kesitli deney elemanlarının genel özellikleri (Devamı)	37
Çizelge 3. 3	Dikdörtgen kesitli deney elemanlarının genel özellikleri (Devamı)	38
Çizelge 3. 4	Fiziksel özelliklere ait temel tasarım değişkenleri ve istatistikleri.....	40
Çizelge 3. 5	Boyuna ve enine donatı düzenleri ve isimlendirmede kullanılan kısaltmalar.....	43
Çizelge 3. 6	Malzeme özellikleri ve isimlendirmede kullanılan kısaltmalar	43
Çizelge 3. 7	Kesit analizlerinde kullanılan örnek kolonlar	44
Çizelge 3. 8	Analiz sonuçları: S1R300/300 kolonu	52
Çizelge 3. 9	Analiz sonuçları: S2R400/400 kolonu	56
Çizelge 3. 10	Analiz sonuçları: S3R500/500 kolonu	60
Çizelge 3. 11	Analiz sonuçları: S4R600/600 kolonu	64
Çizelge 3. 12	Analiz sonuçları: S5R800/800 kolonu	68
Çizelge 3. 13	Analiz sonuçları: S6R250/500 kolonu	72
Çizelge 3. 14	Analiz sonuçları: S4R400/600 kolonu	76
Çizelge 3. 15	Analiz sonuçları: S1C300 kolonu	80
Çizelge 3. 16	Analiz sonuçları: S2C400 kolonu	84
Çizelge 3. 17	Analiz sonuçları: S3C500 kolonu	88
Çizelge 3. 18	Analiz sonuçları: S4C600 kolonu	92
Çizelge 3. 19	Analiz sonuçları: S4C700 kolonu	96
Çizelge 3. 20	Analiz sonuçları: S5C800 kolonu	100
Çizelge 3. 21	Analiz sonuçları: S6C1000 kolonu	104
Çizelge 3. 22	Analiz sonuçları: Kolon moment kapasitesinin taşıma gücü momentine göre oranlarındaki değişkenlikler ($\omega_s = 0.12$).....	107
Çizelge 3. 22	Analiz sonuçları: Kolon moment kapasitesinin taşıma gücü momentine göre oranlarındaki değişkenlikler ($\omega_s = 0.12$) (devamı)	108
Çizelge 3. 23	Analiz sonuçları: Kolon moment kapasitesinin taşıma gücü momentine göre oranlarındaki değişkenlikler ($\omega_s = 0.15$).....	109
Çizelge 3. 23	Analiz sonuçları: Kolon moment kapasitesinin taşıma gücü momentine göre oranlarındaki değişkenlikler ($\omega_s = 0.15$) (devamı)	110

Çizelge 3. 24	Analiz sonuçları: Kolon moment kapasitesinin taşıma gücü momentine göre oranlarındaki değişkenlikler ($\omega_s = 0.18$).....	111
Çizelge 3. 24	Analiz sonuçları: Kolon moment kapasitesinin taşıma gücü momentine göre oranlarındaki değişkenlikler ($\omega_s = 0.18$) (devamı)	112
Çizelge 4. 1	Korelasyon matrisi: Karakteristik moment taşıma gücü artış katsayıları üzerine etkili parametrelerin araştırılması	158
Çizelge 5. 1	Kolon taşıma gücü momenti yardımıyla belirlenen moment kapasitelerinin aşılma olasılıkları	170
Çizelge 5. 1	Kolon taşıma gücü momenti yardımıyla belirlenen moment kapasitelerinin aşılma olasılıkları (Devamı)	171
Çizelge 5. 2	Deney elemanları ve genel özellikleri	172
Çizelge EK-A. 1	Chi-kare dağılımı $C_{1-\alpha,f}$ değerleri.....	185
Çizelge EK-B. 1	Korelasyonsuz normal dağılımlı rasgele değişkenlerin sayısal değerlerinin türetilmesi için hazırlanan hesap tablosu (C20 betonunda sargısız beton basınç dayanımı için 300 örnekleme)	185

**BETONARME KOLONLARIN EĞİLME MOMENTİ KAPASİTELERİNİN
DAYANIM FAZLALIĞI VE MALZEME ÖZELLİKLERİNDEKİ BELİRSİZLİKLER
DİKKATE ALINARAK BELİRLENMESİ**

Cem AYDEMİR

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Doktora Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Mustafa ZORBOZAN

Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, kiriş ve kolonların enine donatı hesabında temel alınacak kesme kuvvetinin, kapasite tasarımı ilkesiyle belirlenmesini öngörmektedir. Bu durum, kolon uçlarında oluşabilecek en büyük eğilme momenti kapasitesi olan M_p 'nin mümkün olduğunca gerçeğe yakın belirlenmesini gerektirir. Kolon eğilme momenti kapasitesi M_p 'yi etkileyen parametrelerin istatistik dağılımları dikkate alınarak, bu parametrelerdeki belirsizliklerin eğilme momenti kapasitesi üzerindeki etkilerinin incelendiği bu çalışma altı bölümden oluşmaktadır.

Birinci bölümde, konu ve konuyla ilgili yaklaşık ve gerçekçi yöntemler tanıtılmış ve daha sonra çalışmanın amacı açıklanmıştır.

İkinci bölümde, çalışmanın daha kolay anlaşılmasında yararlı olacağı düşüncesiyle, Monte Carlo benzeşim yöntemi ile sayısal analizlerde kullanılan istatistiksel kavramlarla ilgili temel bilgiler özetlenerek verilmiştir.

Üçüncü bölümde, kolon eğilme momenti kapasitesi etkileyen parametrelerin istatistik dağılımları dikkate alınarak, bu parametrelerdeki belirsizliklerin eğilme momenti kapasitesi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu amaçla; malzeme dayanımları, kesit boyutları ve ayrıca farklı beton davranış modellerinin kullanıldığı analitik moment-eğrilik ilişkilerinin deneysel sonuçlarla gözlenen değişkenlikleri Monte Carlo benzeşim

yöntemi yardımıyla sayısal olarak modellenmiştir. Hazırlanan bir bilgisayar programı yardımıyla, eksenel yük düzeyi, boyuna donatı oranı, yanal donatı mekanik indeksi, beton sınıfı, donatı sınıfı, donatı düzeni ve kesit boyutları farklı örnek kolon kesitleri için elde edilen kolon moment kapasitesindeki değişkenlikler belirlemiştir ve elde edilen istatistiksel veriler, şekiller ve tablolar halinde verilmiştir.

Dördüncü bölümde, kapasite tasarımında kolon moment kapasitesinin Monte Carlo benzeşimi yardımıyla moment-eğrilik analizlerinden saptanmasının kayda değer bir işlem hacmi gerektirmesinden hareketle, kolon olası moment kapasitesinin tasarım aşamasında belirli olan karakteristik özellikler (malzeme dayanımları, kesit boyutları vb.) yardımıyla pratik ve etkili bir biçimde belirlenmesi amacıyla iki farklı yöntem önerilmiştir.

Beşinci bölümde, çalışmanın dördüncü bölümünde detaylı olarak açıklanmış önerilen basit yöntemler ile D.B.Y.B.H.Y' 07, ACI-318 ve Eurocode-8 yaklaşımlarının, Monte Carlo benzeşim yöntemiyle elde edilen sonuçlar ve deneysel sonuçlarla karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Altıncı bölümde, elde edilen sonuçlar özetlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sargılı beton, pekleşme etkisi, moment-eğrilik, model belirsizlik katsayı, Monte Carlo benzeşimi, eğilme momenti dayanım artışı

UNCERTAINTY ANALYSIS OF FLEXURAL OVERSTRENGTH RATIO FOR R/C COLUMNS

Cem AYDEMİR

Department of Civil Engineering

Ph.D. Thesis

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Mustafa ZORBOZAN

Turkish Seismic Design Code obligates the capacity design procedure for the calculation of the design shear force of R/C beams and columns. Therefore, the plastic hinge moment capacity (M_p) at the ends of the column must be determined as realistic as possible. In this study, effects of uncertainties on column flexural moment capacity have been investigated considering statistical distributions of effective parameters on column flexural moment capacity, M_p , as a matter of capacity design procedure for R/C columns. This study consists of six chapters.

In the first chapter, the subject and realistic and approximate methods related to subject are introduced and the object of the thesis is explained.

In the second chapter, the idea of the Monte Carlo simulation and basic information about the statistical concepts used in numerical analyses are summarized to be useful to understand more easily.

In the third chapter, the uncertainties of effective parameters on column flexural strength are investigated considering statistical distributions of these parameters. For this purpose, material and section properties and also analytical model response are modeled as random variables and their effects on section behavior are assessed through statistical evaluation. The effect of variability is investigated by examining response distributions resulting from Monte Carlo simulations. Variability in flexural

strength are obtained for sample column sections with different reinforcement configuration, section dimension, concrete strength, reinforcement strength and mechanical index of lateral reinforcement with a computer program which uses various confined and unconfined concrete models to obtain the maximum flexural strength in the moment-curvature relationship and statistical data are given in figures and tables.

In the fourth chapter, two methods are proposed to obtain column probable flexural strength with certain level of probability of exceedance for the calculation of lateral reinforcement that yields estimation of the probable flexural strength from ultimate or nominal moment capacity.

In the fifth chapter, the proposed simple methods that described in detail in the fourth chapter of the thesis and DBYBHY'07, ACI-318 and Eurocode-8 approaches are compared to Monte-Carlo simulation results and experimental results.

In the sixth chapter, the conclusions of the study are summarized.

Key words: Confined concrete, strain hardening, moment-curvature, model uncertainty factor, Monte-Carlo simulation, flexural overstrength factor

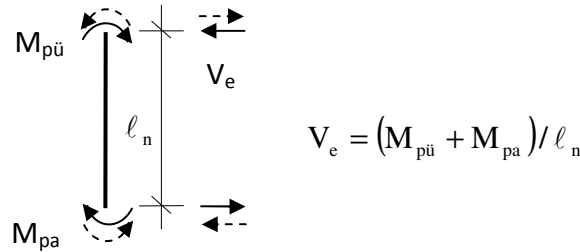
BÖLÜM 1

GİRİŞ

Bir yapının maruz kalabileceği şiddetli depremlerde ayakta kalabilmesi, ancak açığa çıkan enerjinin yutulabilmesiyle mümkündür. Bu enerjinin yutulabilmesi, yapının aşırı zorlanan kesitlerinin plastik şekil değiştirme yapabilme yetenekleriyle ilgilidir. Bunun için yapı elemanlarında kritik bölgelerin yeterli sünekliğe sahip olması ve meydana gelecek güç tükenmesinin sünek olarak oluşmasının sağlanması gerekmektedir. Yapısal elemanların kritik kesitlerinde plastik dönme kapasitelerinin belirlenmesi söz konusu olduğunda, “maksimum” ve “son limit (sınır)” terimleri arasında bir ayrım gereği doğar. Betonarme kolonlarda eğilme momenti kapasitesine, bir başka ifadeyle kesme kuvvetinin maksimum değerine, eksenel yük seviyesi ve boyuna donatı oranının düşük olduğu kolonlar dışında genelde süneklik kapasitesinden (sınır eğriliği vb.) önce ulaşılır. Bir başka ifadeyle, maksimum moment kapasitesine karşı gelen şekil değiştirme, çoğu zaman maksimum momentin ötesinde oluşan gerçek (sınır) şekil değiştirme kapasitesini göstermez. Plastik şekil değiştirme kapasitesi için gerekli yanal donatıya sahip bir kolon kesitinde, -genelde- taşıma gücünde ortaya çıkacak yanal donatı gereksinimi karşılanamaz ise kesit plastik şekil değiştirme kapasitesine ulaşmadan, gevrek bir biçimde kırılır. Dolayısıyla, betonarme bir kolonun yanal donatı gereksiniminin yukarıda belirtilen her iki durum (maksimum kesme kuvveti ve süneklik talebi) da gözetilerek belirlenmesi gerektirir. Bu davranış, basit eğilme etkisindeki yapısal elemanların minimum boyuna donatı gereksinimleriyle benzeştirilebilir.

Betonarme elemanlarda güç tükenmesinin sünek olarak meydana gelebilmesi için sünek olmayan güç tükenmesine sebep olabilecek etkenleri taşıma gücü, (örneğin kesme kuvveti taşıma gücü) sünek güç tükenmesine sebep olabilecek etkenleri taşıma

gücünden (örneğin eğilme momenti taşıma gücü) daha büyük tutulur. Bu noktadan hareketle, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkındaki Yönetmelik'te [1, 2], kiriş ve kolonların enine donatı hesabında temel alınacak kesme kuvvetinin, kapasite tasarımı ilkesiyle belirlenmesi öngörülmektedir. 1998 Deprem Yönetmeliği'nin getirdiği yeni kavramlardan biri olan *kapasite tasarımı* ilkesi, depremin söz konusu olduğu durumlarda kesme hesabında temel alınacak kesme kuvvetinin, yapıya etkiyen deprem kuvvetlerinin tam olarak saptanmasının olanaksız olmasından hareketle, yapı elemanlarının eğilme kapasiteleri yardımıyla belirlenmesinin daha sağlıklı sonuç vereceği kabulüne dayanmaktadır [3]. Bu durum, kolon uçlarında oluşabilecek olası en büyük eğilme momenti kapasitesi olan M_p 'nin mümkün olduğunca gerçeğe yakın belirlenmesini gerektirir (bkz. Şekil 1.1).



Şekil 1. 1 Deprem yönetmeliğine göre kolonlarda kesme kuvveti V_e 'nin hesabında temel alınan eğilme momentleri [1, 2]

Basit ya da bileşik eğilme etkisindeki betonarme bir kesitin moment kapasitesi, değişik varsayımlara göre hesaplanabilir. Aşağıda değişik amaçlarla kullanılan üç ayrı moment kapasitesi tanımı kısaca özetlenmiştir.

M_r , Taşıma Gücü Momenti [4]: TS500 'de verilmiş olan varsayımlar kullanılarak, malzeme hesap dayanımlarına ($f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c$, $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$) göre belirlenir. Taşıma gücü hesabında yapılan varsayımlar şöyle sıralanabilir: kesitteki birim şekil değiştirme dağılımı doğrusaldır, betonun çekme dayanımı ihmal edilir, donatı elasto-plastik davranış gösteren bir malzemedir, basınç bölgesindeki beton basınç gerilmesi dağılımı eşdeğer basınç bloğuyla ifade edilir ve beton için ezilme birim şekil değiştirmesi 0.003 olarak alınır.

M_n , Karakteristik Taşıma Gücü Momenti [5]: ACI 318 'de tanımlanan karakteristik taşıma gücü momenti karakteristik dayanımların (f_{ck} , f_{yk}) dikkate alınmasıyla belirlenir.

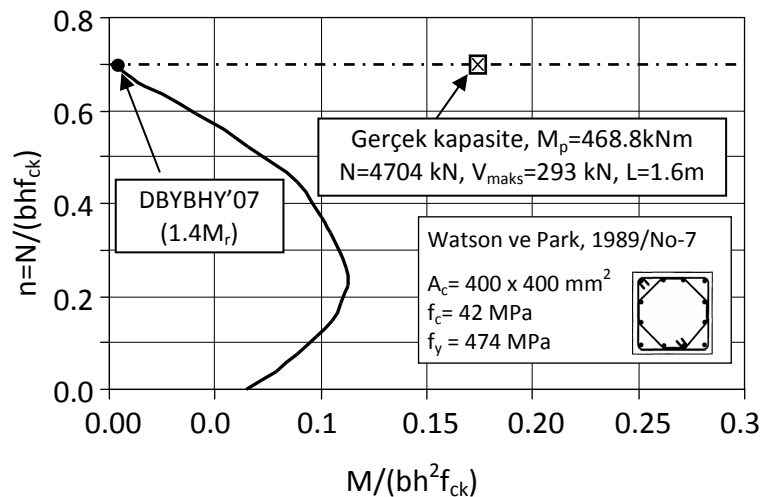
Tasarım aşamasında dikkate alınacak moment değeri karakteristik moment taşıma gücünün bir katsayı ile azaltılmasıyla elde edilir.

M_p , Eğilme Momenti Kapasitesi: Betondaki sargı etkisiyle değişen gerilme-şekil değiştirme ilişkisini, betonun çekme dayanımını, kabuk betonundaki ezilmeyi, donatı çeliğindeki pekleşme gibi etkileri dikkate alacak bir çözümlemeden elde edilecek moment-eğrilik ilişkisindeki en büyük moment olarak tanımlanabilir.

Betonarme yapı elemanlarında kuşattıkları betonun dayanım ve sünekliğini arttırmak amacıyla kullanılan yanal donatı, betondaki basınç gerilmelerinin düşük olduğu evrede hemen hemen hiç gerilme almaz; kuşattıkları çekirdek betonun davranışını etkilemez. Gerilmelerin tek-eksenli basınç dayanımına yaklaşmasıyla gelişen içsel çatlaklar betonun hacmini artırır. Bu durumda yanal donatı çekirdek betona yanal şekil değiştirmeleri önlemeye yönelik karşı etki yapar. Bu olgu, pasif kuşatma (kuşatma etkisi, sargı etkisi) terimiyle adlandırılır [6]. Pasif kuşatmayla sağlanan dayanım ve süneklik artışı ile gerilme deformasyon ilişkisindeki dayanımda azalım eğilimi gösteren bölgedeki eğimin küçülmesi genellikle; kuşatma donatısının biçimine, konumuna, akma dayanımına, gerilme-şekil değiştirme davranışına ve boyuna donatıya [7] bağlı olarak değişir. Dairesel biçimli yanal donatılarla oluşturulan kuşatma, dikdörtgen biçimli yanal donatılarla oluşturulan kuşatmadan daha etkindir. Dairesel yanal donatılar biçimlerinden dolayı sadece çekme kuvveti alır ve büyük şekil değiştirme evrelerinde, çevreleri boyunca, aktif basınca (eksenel basınç etkisinde kalan bir betonarme silindir deney elemanındaki yanal hidrolik basınç) yakın kuşatma basıncı sağlarlar. Dikdörtgen yanal donatılar, çekirdek betonun yanal donatı kollarına uyguladığı basın etkisi nedeniyle hem çekme hemde eğilme etkisinde kalırlar ve dairesel biçim almaya çalışırlar. Böylece, köşeler arasında oluşan içsel kemerlenme ile çekirdek beton, yanal donatı düzleminde, kesitin merkezi ve köşe kesimlerinde, yanal donatılar arasında ise kesitin merkezinde etkili bir biçimde kuşatılır.

Gerçekleşmesi durumunda donatı çeliğinde gerilme artışına neden olan pekleşme etkisi ile betondaki sargı etkisinin, yönetmeliklerde tanımlanan taşıma gücü yöntemlerinde göz önüne alınmaması ve tasarımda kullanılan kısmi güvenlik katsayıları nedeniyle, yönetmeliğe göre belirlenen eğilme momenti taşıma gücü değerleri (M_r , M_n), gerçek

eğilme momenti kapasitesinden küçük olmaktadır. Betonarme bir kolonun deney sonucu elde edilebilecek olan moment kapasitesi, gerçekçi malzeme davranış modelleri kullanılarak elde edilecek moment-eğrilik ilişkisi yardımıyla belirlenebilir. Bu tür bir çözümlemeden ya da deneysel olarak elde edilen eğilme momenti kapasitesiyle taşıma gücü momenti değerleri arasındaki farklılıklar, özellikle kolon eksenel yük seviyesinin değişiminden etkilenmektedir. Söz konusu farklılıklar, kolon eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranının küçük değerlerinde donatı pekleşmesinden etkilenirken; eksenel yük seviyesinin artmasıyla, pekleşme etkisinin hesaplara etkisi azalarak ortadan kaybolur. Eksenel yük seviyesinin ve dolayısıyla tarafsız eksen değerinin artmasıyla, betonda sargı etkisiyle büyüyen basınç dayanımının hesaplara etkisi belirginleşmektedir. Ayrıca, boyutsuz eksenel yük seviyesi arttıkça taşıma gücü momentlerinin (M_n , M_r), gerçek kapasitenin altında olması ve daha küçük bir eksenel yük seviyesinden (dengeli eksenel yük) itibaren azalım eğilimine geçmesi nedeni ile sargı etkisinin ihmalinin hesaplar üzerindeki etkisi daha da büyüyecektir. Şekil 1.2’de, söz konusu artışı daha iyi açıklayabilmek için ele alınmış bir kolonun, $1.4M_r$ yaklaşımı ile elde edilen karşılıklı etki diyagramı üzerine, $n \approx 0.7$ eksenel yük seviyesi için deneysel moment kapasitesi işaretlenmiştir. Göz önüne alınan eksenel yük seviyesi ($n \approx 0.7$) için M_{maks}/M_r oranı yaklaşık 92.4 kat olarak gerçekleşmiştir. Ele alınan örnek pratikte pek karşılaşılmayacak olsa bile sonuç çarpıcıdır [8].



Şekil 1. 2 Büyük eksenel yükler altında M_{maks}/M_r oranı [8]

1.1 Literatür Özeti

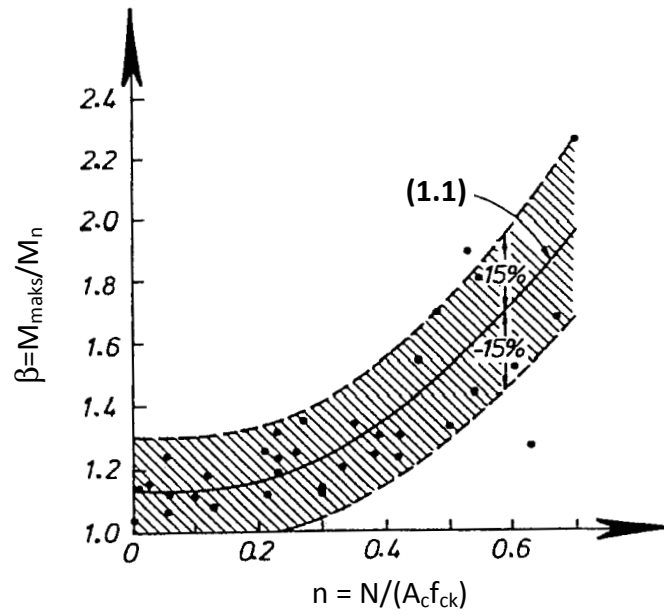
Daha önce de belirtildiği gibi, yönetmeliklerde tanımlanan taşıma gücü yöntemindeki ihmaller ve tasarımda kullanılan katsayılar nedeniyle, hesaplanan eğilme momenti taşıma gücü değerleri (M_r , M_n), gerçek eğilme momenti kapasitesinden küçük olmaktadır. Kolon moment kapasitesindeki sözü edilen ihmallerin moment taşıma gücünde neden olacağı artışın belirlenmesine yönelik çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarda M_p moment kapasitesinin, taşıma gücü yönteminde verilen varsayımlar gözetilerek, arttırılmış malzeme dayanımı yardımıyla [8, 9, 10] ya da doğrudan taşıma gücü momentinin eksenel yük seviyesine göre arttırılması yardımıyla [8, 11] belirlenmesine yönelik basit yaklaşımlar sunulmuştur. Ang vd. [11] tarafından yapılan deneysel incelemede, M_n taşıma gücü momentine göre belirlenen artış katsayılarının (M_{maks}/M_n), incelenen eksenel yük seviyesi ($N/A_c f_{ck}=0\sim0.7$) aralığında 1.04~2.26 aralığında değiştiği ve söz konusu oranlardaki artışın eksenel yük seviyesinin artan değerlerinde belirginleştiği rapor edilmiştir. Çalışmada, M_{maks}/M_n oranlarının boyutsuz eksenel yük seviyesine göre değişimlerinden yararlanarak aşağıda verilen (1.1) bağıntısı türetilmiştir.

$$\begin{aligned} \frac{M_{max}}{M_n} &= 1.13 & n \leq 0.1 \\ \frac{M_{max}}{M_n} &= 1.13 + 2.35 \times (n - 0.1)^2 & n > 0.1 \end{aligned} \quad (1.1)$$

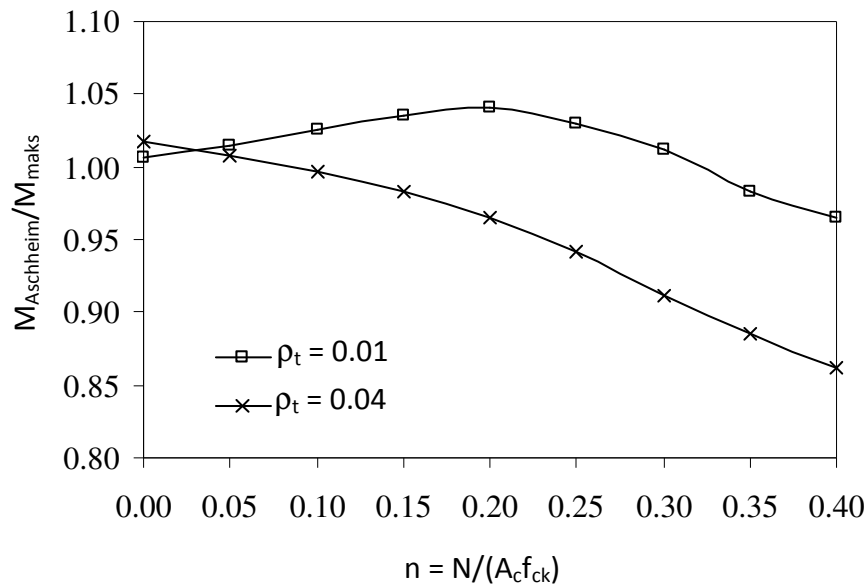
(1.1) bağıntısıyla kolon moment kapasitesi, kolon karakteristik moment kapasitesi belirlendikten sonra, artış katsayısı ile çarpılması ile yaklaşık olarak belirlenebilmektedir. Soesianawati vd. [12] ile Watson vd. [13], Ang vd. tarafından önerilen bu artış kullanarak elde ettikleri sonuçları, deneysel sonuçlarla karşılaştırmışlardır (bkz Şekil 1.3).

Aschheim vd. [9] tarafından yapılan çalışmada, arttırılmış donatı çeliği akma dayanımı ve beton basınç dayanımı ($f_y=1.3f_{yk}$, $f_c=1.3f_{ck}$) yardımıyla bulunan kolon karakteristik moment kapasiteleri ile gerçek moment kapasiteleri karşılaştırılmıştır. Şekil 1.4'de, beton ve donatı çeliği dayanımlarındaki artış miktarlarını birbirine eşit alarak bulunan kolon karakteristik moment taşıma gücü ile moment kapasitelerinin oranlarının

eksenel yük düzeyine göre değişimi, göz önüne alınan iki farklı donatı oranı için ayrı ayrı gösterilmiştir).



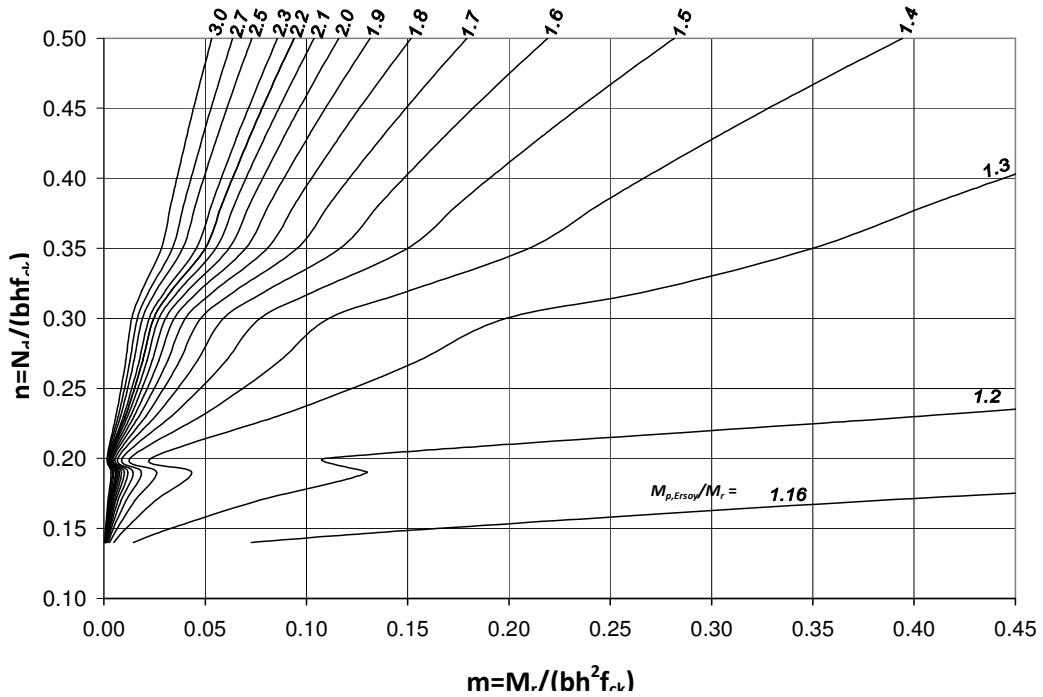
Şekil 1. 3 Deneysel moment kapasitesinin karakteristik moment kapasitesine oranlarının eksenel yük düzeyine göre değişimi [13]



Şekil 1. 4 Arttırılmış malzeme dayanımları ($f_y=1.3f_{yk}$, $f_c=1.3f_{ck}$) yardımıyla belirlenen kolon taşıma gücü momentlerinin ($M_{Aschheim}$) gerçek moment kapasitelerine (M_{maks}) oranlarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri [7]

Kolon moment kapasitelerinin yaklaşık olarak belirlenmesine yönelik Ersoy tarafından yapılan incelemede, kolon moment kapasiteleri üzerinde donatı pekleşmesinin daha az; sargılı beton davranışının ise daha fazla etkili olmasından hareketle, M_p 'nin

hesabında TS-500'de verilen taşıma gücü yönteminin [4] f_{yd} yerine f_{yk} ve f_{cd} yerine f_{cc} ($f_{cc} \approx 1.15f_{ck}$ olmak üzere) alınması şartıyla aynen kullanılabileceğini önermektedir [8]. Aydemir vd., [8] Ersoy tarafından önerilen yöntem ile belirlenecek M_{Ersoy}/M_r oranlarının kolon karşılıklı etkileşim diyagramları üzerindeki değişimlerini göstermiştir. Şekil 1. 5'de, dikdörtgen kesitli kolonlarda, boyuna donatı düzeni ve malzeme dayanımlarından bağımsız bir biçimde, boyutsuz kolon eksenel yük düzeyi ve boyutsuz taşıma gücü momenti düzeylerine göre söz konusu oranların (eş artış katsayısı eğrileri) değişimleri gösterilmiştir.



Şekil 1. 5 Dikdörtgen kesitli kolonlarda eş $M_{p,Ersoy} / M_r$ eğrileri [8]

Aydemir vd. [8] tarafından yapılan çalışmada, M_r taşıma gücü momentine göre belirlenen artış katsayılarının (M_{maks}/M_r) incelenen eksenel yük seviyesi (0~0.6) aralığında 1.13~2.94 aralığında değiştiği ve eksenel yük seviyesinin artımıyla belirginleştiği rapor edilmiştir. Çalışmada, M_{maks}/M_r oranlarının boyutsuz eksenel yük seviyesine göre değişimlerinden yararlanarak aşağıda verilen (1.2) bağıntısı türetilmiştir. Aynı çalışmada arttırılmış donatı çeliği akma dayanımı ve beton basınç dayanımı ($f_y = 1.19f_{yk}$, $f_c = 1.15f_{ck}$) yardımıyla bulunan karakteristik moment kapasitelerinin, deneysel moment kapasiteleri yakın sonuçlar verdiği gösterilmiştir [8].

$$\begin{aligned}
\frac{M_{maks}}{M_r} &= 1.4 & n < 0.25 \\
\frac{M_{maks}}{M_r} &= 1.4 + \frac{0.34n - 0.24m - 0.07}{m} & 0.25 \leq n \leq 0.5
\end{aligned} \tag{1.2}$$

Kolon moment kapasitesinin belirlenmesinde yapılan ihmal ve belirsizliklerin modellenerek moment kapasitesinin hesaplanmasının zaman alması sebebiyle, yönetmeliklerde daha kesin hesap yapılmadığı durumlarda kolon momenti kapasitesinin tahmini için çeşitli basitleştirilmiş yöntemler verilmektedir. Örnek olarak ACI 318'de [5], M_p 'nin, donatı çeliği akma dayanımı %25 arttırılıp eğilme dayanım azaltma katsayısı 1 alınarak hesaplanabileceği, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkındaki Yönetmelikte [2] $M_p \approx 1.4M_r$ olarak alınabileceği, Eurocode8'de ise [14] yüksek süneklikli yapılarda $M_p/M_r \approx 1.3$ alınabileceği önerilmektedir.

Betonarme yapıların limit durumlara göre tasarımında, düşey yükler ve deprem yüklerinin tahminindeki zorluklar ve belirsizlikler, malzeme dayanımlarındaki belirsizlikler, tasarımda kullanılan modelin gerçek davranışı tam yansıtamaması, hesap yöntemindeki yaklaşıklıklar ve yapı dayanımını etkileyebilecek bilinmeyen faktörlerin varlığı göz önüne alınarak, yapı güvenliğinin sağlanmasında olasılıksal yaklaşımlardan yararlanılır. Tasarımda yapı güvenliğinin yüklere ve malzeme mukavemetlerine ilişkin karakteristik değerler ve kısmi güvenlik katsayılarıyla sağlandığı tasarım algoritmaları kullanılır, göçme riski hesaplanmaz; (yarı olasılıksal yaklaşım) riskin, kısmi güvenlik katsayılarının belirlenmesinde kabul edilen düzeyde olduğu varsayılır. Tasarım aşamasında esas alınan malzeme dayanımları ve kesit boyutlarının doğasından kaynaklanan belirsizlikler, gerçekleşmesi beklenecek kolon moment kapasitesi üzerinde değişkenliklere sebep olur. Bir başka ifadeyle, kısmi güvenlik katsayıları yaklaşımıyla (tasarım malzeme dayanımları vb.) belirli bir limit durum için boyutlandırılan bir kolon kesitinde kapasite tasarımı gereği belirlenmesi gereken eğilme momenti değeri, malzeme dayanımlarındaki belirsizlik nedeniyle değişkenlik içerir. Kolon moment kapasitesi üzerine yapılan çalışmalarda, deney sonucu belirlenmiş malzeme dayanımları esas alınarak bulunan eğilme momenti artım miktarları, söz konusu belirsizliği ortadan kaldırmaz.

Bileşik eğilme etkisindeki betonarme kolonların boyutlandırılmasında kesit boyutları ve malzeme dayanımlarındaki değişkenliklerin göz önüne alındığı birçok istatistiksel çalışma yapılmıştır [15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22]. Buna karşın, kapasite tasarımı gereği belirlenmesi gereken moment kapasitesinin kabul edilebilir bir aşılma olasılığı ile saptanmasına yönelik bilgi sınırlıdır

1.2 Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada, bileşik eğilme etkisindeki betonarme kolonlarda, kolon moment kapasitesini etkileyen parametrelerdeki belirsizliklerin moment kapasitesi üzerinde meydana getireceği değişkenlikler incelenerek, kapasite tasarımı gereği belirlenmesi gereken *kolon olası moment kapasitesi M_p 'nin, tasarım bağlamında kabul edilebilir bir aşılma olasılığıyla saptanması amaçlanmıştır*. Bu amaçla, malzeme dayanımları, kesit geometrisi ve boyutları, boyuna ve enine donatı düzenleri farklı örnek kolon kesitleri için Monte Carlo benzeşim yöntemi yardımıyla doğrusal olmayan sayısal çözümler yapılmıştır. Analizlerde, malzeme dayanımları, kesit boyutları gibi fiziksel belirsizlik kaynaklarının yanında, farklı beton davranış modellerinin kullanıldığı analitik moment-eğrilik ilişkilerinin sonuçları, deneysel sonuçlarla karşılaştırılarak, analitik model belirsizliklerinin hesaplara etkileri de gözetilmiştir.

1.2.1 Kesit Analizlerinde İncelenen Temel Tasarım Parametreleri ve Göz Önüne Alınan Temel Belirsizlik Kaynakları

Kesit analizlerinde incelenen temel tasarım parametreleri şu şekilde sıralanabilir:

- Kolon aksenal yük düzeyi
- Boyuna donatı oranı
- Beton sınıfı
- Donatı çeliği sınıfı
- Kesit geometrisi ve boyut farklılıkları
- Boyuna ve enine donatı düzen farklılıkları

Monte Carlo benzeşim yöntemi yardımıyla, temel belirsizlik kaynaklarındaki değişkenliklerin modellendiği sayısal analizlerde göz önüne alınan temel belirsizlik kaynakları ise aşağıda verilmiştir.

- Beton basınç dayanımındaki belirsizlikler
- Sargılı (kuşatılmış) beton etkili birim kısalmasındaki belirsizlikler
- Sargısız (kuşatılmamış) beton etkili birim kısalmasındaki belirsizlikler
- Donatı çeliği akma dayanımındaki belirsizlikler
- Donatı çeliği kopma dayanımındaki belirsizlikler
- Donatı çeliği pekleşme başlangıç şekil değiştirmesindeki belirsizlikler
- Donatı çeliği kopma şekil değiştirmesindeki belirsizlikler
- Kesit boyutlarındaki belirsizlikler
- Analitik moment kapasitesindeki belirsizlikler

1.3 Orjinal Katkı

Çeşitli tasarım yönetmeliklerinde [2, 5, 14], bileşik eğilme etkisindeki betonarme kolonların moment kapasitesi -kolon eksenel yük seviyesi, boyuna donatı oranı ve yanal donatı mekanik indeksinden bağımsız olarak- basit eğilme etkisindeki betonarme kirişler için önerilen basit yöntemlere göre belirlenmektedir. Çalışmanın beşinci bölümünde, geniş bir inceleme aralığındaki deneysel ve analitik sonuçlar, betonarme kolonların tasarım aşamasındaki karakteristik özellikleri kullanılarak belirlenen tasarım yönetmelikleri önerileriyle karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalarda, yönetmelik önerilerin, aşılma olasılığının altına düşme olasılığından oldukça büyük olduğu, bir başka ifade ile güvensiz kaldığı belirlenmiştir.

Çalışmanın dördüncü bölümünde, kolon olası moment kapasitesinin, kapasite üzerine etkin tasarım değişkenlerine bağlı bir biçimde ve tasarım aşamasındaki karakteristik özellikler kullanılarak belirlenmesi için iki yeni yöntem önerilmiştir. Önerilen yöntemlerle, kolon moment kapasitesi üzerine etkin çeşitli tasarım değişkenlerindeki belirsizlikler ve taşıma gücü hesaplarında ihmal edilen olguların moment kapasitesi

zerinde meydana getireceği değişkenliklerden hareketle, kolon olası moment kapasitesin tasarım aşamasında kabul edilebilir bir aşılma olasılığıyla belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmanın dördüncü bölümlerinde yapılan irdelemeler ve karşılaştırmalarla, önerilen yöntemlerin malzeme sınıfı farklılıkları, kesit farklılıkları, boyuna donatı düzeni farklılıkları ve yanal donatı düzeni farklılıklarından pek etkilenmediği belirlenmiştir. Ayrıca çalışmanın beşinci bölümden, önerilen yöntemlerin deneysel ve analitik sonuçlarla karşılaştırılmasıyla, önerilerin yöntemlerin aşılma olasılığının tasarım bağlamında kabul edilebilecek seviyede olduğu, tasarım yönetmelikleri önerilerinin sonuçlarıyla ile karşılaştırıldığında ise yapısal güvenilirlik bağlamında daha güvenli kaldığı söylenebilir.

OLASILIK MODELLERİ VE SAYISAL BENZEŞİM YÖNTEMLERİ

Bu bölümde çalışmanın daha kolay anlaşılmasında yararlı olacağı düşüncesiyle, Monte Carlo benzeşimi ile sayısal analizlerde kullanılan istatistiksel kavramlarla ilgili temel bilgiler özetlenerek verilmiştir.

2.1 Rasgele Değişkenler ve Olasılık Modelleri

Rasgele değişken, herhangi bir olayı analitik formda ifade edebilmek için kullanılan matematiksel bir araçtır. Deterministik değişkenler gibi sabit bir değeri ifade etmez, olası değerler aralığında tanımlanır. Dolayısıyla, rasgele değişkenin belirli bir değeri, bir deney ya da gözlem yapılmadan belirlenemeyen bir sayısal değeri ifade eder. Mühendislik alanında karşılaşılan fiziksel ya da fiziksel olmayan (model belirsizlikleri vb.) rasgele değişkenlerin olasılık dağılımları için model alınabilecek çok sayıda fonksiyon bulunmaktadır. Bu fonksiyonların seçiminde, hipotez dağılım ilgili rasgele değişkene ilişkin gözlenen (deneysel) dağılımı olabildiğince gerçekçi biçimde yansıtmalıdır.

2.1.1 Rasgele Değişkenlerin Olasılık Dağılımı

Bir rasgele değişkene ilişkin tüm değerlerin olasılıkları bir dağılım gösterir. Bu dağılım *olasılık dağılımı* terimiyle adlandırılır. Bir X rasgele değişkenin olasılık dağılımı (rasgele değişkenin belirli bir değere eşit olması ya da ondan küçük olması olasılığı), aşağıda belirtilen *birikimli olasılık dağılım fonksiyonu* ile tanımlanabilir.

$$F_x(x) \equiv P(X \leq x) \quad (\text{tüm } x \text{ değerleri için}) \quad (2.1)$$

Sözü edilen dağılım fonksiyonunun özellikleri aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

$$(i). \quad 0 \leq F_X(x) \leq 1, \forall x \in \mathbb{R}$$

$$(ii). \quad \lim_{x \rightarrow -\infty} F_X(x) = 0 \text{ ve } \lim_{x \rightarrow +\infty} F_X(x) = 1$$

$$(iii). \quad F_X(x_2) \geq F_X(x_1), \forall x_1, x_2 \text{ ile } x_2 > x_1$$

$$(iv). \quad P(x_1 < X \leq x_2) = F_X(x_2) - F_X(x_1), \forall x_1, x_2 \text{ ile } x_2 > x_1$$

(2.1) bağıntısındaki x değerleri, pozitif olasılıklara sahip kesikli değerler alabiliyorsa X, bir *kesikli* rasgele değişkendir. Eğer herhangi bir x değeri için olasılığın ölçüsü tanımlanabiliyorsa X, bir *sürekli* rasgele değişken olur. Eğer X'in olasılık dağılımı x'in kesikli ve sürekli değerlerinin bir birleşimiye, X bir *karma* rasgele değişken olur.

Bir X sürekli rasgele değişken için olayları temsil eden betimleme, gerçek çizgi üzerindeki aralıklarla tanımlandığı için olasılıklar, bu çizgi üzerindeki aralıklarla ilgili olur. Dolayısıyla, X' in $X=x$ değeri için yalnızca *olasılık yoğunluğu* tanımlanabilir. Bir sürekli rasgele değişken için *olasılık yoğunluk fonksiyonu*, $f_X(x)$ ve *birikimli olasılık dağılım fonksiyonu*, $F_X(x)$ Şekil 2.1'de şematik olarak gösterilmiştir. Olasılık yoğunluk fonksiyonunun özellikleri aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

$$(i). \quad f_X(x) \geq 0, \forall x \in \mathbb{R}$$

$$(ii). \quad \int_{-\infty}^{+\infty} f_X(x) dx = 1$$

O halde bir sürekli rasgele değişken için $F_X(x)$ aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

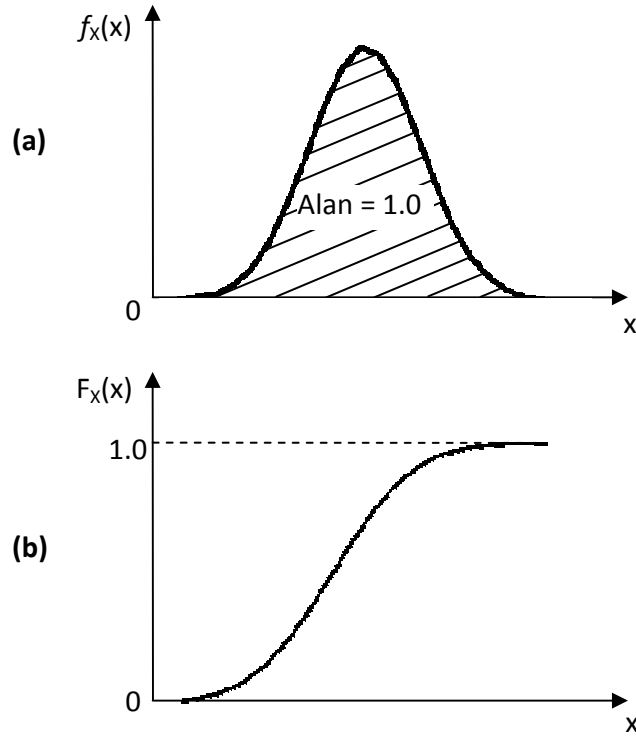
$$F_X(x) = P(X \leq x) = \int_{-\infty}^x f_X(\tau) d\tau \quad (2.2)$$

Sözü edilen dağılım fonksiyonunun özellikleri aşağıdaki şekilde özetlenebilir.

$$(i). \quad P(X < a) = P(X \leq a) = F_X(a) = \int_{-\infty}^a f_X(x) dx$$

$$(ii). \quad P(X > a) = 1 - P(X \leq a) = 1 - F_X(a) = \int_a^{+\infty} f_X(x) dx$$

$$(ii). \quad P(a < X < b) = P(a \leq X \leq b) = F_X(b) - F_X(a) = \int_a^b f_X(x) dx = \int_{-\infty}^b f_X(x) dx - \int_{-\infty}^a f_X(x) dx$$



Şekil 2. 1 Sürekli olasılık dağılımı **(a)** Olasılık yoğunluk fonksiyonu, **(b)** Birikimli olasılık dağılım fonksiyonu

Bir X rasgele değişkenin merkezzel değeri, *ortalama değer* ya da *beklenen değer* terimleriyle adlandırılır. Ortalama değer m_X , sürekli ya da kesikli rasgele değişkenler için sırasıyla aşağıda verilen bağıntılarla hesaplanabilir.

$$m_X = E(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} x f_X(x) dx \quad (2.3)$$

$$m_X = E(x) = \sum_{\text{tüm } x_i \text{ ler}} x_i p_X(x_i) \quad (2.4)$$

Bir X rasgele değişkenin dağılımının ölçüsü ya da değişkenliği, merkezzel değer dolayında ne ölçüde kümелendiğinin ilgilidir. Ortalama değere göre karesel sapmaların ağırlıklı ortalaması olan *varyans* $\text{Var}(x)$, sürekli ya da kesikli rasgele değişkenler için sırasıyla aşağıda verilen bağıntılarla hesaplanabilir. Standart sapma σ_X , varyansın karekökü ile tanımlanır.

$$Var(X) = \int_{-\infty}^{+\infty} (x - m_x)^2 f_x(x) dx \quad (2.5)$$

$$Var(X) = \sum_{\text{tüm } x_i \text{ ler}} (x_i - m_x)^2 p_x(x_i) \quad (2.6)$$

Olasılık dağılımının yayılma alanı hakkında bir diğer olasılık dağılımı parametresi ise varyasyon katsayısıdır. Varyasyon katsayısı V_x , standart sapmanın ortalama değere bölünmesiyle belirlenir.

$$V_x = \frac{\sigma_x}{m_x} \quad (2.7)$$

2.1.2 Kesikli Dağılımlar

2.1.2.1 Üniiform Dağılım

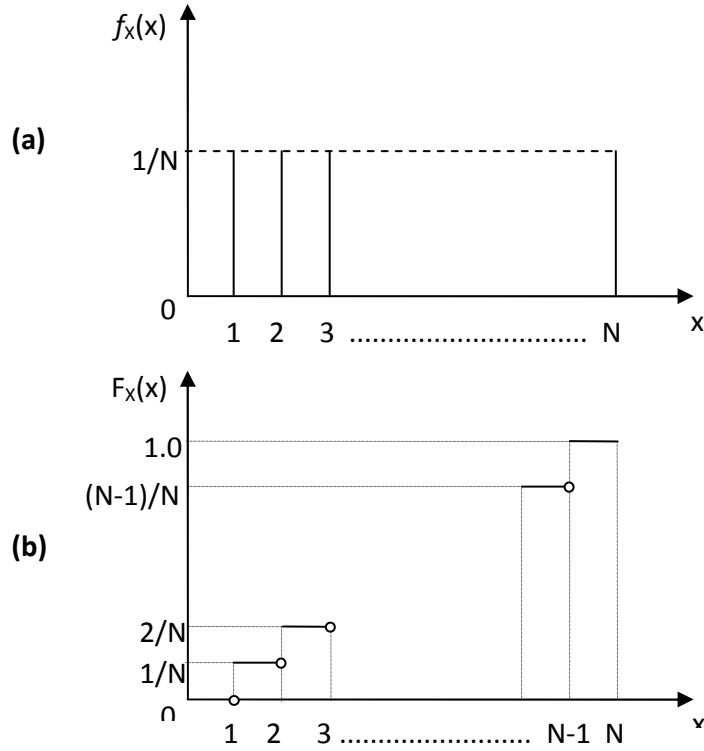
Bir X kesikli rasgele değişkeni için üniiform dağılımın olasılık yoğunluk fonksiyonu $f_x(x)$, birikimli olasılık dağılım fonksiyonu $F_x(x)$, ortalama değeri $E(X)$ ve varyansı $Var(x)$ aşağıdaki bağıntılar ile belirlenir.

$$f_x(x) = P(X = x) = \begin{cases} 1/N & x = 1, 2, 3, \dots, N \\ 0 & x \neq 1, 2, 3, \dots, N \end{cases} \quad (2.8a)$$

$$Var(X) = \int_{-\infty}^{+\infty} (x - m_x)^2 f_x(x) dx \quad (2.8b)$$

$$Var(X) = \sum_{\text{tüm } x_i \text{ ler}} (x_i - m_x)^2 p_x(x_i) \quad (2.8c)$$

Şekil 2.2’de, üniiform dağılımlı bir X kesikli rasgele değişkeninin (2.8) bağıntısıyla tanımlanan olasılık yoğunluk ve birikimli olasılık dağılım fonksiyonlarının x değerleriyle değişimleri gösterilmiştir.



Şekil 2. 2 Üniform kesikli olasılık dağılımı (a) Olasılık yoğunluk fonksiyonu, (b) Birikimli olasılık dağılım fonksiyonu

2.1.2.2 Diğer Kesikli Dağılım Modelleri

İnşaat mühendisliği alanında kimi zaman mühendisleri, özellikle tasarım mühendislerini ilgilendiren sorunlar, tekrarlanan denemelerden oluşan bir dizideki potansiyel bir olayın ortaya çıkması ya da çıkmaması durumlarının göz önüne alınmasını gerektirir. Gözlenen potansiyel olaya ait başarı olasılığının belirlenmesine yönelik yapılan deneylerde, denemelerin herbirinin başarılı ya da başarısız terimleriyle nitelendirebileceğimiz iki sonucu olabilir. Sözü edilen denemelerin özellikleri aynı ve başarı olasılığı denemeden denemeye değişmez ise bu tür deneylere *Bernoulli denemeleri* ya da *binom denemeleri* denir. Binom dağılımı, gerçek olaylardaki değişkenliğin modellenmesinde esas alınan en önemli kesikli dağılımlardandır. Bir binom deneme p olasılıklı bir başarı ve $1-p$ olasılıklı başarısızlıkla sonuçlanıyorsa, n bağımsız denemede başarıyı gösteren bir X kesikli rasgele değişkeni için binom dağılımının *olasılık yoğunluk fonksiyonu* $f_x(x)$, *ortalaması* ve *varyansı* aşağıdaki bağıntılar ile belirlenir.

$$f_x(x) = P(X = x) = \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x} \quad x = 1, 2, 3, \dots, n \quad (2.9a)$$

$$E(x) = n \cdot p, \quad VAR(X) = n \cdot p \cdot (1-p) \quad (2.9b)$$

Kesikli rasgele değişkenler için göz önüne alınan diğer model dağılımlar: Negatif binom, geometrik dağılım, poisson dağılımı ve hipergeometrik dağılımlar olarak sıralanabilir.

2.1.3 Sürekli Dağılımlar

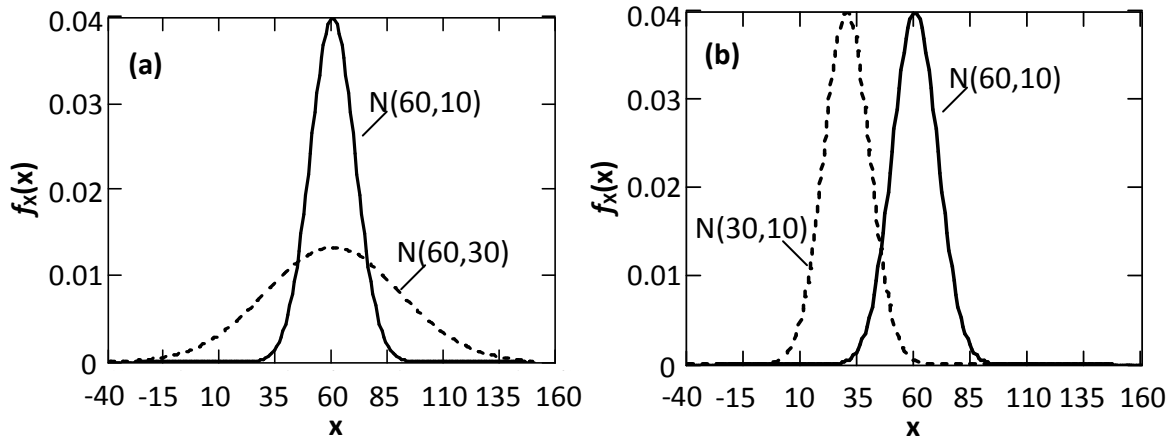
2.1.3.1 Normal Dağılım

Normal dağılım, istatistiğin tüm alanlarında rastlanan, geniş ölçüde kullanılan en önemli sürekli dağılımdır. İnşaat mühendisliği alanında, malzeme dayanımları, zamanla-değişen yükler ve yapısal eleman boyutları için teorik model olarak kabul edilebilir. Bir X sürekli rasgele değişkeni için normal dağılımın olasılık yoğunluk fonksiyonu aşağıdaki bağıntı ile belirlenir.

$$f_x(x) = P(X = x) = \frac{1}{\sigma_x \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{x - m_x}{\sigma_x} \right)^2 \right]} \quad -\infty < x < +\infty \quad (2.10)$$

(2.10) bağıntısında, σ_x ve m_x terimleri sırasıyla normal dağılımın standart sapması ve ortalama değerini göstermektedir. Dağılımın *normal eğri* terimiyle adlandırılan grafiği *çan* biçimindedir, $x = m_x$ noktasına göre simetriktir ve $x = m_x \pm \sigma_x$ noktalarında eğri yön değiştirir.

Şekil 2.3' de normal dağılımın bağımlı olduğu temel parametrelere göre olasılık yoğunluk fonksiyonlarının değişimi şematik olarak gösterilmiştir. Şekil 2.3(a)' da, ortalama değerleri aynı, fakat standart sapmaları farklı iki normal eğri karşılaştırılmış; Şekil 2.3(b)' de ise ortalama değerleri farklı, fakat standart sapmaları aynı iki normal eğri karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalarda kullanılan normal dağılım olasılık yoğunluk fonksiyonları için göz önüne alınan parametreler $N(m_x, \sigma_x)$ kısa gösterimiyle diyagramlar üzerinde verilmiştir.



Şekil 2. 3 Normal olasılık yoğunluk fonksiyonları (a) Standart sapmanın değişken olması durumu, (b) Ortalama değerin değişken olması durumu

Birbirinden farklı normal dağılımlar için m_x ve σ_x sonsuz sayıda değer alabilir. Bu durum, normal olasılık yoğunluk fonksiyonları için yapılacak olasılık hesaplarının zaman alıcı olmasına neden olur. Dolayısıyla, herhangi bir normal dağılıma ilişkin olasılık hesaplarının kısa sürede belirlenmesi amacıyla, ilgili normal dağılım, standart normal dağılıma dönüştürülür. Bir X normal rasgele değişkeni için dağılım parametreleri m_x ve σ_x , S standart normal değişken olmak üzere (2.10) bağıntısıyla verilen olasılık yoğunluk fonksiyonu, yapılan dönüşümle $[s = (x - m_x) / \sigma_x]$, standart normal dağılım $N(0,1)$ için aşağıdaki hale gelir.

$$f_s(s) = P(S = s) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot e^{\left[-\frac{s^2}{2}\right]} \quad -\infty < s < +\infty \quad (2.11)$$

(2.2) bağıntısıyla verilen *birikimli normal dağılım fonksiyonu* $\Phi(s)$, *standart normal dağılım* $N(0, 1)$ için aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$\Phi(s) = F_s(s) = P(S \leq s) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^s e^{\left[-\frac{s^2}{2}\right]} ds \quad -\infty < s < +\infty \quad (2.12)$$

Standart normal değişkenin negatif değerleri, mutlak değeri yardımıyla, olasılık yoğunluk fonksiyonun simetrik olması nedeniyle aşağıdaki şekilde belirlenebilir.

$$\Phi(-s) = 1 - \Phi(s) \quad (2.13)$$

Benzer ilişki, “p” olasılığına karşılık gelen standart normal değişkenin değeri “s” içinde aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$s_p = \Phi^{-1}(p) = -\Phi^{-1}(1-p) \quad (2.14)$$

2.1.3.2 Diğer Sürekli Dağılım Modelleri

Logaritmik normal dağılım ya da kısaca lognormal dağılım, inşaat mühendisliği alanında yaygın olarak kullanılan diğer bir sürekli dağılımdır. İnşaat mühendisliği uygulamalarında karşılaşılan –pozitif değer alması kesin- rasgele değişkenler için teorik model olarak kabul edilebilir. Bir X sürekli rasgele değişkeni için lognormal dağılımın olasılık yoğunluk fonksiyonu aşağıdaki bağıntı ile belirlenir.

$$f_x(x) = P(X=x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \zeta \cdot x} \cdot e^{\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln x - \lambda}{\zeta} \right)^2 \right]} \quad 0 < x < +\infty \quad (2.15)$$

Dağılımın parametreleri $\lambda [\equiv E(\ln X)]$ ve $\zeta [\equiv (\text{var}(\ln X))^{0.5}]$, sırasıyla, $\ln X'$ in ortalama değerini ve standart sapmasını belirtir. Lognormal dağılan bir değişken için, birikimli standart normal olasılık (2.16) ile bulunabilir.

$$P = \Phi \left(\frac{\ln x - \lambda}{\zeta} \right) \quad (2.16)$$

Sürekli rasgele değişkenler için göz önüne alınan diğer model dağılımlardan bazıları: Üniform, Üssel, Gamma, Beta, Khi-kare, Tip I asimptotik, Weibull, Rayleigh, Tip II ve Tip III asimptotik dağılımlar olarak sıralanabilir.

2.1.4 Çok Değişkenli Dağılımlar

Her biri rasgele değişken olan iki ya da daha fazla olgunun aynı anda oluşan sonuçlarının dikkate alması durumunda, temel sorun, bu olgular arasında istatistiksel bir ilişkinin olup olmadığı ve varsa ne kadar önemli olduğudur. Bu sorunu aşmak için çok değişkenli dağılım ve korelasyon kavramları kullanılır.

İki ya da daha rasgele değişkenin ortak birikimli dağılım fonksiyonu aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$F_{x,y}(x,y) = P(X \leq x, Y \leq y) \geq 0 \quad (2.17)$$

Göz önüne alınan X ve Y rasgele değişkenlerinin sürekli olması durumunda, ortak dağılım fonksiyonlarına karşı gelen ortak olasılık yoğunluk fonksiyonları aşağıdaki şekilde yazılabilir.

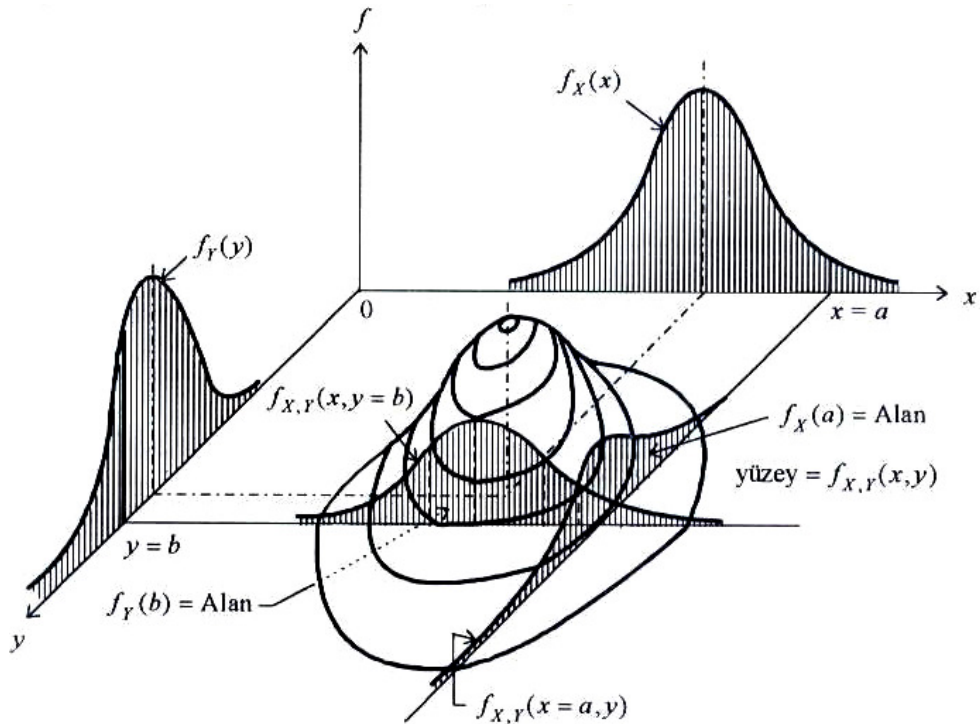
$$f_{x,y}(x,y) = \frac{\partial^2 F_{x,y}(x,y)}{\partial x \partial y} \quad (2.18)$$

Bununla birlikte, her bir rasgele değişkenin marjinal olasılık yoğunluk fonksiyonları, ortak olasılık yoğunluk fonksiyonunun diğer parametreye göre entegre edilerek aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$f_x(x,y) = \int_{-\infty}^{\infty} f_{x,y}(x,y) dy \quad (2.19a)$$

$$f_y(x,y) = \int_{-\infty}^{\infty} f_{x,y}(x,y) dx \quad (2.19b)$$

İkili değişkenli bir ortak olasılık yoğunluk fonksiyonunun özellikleri ve ilgili marjinal yoğunluklar şekil 2.4' te şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2. 4 X ve Y sürekli rasgele değişkenlerine ilişkin ortak ve marjinal olasılık yoğunluk fonksiyonları

X ve Y ortak rasgele değişkenlerinin *doğrusal içsel ilişki derecesinin* bir ölçüsü olan kovaryan (merkezzsel ikinci-moment ya da merkezzsel çarpım momenti) $Cov(X,Y)$ simgesiyle belirtilir. Rasgele değişkenlerinin sürekli olması durumunda, $Cov(X,Y)$ aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$Cov(X,Y) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} (x - m_x) \cdot (y - m_y) \cdot f_{X,Y}(x,y) \cdot dx \cdot dy \quad (2.20)$$

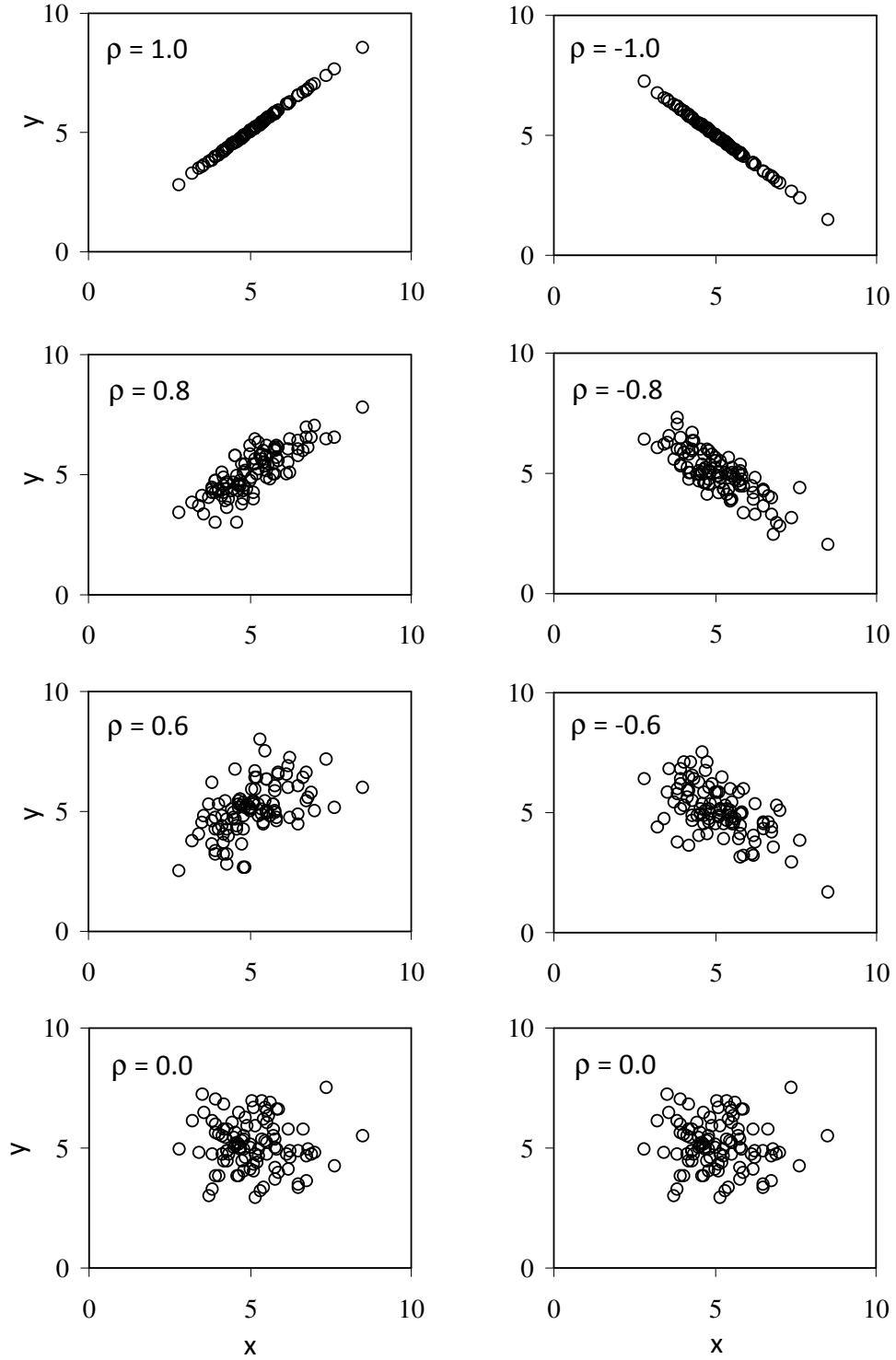
Kovaryans, X ve Y ikili rasgele değişkenlerinin k örnek boyutunda gözlenen değerler takımı esas alınarak, aşağıda verilen (2.21) denklemi yardımıyla tahmin edilebilir.

$$Cov(X,Y) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^k (x_k - m_x) \cdot (y_k - m_y) \quad (2.21)$$

X ve Y rasgele değişkenleri arasındaki ilişkinin sistemli bir şekilde belirlenmesi ve rasgele değişkenler arasındaki doğrusal içsel ilişkinin incelenmesi amacıyla boyutsuz korelasyon katsayısı'nın kullanılması daha elverişlidir. Korelasyon katsayısı aşağıda verilen (2.22) bağıntısı yardımıyla belirlenebilir.

$$\rho = \frac{Cov(X,Y)}{\sigma_x \cdot \sigma_y} \quad (2.22)$$

Korelasyon katsayısı $-1 \sim 1$ arasında değerler alır. Şekil 2.5'de, standart sapmaları ve ortalamaları özdeş olan X ve Y normal rasgele değişkenlerinin farklı korelasyon katsayılarına göre grafiksel karşılaştırmaları verilmiştir.



Şekil 2. 5 Boyutsuz korelasyon katsayıları

2.2 Dağılım Modeli Hipotezi İçin Uyum Testleri

Bir rasgele değişken için deneysel ya da analitik yolla belirlenen verilere ait *hipotez dağılım*, elde edilen veriler göz önünde bulundurularak çeşitli istatistiksel testlerle

sınanarak; doğrulanabilir ya da reddedilebilir. Bu tür testlere uyum testleri adı verilmektedir. Bu testler, incelenen rastgele değişkene ait veri toplumundan çekilen bir örnekteki gözlemlerin ortaya çıkış frekansları ile teorik dağılımdan elde edilen frekanslar arasında ne ölçüde bir uyum olduğunun araştırılması esasına dayanır. Sözü edilen karşılaştırmalar görsel (Olasılık yoğunluk fonksiyonu, birikimli olasılık dağılım fonksiyonlarının karşılaştırılması ve çeşitli dağılımlar için hazırlanan olasılık kâğıtları kullanılarak) ve analitik yöntemler (Khi-kare, Kolmogorov-Smirnov ve Anderson-Darling testleri) kullanılabilir.

Bu bölümde Khi-kare ve Kolmogorov-Smirnov uyum testleri hakkında kısaca bilgi verilecektir. Diğer uyum testleri hakkında detayı bilgi için [23, 24].

2.2.1 Khi-Kare Uyum Testi

Khi-kare uyum testi, bir rasgele değişken için yapılan örneklemeden elde edilen n sayıda gözlemsel verinin frekansları ile hipotez dağılımda sağlanan teorik frekanslar arasındaki uyum derecesini araştırır. Bunun için n sayıda gözlemsel veri artan şekilde sıralanıp k sayıda aralığa alınır (histoğraf oluşturulur). Değişkenin bu aralıklardaki gözlenen frekansları ve bu frekanslar karşılığı hipotez dağılımdan sağlanan beklenen frekanslar karşılaştırılır. Karşılaştırmalar aşağıdaki bağıntı ile elde edilen Khi-kare rasgele değişkenine göre yapılır.

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(n_i - e_i)^2}{e_i} \quad (2.23)$$

n_i i . aralıkta gözlenen frekanstır ve sözü edilen aralıktaki gözlemsel veri sayısına eşittir. e_i ise i . aralıkta beklenen frekanstır ve hipotez dağılım için ilgili aralıktaki olasılığın toplam frekansla çarpımına eşittir. (2.23) bağıntısıyla elde edilen rasgele değişkenin dağılımı, $n \rightarrow \infty$ için $f = k - 1$ serbestlik dereceli khi-kare dağılımına yaklaşır. Khi-kare uyum testiyle yapılan sınamalarda, teorik model parametrelerinin bilinmemesi ve dolayısıyla örnek verileriyle tahmin edilmesi durumunda; serbestlik derecesi tahmin edilen her bir parametre için bir kez azaltılır. Hipotez dağılımın kabul edilmesi için aşağıdaki bağıntının sağlanması gerekir.

$$\sum_{i=1}^k \frac{(n_i - e_i)}{e_i} < c_{1-\alpha, f} \quad (2.24)$$

(2.24) bağıntısında, α önem düzeyi, f serbestlik derecesi, $c_{1-\alpha, f}$, khi-kare dağılımının $(1-\alpha)$ birikimli olasılığına karşı gelen kritik değeri göstermektedir. Çeşitli f serbestlik dereceleri ve $(1-\alpha)$ birikimli olasılıklarına karşı gelen $c_{1-\alpha, f}$ kritik değerlerin belirlenmesi için MathCad [25] yazılım dili kullanılarak hazırlanan program ve programın sonuçları Ek A'da verilmiştir. Khi-kare uyum testi için uygulamada güvenilir sonuçlara ulaşmak için $k \geq 5$ ve $e_i \geq 5$ alınması tavsiye edilmektedir [23].

2.2.2 Kolmogorov-Smirnov Uyum Testi

Kolmogorov-Smirnov Uyum Testinin temel amacı, deneysel ve hipotez dağılımının birikimli frekans dağılımlarının karşılaştırılmasıdır. Karşılaştırma sonunda, deneysel ve hipotez dağılım fonksiyonları arasında, belirli bir örnek boyutu için beklenenden büyük bir fark oluşmuyorsa hipotez model kabul edilebilir.

Bir rasgele değişken için yapılan örneklemeden elde edilen n sayıda gözlemsel veri artan şekilde sıralanıp, (2.8b) bağıntısı yardımıyla basamaklı birikimli frekans fonksiyonu elde edilir (Bkz. Şekil 2.2b). Deneysel ve teorik birikimli dağılım fonksiyonları arasında oluşan en büyük fark (D_n), uyumsuzluğun ölçüsü, göstergesi kabul edilir. Gözlenen uyumsuzluk ölçüsü, seçilen α önem düzeyi ve gözlem sayısına bağlı olarak belirlenen kritik değerden (D_n^α) küçükse teorik dağılım, α önem düzeyi için kabul edilebilir; aksi durumda reddedilir.

2.3 Sayısal Benzeşim Yöntemleri

2.3.1 Monte Carlo Benzeşim Yöntemi

Monte Carlo yaklaşımı, bilgisayarla sözde (pseudo) rasgele sayıların üretildiği, yapay (suni) örneklerin oluşturulduğu bir rasgele örnekleme yöntemidir [24]. Bir benzeşim yöntemi olan Monte Carlo yaklaşımı, yapısal güvenilirlik bağlamında, göz önüne alınan rasgele değişkenlerin istatistiksel dağılımları esas alınarak, suni örneklerin oluşturulduğu çeşitli yöntemlerden en çok tercih edilenidir. Bu çalışmada, taşıma gücü

hesaplarında ihmal edilen parametrelerin (örneğin sargı etkisi) ve malzeme dayanımı ile kesit boyutlarında gerçekleşebilecek değişkenliklerin, gözlenen davranış parametreleri üzerindeki etkileri, Monte Carlo yaklaşımı ile değerlendirilecektir.

2.3.1.1 Korelasyonsuz Bir Rasgele Değişkenin Sayısal Değerlerinin Türetilmesi

Dağılım modeli ve temel dağılım parametreleri belirli bir X rasgele değişkeninin, belirli bir örnek boyutundaki x_i rasgele değerlerinin belirlenmesinde izlenecek yol, aşağıda verilen iki hesap adımıyla özetlenebilir.

- Göz önüne alınan örnek boyutunda, 0~1 arasında değişen üniform dağılımlı rasgele değerler (u_i) türetilir. Söz konusu değerler, rasgele değer türetilmesinde birikimli olasılıklara karşılık gelir.
- X rasgele değişkenin ait rasgele değerler (2.25) ile bulunabilir

$$x_i = F_X^{-1}(u_i) \quad (2.25)$$

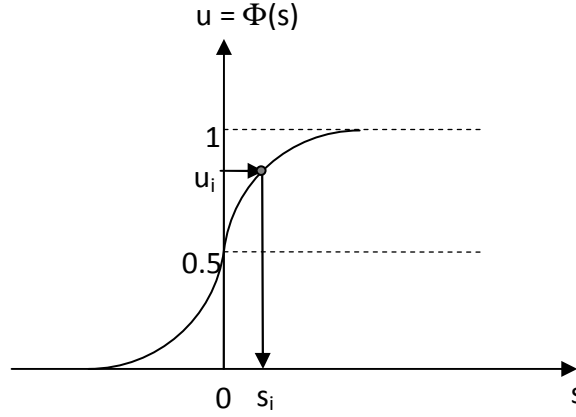
Sözü edilen hesap adımları, normal dağılımlı bir rasgele değişken için standart normal dağılım yardımıyla da gerçekleştirilebilir. Standart normal rasgele değerlerin (s_i) üretilmesi için ilk adım, istenen örnek boyutunda, 0~1 arasında değişen üniform dağılımlı rasgele değerler (u_i) türetilmesidir. Ardından, üniform dağılımlı rasgele değerlerin her biri için aşağıda verilen bağıntı yardımıyla standart normal rasgele değişkenler elde edilebilir.

$$s_i = \Phi^{-1}(u_i) = -\Phi^{-1}(1 - u_i) \quad (2.26)$$

Birikimli olasılığı u_i olan standart normal rasgele değerlerin elde edilişi, Şekil 2.6'da şematik olarak gösterilmiştir.

Standart normal dağılım elde edilen rasgele değerler, aşağıda verilen ilişki yardımıyla, normal dağılımlı X rasgele değişkenine uygulanarak, x_i rasgele değerleri elde edilebilir.

$$x_i = m_x + s_i \cdot \sigma_x \quad (2.27)$$



Şekil 2. 6 Standart normal rasgele değerlerin elde edilişi

Normal dağılımlı rasgele değişkenler için belirli bir örnek boyutunda eleman türetilmesi için çeşitli yazılım dillerinde kullanılan fonksiyonlardan yardım alınabilir. Örneğin Matlab yazılım dilinde “normrnd” fonksiyonu, mathcad yazılım dilinde “rnorm” fonksiyonu gibi.

2.3.1.2 Korelasyonlu Rasgele Değişkenlerin Sayısal Değerlerinin Türetilmesi

Birbirine bağımlı olan iki rasgele değişkenin (donatı çeliği akma ve kopma dayanımları vb.) aynı anda oluşan sonuçlarının dikkate alınması durumunda, ortak birikimli dağılım fonksiyonu aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$F_{x,y}(x,y) = F_x(x) \cdot F_{y|x}(y|x) \quad (2.28)$$

İkili değişken x_i ve y_i değerlerinin elde edilmesi amacıyla, örnek sayısı boyutunda, 0~1 arasında değişen üniform dağılımlı rasgele değerler (u_{1i} , u_{2i}) üretilir. X rasgele değişkeninin ait rasgele değerler (2.29) ile bulunabilir.

$$x_i = F_x^{-1}(u_{1i}) \quad (2.29)$$

X=x durumuna karşı gelen Y rasgele değişkeninin değerleri aşağıdaki bağıntı yardımıyla türetilir.

$$y_i = F_{y|x}^{-1}(u_{2i}|x_i) \quad (2.30)$$

BETONARME KOLON DAVRANIŞININ MONTE CARLO BENZEŞİM YÖNTEMİ İLE SAYISAL ANALİZİ

3.1 Genel

Betonarme kolonların eğilme momenti kapasitesinin belirlenmesinde esas alınan modelleme de gözardı edilen etkenler ve/veya basitleştirici kabuller, temel tasarım değişkenlerinin taşıma gücüne etkisinin izlenmesini güçleştirir. Örneğin, donatı çeliğinde gerçekleşmesi durumunda gerilme artışına neden olan pekleşme etkisinin, eğilme momentine kapasitesi üzerinde meydana getirdiği artış, genelde düşük eksenel yük düzeylerinde ve özellikle en dış basınç lifi beton birim kısalması değerinin artan değerlerine paralel olarak belirginleşmektedir. Özellikle eksenel yük seviyesinin artan değerleri için pekleşme etkisinin moment kapasitesi üzerindeki neden olduğu artış görece olarak azalarak ortadan kaybolurken, sargılı beton davranışının moment kapasitesi üzerindeki yaratacağı artış belirginleşmektedir. Sözü edilen eğilimler, sabit bir beton ezilme birim kısalması (ϵ_{cu}) varsayımıyla sağlıklı bir biçimde gözlenemez. Bu durum, kolon moment kapasitesinin moment-eğrilik analizleri yardımıyla belirlenmesi gereğini doğurur.

Bu çalışmada, moment eğrilik analizleri yardımıyla belirlenen kolon moment kapasitesindeki (M_p) değişkenliklerin saptanmasında iki aşamalı bir çözümleme yöntemi izlenmiştir. Birinci aşamada, kolon karakteristik moment kapasitesi (M_n) [5] ve taşıma gücü momenti (M_r) [4], deterministik yaklaşımla (tüm giriş bilgilerinin tasarım aşamasındaki karakteristik değerlere eşit olduğu varsayımı), taşıma gücü hesabı yardımıyla belirlenmiştir. Taşıma gücü hesabında yapılan varsayımlar ise şu şekilde

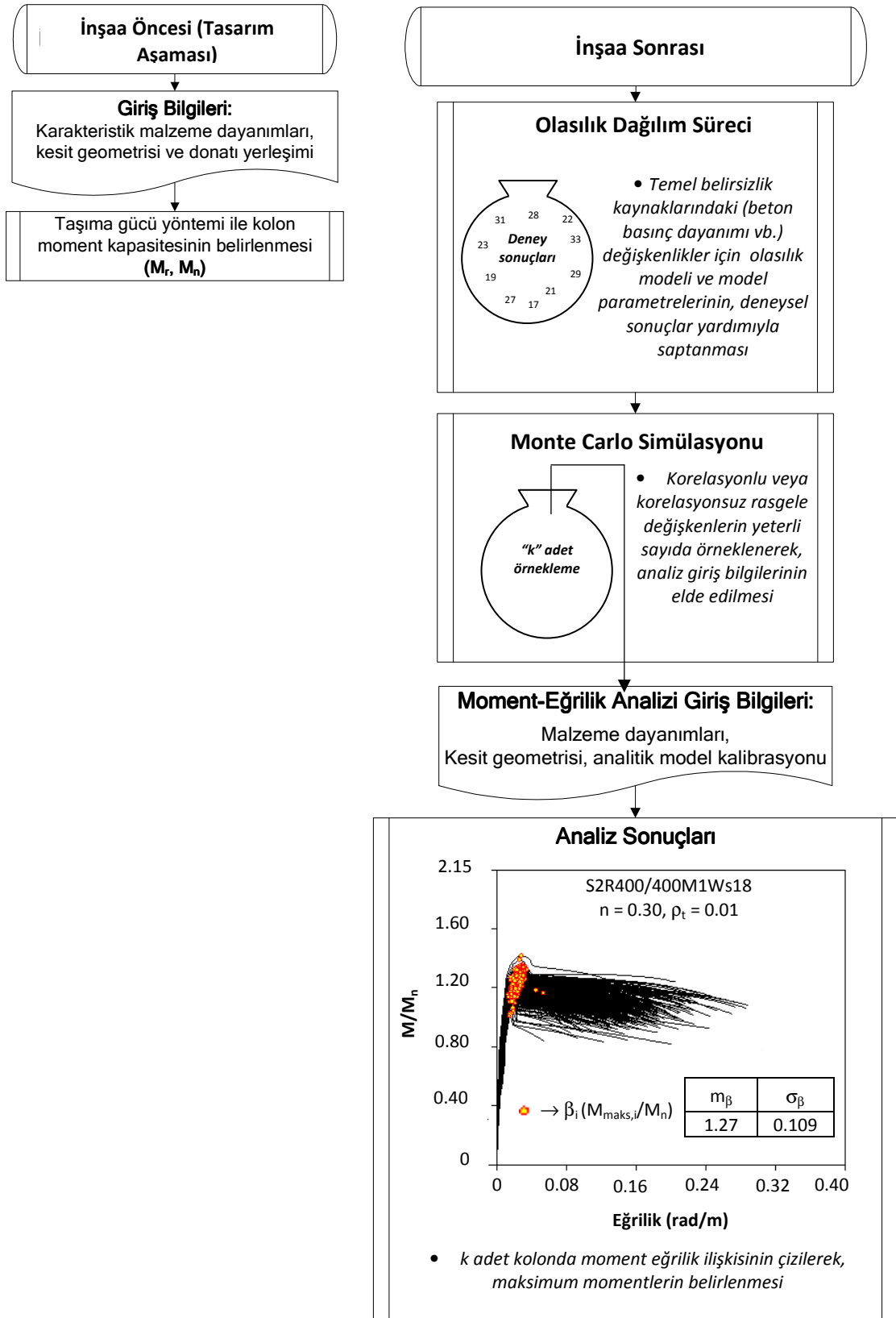
özetlenebilir: kesitteki birim şekil değiştirme dağılımı doğrusaldır, betonun çekme dayanımı ihmal edilir, donatı elasto-plastik davranış gösteren bir malzemedir, basınç bölgesindeki beton basınç gerilmesi dağılımı eşdeğer basınç bloğuyla ifade edilir ve beton için ezilme birim şekil değiştirmesi 0.003 olarak alınır [4]. İkinci aşamada ise, çalışmada göz önüne alınan örnek kolon kesitleri, temel belirsizlik kaynaklarındaki (malzeme dayanımları, kesit boyutları ve analitik model belirsizlikleri) değişkenlikler gözetilerek, bu çalışma için hazırlanmış olan moment-eğrilik programı yardımıyla doğrusal olmayan çözümlemeye tabi tutulmuştur. Böylece, taşıma gücü hesaplarında ihmal edilen parametrelerin (örneğin sargı etkisi), malzeme dayanımı ile kesit boyutlarında gerçekleşebilecek değişkenliklerin ve analitik model belirsizliklerinin (lifli ya da şeritli modelleme) kolon moment kapasitesi ve taşıma gücü momenti artış katsayıları üzerindeki ortak etkileri incelenmeye çalışılmıştır. Yukarıda sözü edilen iki aşamalı çözümleme Şekil 3. 1’de şematik olarak gösterilmiştir.

3.2 Temel Belirsizlik Kaynakları

Betonarme yapı elemanların gözlenen davranış parametreleri üzerinde etkisi olan belirsizlik kaynakları, fiziksel özelliklerdeki belirsizlikler ve modellemedeki belirsizlikler olmak üzere iki temel başlık altında toplanabilir. Fiziksel özelliklerdeki belirsizlikler; yükler, malzeme özellikleri ve kesit boyutlarındaki istatistiksel değişkenlikleri kapsar. Bu değişkenlikler, olasılık dağılımları gibi stokastik modellerle betimlenebilir. Modellemedeki belirsizlikler ise herhangi bir parametreyi (örneğin sargılı beton etkili birim kısalması) bazı basit değişkenlere (sargı donatısı özellikleri) bağlayan matematiksel modellerle ilgili belirsizliği ifade eder. Genellikle, model belirsizliği, etkisi ve etkileşimi kesin olarak bilinmeyen değişkenlerin, modellemede basitleştirilmesinin bir sonucu olarak ortaya çıkar.

3.2.1 Analitik Model Belirsizlikleri

Bilindiği gibi, kesit analizlerinde yaygın olarak kullanılan lifli modelleme yönteminde yapılan kabuller ve/veya analizlerde esas alınan malzeme davranış modellerindeki yaklaşıklıklar, analitik olarak elde edilen sonuçlarla deneysel sonuçlar arasında farklılıklara neden olur.



Şekil 3. 1 Sayısal analiz yönteminin şematik gösterimi

Bu bölümde, betonarme bir kolonun analitik hesap modeli (şeritli model) yardımıyla elde edilen eğilme momenti kapasitesi *rasgele değişken* olarak kabul edilecek ve modellemedeki belirsizlikler, olasılıksal dağılım süreciyle tanımlanacaktır. Olasılık dağılım sürecinde kullanılan model belirsizlik katsayısı (χ_m) aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

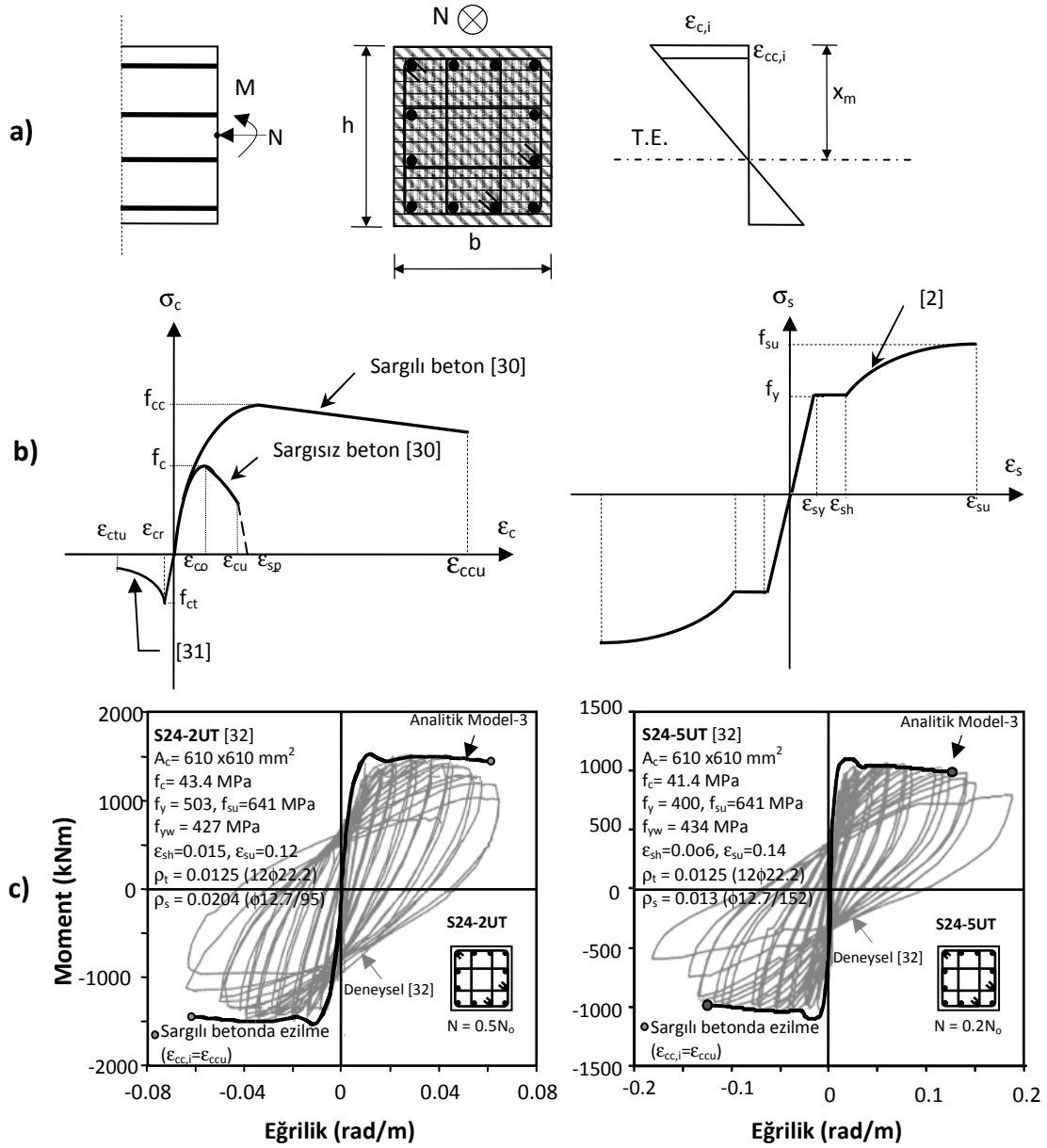
$$\chi_m = \frac{\text{Gerçekleşen Değer}}{\text{Tahmin edilen değer}} \quad (3.1)$$

Frangopol vd. [20], analitik sonuçlarla deneysel sonuçları karşılaştırmaksızın, model belirsizlik katsayısını ortalama değeri 1, standart sapması %7 alarak normal dağılım kabulüyle kullanılmıştır. Bu çalışmada ise, sargılı ve sargısız betonun basınç etkisindeki davranışı için göz önüne alınan farklı davranış modelleri yardımıyla elde edilen analitik sonuçlar, deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Şekil 3.2 ve 3.3’de, sırasıyla dikdörtgen ve dairesel kesitli örnek ikişer kolon kesiti için, şeritli (lifli) model tekniği kullanılarak elde edilen analitik moment eğrilik ilişkileri, deneysel olarak elde edilmiş olan moment eğrilik ilişkileri ile birlikte görülmektedir. Model belirsizlik katsayısına ait istatistiksel bilgilerin belirlenmesi amacıyla yapılan örneklemede, çeşitli araştırmacılar tarafından, sabit düşey yük ve çevrimsel yatay yük altında deprem yüklerine benzeştirilerek test edilmiş ve taşıma güçlerine eğilme kırılmasıyla ulaşan 120 adet deney elemanı ele alınmıştır. Göz önüne alınan kolonların deneysel kapasiteleri, basınç etkisindeki sargılı ve sargısız beton davranışı için üç farklı modelin adapte edildiği şeritli (lifli) model tekniği sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

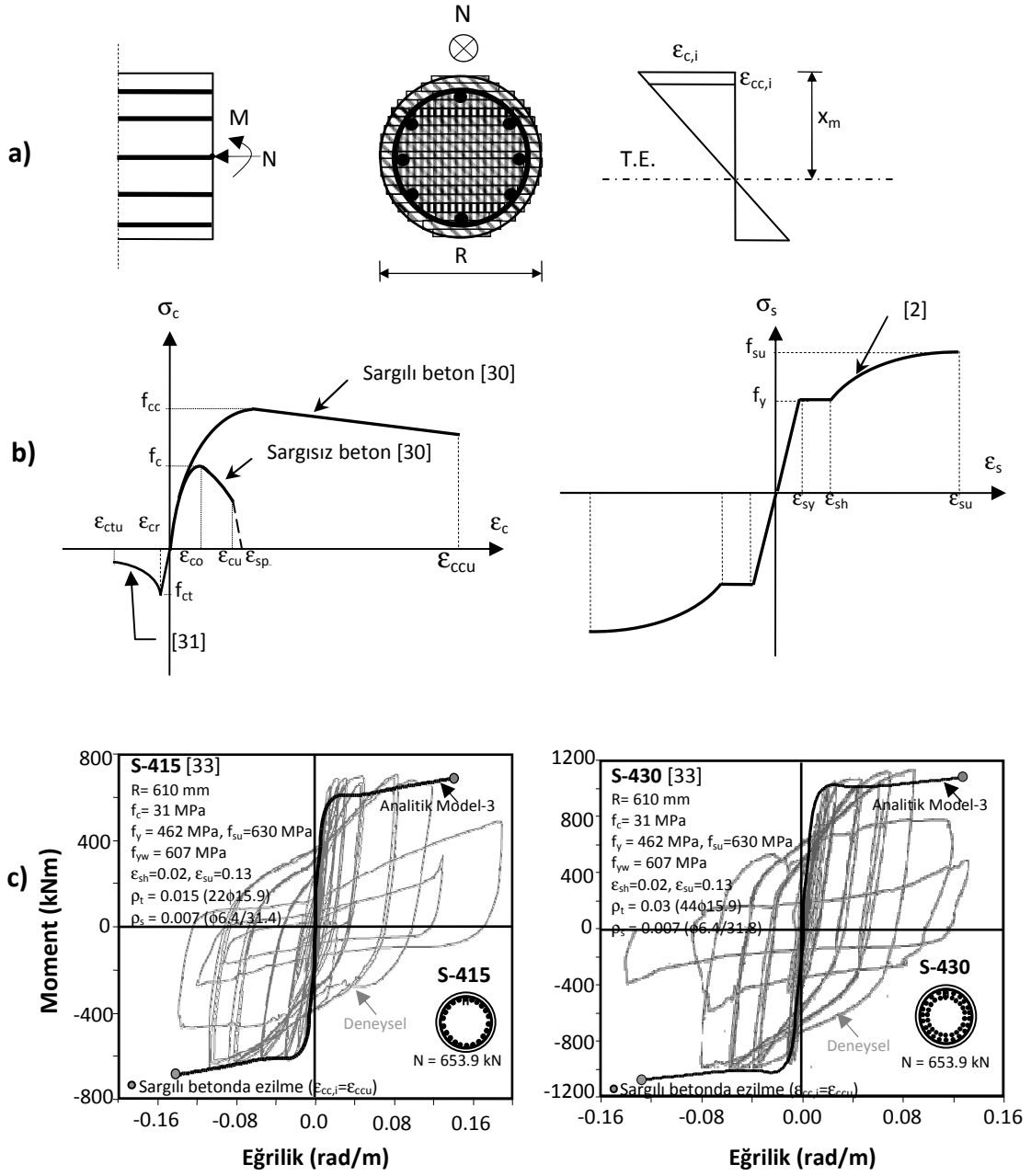
Yapılan örnekleme ile göz önüne alınan üç farklı model için model belirsizliği katsayısının istatistiksel verileri Çizelge 3.1’de verilmiştir. Deneysel ve analitik olarak elde edilen karakteristik moment kapasitesi artış oranlarının (M_{maks}/M_n) %10 hata bandı ile karşılaştırılması ise Şekil 3.4’de gösterilmiştir. Göz önüne alınan 3 analitik model için de betonun çekme etkisindeki davranış modeli ile donatı çeliği basınç ve çekme etkisindeki davranış modellerinde farklılık yoktur.

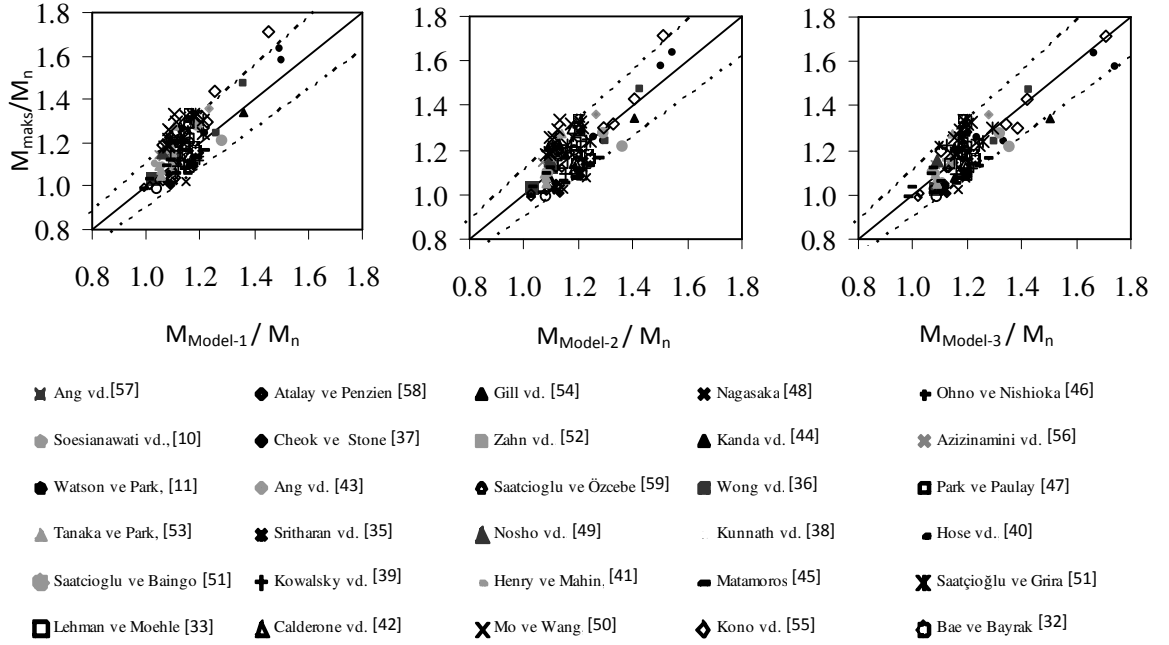
Çizelge 3. 1 DeneySEL ve analitik olarak belirlenen eğilme momenti kapasitelerinin karşılaştırılması

Model		Model-1	Model-2	Model-3
Sargılı ve sargısız beton davranış modelleri		Geliştirilmiş Kent & Park [27]	Saatçioğlu ve Ravzi [28], Hognestad [29] modeli	Mander modeli [30]
γ_{Mmaks}	Ortalama	1.03	1.01	0.99
	Standart sapma (%)	7.42	7.17	6.14
	Olasılık dağılımı	Normal	Normal	Normal



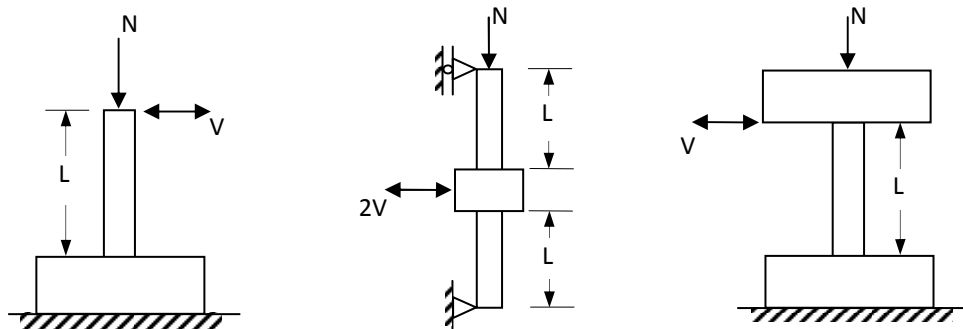
Şekil 3. 2 Şeritli (Lifli) Model (Dikdörtgen kesit): (a) Kesitin geometrik tanımlaması, (b) Beton ve donatı çeliği gerilme-birim şekil değıştirme davranış modelleri (c) Analitik moment eğrilik ilişkileri (model-3) ve deneysel sonuçlarla karşılaştırılması



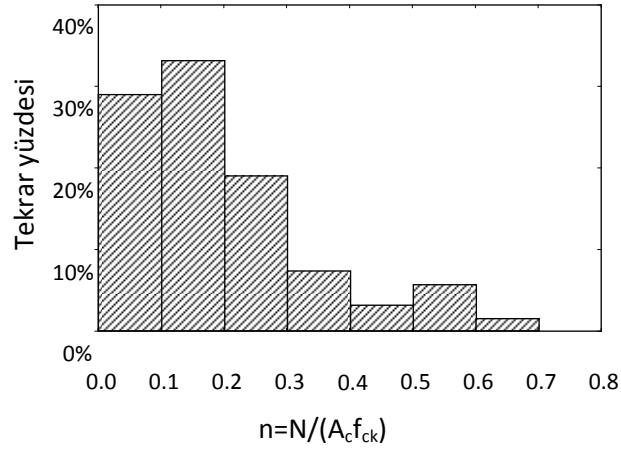


Şekil 3. 4 Farklı davranış modellerine göre belirlenen analitik moment kapasitelerinin deneysel moment kapasiteleriyle karşılaştırılması

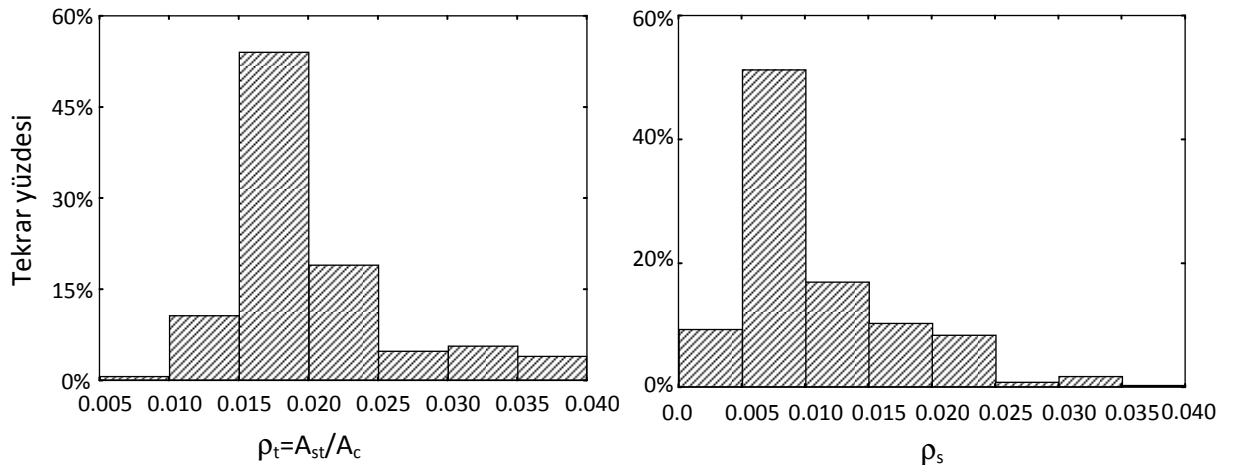
Karşılaştırmalarda kullanılan deney elemanlarının düzenekleri Şekil 3. 5’de, boyutsuz eksenel yük düzeyinin dağılımı Şekil 3. 6’da, boyuna ve enine donatı oranlarının dağılımları ise Şekil 3. 7’de verilmiştir. Dairesel kesitli deneysel elemanların genel özellikleri Çizelge 3. 2’de, dikdörtgen kesitli deney elemanlarının genel özellikleri ise Çizelge 3. 3’de toplu olarak sunulmuştur.



Şekil 3. 5 Kolon deney düzeneklerinin şematik gösterimi



Şekil 3. 6 Karşılaştırmalarda kullanılan deney elemanlarında eksenel yük düzeyinin dağılımı



Şekil 3. 7 Karşılaştırmalarda kullanılan deney elemanlarında boyuna ve enine donatı yüzdelерinin dağılımı

Çizelge 3. 2 Dairesel kesitli deney elemanlarının genel özellikleri

No	Eleman ismi / Referans	R (mm)	f _c (MPa)	f _y (MPa)	f _{yw} (MPa)	ρ _t	ρ _s	N (kN)	n
1	RC1/[34]	250	65	419	1000	0.0328	0.0154	1000	0.313
2	RC2/[34]	250	65	419	420	0.0328	0.0349	1000	0.313
3	IC1/[35]	600	31.4	448	431	0.0192	0.0054	400	0.045
4	IC2/[35]	600	34.6	448	431	0.0192	0.0054	400	0.041
5	IC3/[35]	600	33	448	431	0.0192	0.0054	400	0.043
6	NO1/[36]	400	38	423	300	0.0400	0.0142	907	0.19
7	NO3/[36]	400	37	475	300	0.0400	0.0142	1813	0.39
8	Flexure/[37]	1520	35.8	475	493	0.0200	0.0063	4450	0.069

Çizelge 3. 2 Dairesel kesitli deney elemanlarının genel özellikleri (Devamı)

No	Eleman ismi / Referans	R (mm)	f_c (MPa)	f_y (MPa)	f_{yw} (MPa)	ρ_t	ρ_s	N (kN)	n
9	N1/[37]	250	24.1	446	441	0.0196	0.0141	120	0.101
10	N2/[37]	250	23.1	446	441	0.0196	0.0141	239	0.211
11	N3/[37]	250	25.4	446	441	0.0196	0.0068	120	0.096
12	N4/[37]	250	24.4	446	441	0.0196	0.0141	120	0.1
13	N5/[37]	250	24.3	446	441	0.0196	0.0141	239	0.2
14	N6/[37]	250	23.3	446	441	0.0196	0.0068	120	0.105
15	407/[33]	609.6	31	462	606.8	0.0075	0.007	653.9	0.072
16	415/[33]	609.6	31	462	606.8	0.0150	0.007	653.9	0.072
17	430/[33]	609.6	31	462	606.8	0.0299	0.007	653.9	0.072
18	815/[33]	609.6	31	462	606.8	0.0150	0.007	653.9	0.072
19	1015/[33]	609.6	31	462	606.8	0.0150	0.007	653.9	0.072
20	A2/[38]	305	29	448	434	0.0204	0.0094	200	0.094
21	A3/[38]	305	29	448	434	0.0204	0.0094	200	0.094
22	A4/[38]	305	35.5	448	434	0.0204	0.0094	222	0.086
23	A5/[38]	305	35.5	448	434	0.0204	0.0094	222	0.086
24	A6/[38]	305	35.5	448	434	0.0204	0.0094	222	0.086
25	A7/[38]	305	32.8	448	434	0.0204	0.0094	222	0.093
26	A8/[38]	305	32.8	448	434	0.0204	0.0094	222	0.093
27	A9/[38]	305	32.5	448	434	0.0204	0.0094	222	0.093
28	A10/[38]	305	27	448	434	0.0204	0.0094	222	0.112
29	A11/[38]	305	27	448	434	0.0204	0.0094	222	0.112
30	A12/[38]	305	27	448	434	0.0204	0.0094	222	0.112
31	FL1/[39]	457	36.6	477	445	0.0363	0.0092	1780	0.296
32	FL2/[39]	457	40	477	437	0.0363	0.006	1780	0.271
33	FL3/[39]	457	38.6	477	437	0.0363	0.0092	1780	0.281
34	SRPH1/[40]	610	41.1	455	414	0.0265	0.0089	1780	0.148
35	415P/[41]	609.6	37.2	462	606.8	0.0150	0.007	1308	0.120
36	328/[42]	609.6	34.5	441.3	606.8	0.0272	0.0089	911.8	0.091
37	838/[42]	609.6	34.5	441.3	606.8	0.0272	0.0089	911.8	0.091
38	1028/[42]	609.6	34.5	441.3	606.8	0.0272	0.0089	911.8	0.091
39	NO9/[43]	400	29.9	448	372	0.0320	0.0102	751	0.200

Çizelge 3. 3 Dikdörtgen kesitli deney elemanlarının genel özellikleri

No	Eleman ismi / Referans	b (mm)	h (mm)	f_c (MPa)	f_y (MPa)	f_{yw} (MPa)	ρ_t	N (kN)	n
1	PDC-1/[44]	250	250	24.8	374	352	0.0162	184	0.119
2	PDC-2/[44]	250	250	27.9	374	506	0.0162	184	0.106
3	PDC-3/[44]	250	250	27.9	374	506	0.0162	184	0.106
4	STC-1/[44]	250	250	27.9	374	506	0.0162	184	0.106
5	STC-2/[44]	250	250	27.9	374	506	0.0162	184	0.106
6	STC-3/[44]	250	250	27.9	374	506	0.0162	184	0.106
7	C5-N/[45]	203	203	37.9	572.3	514	0.0193	0	0.000
8	C5-S/[45]	203	203	37.9	572.3	514	0.0193	0	0.000
9	C5-20S/[45]	203	203	48.3	587.1	407.8	0.0193	285	0.143
10	C5-40N/[45]	203	203	38.1	572.3	513	0.0193	569	0.362
11	C5-40S/[45]	203	203	38.1	572.3	513	0.0193	569	0.362
12	C10-5N/[45]	203	203	69.6	586	407	0.0193	142	0.050
13	C10-5S/[45]	203	203	69.6	586	407	0.0193	142	0.050
14	C10-10N/[45]	203	203	67.8	572	514	0.0193	285	0.102
15	C10-10S/[45]	203	203	67.8	573.3	514.7	0.0193	285	0.102
16	C10-20N/[45]	203	203	65.5	572.3	514	0.0193	569	0.211
17	C10-20S/[45]	203	203	65.5	573.3	515	0.0193	569	0.211
18	NO1/[10]	400	400	46.5	446	364	0.0151	744	0.100
19	NO2/[10]	400	400	44	446	364	0.0151	2112	0.300
20	NO3/[10]	400	400	44	446	364	0.0151	2112	0.300
21	NO4/[10]	400	400	40	446	255	0.0151	1920	0.300
22	L1/[46]	400	400	24.8	362	325	0.0142	127	0.032
23	L2/[46]	400	400	24.8	362	325	0.0142	127	0.032
24	L3/[46]	400	400	24.8	362	325	0.0142	127	0.032
25	NO9/[47]	400	600	26.9	432	305	0.0189	646	0.100
26	C19-32/[48]	200	200	21	371	344	0.0127	294	0.350
27	C10-63/[48]	200	200	21.6	371	344	0.0127	147	0.170
28	NO1/[49]	279.4	279.4	40.6	407	351	0.0102	1076	0.339
29	C1-1/[50]	400	400	24.9	497	460	0.0213	450	0.113
30	C1-2/[50]	400	400	26.7	497	460	0.0213	675	0.158

Çizelge 3. 3 Dikdörtgen kesitli deney elemanlarının genel özellikleri (Devamı)

No	Eleman ismi / Referans	b (mm)	h (mm)	f_c (MPa)	f_y (MPa)	f_{yw} (MPa)	ρ_t	N (kN)	n
31	C1-3/[50]	400	400	26.1	497	460	0.0213	900	0.216
32	C2-1/[50]	400	400	25.3	497	460	0.0213	450	0.111
33	C2-2/[50]	400	400	27.1	497	460	0.0213	675	0.156
34	C2-3/[50]	400	400	26.9	497	460	0.0213	900	0.209
35	C3-1/[50]	400	400	26.4	497	460	0.0213	450	0.107
36	C3-2/[50]	400	400	27.5	497	460	0.0213	675	0.153
37	C3-3/[50]	400	400	26.9	497	460	0.0213	900	0.209
38	Bg1/[51]	350	350	34	655.6	570	0.0195	1782	0.428
39	Bg2/[51]	350	350	34	655.6	570	0.0195	1782	0.428
40	Bg3/[51]	350	350	34	655.6	570	0.0195	831	0.200
41	Bg4/[51]	350	350	34	655.6	570	0.0293	1923	0.462
42	No7/[52]	400	400	28.3	440	466	0.0151	1010	0.223
43	No1/[53]	400	400	25.6	474	333	0.0157	819	0.200
44	No2/[53]	400	400	25.6	474	333	0.0157	819	0.200
45	No3/[53]	400	400	25.6	474	333	0.0157	819	0.200
46	No4/[53]	400	400	25.6	474	333	0.0157	819	0.200
47	No5/[53]	550	550	32	511	325	0.0125	968	0.100
48	No6/[53]	550	550	32	511	325	0.0125	968	0.100
49	No7/[53]	550	550	32.1	511	325	0.0125	2913	0.300
50	No5/[11]	400	400	41	474	372	0.0151	3280	0.500
51	No6/[11]	400	400	40	474	388	0.0151	3200	0.500
52	No7/[11]	400	400	42	474	308	0.0151	4704	0.700
53	No8/[11]	400	400	39	474	372	0.0151	4368	0.700
54	No1/[54]	550	550	23.1	375	297	0.0180	1815	0.260
55	No2/[54]	550	550	41.4	375	316	0.0180	2680	0.214
56	No3/[54]	550	550	21.4	375	297	0.0180	2719	0.420
57	No4/[54]	550	550	23.5	375	294	0.0180	4265	0.600
58	d1n30/[55]	250	250	37.6	461	485	0.0243	705	0.300
59	d1n60/[55]	250	250	37.6	461	485	0.0243	1410	0.600
60	L1d60/[55]	600	600	39.2	388	524	0.0169	8000	0.567

Çizelge 3. 3 Dikdörtgen kesitli deney elemanlarının genel özellikleri (Devamı)

No	Eleman ismi / Referans	b (mm)	h (mm)	f_c (MPa)	f_y (MPa)	f_{yw} (MPa)	ρ_t	N (kN)	n
61	L1N6B/[55]	560	560	32.2	388	524	0.0194	6000	0.594
62	L1N60/[55]	600	600	39.2	388	524	0.0169	8000	0.567
63	NC-2/[56]	457	457	39.3	439	454	0.0194	1690	0.206
64	NC-4/[56]	457	457	39.8	439	616	0.0194	2580	0.310
65	No3/[57]	400	400	23.6	427	320	0.0151	1435	0.380
66	No4/[57]	400	400	25	427	280	0.0151	840	0.210
67	1s1/[58]	305	305	29.1	367	363	0.0164	267	0.099
68	2s1/[58]	305	305	30.7	367	363	0.0164	267	0.093
69	3s1/[58]	305	305	29.2	367	363	0.0164	267	0.098
70	4s1/[58]	305	305	27.6	429	363	0.0164	267	0.104
71	5s1/[58]	305	305	29.4	429	392	0.0164	534	0.195
72	6s1/[58]	305	305	31.8	429	392	0.0164	534	0.181
73	No9/[58]	305	305	33.3	363	392	0.0164	801	0.259
74	No10/[58]	305	305	32.4	363	392	0.0164	801	0.266
75	No11/[58]	305	305	31	363	373	0.0164	801	0.278
76	U3/[59]	350	350	34.8	430	470	0.0321	600	0.141
77	U4/[59]	350	350	32	438	470	0.0321	600	0.153
78	U6/[59]	350	350	37.3	437	425	0.0321	600	0.131
79	U7/[59]	350	350	39	437	425	0.0321	600	0.126
80	S24-2UT/[32]	610	610	43.4	503	427	0.0125	7947	0.492
81	S24-5UT/[32]	610	610	41.4	400	434	0.0125	2958	0.192

3.2.1.1 Sargılı Beton Etkili Birim Kısalması Model Belirsizlik Katsayısı

Sargılı beton etkili birim kısalması, analitik moment-eğrilik ilişkilerindeki sınır durumun sayısal olarak modellenmesi için esas alınan temel parametrelerdendir. Söz konusu değişken (ϵ_{ccu}) analizlerde rasgele değişken olarak kabul edilmiştir. Sargılı beton davranış modeline göre belirlenen analitik sargılı beton etkili birim kısalmasının [27] çeşitli hasar sınırları gözetilerek (beton dayanımında azalma, enine donatıda kopma ve boyuna donatıda burkulma) deneysel verilerle karşılaştırılmasından, model belirsizliği

katsayısının (χ_{eccu}) istatistiksel betimlenmesinde normal dağılım kabulü ile ortalama değer 1.084, varyasyon katsayısı %34.7 alınmıştır [21].

3.2.2 Fiziksel Özelliklerdeki Değişkenlikler

Fiziksel özelliklerdeki değişkenlikler, bir başka deyişle malzeme özellikleri ve kesit boyutlarının doğasından kaynaklanan değişkenliklerin kesit hesaplarına etkileri, seçilen rasgele değişkenin (beton basınç dayanımı, donatı çeliği akma dayanımı vb.) istatistiksel dağılımı, ortalama ve standart sapma değerleri yardımıyla modellenebilir. Bu çalışmada, beton basınç dayanımı, sargısız beton etkili birim kısalması, donatı çeliği akma ve kopma dayanımları, donatı çeliği pekleşme başlangıç birim şekil değiştirmesi ve kopma uzaması rasgele değişken olarak seçilmiştir. Çizelge 3. 4’de, kesit analizlerinde kullanılacak olan tüm malzeme sınıfları için seçilen rasgele değişkenlere ait istatistikler toplu olarak özetlenmiştir.

Moment-eğrilik ilişkilerinin belirlenmesinde, beton elastisite modülü (E_c), sargılı beton basınç dayanımı (f_{cc}), beton çekme dayanımı (f_{ct}) ve betonun maksimum çekme dayanımına karşılık gelen birim uzama değeri (ϵ_{cr}), beton çekme etkili birim uzaması ($\epsilon_{ctu} \approx 10\epsilon_{cr}$ [31]) ve sargılı beton etkili birim kısalması (ϵ_{ccu}) rasgele değişkenlere bağlı olarak belirlenmiştir.

3.2.2.1 Beton Basınç Dayanımı

Çalışmada dikkate alınan üç farklı beton sınıfı basınç dayanımının olasılık dağılımlarının modellenmesinde normal dağılım esas alınmıştır [21, 64]. Karakteristik basınç dayanımı 20 MPa olan C20 betonu, ortalaması 28 MPa ve varyasyon katsayısı (COV) %18 alınarak [21] modellenmiştir. Karakteristik basınç dayanımları 30 MPa ve 40 MPa olan C30 ve C40 betonları ise sırasıyla, ortalaması 43 MPa ve 56 MPa, varyasyon katsayısı (COV) %18 alınarak [60] modellenmiştir.

Çizelge 3. 4 Fiziksel özelliklere ait temel tasarım değişkenleri ve istatistikleri

Rasgele değişken	Ortalama	Standart sapma	Varyasyon katsayısı	İstatistiksel dağılım	Referans
<i>Beton Basınç Dayanımı</i>	f_c (C20)	28 MPa	5.04 MPa	0.18	Normal [21]
	f_c (C30)	43 MPa	7.74 MPa	0.18	Normal [60]
	f_c (C40)	56 MPa	10.08 MPa	0.18	Normal [60]
<i>Sargısız Beton Etkili Birim Kısalması</i>	ϵ_{cu}	0.0035	0.0005	0.14	Normal [61]
<i>Donatı Çeliği</i>	f_y (S400)	496 MPa	23 MPa	0.047	Normal [62]
<i>Akma (f_y) ve Kopma</i>	f_{su} (S400)	598 MPa	20 MPa	0.033	Normal [62]
<i>Dayanımları</i>	f_y (S500)	585 MPa	30 MPa	0.052	Normal [62]
<i>(f_{su})</i>	f_{su} (S500)	680 MPa	28 MPa	0.042	Normal [62]
<i>Doatı Çeliği</i>	ϵ_{sh} (S400)	0.022	0.0044	0.20	Normal [62]
<i>Pekleşme</i>	ϵ_{su} (S400)	0.118	0.0169	0.143	Normal [62]
<i>Başlangıç (ϵ_{sh}) ve</i>	ϵ_{sh} (S500)	0.014	0.0043	0.31	Normal [62]
<i>kopma birim</i>	ϵ_{su} (S500)	0.094	0.0140	0.149	Normal [62]
<i>Şekil</i>					
<i>Değiştirmeleri</i>					
<i>(ϵ_{su})</i>					
<i>Kesit boyutları</i>	b, h, R (mm)	+1.6 mm	6.4 mm	-----	Normal [63]

3.2.2.2 Donatı Çeliği Akma ve Kopma Dayanımları

Çalışmada kullanılan enine ve boyuna donatı çeliği akma ve kopma dayanımları, beton basınç dayanımında olduğu gibi normal dağılım kabulü ile modellenmiştir [21, 62]. İstatistiksel normal dağılım modelinde, donatı çeliği akma ve kopma dayanımlarının tam korelasyonlu olduğu varsayımı ile [21, 26] iki değişkenli normal dağılım kullanılmıştır. Analizlerde karakteristik akma dayanımları 400 MPa ve 500 MPa olan iki tür betonarme çeliği kullanılmıştır. Karakteristik akma dayanımı 400 MPa olan betonarme çeliğinin olasılık dağılımının modellenmesinde, akma ve kopma dayanımlarının ortalamaları sırasıyla, 496 MPa ve 598 MPa, standart sapmaları ise 23 Mpa ve 20 MPa alınmıştır [62]. Karakteristik akma dayanımı 500 MPa olan betonarme çeliği akma ve kopma dayanımlarının ortalamaları 585 MPa ve 680 MPa, standart sapmaları ise 30 MPa ve 28 MPa alınarak modellenmiştir [62].

3.2.2.3 Donatı Çeliği Akma Dayanımına Bağlı Deterministik Değişkenler

Moment-eğrilik analizinde, sargılı beton basınç dayanımı, sargılı beton etkili birim kısılması ve donatı çeliği kopma dayanımı akma dayanımına bağlı deterministik değişken olarak belirlenmiştir.

3.2.2.4 Donatı Çeliği Pekleşme Başlangıç Birim Şekil Değiştirmesi

Donatı çeliği pekleşme başlangıç birim şekil değiştirmesi (ϵ_{sh}) normal dağılım kabulüyle, karakteristik akma dayanımı 400 MPa olan donatı çeliği için ortalaması 0.022 ve varyasyon katsayısı 0.2, karakteristik akma dayanımı 500 MPa olan donatı çeliği için ise ortalaması 0.014 ve varyasyon katsayısı 0.31 alınmıştır [62].

3.2.2.5 Donatı Çeliği Kopma Birim Şekil Değiştirmesi

Donatı çeliği kopma birim şekil değiştirmesi (ϵ_{su}) normal dağılım kabulü ile modellenmiştir [21, 62]. Analizlerde kullanılan karakteristik akma dayanımı 400 MPa olan donatı çeliğinin kopma uzaması olasılık dağılımının modellenmesinde, ortalama değer 0.118 ve varyasyon katsayısı 0.143, karakteristik akma dayanımı 500 MPa olan donatı çeliğinde ortalama değer 0.094 ve varyasyon katsayısı 0.149 alınmıştır [62].

3.2.2.6 Sargısız Beton Etkili Birim Kısılması

Moment-eğrilik analizlerinde sargısız beton etkili birim kısılma değeri rasgele değişken kabul edilmiştir. Analizlerde, sargısız beton etkili birim kısılma değerinin (ϵ_{cu}) olasılık dağılımı, normal dağılım kabulü ile ortalama değeri 0.0035 ve standart sapması 0.0005 alınarak modellenmiştir [61].

3.2.2.7 Kesit Boyutlarındaki Belirsizliklerin Modellenmesi

Kesit boyutlarındaki belirsizlikler, inşa sırasında kalite kontrol derecesine bağlı değişkendir. Kesit boyutunun istatistiksel dağılımının belirlenmesinde Mirza vd. tarafından yapılan istatistiksel çalışmanın sonuçlarından yararlanılmıştır. Modellemede, normal dağılım kabulüyle, ortalama boyut nominal boyuta 1.6^{mm} eklenerek belirlenmiş, standart sapma 6.4^{mm} olarak alınmıştır [63].

3.3 Monte Carlo Simülasyonu ve Kesit Analizleri

Çalışmada göz önüne alınan temel belirsizlik kaynaklarının kolon taşıma gücü artış katsayılarına etkilerinin belirlenmesinde, yaygın olarak kullanılan Monte Carlo benzeşim yönteminden yararlanılmıştır. Monte Carlo benzeşim yönteminde iki aşamalı bir hesap algoritması izlenmiştir. Birinci aşamada, istatistiksel dağılımı kabulü, ortalama ve standart sapma değerleri kullanılarak belirli sayıda örneklenen rasgele değişkenler - bir başka anlatımla inşaat aşamasında her biri eşit olasılığa sahip eleman özellikleri- rasgele eşleştirilerek analiz girdi bilgileri elde edilmiştir. İkinci aşamada ise her bir örnekleme için, Şekil 3. 2 ve Şekil 3. 3’de görülen analitik hesap modelinde; birinci aşamadan elde edilen girdi bilgileri yardımıyla kolonun olası moment kapasitesi tespit edilmiştir. Yeter sayıda örnekleme ile bir başka deyişle kabul edilebilir hesap duyarlılığı ile elde edilen moment kapasiteleri, deterministik yaklaşımla elde edilen kolon moment taşıma gücü M_r ile oranlanarak, olası kolon taşıma gücü momenti artış katsayıları belirlenmiştir. Örnekleme sayısının hesaplara etkisi sonraki bölümlerde ayrıntılı olarak incelenecektir.

3.3.1 Korelasyonsuz Bir Rasgele Değişkenin Sayısal Değerlerinin Örnekleme

Dağılım modeli ve temel dağılım parametreleri belirli bir X rasgele değişkeninin, belirli bir örnek boyutundaki x_i rasgele değerlerinin belirlenmesinde izlenecek yol, aşağıda verilen iki hesap adımıyla özetlenebilir.

- Göz önüne alınan örnek boyutunda, 0~1 arasında değişen üniform dağılımlı rasgele değerler (u_i) türetilir. Söz konusu değerler, rasgele değer türetilmesinde birikimli olasılıklara karşılık gelir.
- X rasgele değişkenin ait rasgele değerler (3.2) bağıntısı yardımıyla bulunabilir.

$$x_i = F_x^{-1}(u_i) \quad (3.2)$$

Sözü edilen hesap adımları, çalışmanın 2. bölümünde daha ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır. Analizlerde göz önüne alınan korelasyonsuz rasgele değişkenlerin örneklemeinde kullanılan ve Microsoft Excel (TR) yazılımı kullanılarak hazırlanan bir örnek, Ek B’ de verilmiştir.

3.3.2 Korelasyonlu Rasgele Değişkenlerin Sayısal Değerlerinin Örneklenmesi

Analizlerde donatı çeliği akma ve kopma dayanımlarının aynı anda oluşan sonuçlarının dikkate alınması durumu için, ikili değişken x_i ve y_i rasgele değişkenlerinin normal dağılımlı olması durumunda örneklenmesine yönelik matlab programlama dilinde hazırlanan bir hesap yöntemi Ek C' de verilmiştir.

3.3.3 Örnek Kolonlar

Analizlerde, boyuna ve/veya enine donatı düzeni (12 grup), malzeme özellikleri (6 grup) ve yanıl donatı mekanik indeksi (3 grup) birbirinden farklı, toplam 216 adet tip kolon kesiti incelenmiştir. Sözü edilen kolonların isimlendirilmesinde esas alınan kodlama, dikdörtgen ve dairesel kolonlar için ayrı ayrı olmak üzere, Şekil 3. 8'de gösterilmiştir.

Örnek kolonların boyuna donatı düzenleri, enine donatı düzenleri, malzeme özellikleri sırasıyla Çizelge 3. 5 ve Çizelge 3. 6 'da özetlenmiştir. Ayrıca örnek kolonların geometrik özellikleri ve yanıl donatı mekanik indeksleri ise Çizelge 3. 7'de toplu olarak verilmiştir.

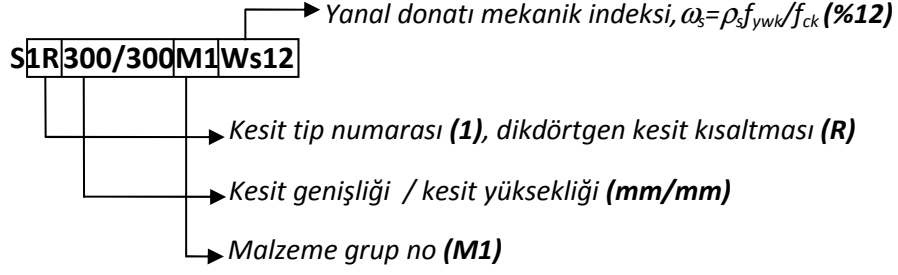
Çizelge 3. 5 Boyuna ve enine donatı düzenleri ve isimlendirmede kullanılan kısaltmalar

Kesit Geometrisi	Kısaltma	Tip No					
		1	2	3	4	5	6
Dikdörtgen	R						
Dairesel	C						

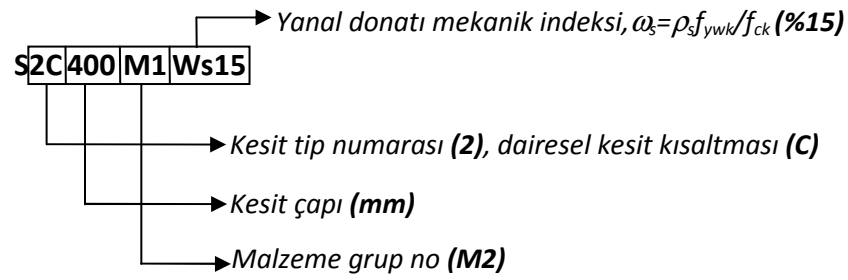
Çizelge 3. 6 Malzeme özellikleri ve isimlendirmede kullanılan kısaltmalar

Karakteristik dayanımlar	Kısaltma					
	M1	M2	M3	M4	M5	M6
f_{ck} (MPa)	20	20	30	30	40	40
f_{yk} (MPa)	400	500	400	500	400	500
f_{ywk} (MPa)	400	500	400	500	400	500

Dikdörtgen kesitli kolonlarda



Dairesel kesitli kolonlarda



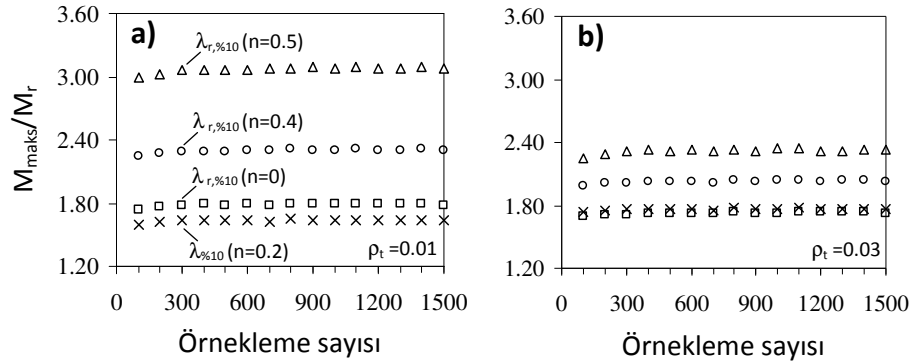
Şekil 3. 8 Örnek kolonların isimlendirilmesi

Çizelge 3. 7 Kesit analizlerinde kullanılan örnek kolonlar

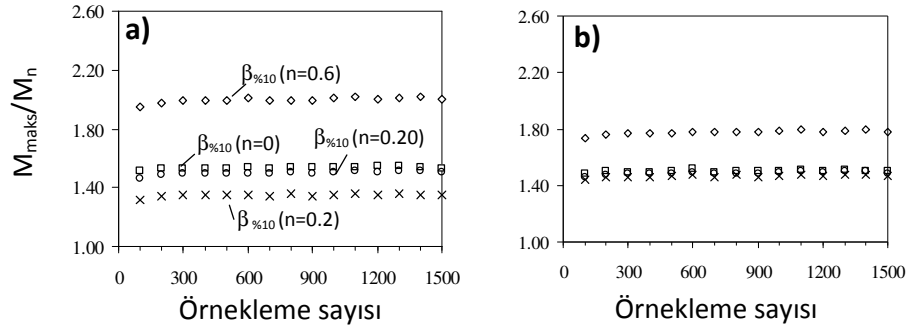
Kesit sembolü	Kesit boyutları (mm)	Malzeme sembolü	Yanal donatı mekanik indeksi (ω_s)
S1R	300/300	M1~M6	0.12/0.15/0.18
S2R	400/400	M1~M6	0.12/0.15/0.18
S3R	500/500	M1~M6	0.12/0.15/0.18
S4R	600/600	M1~M6	0.12/0.15/0.18
S5R	800/800	M1~M6	0.12/0.15/0.18
S3R	400/600	M1~M6	0.12/0.15/0.18
S6R	250/500	M1~M6	0.12/0.15/0.18
S1C	300	M1~M6	0.12/0.15/0.18
S2C	400	M1~M6	0.12/0.15/0.18
S3C	500	M1~M6	0.12/0.15/0.18
S4C	600	M1~M6	0.12/0.15/0.18
S4C	700	M1~M6	0.12/0.15/0.18
S5C	800	M1~M6	0.12/0.15/0.18
S6C	1000	M1~M6	0.12/0.15/0.18

3.3.4 Örneklem Sayısı

Betonarme kolonların davranışı üzerine yapılan istatistiksel çalışmalarda gözlenen davranış parametresine (kesitin sınır eğriliği, dönme kapasitesi vb.) bağlı olarak farklı örneklem sayıları kullanılabilir [19, 21, 22]. Monte Carlo benzeşim yönteminde esas alınan örneklem sayısı, elde edilen sonuçları, bir başka ifadeyle duyarlılığı etkileyen önemli bir parametredir. Bu çalışmada, örneklem sayısının taşıma gücü artış katsayısı üzerine etkilerinin araştırılması amacıyla çeşitli sayıda örneklem (100~1500) ile ön denemeler yapılmış ve örneklem sayılarındaki farklılığın gözlenen davranış parametresi (taşıma gücü artış katsayıları: $\lambda_r = M_{maks}/M_r$ ve $\beta = M_{maks}/M_n$) üzerindeki etkileri incelenmiştir. Şekil 3. 9'da, çalışmada ele alınan örnek bir kolon kesitinde, kolon taşıma gücü artış katsayılarının (λ_r) örneklem sayısına bağlı değişimleri görülmektedir. Karşılaştırmalarda, farklı eksenel yük düzeyleri için belirlenen artış katsayılarını tek bir diyagram üzerinde ve sade bir biçimde gösterebilmek için her bir örneklem sayısına karşı gelen ve aşılma olasılığı %10 olan artış katsayısı kullanılmıştır. Şekilden de görüleceği üzere, örneklem sayısının 300 ve üzerindeki değerleri için, artış katsayısı ile örneklem sayısı arasında sabite yakın bir ilişki vardır. Benzer biçimde, örnek bir kolon kesiti için kolon karakteristik moment kapasitesi artış katsayılarının (β) örneklem sayısına bağlı değişimleri Şekil 3.10'da verilmiştir. Karşılaştırmaların bir sonucu olarak, analiz sayısının minimize edilmesi ve sonuçların duyarlılığı bağlamında kesit analizlerinde esas alınabilecek minimum örneklem sayısının 300 olduğu söylenebilir. Bu çalışmada da örneklem sayısı 300 olarak alınmıştır.



Şekil 3. 9 Örneklem sayısındaki değişimin kolon taşıma gücü momenti dayanım fazlalığı üzerine etkileri (S2R400/400M1Ws18 kolonu), **a)** $p_t=0.01$, **b)** $p_t=0.03$

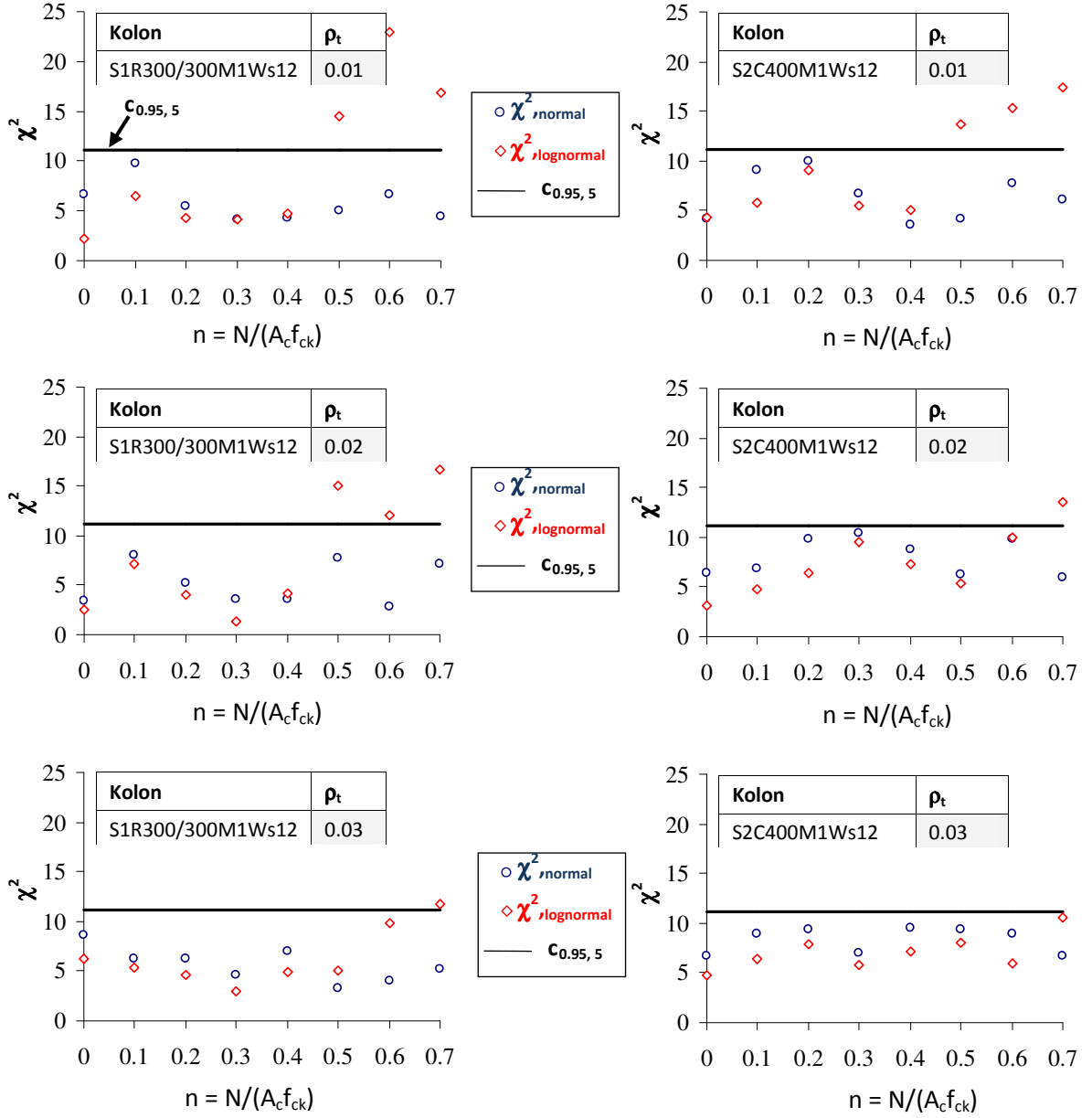


Şekil 3. 10 Örnekleme sayısındaki değişimin kolon taşıma gücü momenti dayanım fazlalığı üzerine etkileri (S2R400/400M1Ws18 kolonu), **a)** $p_t=0.01$, **b)** $p_t=0.03$

3.4 Analiz Sonuçları

Monte Carlo benzeşim yöntemi yardımıyla gerçekleştirilen kesit analizlerinde, toplam 7.938.000 adet moment-eğrilik ilişkisi belirlenmiştir (14 farklı kolon kesiti, 6 farklı malzeme grubu, 3 farklı yanal donatı mekanik indeksi, 15 farklı eksenel yük düzeyi, 7 farklı boyuna donatı oranı ve 300 adet örnek boyutu ile). Taşıma gücü artış katsayıları (β , λ_r) için khi-kare sınaması (bkz, bölüm 2.2.1) yapılarak istatistiksel dağılımlarının betimlenmesinde en uygun modelin normal dağılım olduğu belirlenmiştir. Şekil 3.11’de, çeşitli örnek kolon kesitleri için farklı eksenely yük düzeyi ve boyuna donatı yüzdeleri için belirlenen β katsayılarının iki farklı dağılım modeline göre sınanması diyagramlar üzerinde gösterilmiştir.

Bu bölümde; kolon karakteristik moment kapasitesi ve taşıma gücü momentinin belirlenmesinde kullanılan taşıma gücü hesaplarında ihmal edilen olgular ve temel belirsizlik kaynaklarındaki değişkenliklerin, kolon moment kapasitesi üzerinde meydana getirdiği değişkenlikleri yansıtan analiz sonuçları, diyagramlar ve/veya tablolar halinde sunulmuştur.



Şekil 3. 11 β katsayılarının dağılım modelinin Khi-Kare yöntemiyle sınanması

3.4.1 Kolon Moment Kapasitesinin Karakteristik Moment Kapasitesine Göre Oranındaki Değişkenlikler

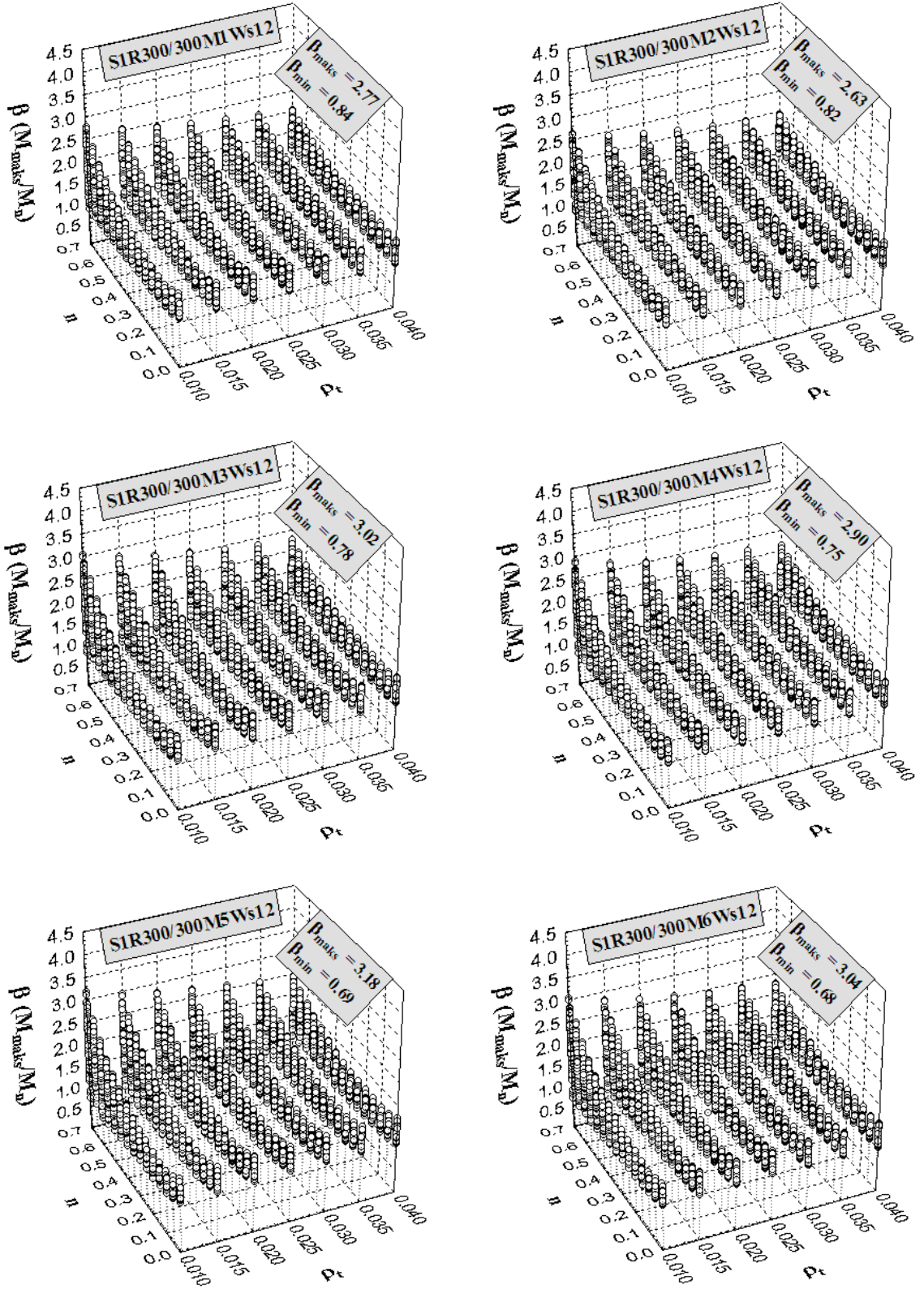
Temel belirsizlik kaynaklarındaki değişkenlikler ve taşıma gücü hesaplarında esas alınan kabuller ve ihmallerin kolon moment kapasitesi üzerindeki ortak etkilerinin gözlenmesi amacıyla tanımlanan boyutsuz oran, β , aşağıda verilen (3.2) bağıntısı yardımıyla belirlenmiştir.

$$\beta = \frac{M_{maks}}{M_n} \quad (3.3)$$

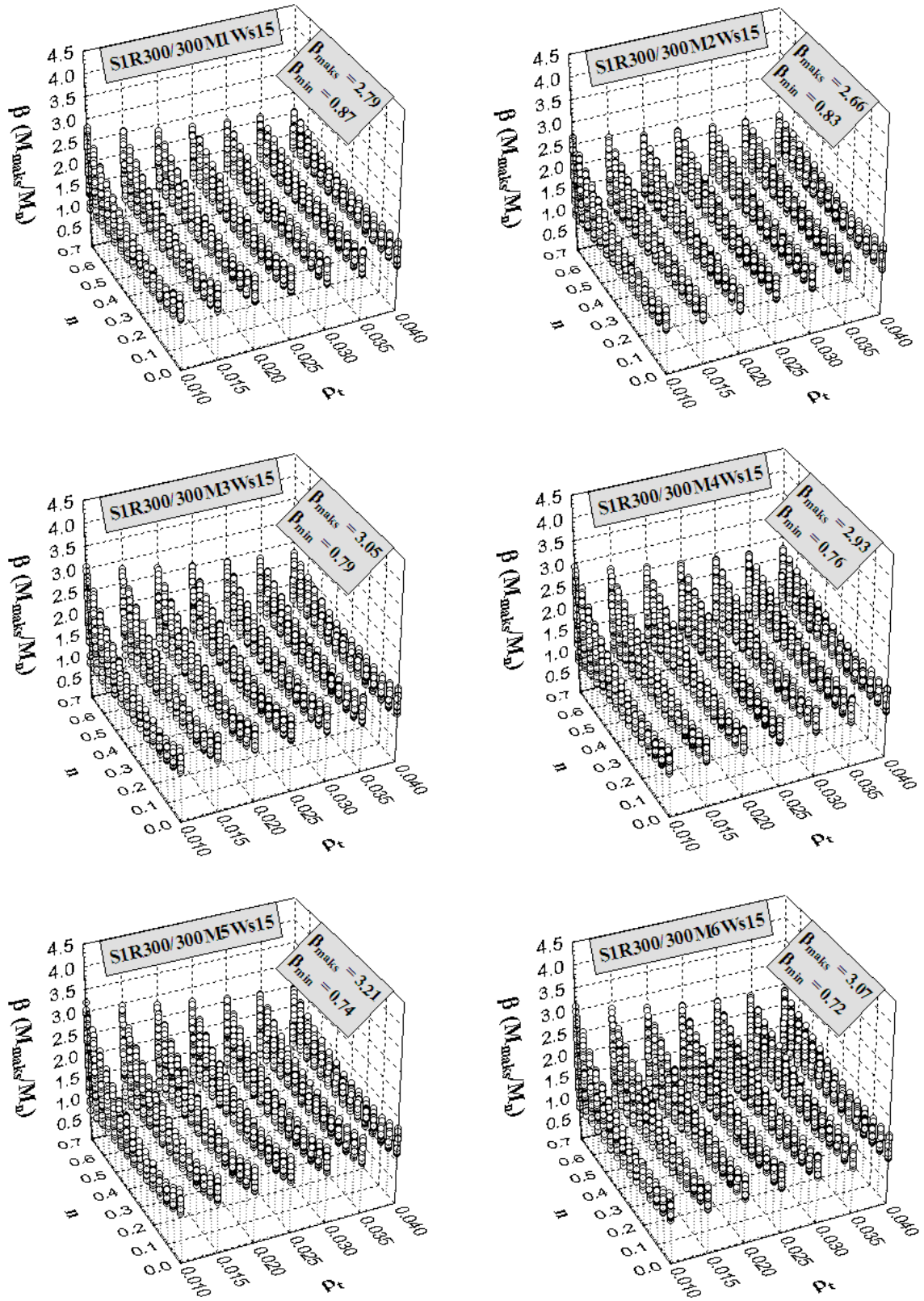
(3.3) bağıntısında, M_{maks} , Monte Carlo benzeşim yöntemi yardımıyla 300 örnekleme için çizilen moment-eğrilik ilişkisinden ayrı ayrı tespit edilmiş olan maksimum eğilme momentlerini ve M_n ise deterministik yaklaşımla (tasarım aşamasında esas alınan karakteristik özelliklere göre 1 örneklemeyle belirlenen M_n) belirlenen karakteristik moment kapasitesini göstermektedir.

Şekil 3.12~3.53'de, moment-eğrilik analiziyle belirlenen kolon moment kapasitesinin, kolon karakteristik moment kapasitesine göre oranlarının, analizlerde göz önüne alınan tüm örnek kolon kesitleri için ayrı ayrı olmak üzere, boyutsuz eksenel yük seviyesi (n), toplam boyuna donatı oranına (ρ_t) ve yanal donatı mekanik indeksine (ω_s) göre değişimleri görülmektedir. Sözü edilen oranların eksenel yük düzeyi, toplam boyuna donatı oranı ve yanal donatı mekanik indeksine göre değişimleri ve istatistiksel bilgileri ise Çizelge 3. 8~3. 21'de detaylı olarak verilmiştir.

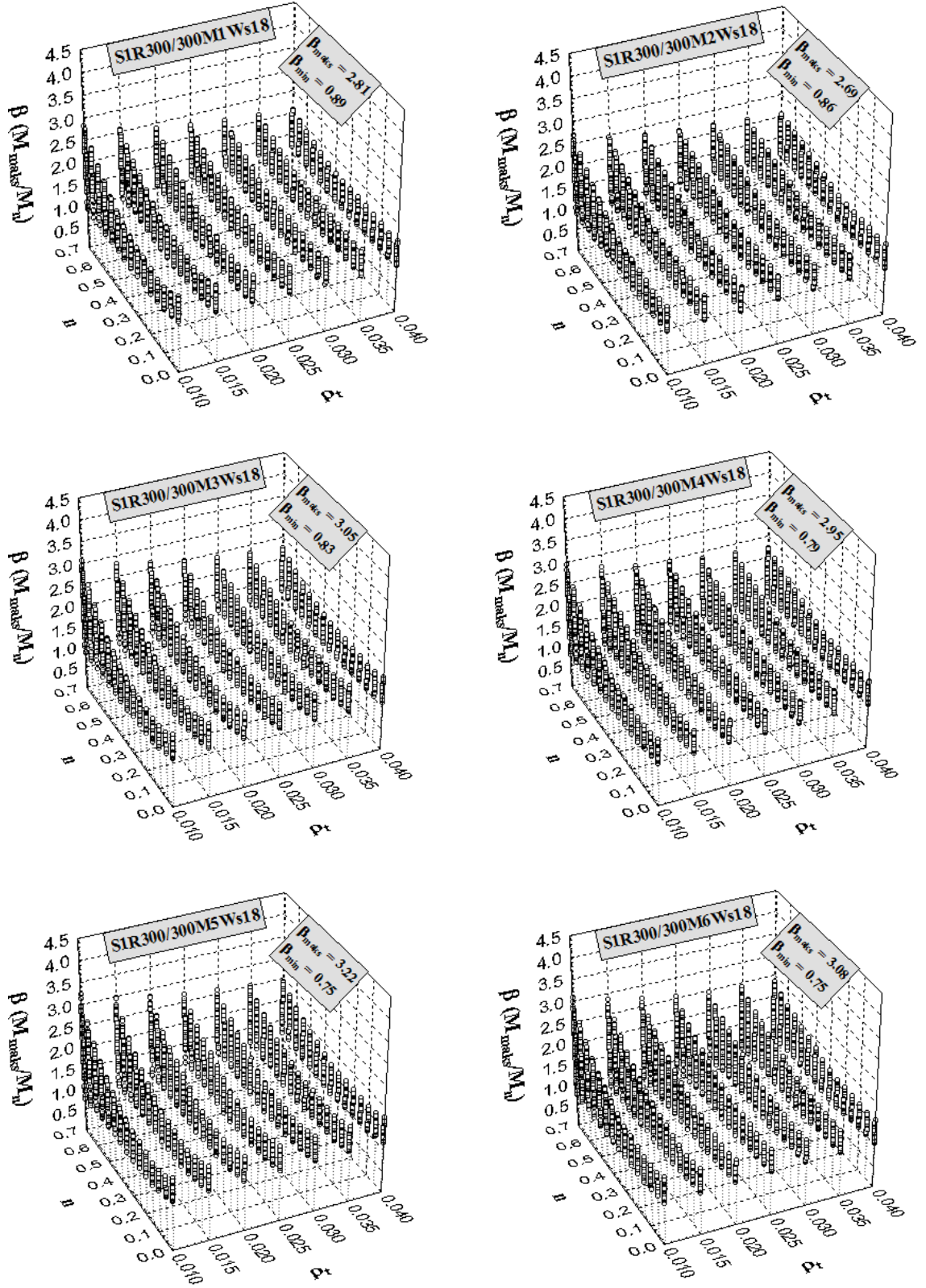
β katsayılarının, boyutsuz eksenel yük düzeyi ve kolon toplam boyuna donatı oranı göre değişimleri incelendiğinde, temel belirsizlik kaynaklarındaki değişkenliklerin ve kolon karakteristik moment kapasitesinin belirlenmesinde yapılan kabuller ve/veya basitleştirmelerin β katsayıları üzerinde değişkenlikler yarattığı görülebilir. Sözü edilen değişkenlikler (saçılmalar), özellikle kolon eksenel yük seviyesinin artmasıyla belirginleşmektedir. Kolon eksenel yük seviyesinin görece küçük değerlerinde ise, saçılma boyuna donatı oranının artışıyla birlikte sınırlı oranda büyümektedir. β katsayılarının, başta boyutsuz eksenel yük düzeyi ve kolon toplam boyuna donatı oranı olmak üzere çeşitli tasarım parametrelerine göre değişimleri sonraki bölümlerde ayrıntılı olarak incelenecektir.



Şekil 3. 12 S1R300/300 kolonunda β katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.12$



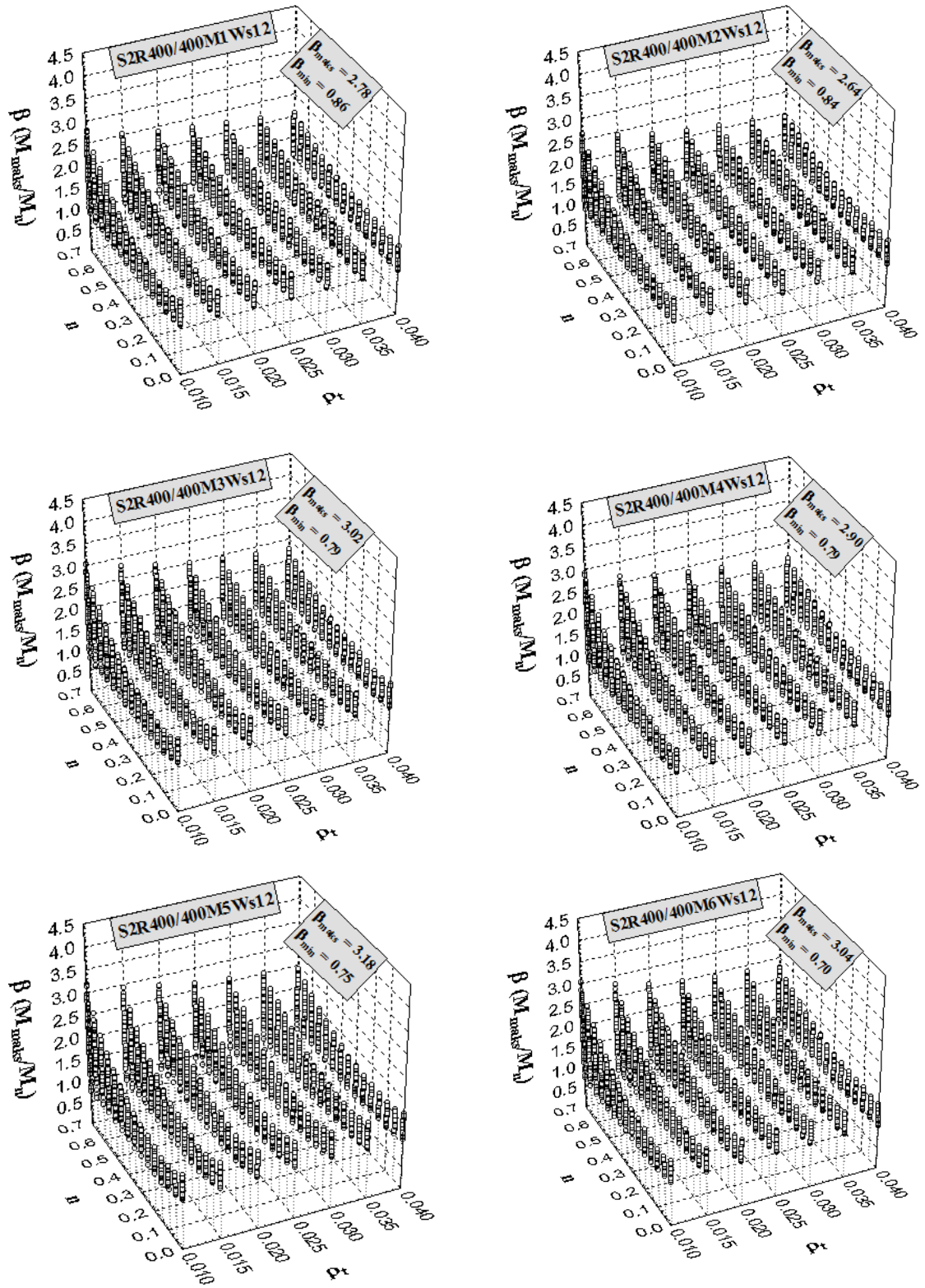
Şekil 3. 13 S1R300/300 kolonunda β katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.15$



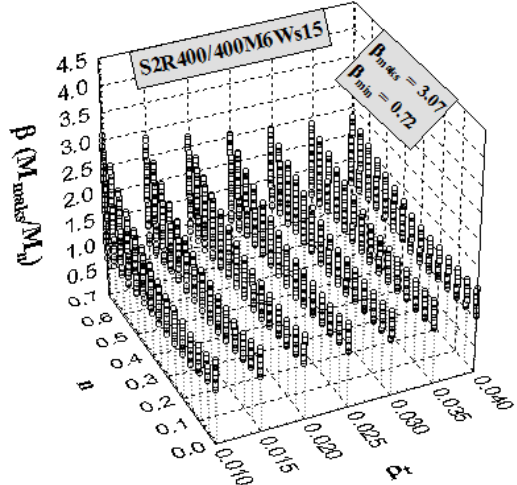
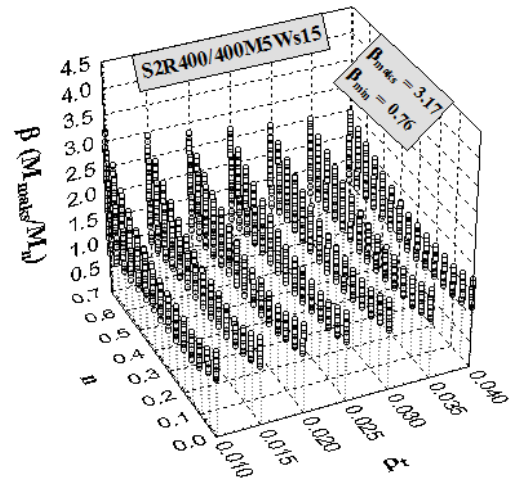
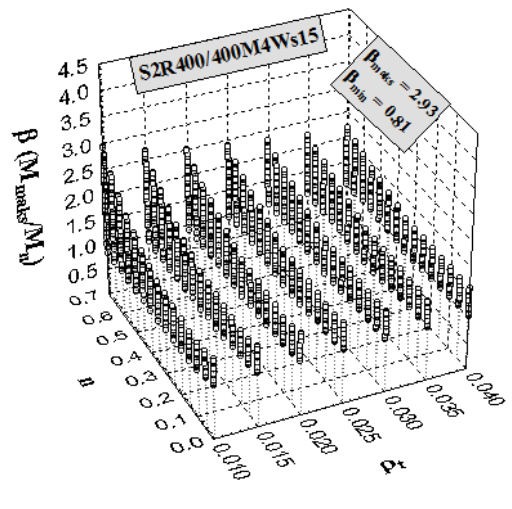
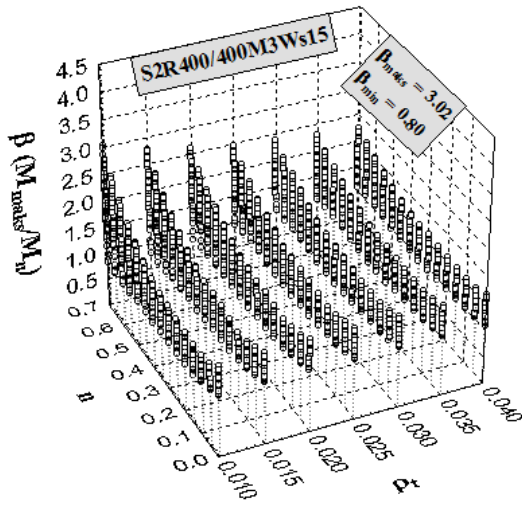
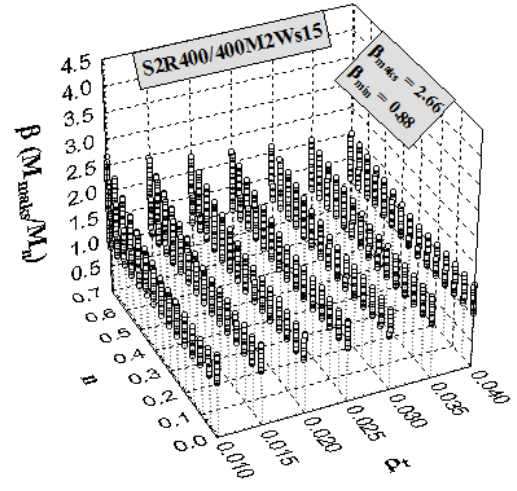
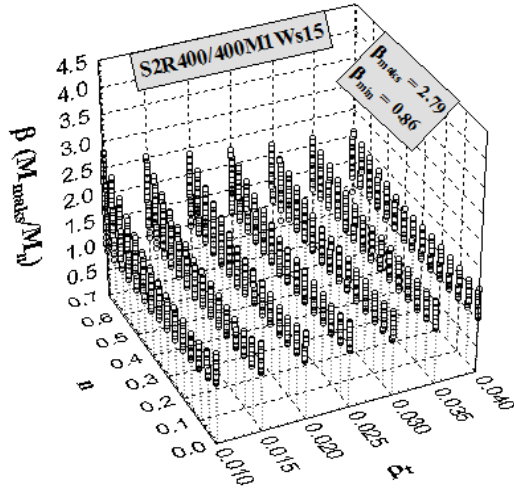
Şekil 3. 14 S1R300/300 kolonunda β katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.18$

Çizelge 3. 8 Analiz sonuçları: S1R300/300 kolonu

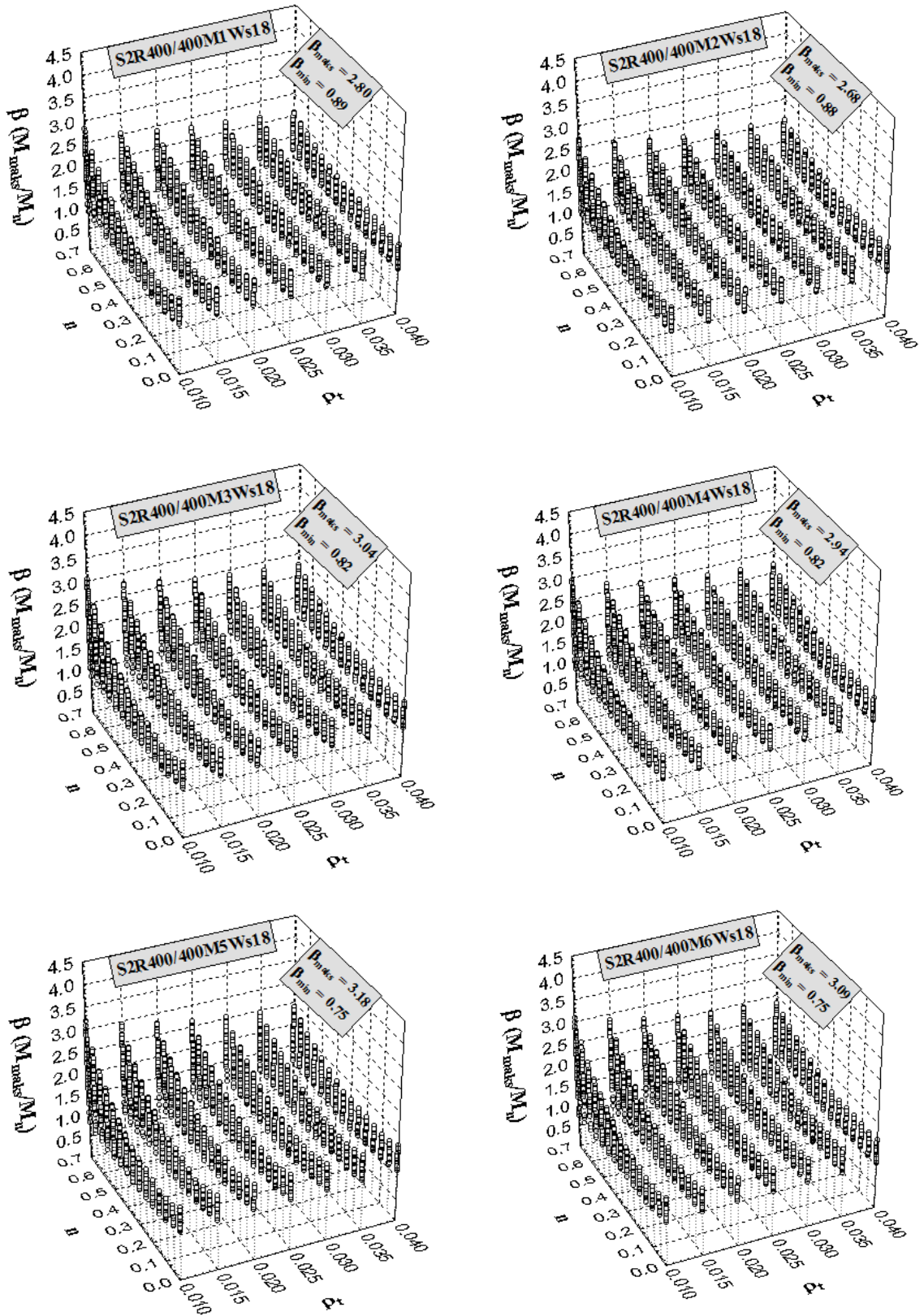
Kolon ismi	n $N/(bh f_{ck})$	ρ_t (A_{st}/A_c)	$\beta = M_{maks} / M_n$			
			Ortalama	Standart sapma	Maksimum	Minimum
S1R300/300M1Ws12	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.39	0.206	2.77	0.84
S1R300/300M2Ws12	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.34	0.188	2.63	0.82
S1R300/300M3Ws12	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.41	0.206	3.08	0.78
S1R300/300M4Ws12	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.36	0.188	2.63	0.82
S1R300/300M5Ws12	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.41	0.259	3.18	0.69
S1R300/300M6Ws12	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.37	0.242	3.04	0.68
S1R300/300M1Ws15	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.40	0.204	2.79	0.87
S1R300/300M2Ws15	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.38	0.201	2.66	0.83
S1R300/300M3Ws15	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.42	0.238	3.05	0.79
S1R300/300M4Ws15	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.37	0.231	2.93	0.76
S1R300/300M5Ws15	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.44	0.262	3.21	0.72
S1R300/300M6Ws15	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.36	0.246	3.07	0.72
S1R300/300M1Ws18	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.41	0.203	2.81	0.86
S1R300/300M2Ws18	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.38	0.200	2.69	0.86
S1R300/300M3Ws18	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.43	0.246	3.03	0.83
S1R300/300M4Ws18	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.38	0.238	2.93	0.78
S1R300/300M5Ws18	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.45	0.262	3.22	0.75
S1R300/300M6Ws18	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.36	0.241	3.08	0.75



Şekil 3. 15 S2R400/400 kolonunda β katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.12$



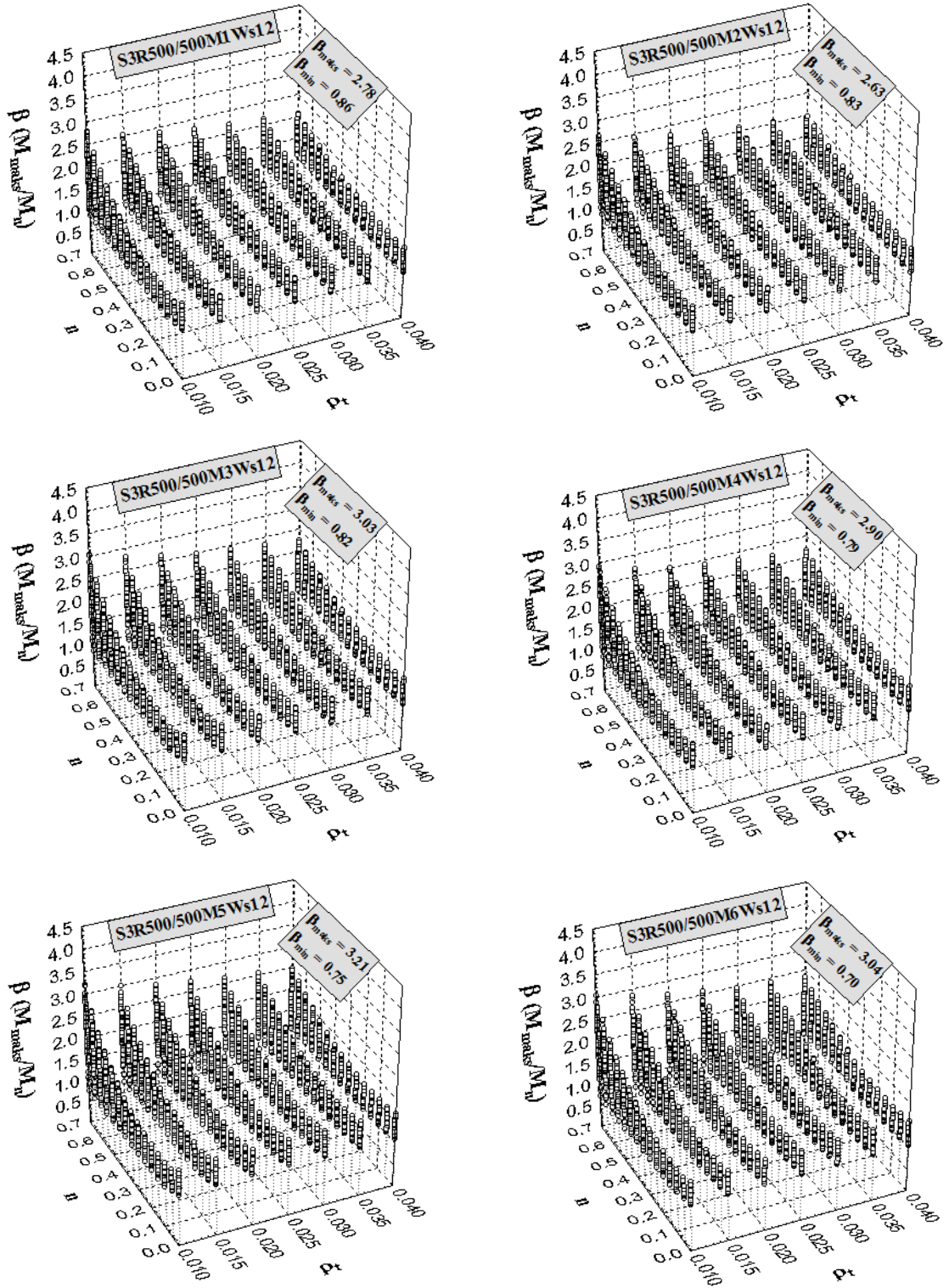
Şekil 3. 16 S2R400/400 kolonunda β katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.15$



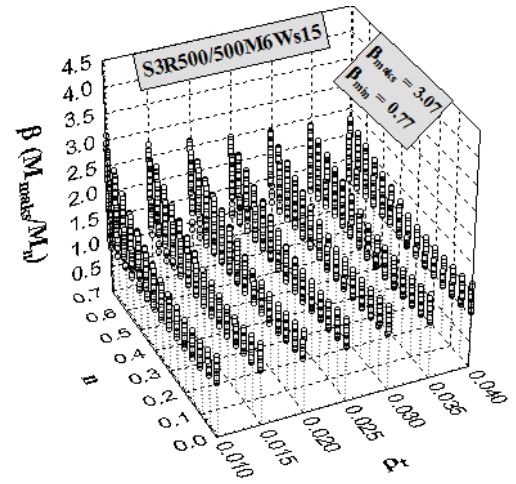
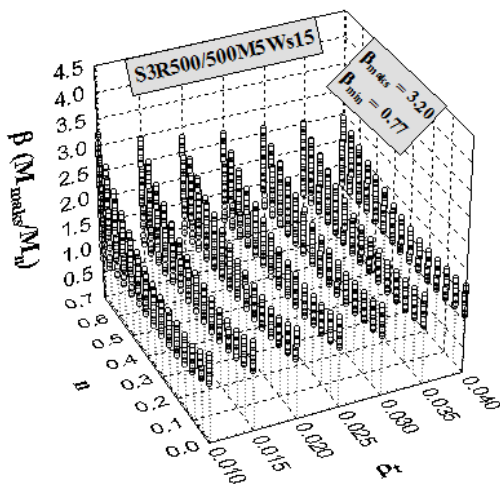
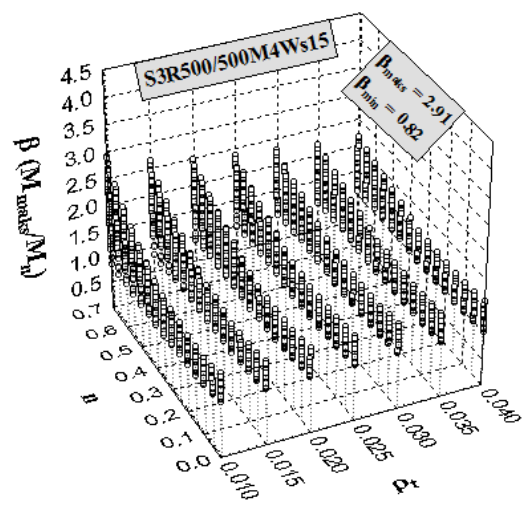
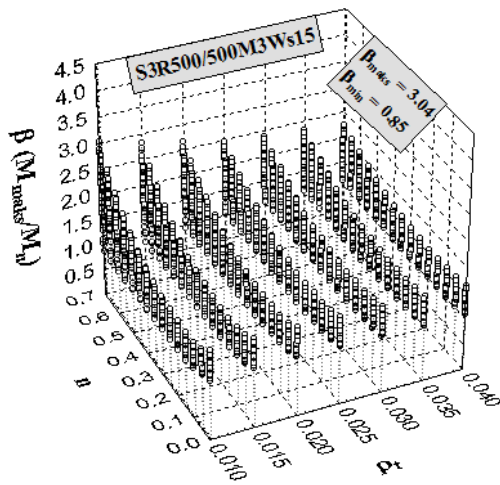
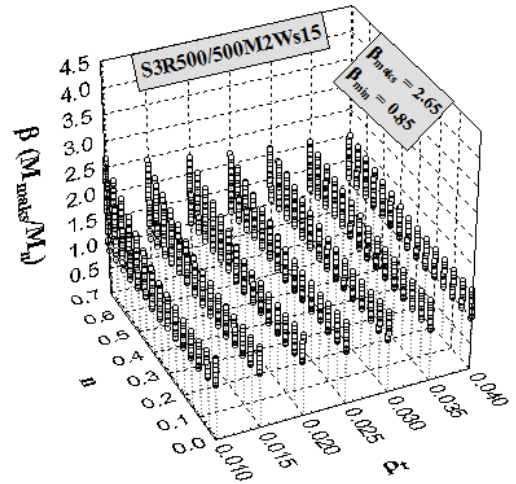
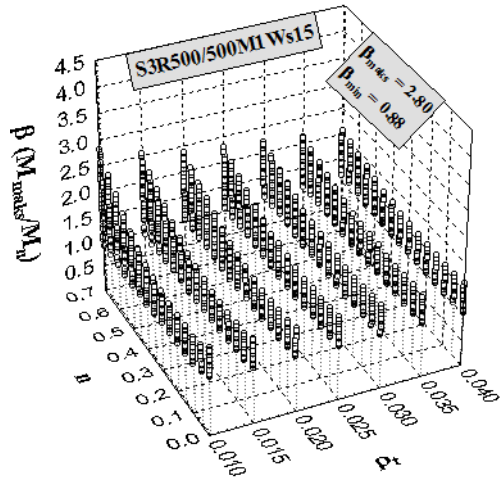
Şekil 3. 17 S2R400/400 kolonunda β katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.18$

Çizelge 3. 9 Analiz sonuçları: S2R400/400 kolonu

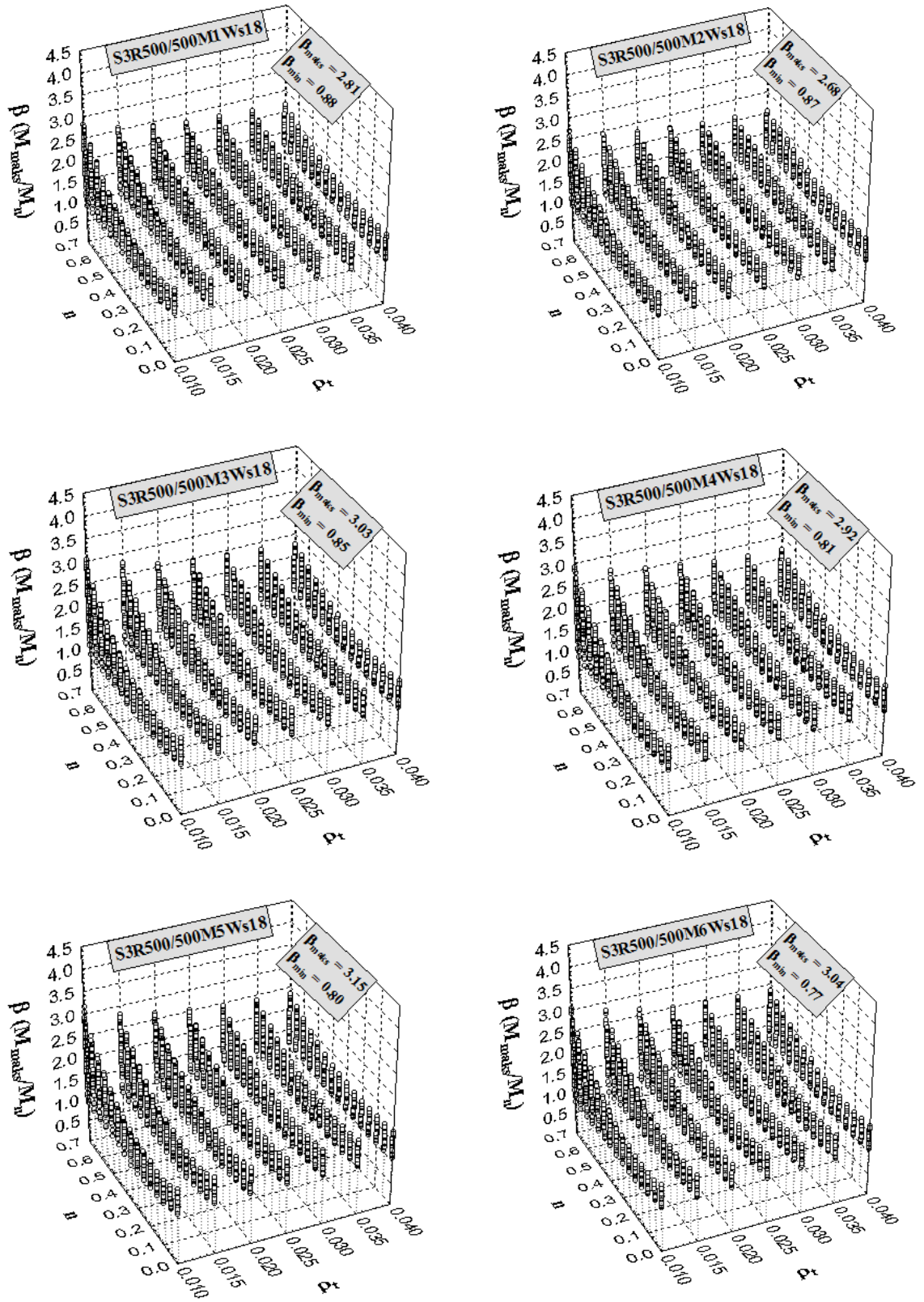
Kolon ismi	n $N/(bh f_{ck})$	ρ_t (A_{st}/A_c)	$\beta = M_{maks} / M_n$			
			Ortalama	Standart sapma	Maksimum	Minimum
S2R400/400M1Ws12	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.39	0.206	2.78	0.84
S2R400/400M2Ws12	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.34	0.187	2.64	0.84
S2R400/400M3Ws12	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.41	0.240	3.02	0.79
S2R400/400M4Ws12	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.36	0.219	2.90	0.79
S2R400/400M5Ws12	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.41	0.259	3.18	0.75
S2R400/400M6Ws12	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.37	0.240	3.04	0.70
S2R400/400M1Ws15	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.40	0.203	2.79	0.86
S2R400/400M2Ws15	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.38	0.196	2.66	0.88
S2R400/400M3Ws15	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.42	0.236	3.02	0.80
S2R400/400M4Ws15	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.39	0.229	2.93	0.81
S2R400/400M5Ws15	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.42	0.257	3.17	0.76
S2R400/400M6Ws15	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.40	0.251	3.07	0.72
S2R400/400M1Ws18	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.41	0.202	2.80	0.89
S2R400/400M2Ws18	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.39	0.195	2.68	0.88
S2R400/400M3Ws18	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.43	0.236	3.04	0.82
S2R400/400M4Ws18	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.40	0.228	2.94	0.82
S2R400/400M5Ws18	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.44	0.259	3.18	0.79
S2R400/400M6Ws18	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.41	0.251	3.09	0.75



Şekil 3. 18 S3R500/500 kolonunda β katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.12$



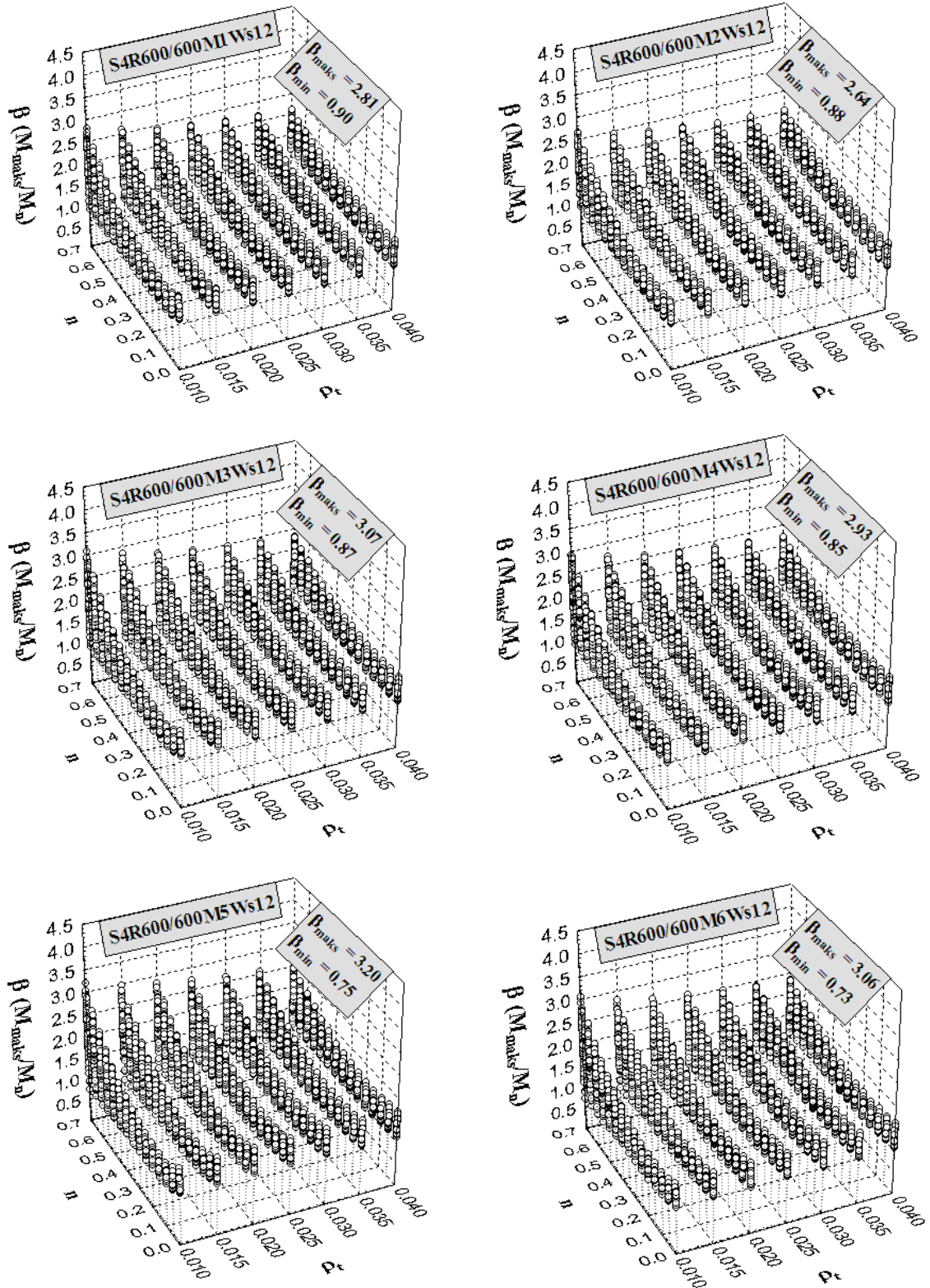
Şekil 3. 19 S3R500/500 kolonunda β katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.15$



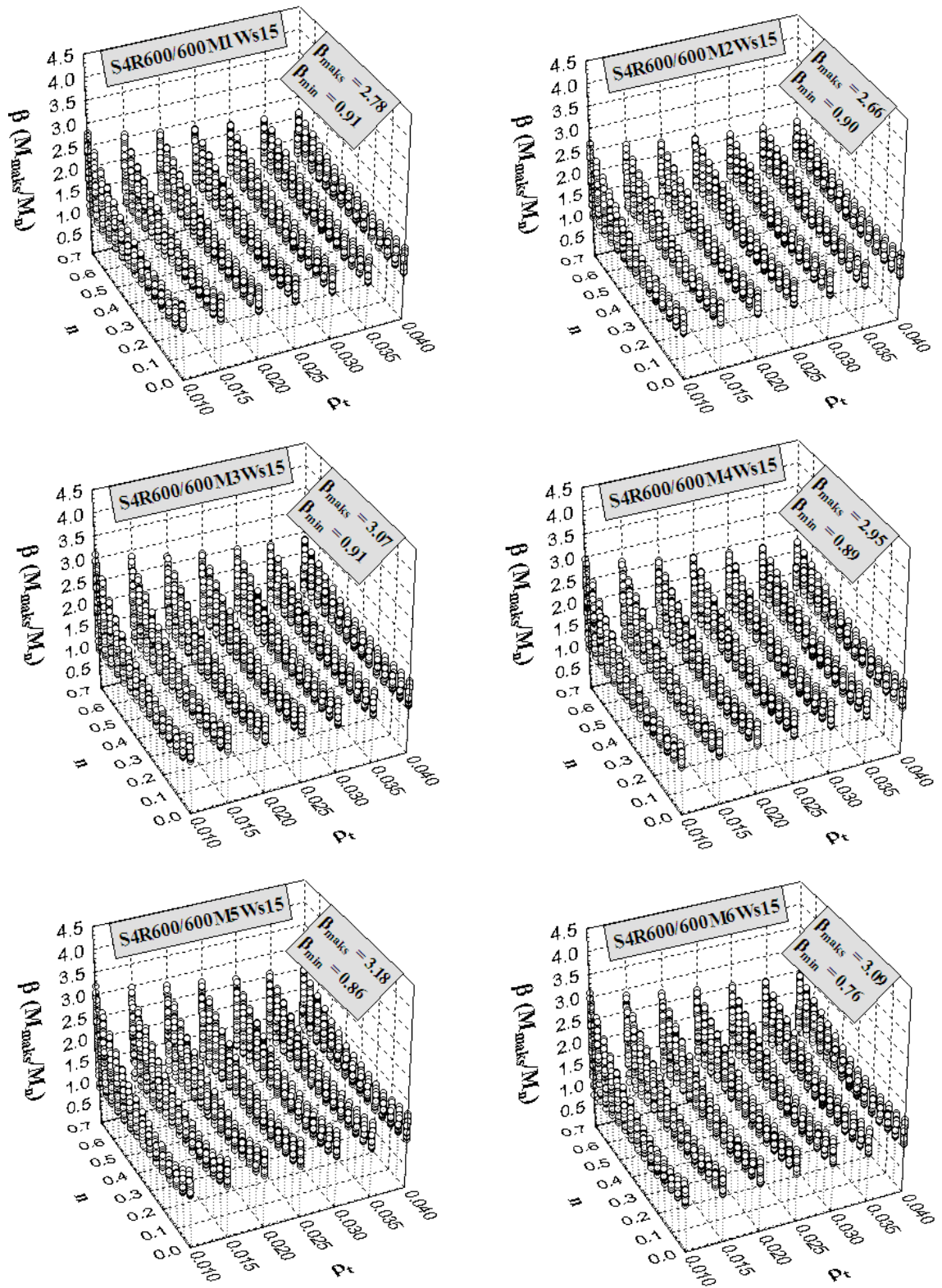
Şekil 3. 20 S3R500/500 kolonunda β katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.18$

Çizelge 3. 10 Analiz sonuçları: S3R500/500 kolonu

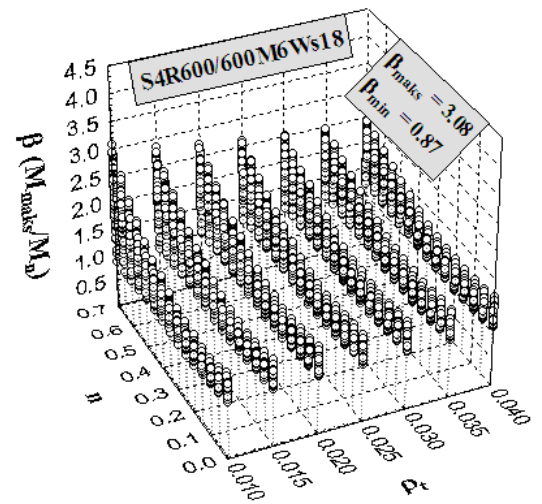
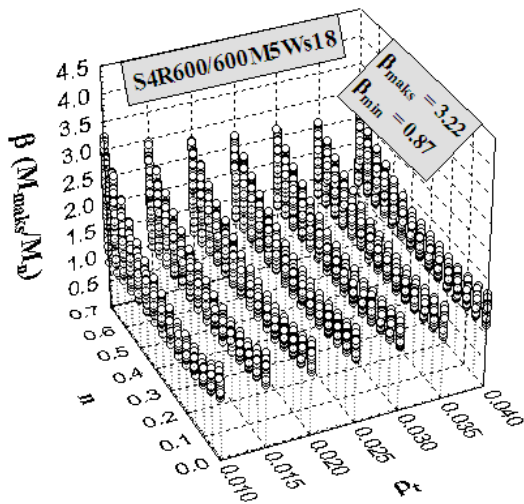
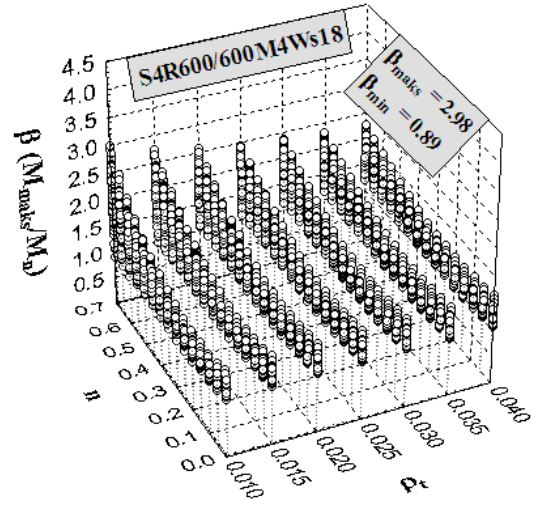
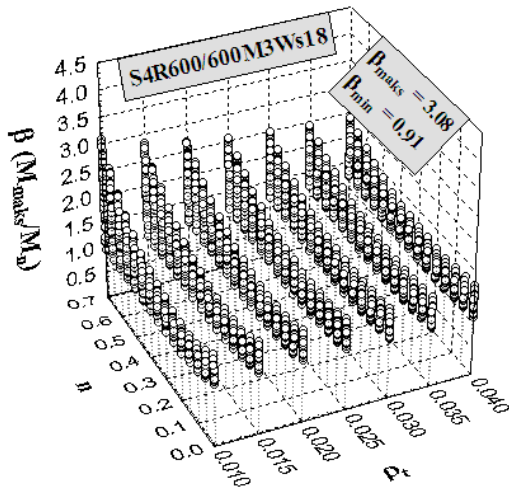
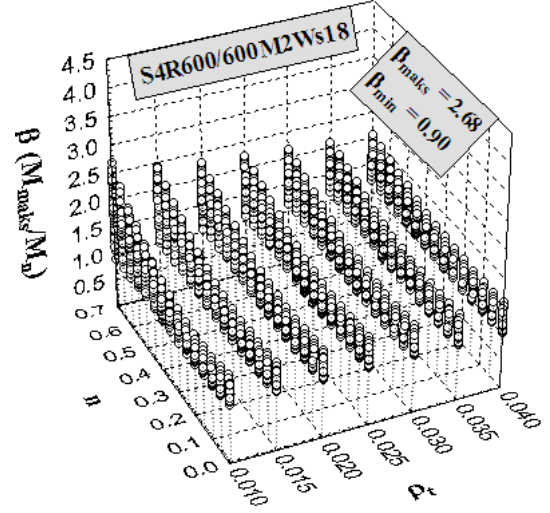
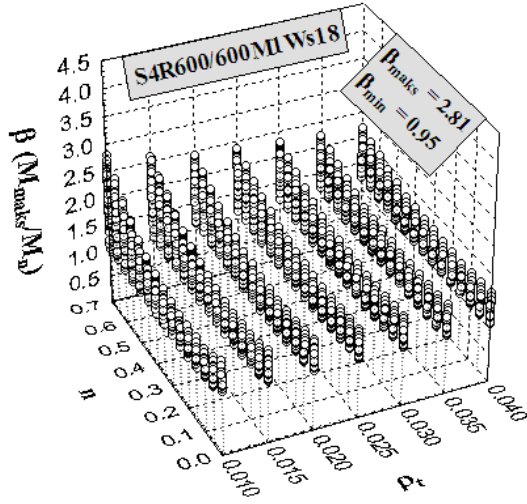
Kolon ismi	n $N/(bh f_{ck})$	ρ_t (A_{st}/A_c)	$\beta = M_{maks} / M_n$			
			Ortalama	Standart sapma	Maksimum	Minimum
S3R500/500M1Ws12	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.40	0.206	2.78	0.86
S3R500/500M2Ws12	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.36	0.200	2.63	0.83
S3R500/500M3Ws12	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.43	0.242	3.03	0.82
S3R500/500M4Ws12	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.38	0.233	2.90	0.79
S3R500/500M5Ws12	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.44	0.275	3.21	0.75
S3R500/500M6Ws12	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.40	0.256	3.04	0.70
S3R500/500M1Ws15	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.42	0.208	2.80	0.88
S3R500/500M2Ws15	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.38	0.204	2.65	0.85
S3R500/500M3Ws15	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.44	0.245	3.04	0.85
S3R500/500M4Ws15	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.40	0.242	2.91	0.82
S3R500/500M5Ws15	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.46	0.279	3.20	0.77
S3R500/500M6Ws15	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.42	0.260	3.07	0.77
S3R500/500M1Ws18	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.45	0.221	2.81	0.88
S3R500/500M2Ws18	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.40	0.209	2.68	0.87
S3R500/500M3Ws18	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.46	0.249	3.03	0.85
S3R500/500M4Ws18	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.42	0.242	2.92	0.81
S3R500/500M5Ws18	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.47	0.258	3.15	0.80
S3R500/500M6Ws18	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.44	0.267	3.04	0.77



Şekil 3. 21 S4R600/600 kolonunda β katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.12$



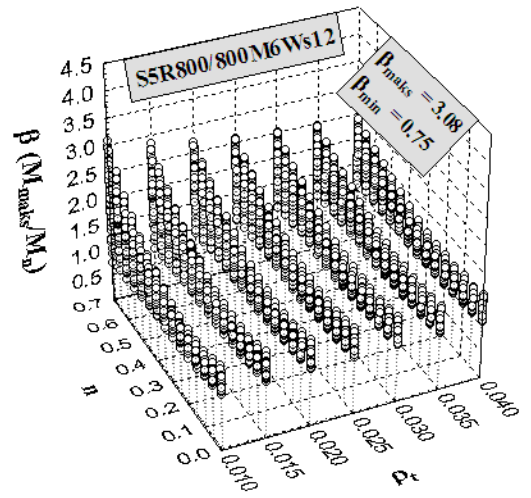
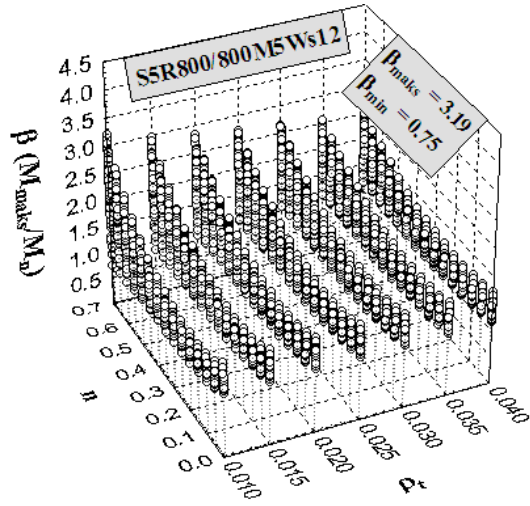
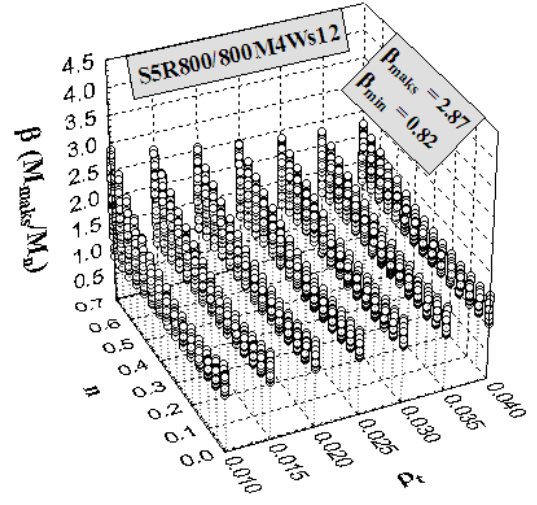
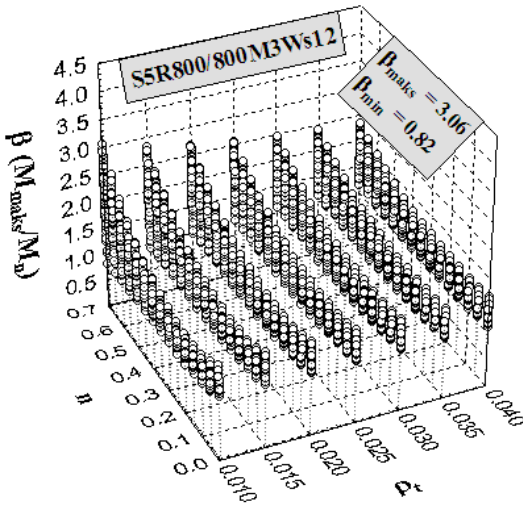
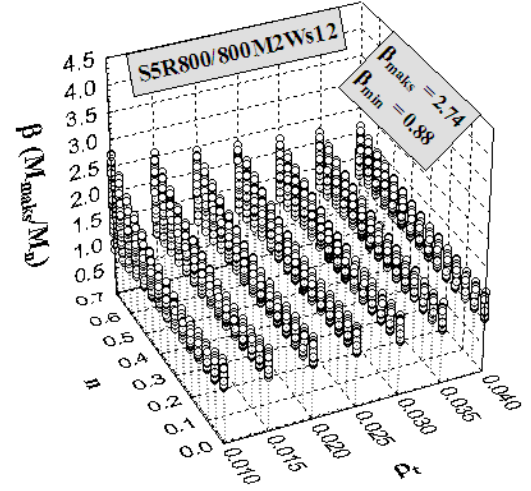
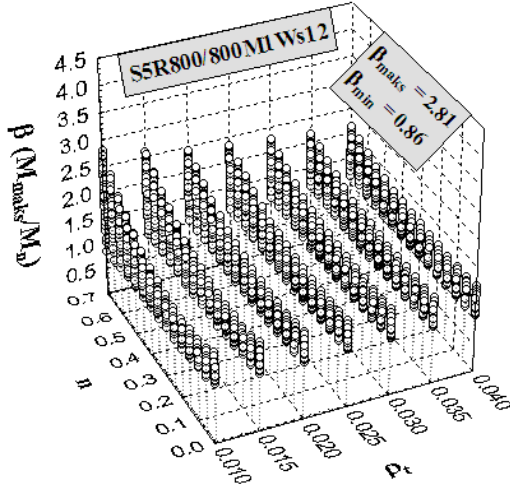
Şekil 3. 22 S4R600/600 kolonunda β katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.15$



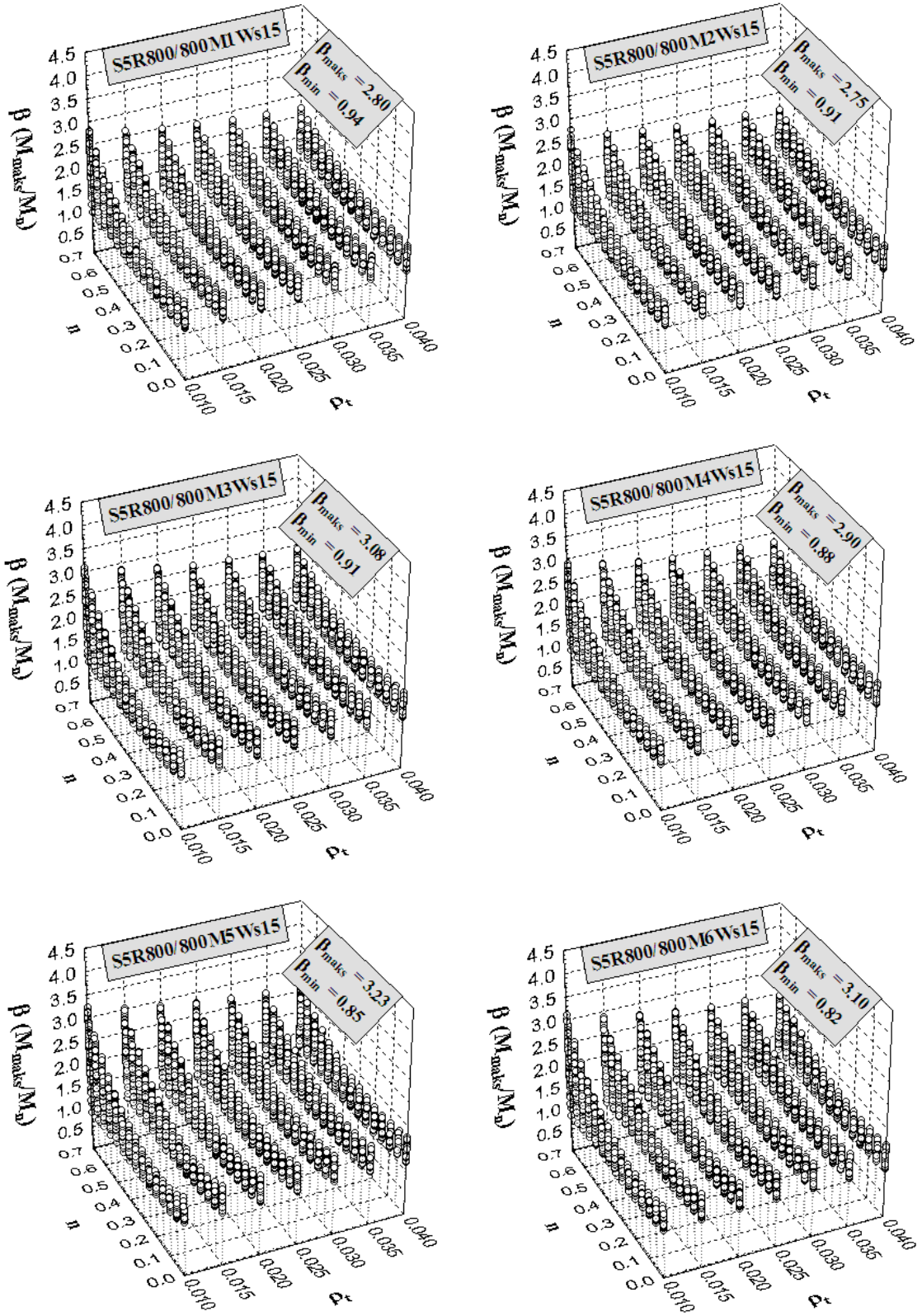
Şekil 3. 23 S4R600/600 kolonunda β katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.18$

Çizelge 3. 11 Analiz sonuçları: S4R600/600 kolonu

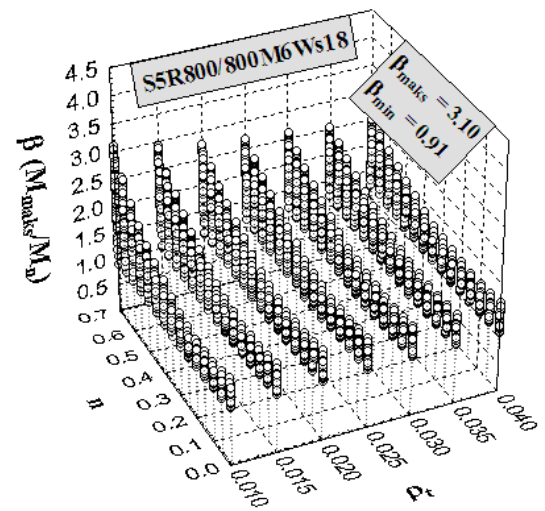
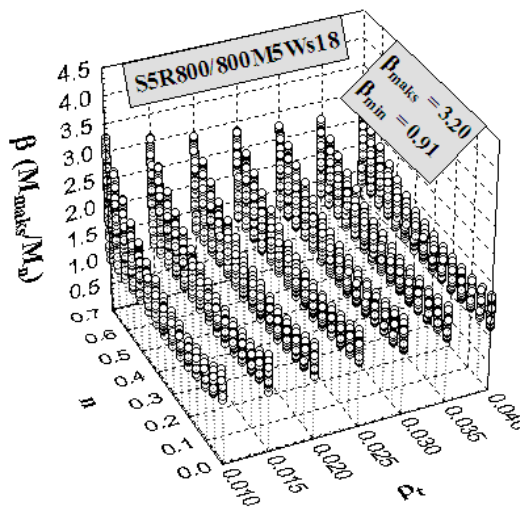
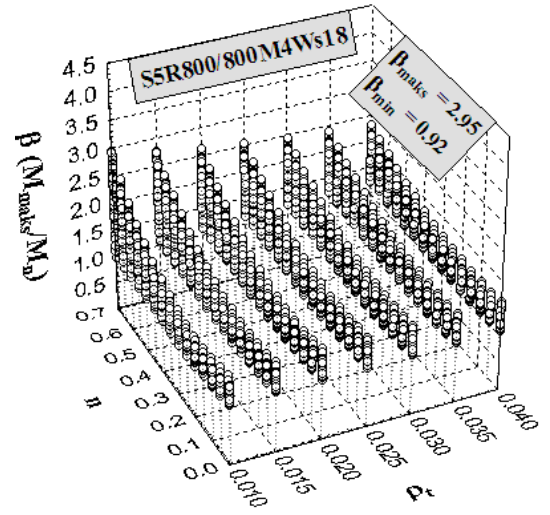
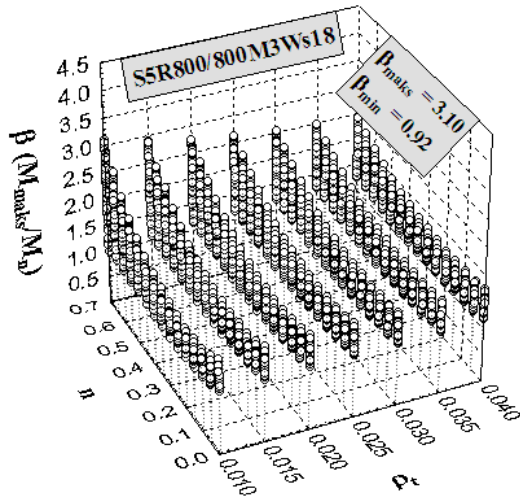
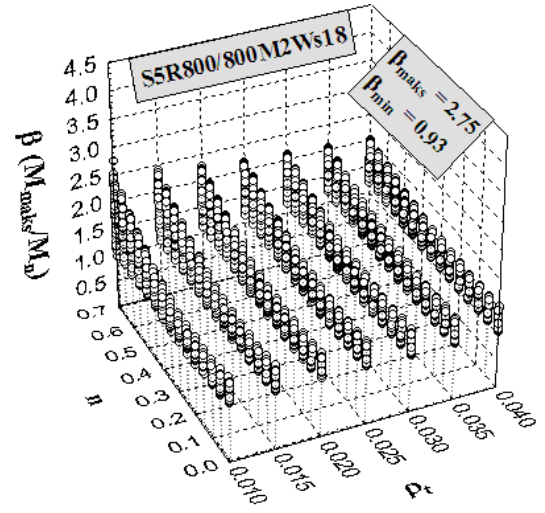
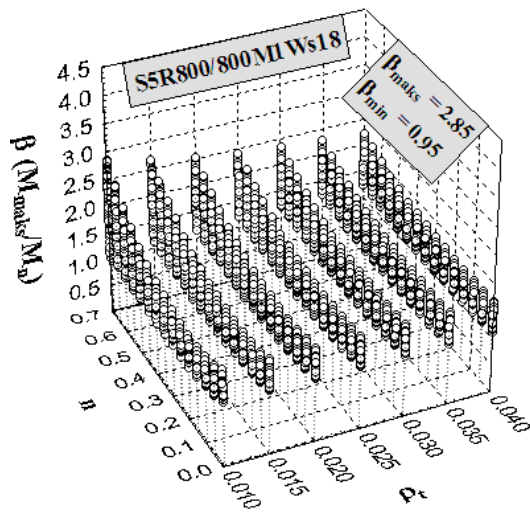
Kolon ismi	n $N/(bh f_{ck})$	ρ_t (A_{st}/A_c)	$\beta = M_{maks} / M_n$			
			Ortalama	Standart sapma	Maksimum	Minimum
S4R600/600M1Ws12	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.44	0.217	2.81	0.90
S4R600/600M2Ws12	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.39	0.216	2.64	0.89
S4R600/600M3Ws12	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.46	0.256	3.07	0.87
S4R600/600M4Ws12	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.44	0.250	2.93	0.85
S4R600/600M5Ws12	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.48	0.283	3.20	0.75
S4R600/600M6Ws12	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.43	0.267	3.06	0.73
S4R600/600M1Ws15	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.44	0.218	2.78	0.93
S4R600/600M2Ws15	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.39	0.216	2.66	0.90
S4R600/600M3Ws15	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.45	0.256	3.07	0.91
S4R600/600M4Ws15	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.44	0.250	2.95	0.89
S4R600/600M5Ws15	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.48	0.286	3.18	0.86
S4R600/600M6Ws15	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.46	0.277	3.09	0.76
S4R600/600M1Ws18	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.47	0.227	2.81	0.95
S4R600/600M2Ws18	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.41	0.222	2.65	0.90
S4R600/600M3Ws18	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.50	0.266	3.08	0.91
S4R600/600M4Ws18	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.46	0.255	2.98	0.89
S4R600/600M5Ws18	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.52	0.296	3.22	0.87
S4R600/600M6Ws18	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.48	0.284	3.08	0.87



Şekil 3. 24 S5R800/800 kolonunda β katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.12$



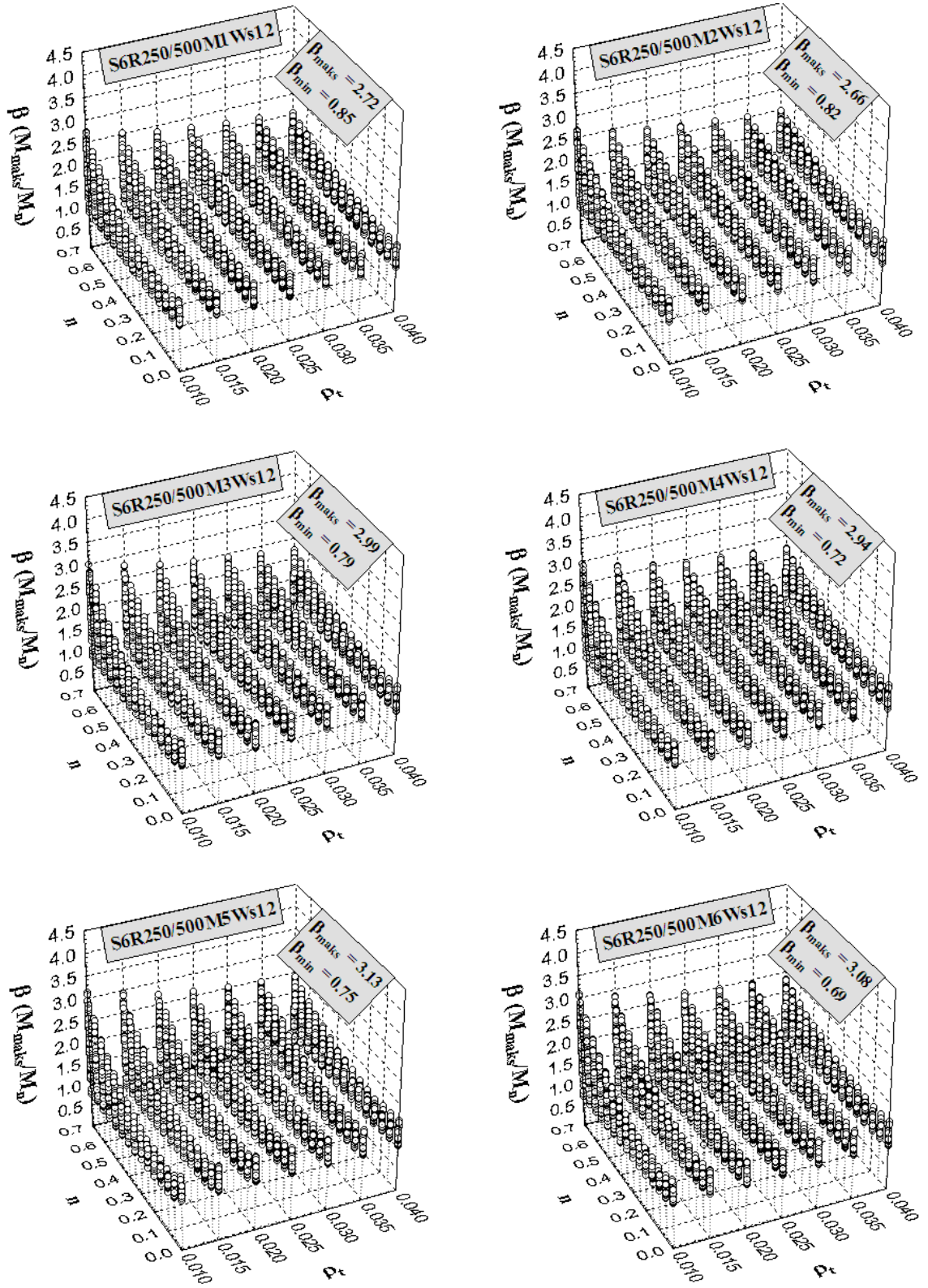
Şekil 3. 25 S5R800/800 kolonunda β katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.15$



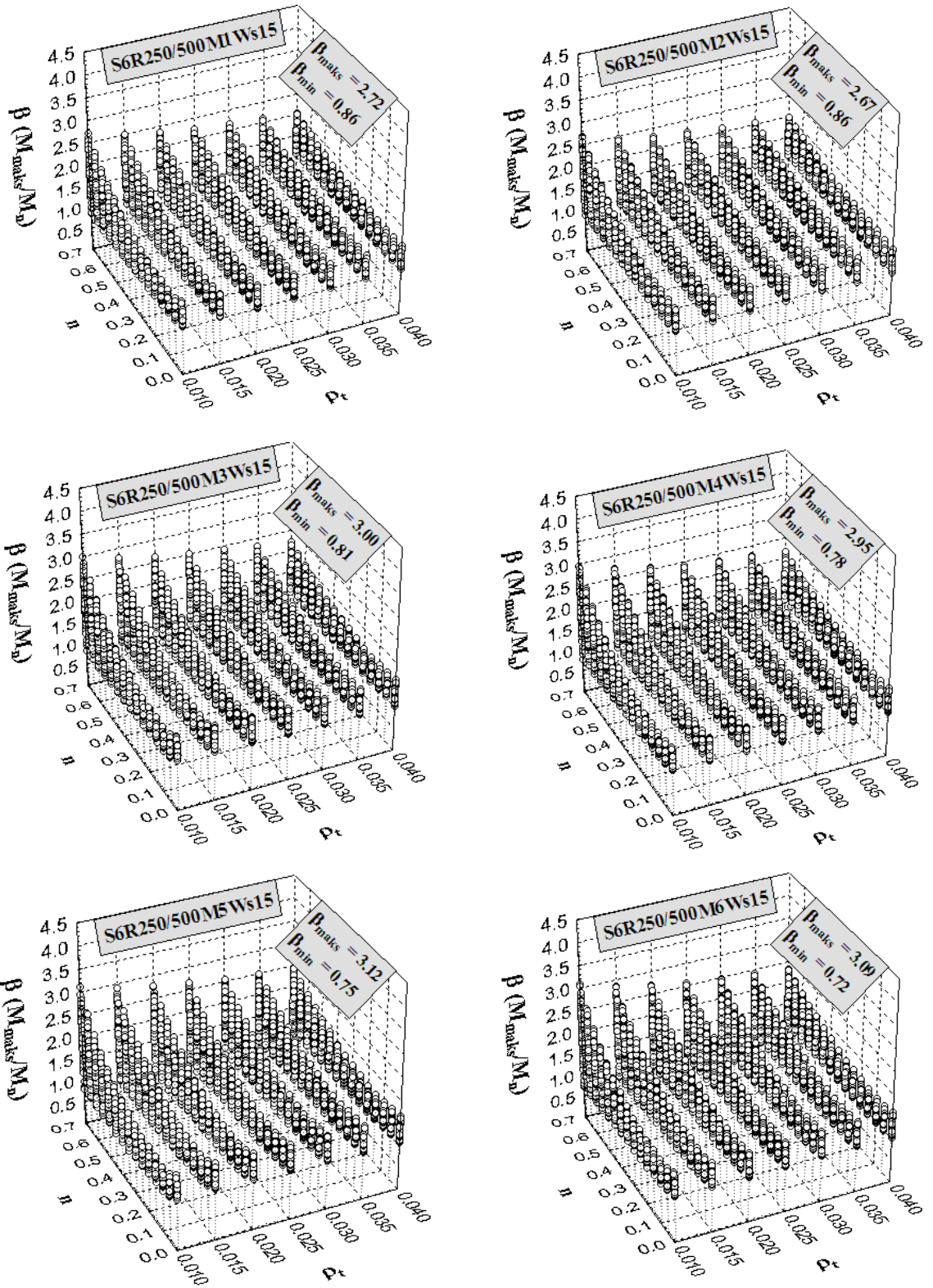
Şekil 3. 26 S5R800/800 kolonunda β katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.18$

Çizelge 3. 12 Analiz sonuçları: S5R800/800 kolonu

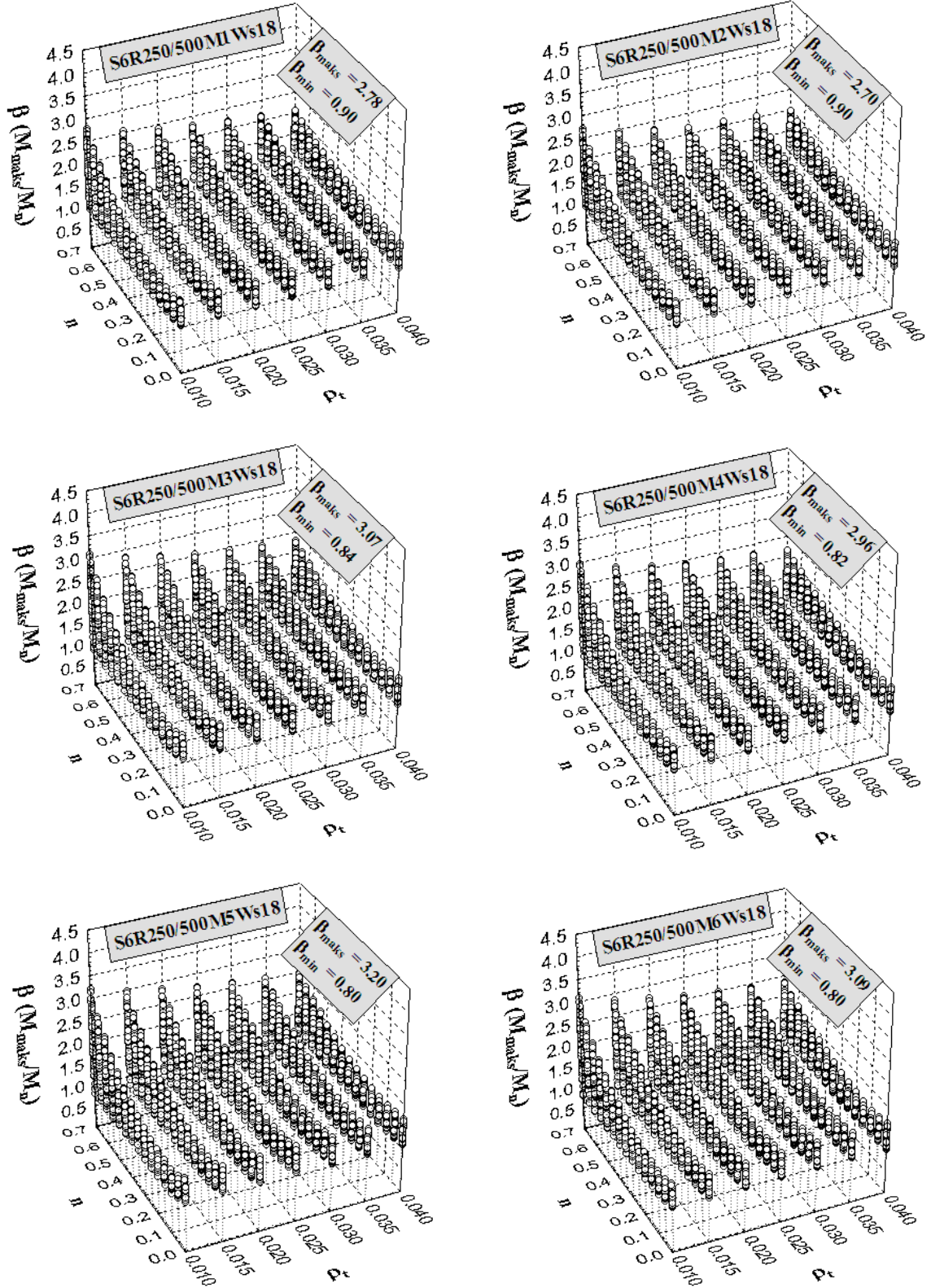
Kolon ismi	n $N/(bhf_{ck})$	ρ_t (A_{st}/A_c)	$\beta = M_{maks} / M_n$			
			Ortalama	Standart sapma	Maksimum	Minimum
S5R800/800M1Ws12	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.46	0.223	2.81	0.86
S5R800/800M2Ws12	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.40	0.221	2.74	0.88
S5R800/800M3Ws12	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.49	0.262	3.06	0.82
S5R800/800M4Ws12	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.44	0.254	2.87	0.82
S5R800/800M5Ws12	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.51	0.294	3.19	0.75
S5R800/800M6Ws12	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.46	0.282	3.08	0.75
S5R800/800M1Ws15	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.48	0.230	2.80	0.94
S5R800/800M2Ws15	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.41	0.219	2.75	0.91
S5R800/800M3Ws15	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.51	0.272	3.08	0.91
S5R800/800M4Ws15	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.46	0.262	2.90	0.88
S5R800/800M5Ws15	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.54	0.305	3.23	0.85
S5R800/800M6Ws15	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.49	0.295	3.10	0.82
S5R800/800M1Ws18	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.51	0.238	2.85	0.95
S5R800/800M2Ws18	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.45	0.221	2.75	0.93
S5R800/800M3Ws18	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.54	0.251	3.10	0.92
S5R800/800M4Ws18	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.49	0.273	2.95	0.92
S5R800/800M5Ws18	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.56	0.318	3.25	0.91
S5R800/800M6Ws18	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.52	0.305	3.10	0.91



Şekil 3. 27 S6R250/500 kolonunda β katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.12$



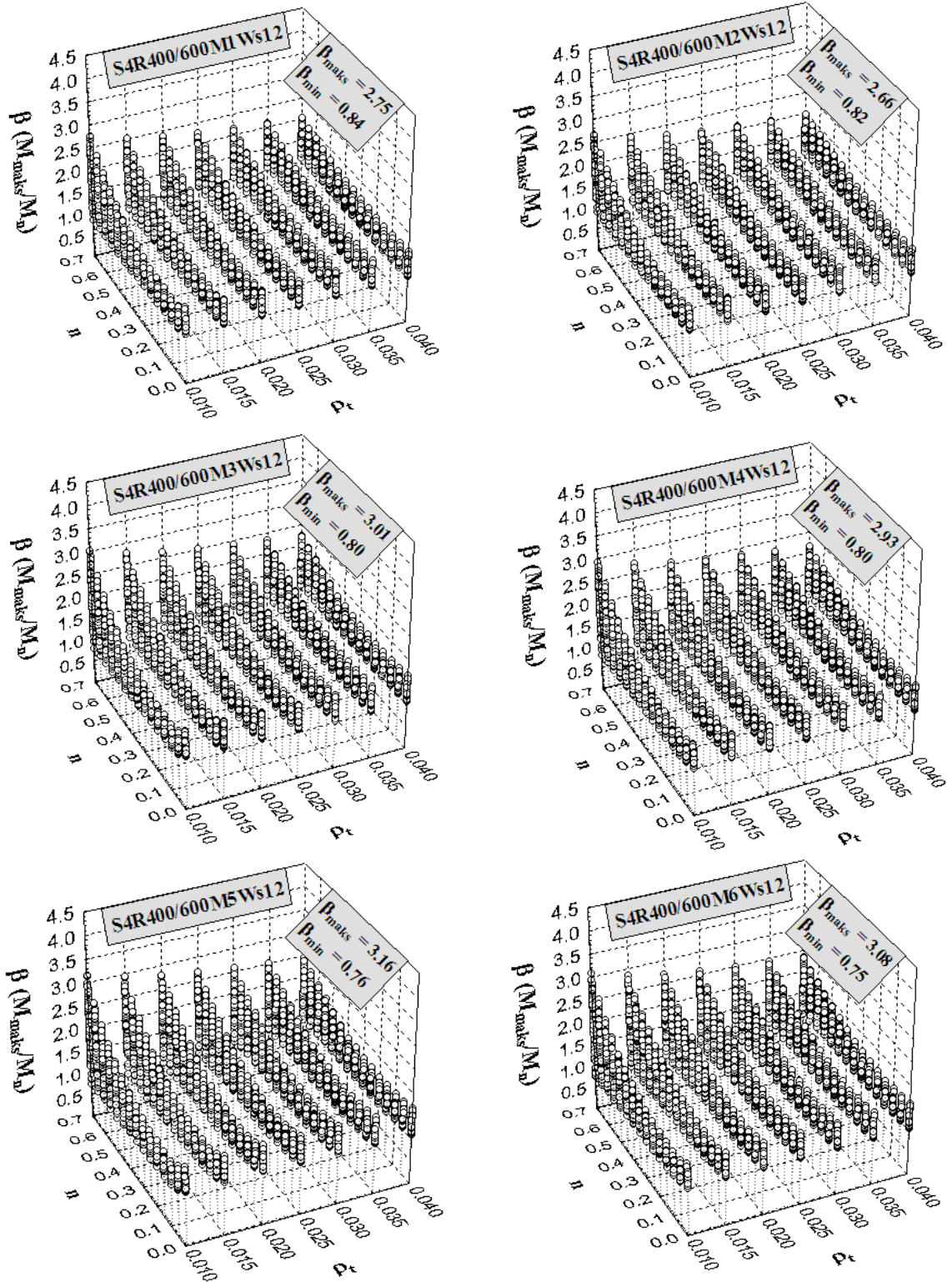
Şekil 3. 28 S6R250/500 kolonunda β katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.15$



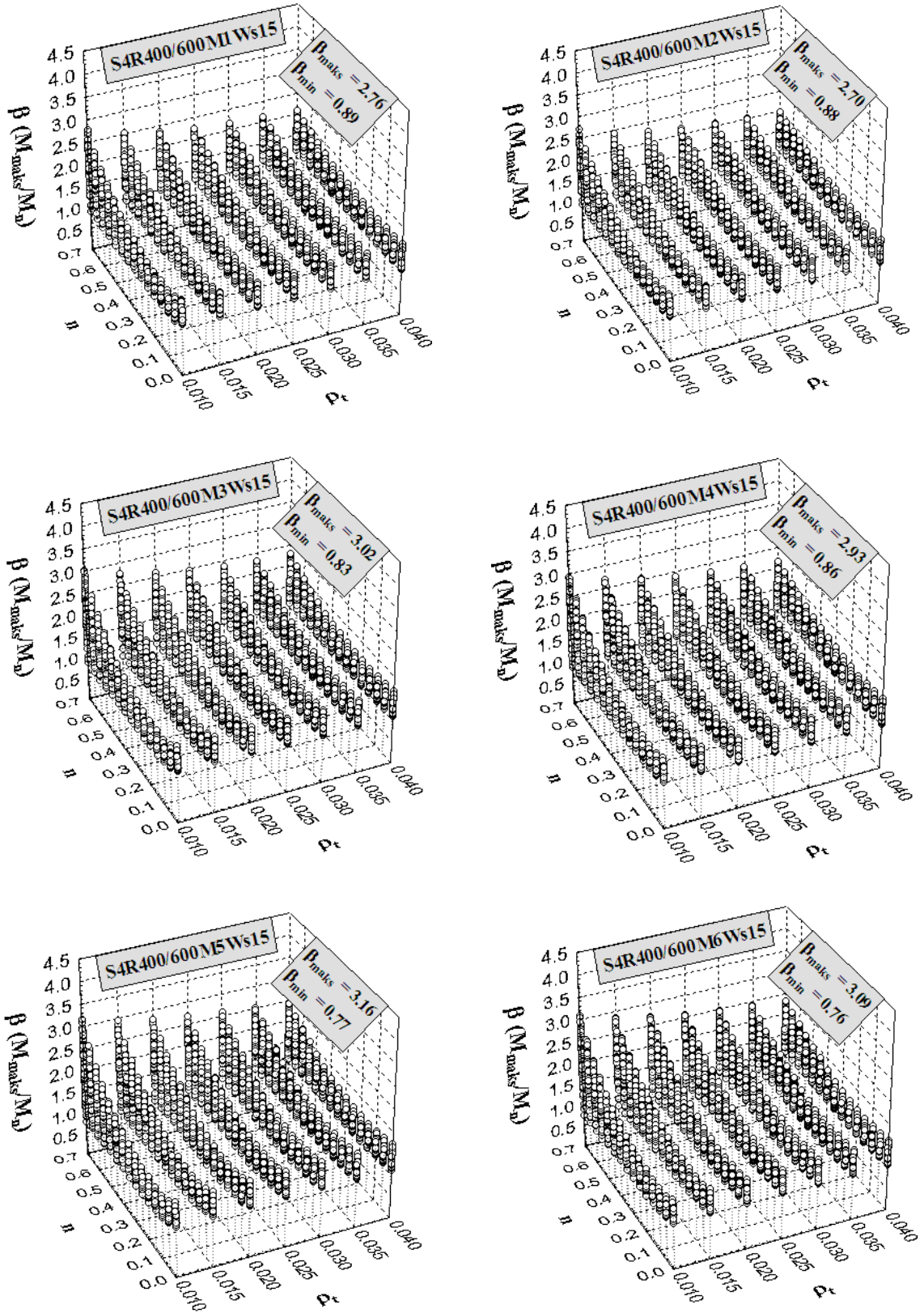
Şekil 3. 29 S6R250/500 kolonunda β katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.18$

Çizelge 3. 13 Analiz sonuçları: S6R250/500 kolonu

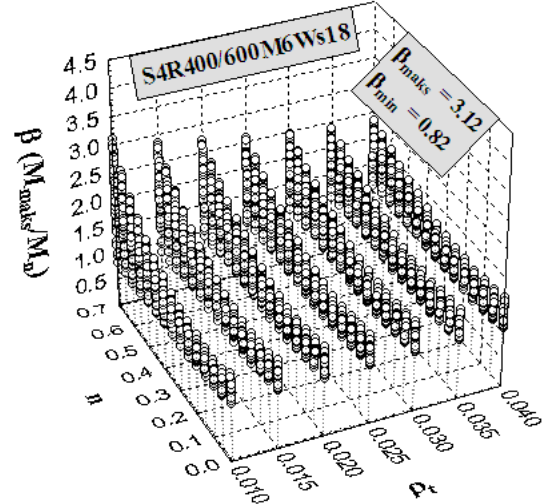
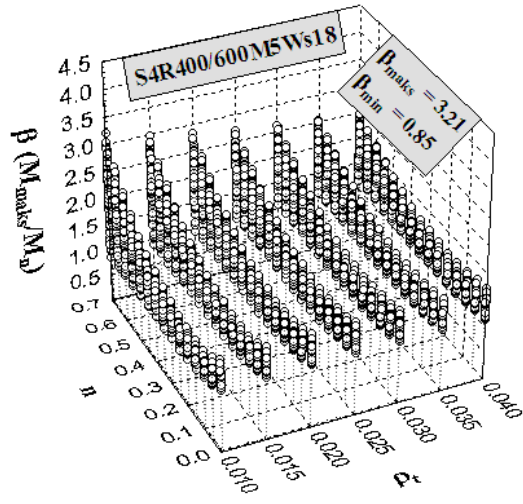
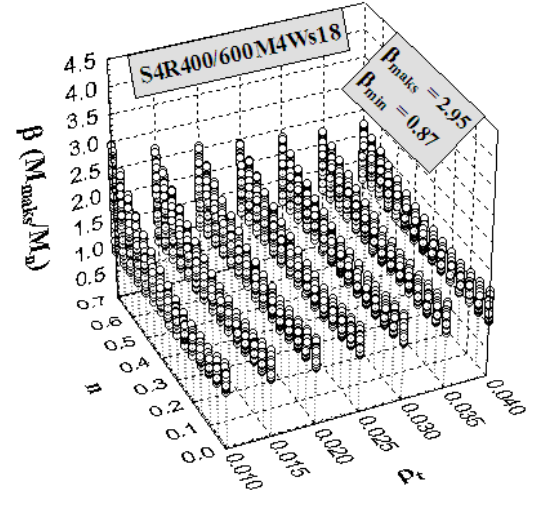
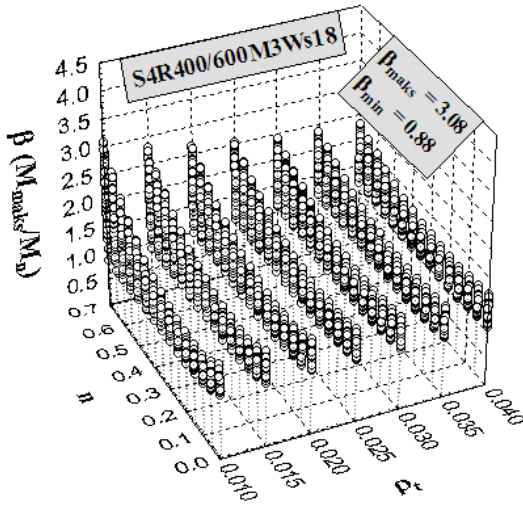
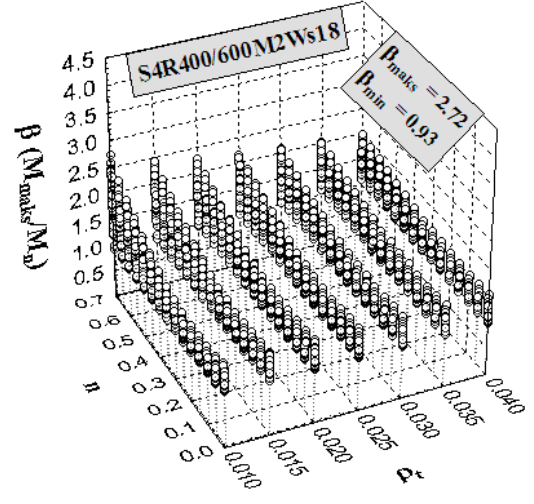
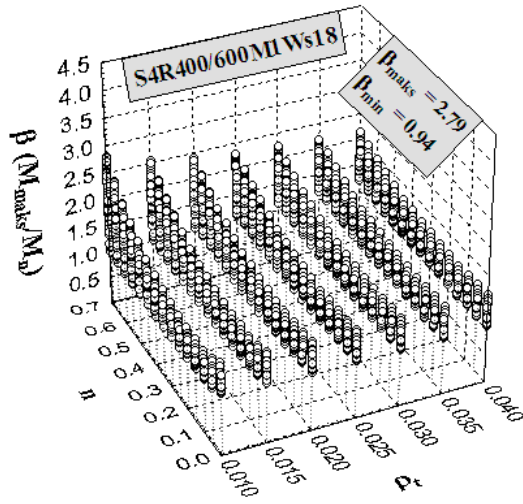
Kolon ismi	n $N/(bhf_{ck})$	ρ_t (A_{st}/A_c)	$\beta = M_{maks} / M_n$			
			Ortalama	Standart sapma	Maksimum	Minimum
S6R250/500M1Ws12	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.38	0.201	2.72	0.85
S6R250/500M2Ws12	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.36	0.202	2.66	0.82
S6R250/500M3Ws12	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.40	0.236	2.99	0.79
S6R250/500M4Ws12	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.38	0.238	2.94	0.72
S6R250/500M5Ws12	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.39	0.254	3.13	0.75
S6R250/500M6Ws12	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.37	0.256	3.08	0.69
S6R250/500M1Ws15	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.39	0.202	2.72	0.86
S6R250/500M2Ws15	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.37	0.202	2.67	0.86
S6R250/500M3Ws15	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.40	0.236	3.00	0.81
S6R250/500M4Ws15	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.39	0.238	2.95	0.78
S6R250/500M5Ws15	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.40	0.555	3.12	0.75
S6R250/500M6Ws15	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.39	0.256	3.09	0.71
S6R250/500M1Ws18	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.42	0.211	2.78	0.90
S6R250/500M2Ws18	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.38	0.203	2.70	0.90
S6R250/500M3Ws18	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.43	0.247	3.07	0.84
S6R250/500M4Ws18	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.39	0.237	2.96	0.82
S6R250/500M5Ws18	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.43	0.267	3.20	0.80
S6R250/500M6Ws18	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.40	0.256	3.09	0.80



Şekil 3. 30 S4R400/600 kolonunda β katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.12$



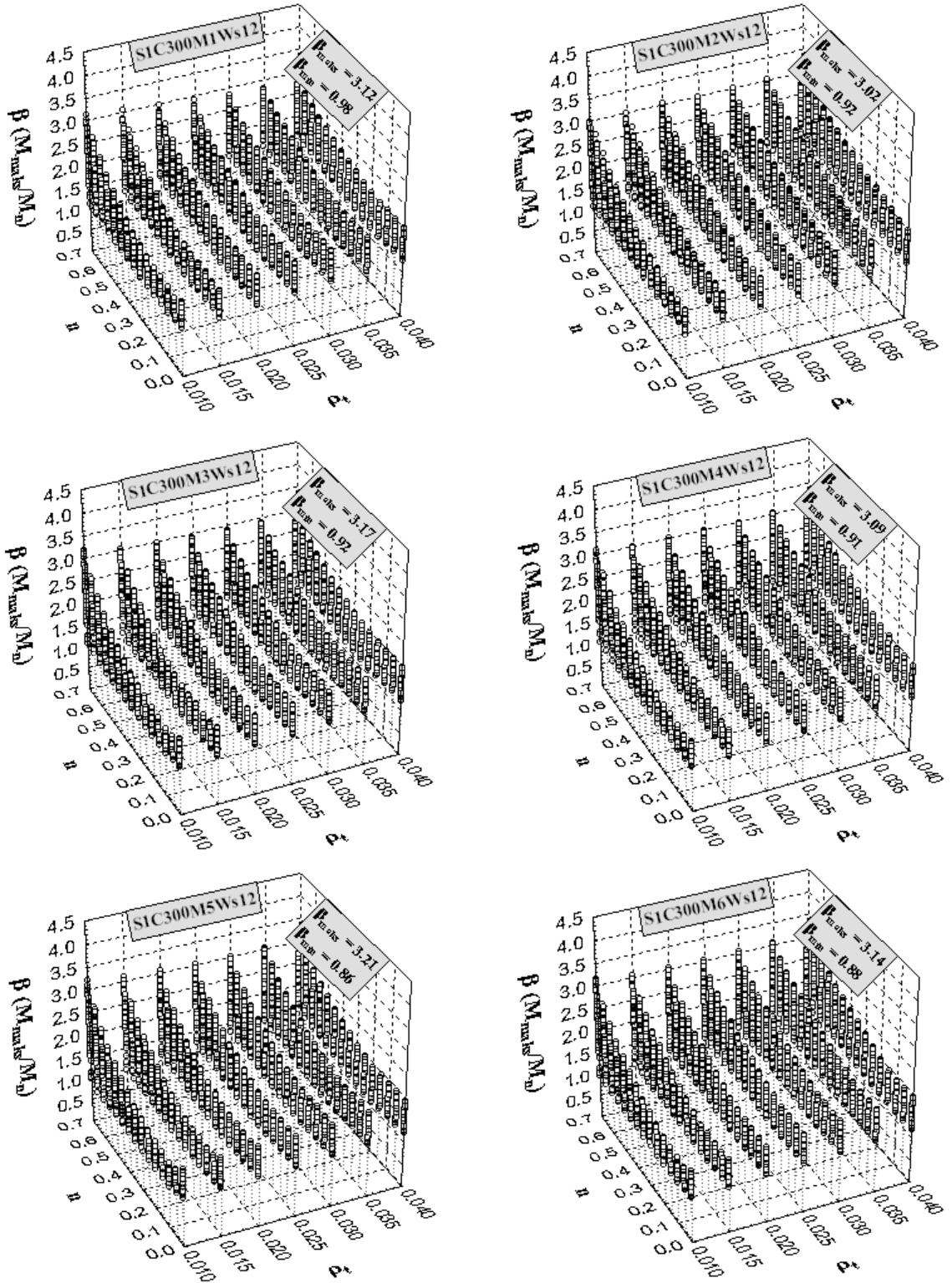
Şekil 3. 31 S4R400/600 kolonunda β katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.15$



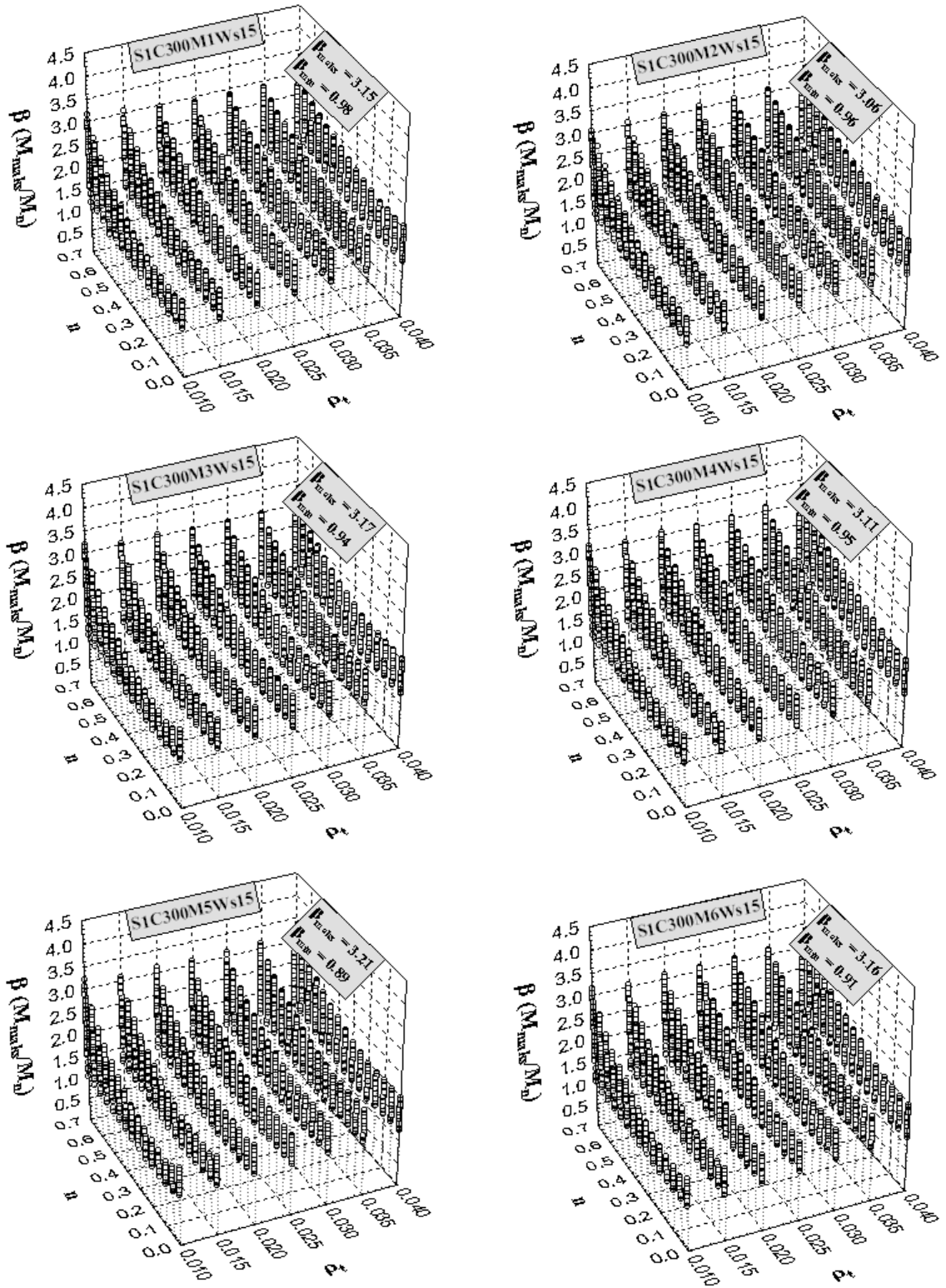
Şekil 3. 32 S4R400/600 kolonunda β katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.18$

Çizelge 3. 14 Analiz sonuçları: S4R400/600 kolonu

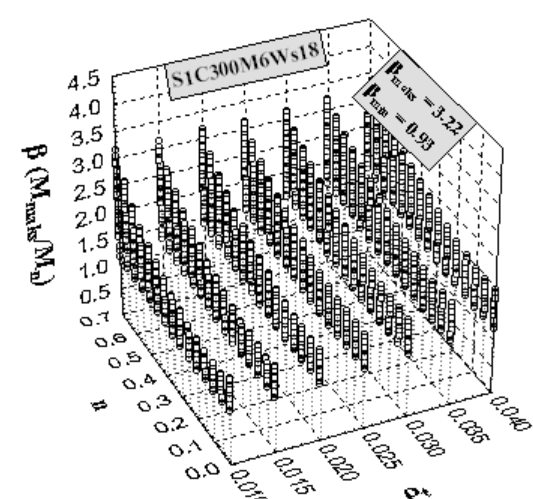
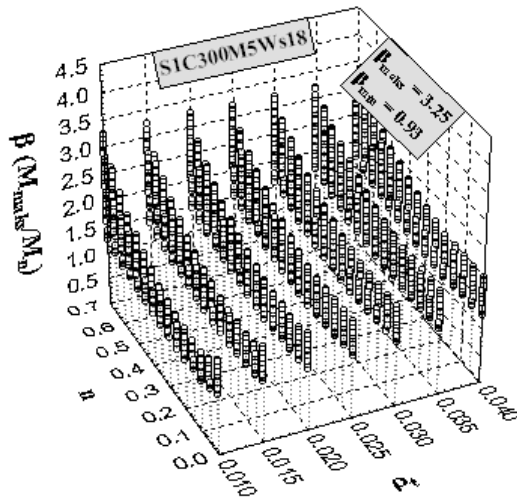
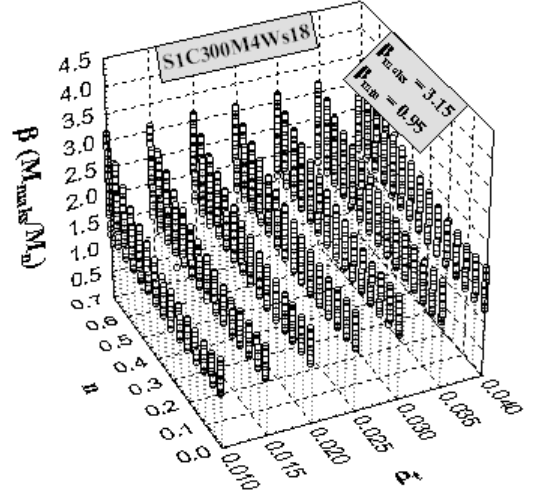
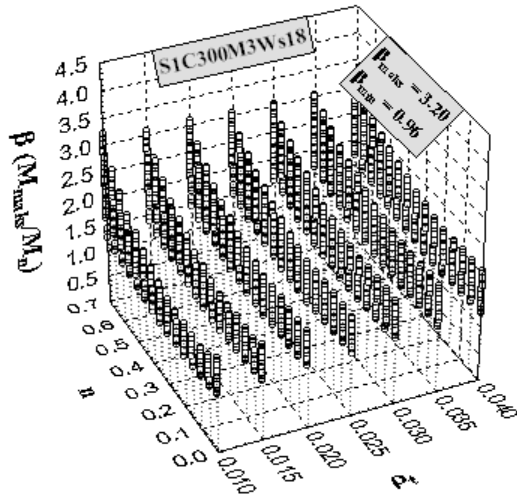
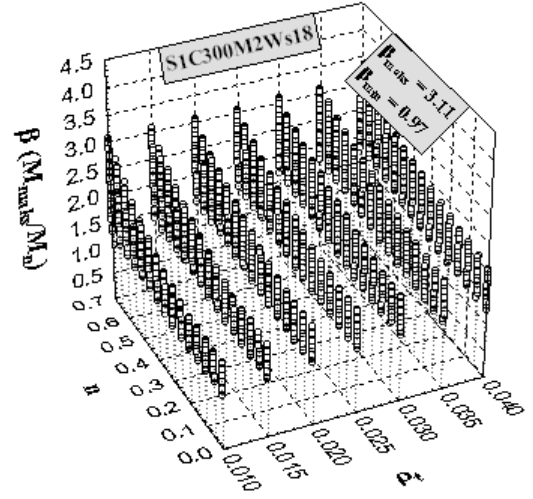
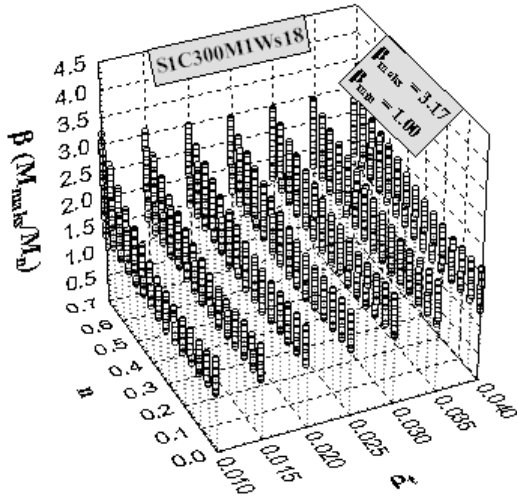
Kolon ismi	n $N/(bhf_{ck})$	ρ_t (A_{st}/A_c)	$\beta = M_{maks} / M_n$			
			Ortalama	Standart sapma	Maksimum	Minimum
S4R400/600M1Ws12	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.40	0.205	2.75	0.84
S4R400/600M2Ws12	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.38	0.210	2.66	0.82
S4R400/600M3Ws12	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.43	0.243	3.01	0.80
S4R400/600M4Ws12	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.40	0.241	2.93	0.80
S4R400/600M5Ws12	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.44	0.268	3.16	0.76
S4R400/600M6Ws12	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.41	0.264	3.08	0.75
S4R400/600M1Ws15	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.43	0.212	2.76	0.89
S4R400/600M2Ws15	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.37	0.204	2.70	0.88
S4R400/600M3Ws15	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.45	0.247	3.02	0.83
S4R400/600M4Ws15	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.41	0.243	2.93	0.86
S4R400/600M5Ws15	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.46	0.273	3.16	0.77
S4R400/600M6Ws15	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.43	0.267	3.09	0.76
S4R400/600M1Ws18	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.45	0.219	2.79	0.94
S4R400/600M2Ws18	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.40	0.217	2.72	0.93
S4R400/600M3Ws18	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.47	0.255	3.08	0.88
S4R400/600M4Ws18	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.43	0.246	2.95	0.87
S4R400/600M5Ws18	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.49	0.282	3.21	0.85
S4R400/600M6Ws18	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.44	0.272	3.12	0.82



Şekil 3. 33 S1C300 kolonunda β katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.12$



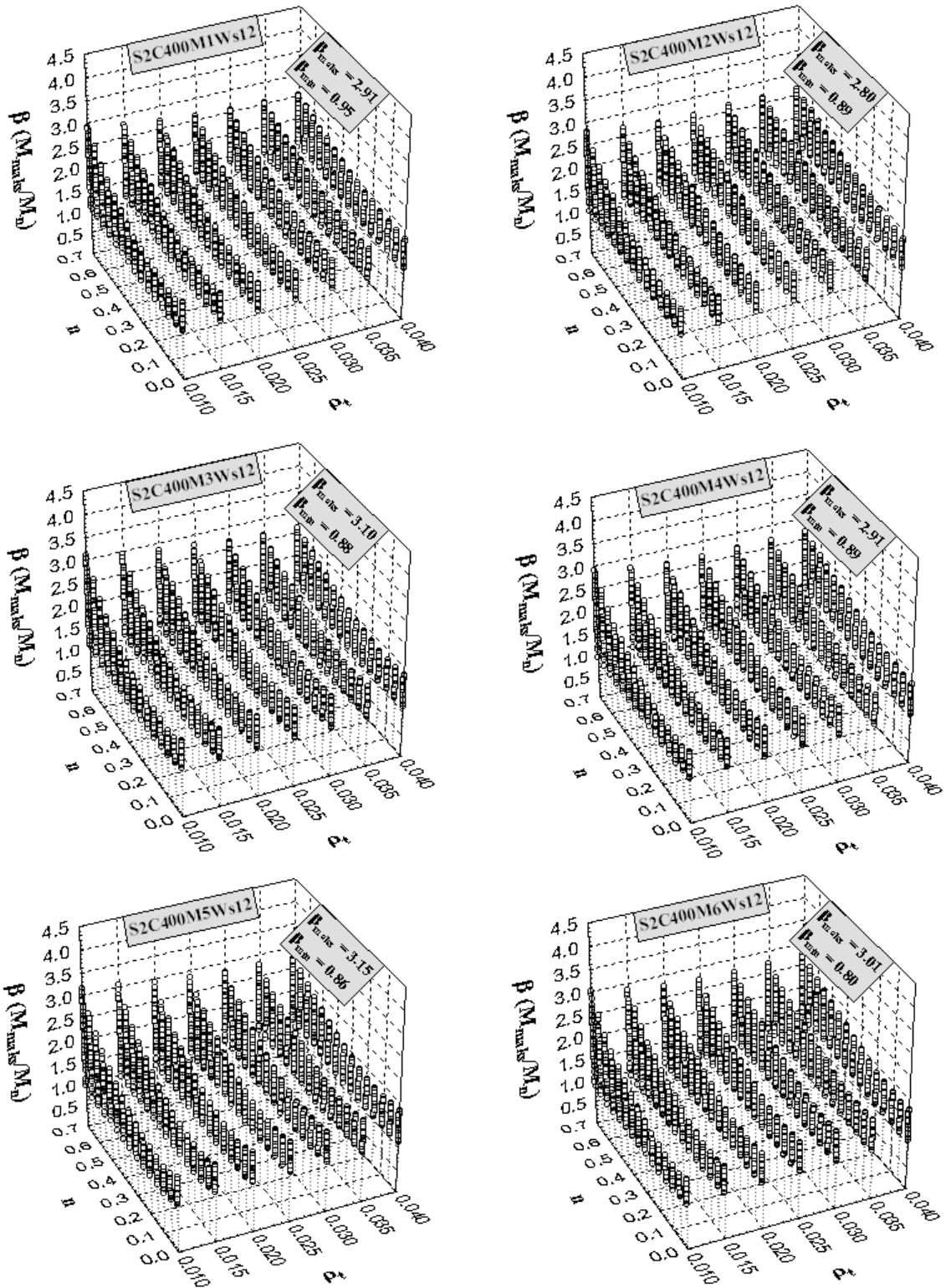
Şekil 3. 34 S1C300 kolonunda β katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.15$



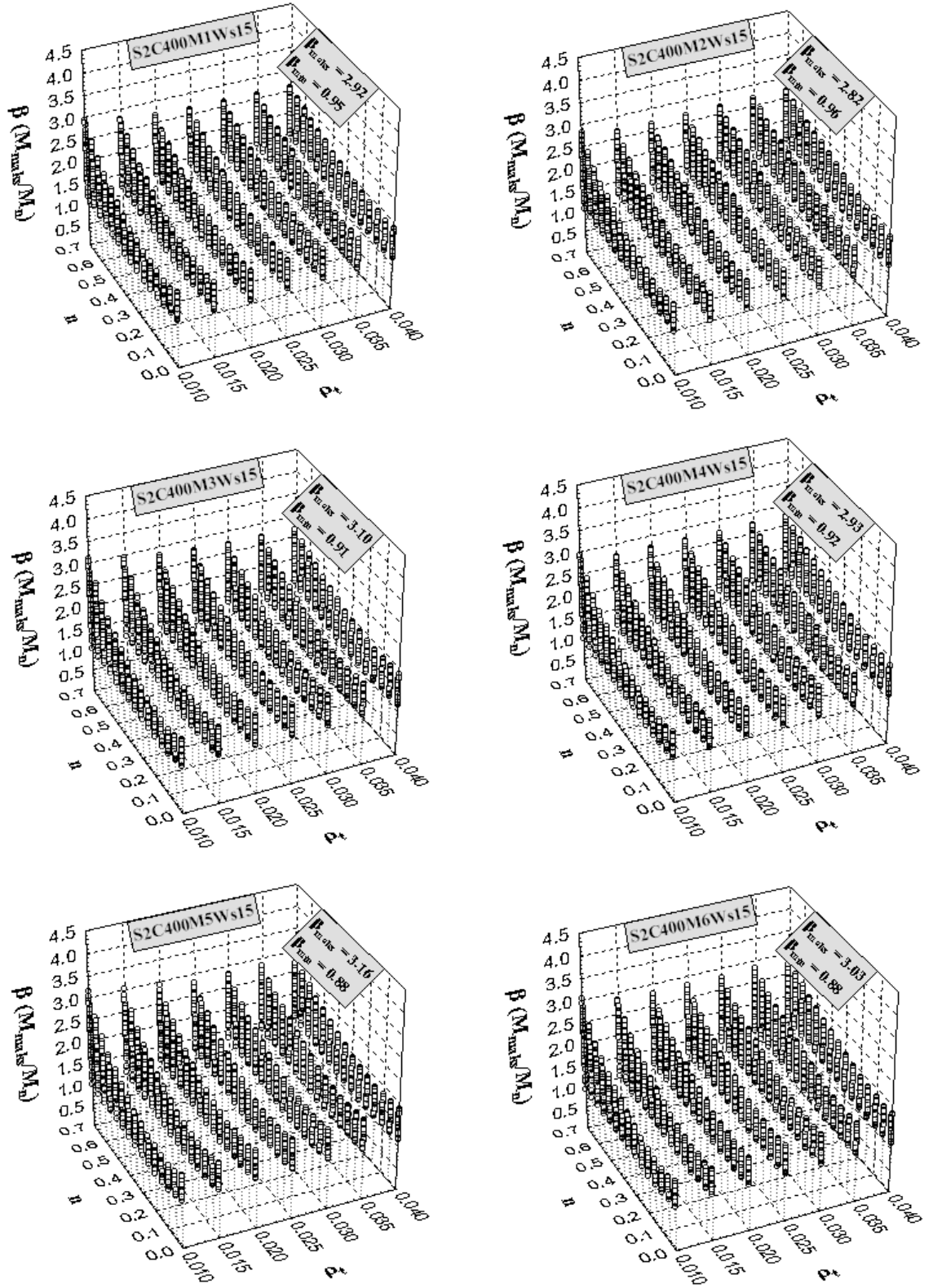
Şekil 3. 35 S1C300 kolonunda β katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.18$

Çizelge 3. 15 Analiz sonuçları: S1C300 kolonu

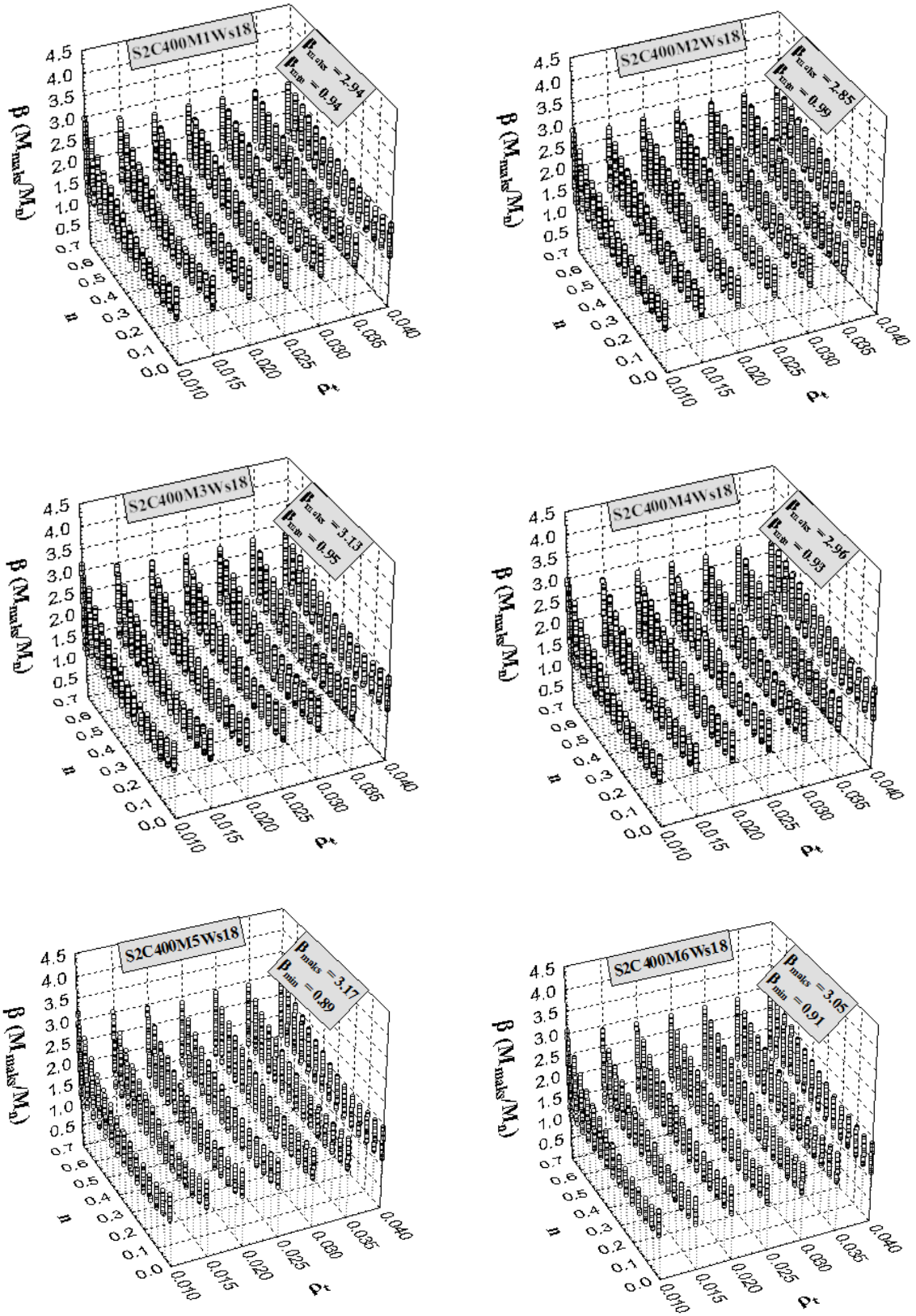
Kolon ismi	n $N/(bh f_{ck})$	ρ_t (A_{st}/A_c)	$\beta = M_{maks} / M_n$			
			Ortalama	Standart sapma	Maksimum	Minimum
S1C300M1Ws12	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.69	0.294	3.12	0.98
S1C300M2Ws12	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.75	0.339	3.02	0.92
S1C300M3Ws12	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.65	0.321	3.16	0.92
S1C300M4Ws12	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.70	0.354	3.09	0.91
S1C300M5Ws12	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.61	0.328	3.19	0.86
S1C300M6Ws12	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.65	0.350	3.14	0.88
S1C300M1Ws15	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.72	0.304	3.15	0.98
S1C300M2Ws15	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.80	0.347	3.06	0.96
S1C300M3Ws15	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.68	0.332	3.17	0.94
S1C300M4Ws15	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.73	0.365	3.11	0.95
S1C300M5Ws15	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.64	0.343	3.21	0.89
S1C300M6Ws15	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.69	0.362	3.16	0.91
S1C300M1Ws18	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.75	0.313	3.17	1.00
S1C300M2Ws18	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.83	0.356	3.11	0.97
S1C300M3Ws18	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.71	0.344	3.20	0.96
S1C300M4Ws18	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.77	0.377	3.15	0.95
S1C300M5Ws18	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.70	0.364	3.25	0.93
S1C300M6Ws18	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.72	0.374	3.22	0.93



Şekil 3. 36 S2C400 kolonunda β katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.12$



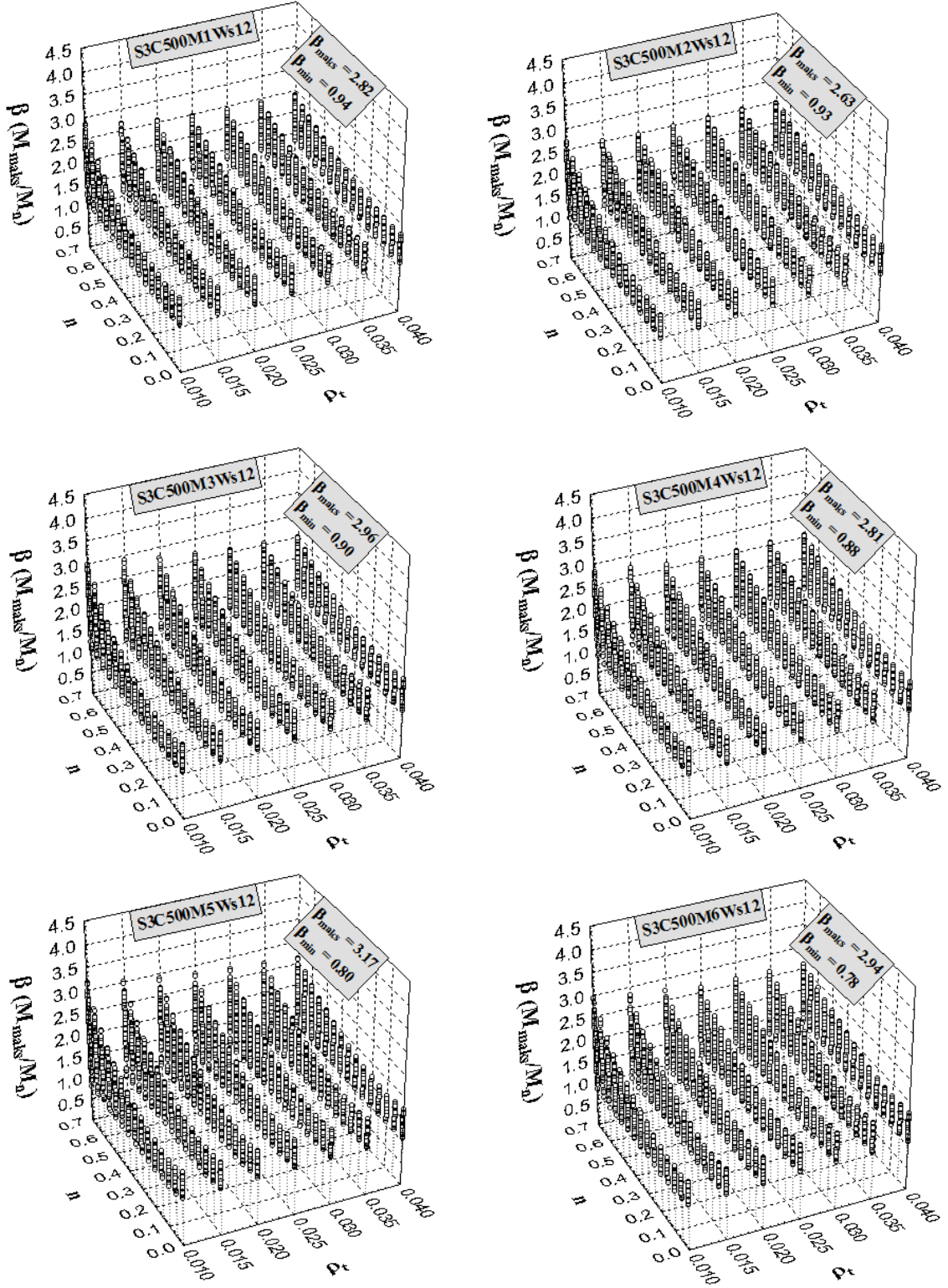
Şekil 3. 37 S2C400 kolonunda β katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.15$



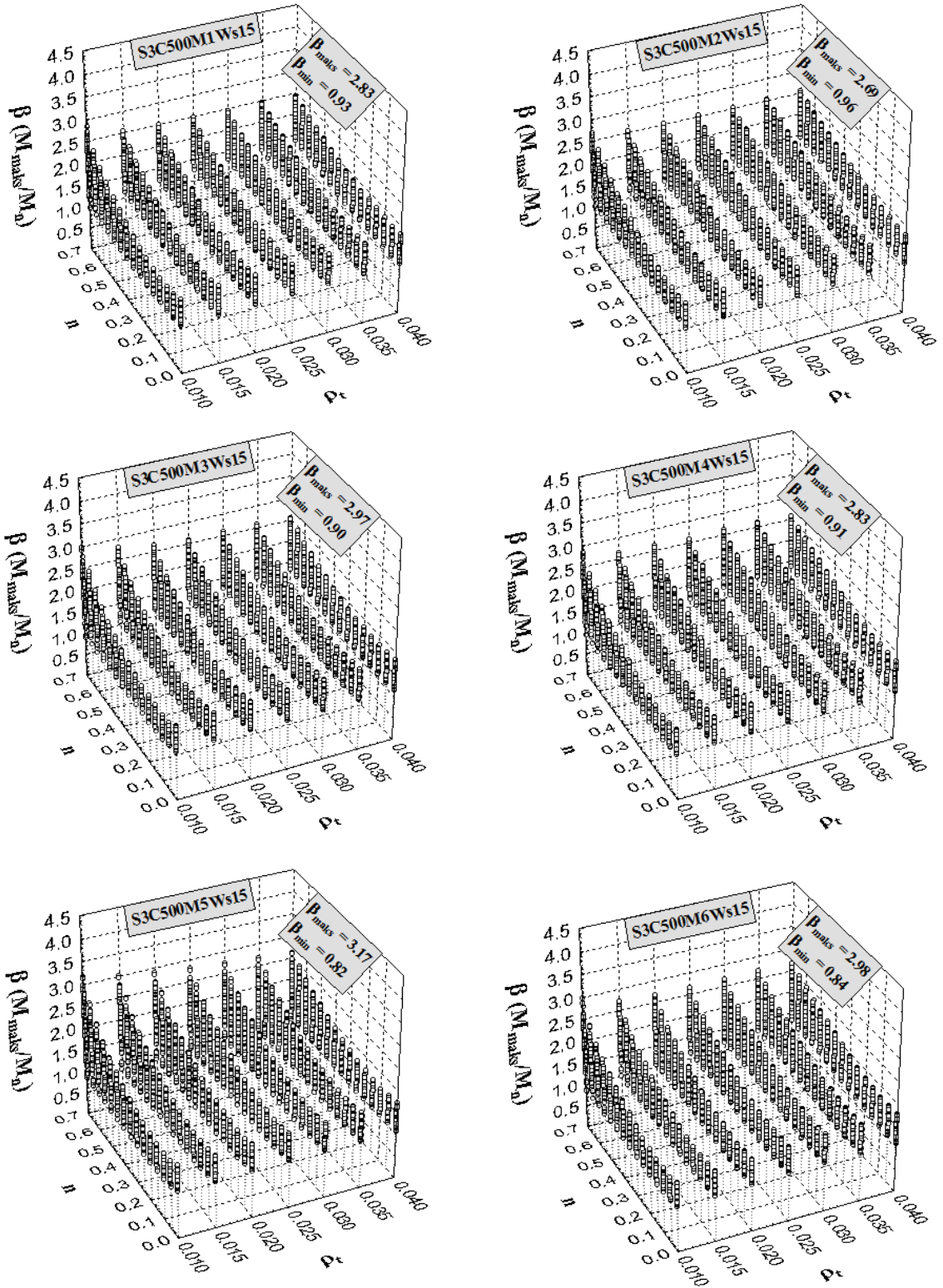
Şekil 3. 38 S2C400 kolonunda β katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.18$

Çizelge 3. 16 Analiz sonuçları: S2C400 kolonu

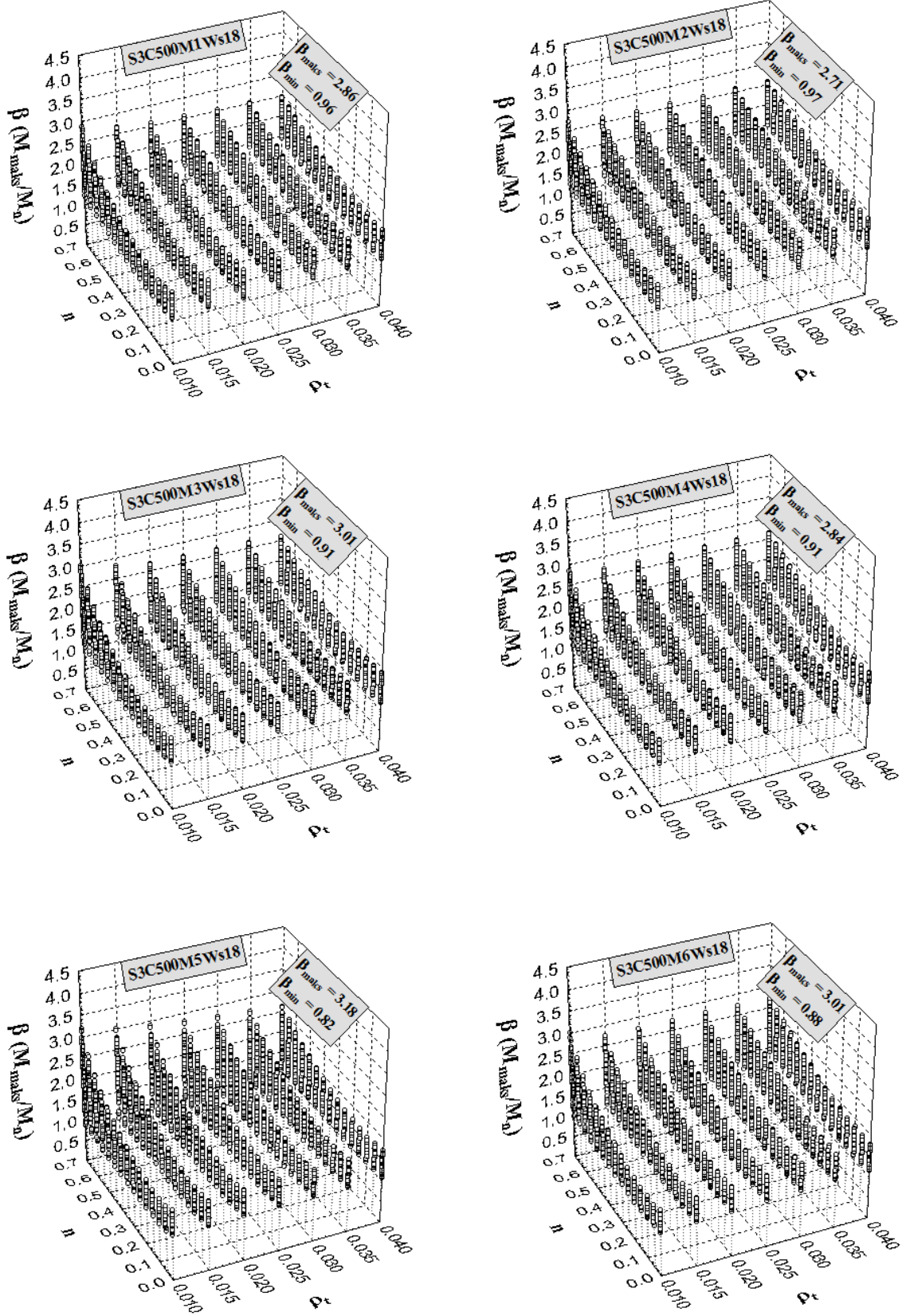
Kolon ismi	n $N/(bh f_{ck})$	ρ_t (A_{st}/A_c)	$\beta = M_{maks} / M_n$			
			Ortalama	Standart sapma	Maksimum	Minimum
S2C400M1Ws12	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.59	0.260	2.91	0.95
S2C400M2Ws12	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.62	0.279	2.80	0.95
S2C400M3Ws12	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.55	0.283	3.10	0.88
S2C400M4Ws12	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.57	0.296	2.91	0.89
S2C400M5Ws12	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.53	0.290	3.15	0.86
S2C400M6Ws12	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.54	0.295	3.01	0.80
S2C400M1Ws15	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.61	0.268	2.92	0.95
S2C400M2Ws15	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.65	0.288	2.82	0.96
S2C400M3Ws15	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.58	0.291	3.10	0.91
S2C400M4Ws15	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.61	0.306	2.93	0.92
S2C400M5Ws15	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.56	0.300	3.16	0.88
S2C400M6Ws15	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.58	0.311	3.03	0.88
S2C400M1Ws18	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.64	0.276	2.94	0.98
S2C400M2Ws18	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.68	0.296	2.85	0.99
S2C400M3Ws18	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.62	0.307	3.13	0.95
S2C400M4Ws18	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.64	0.316	2.96	0.93
S2C400M5Ws18	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.59	0.315	3.17	0.89
S2C400M6Ws18	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.61	0.322	3.05	0.91



Şekil 3. 39 S3C500 kolonunda β katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.12$



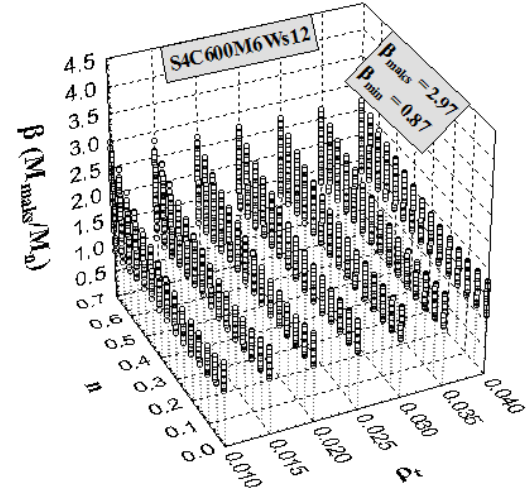
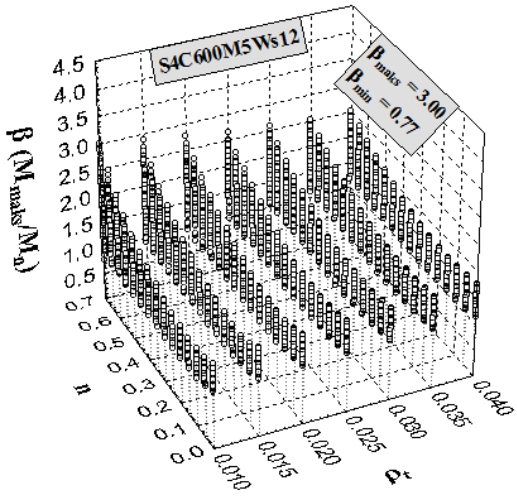
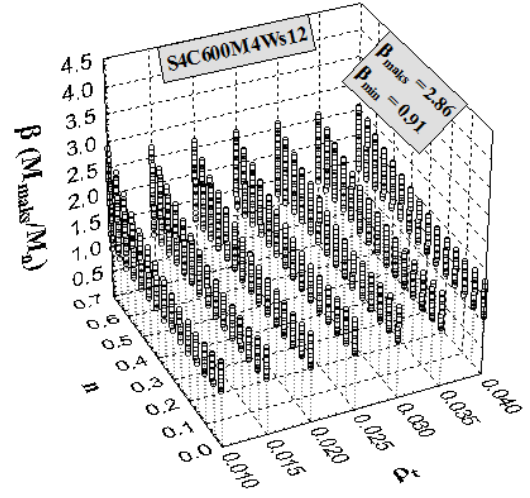
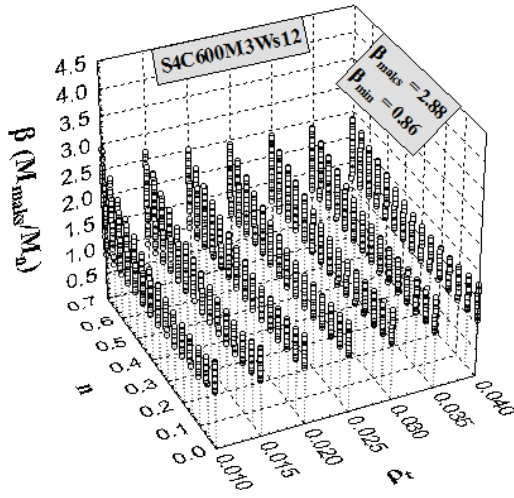
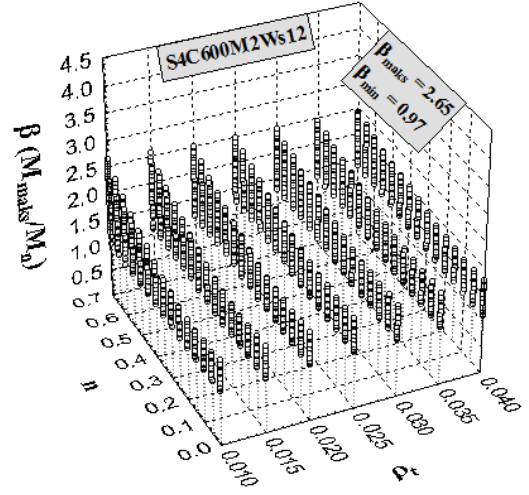
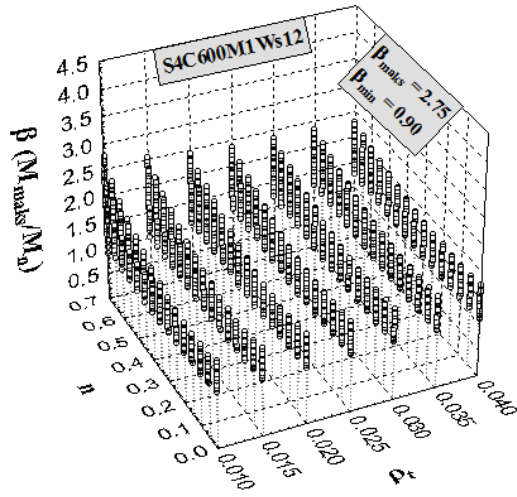
Şekil 3. 40 S3C500 kolonunda β katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.15$



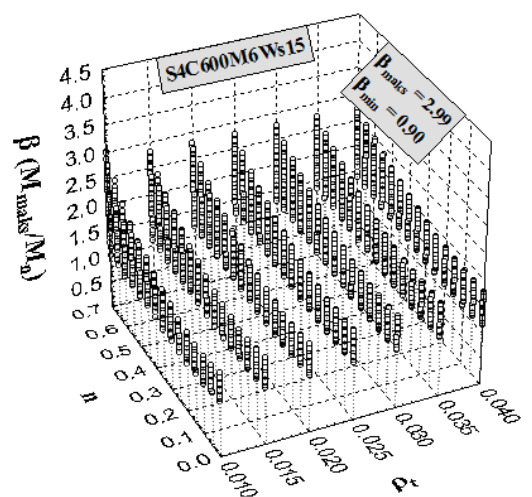
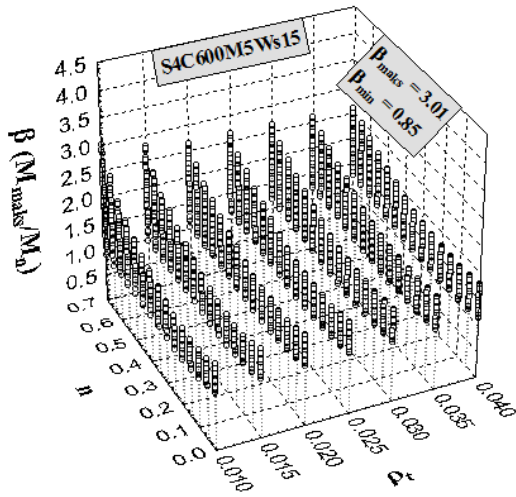
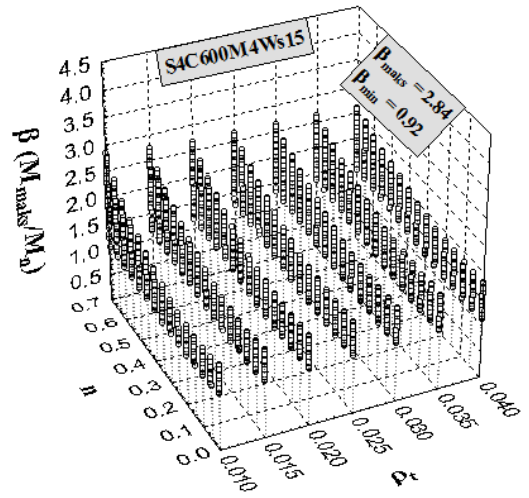
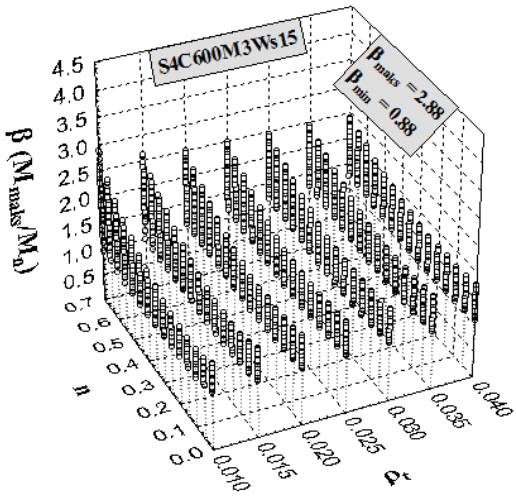
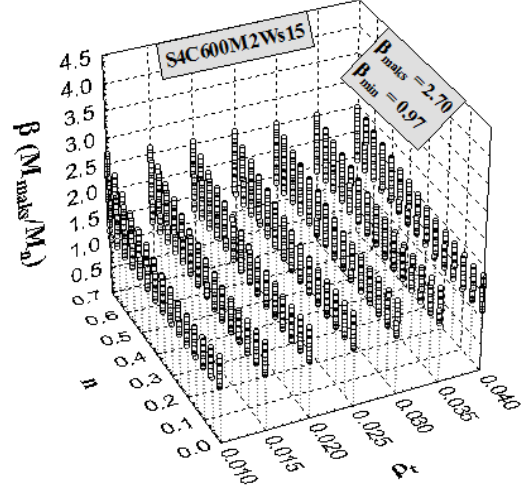
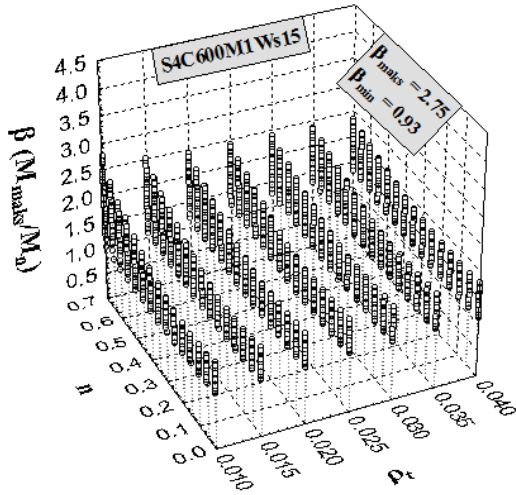
Şekil 3. 41 S3C500 kolonunda β katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.18$

Çizelge 3. 17 Analiz sonuçları: S3C500 kolonu

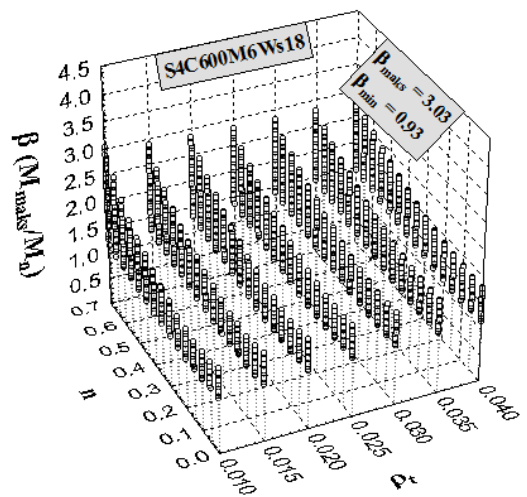
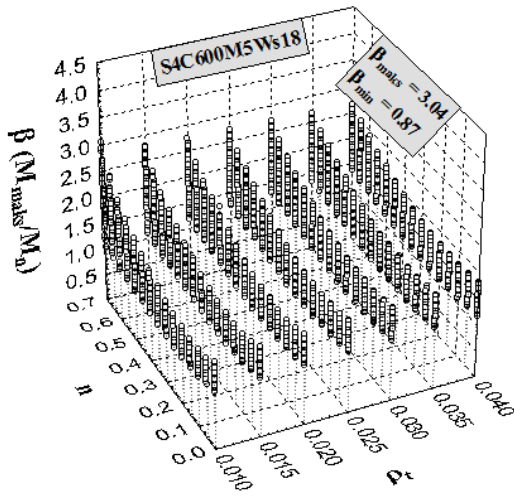
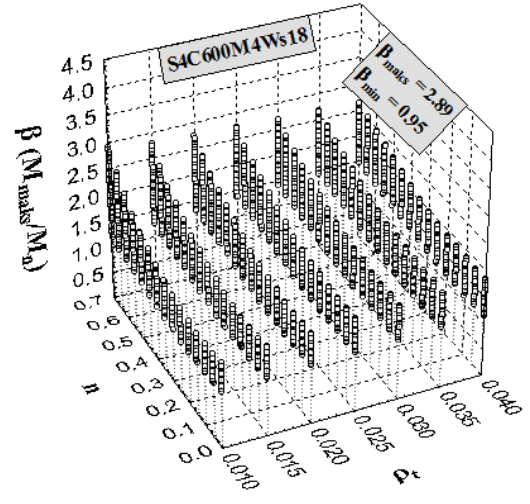
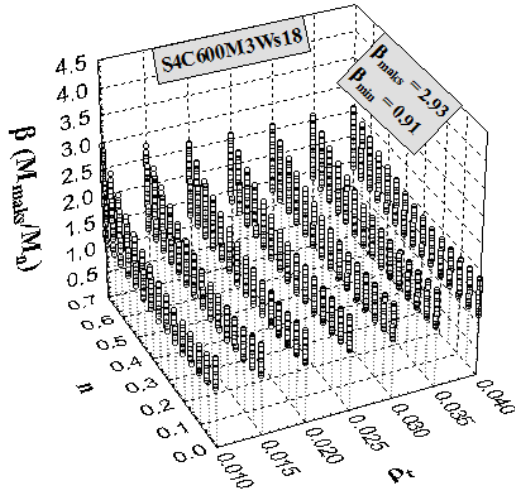
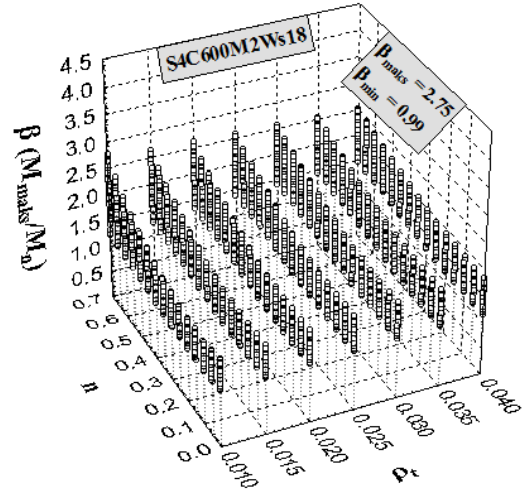
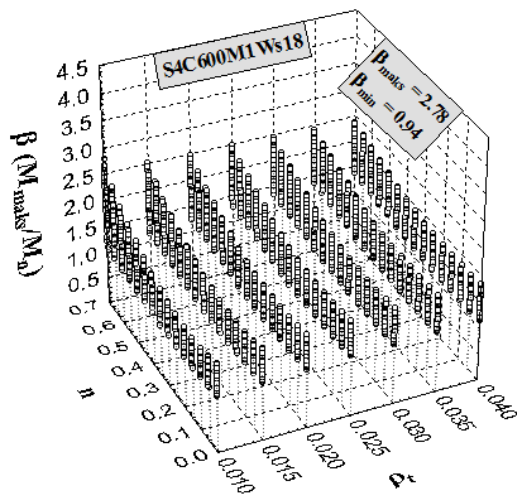
Kolon ismi	n $N/(bh f_{ck})$	ρ_t (A_{st}/A_c)	$\beta = M_{maks} / M_n$			
			Ortalama	Standart sapma	Maksimum	Minimum
S3C500M1Ws12	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.54	0.237	2.82	0.94
S3C500M2Ws12	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.56	0.253	2.69	0.93
S3C500M3Ws12	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.51	0.261	2.96	0.90
S3C500M4Ws12	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.53	0.271	2.81	0.88
S3C500M5Ws12	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.45	0.263	3.17	0.80
S3C500M6Ws12	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.49	0.272	2.94	0.78
S3C500M1Ws15	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.55	0.240	2.83	0.94
S3C500M2Ws15	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.59	0.261	2.69	0.96
S3C500M3Ws15	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.53	0.268	2.97	0.90
S3C500M4Ws15	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.55	0.280	2.83	0.91
S3C500M5Ws15	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.45	0.263	3.17	0.82
S3C500M6Ws15	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.52	0.281	2.98	0.84
S3C500M1Ws18	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.58	0.252	2.86	0.96
S3C500M2Ws18	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.62	0.269	2.71	0.97
S3C500M3Ws18	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.56	0.278	3.01	0.91
S3C500M4Ws18	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.58	0.290	2.84	0.91
S3C500M5Ws18	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.45	0.263	3.18	0.82
S3C500M6Ws18	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.55	0.291	3.01	0.88



Şekil 3. 42 S4C600 kolonunda β katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.12$



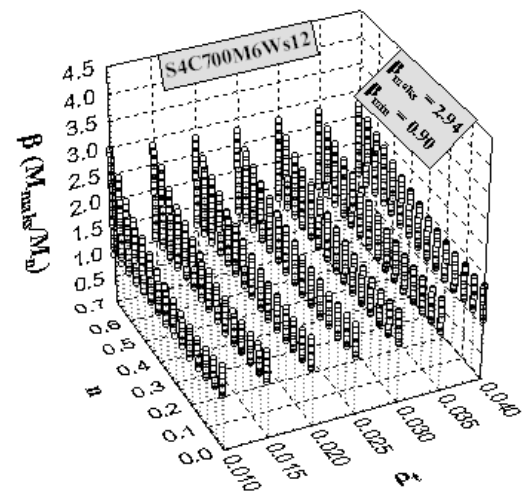
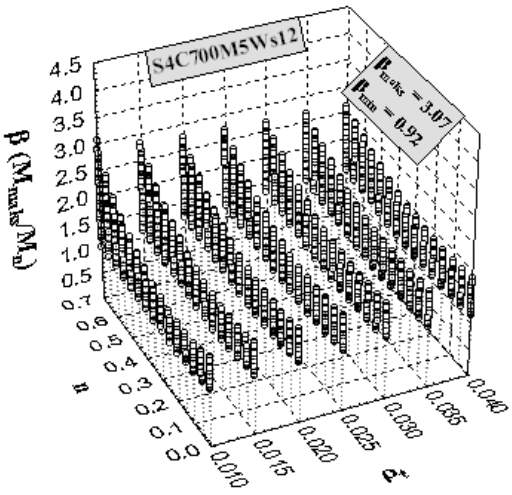
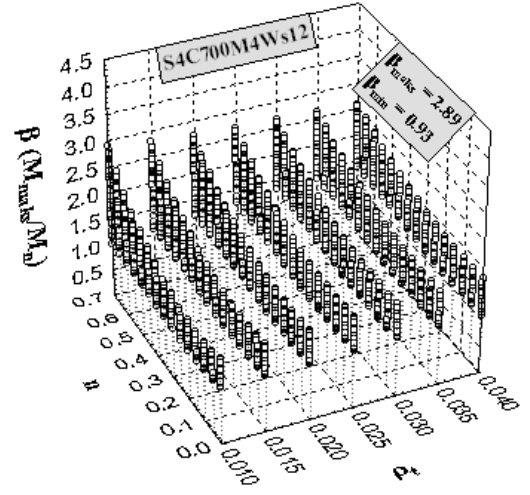
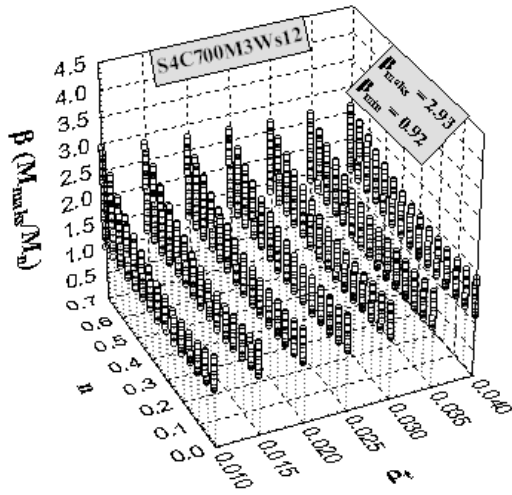
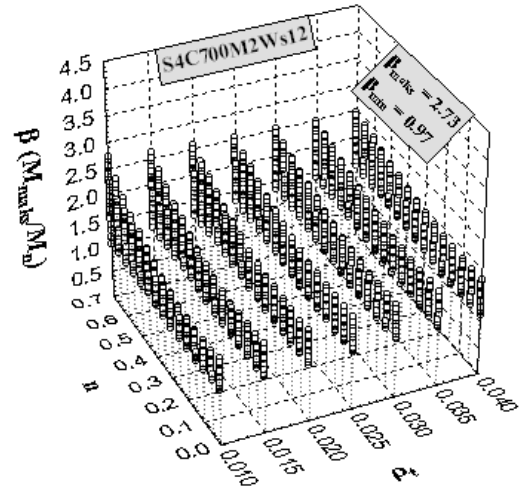
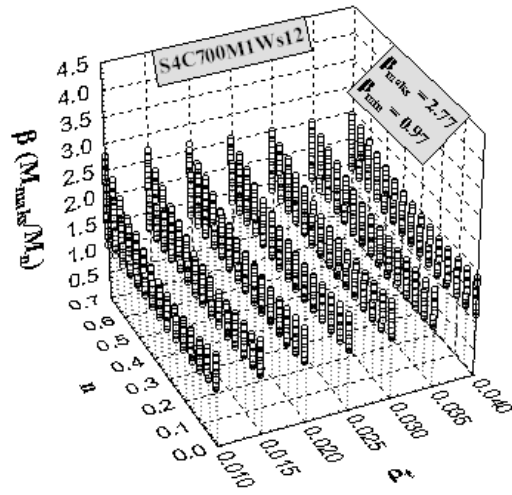
Şekil 3. 43 S4C600 kolonunda β katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.15$



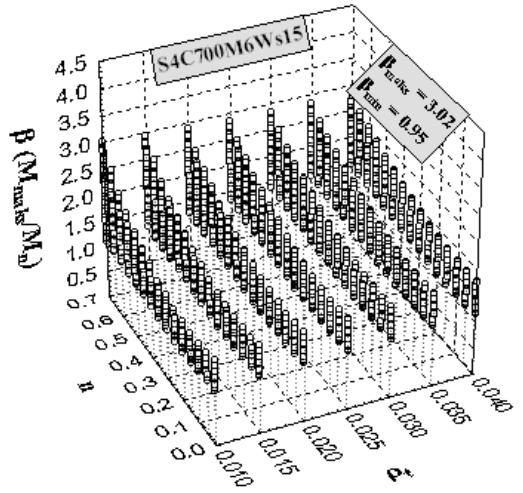
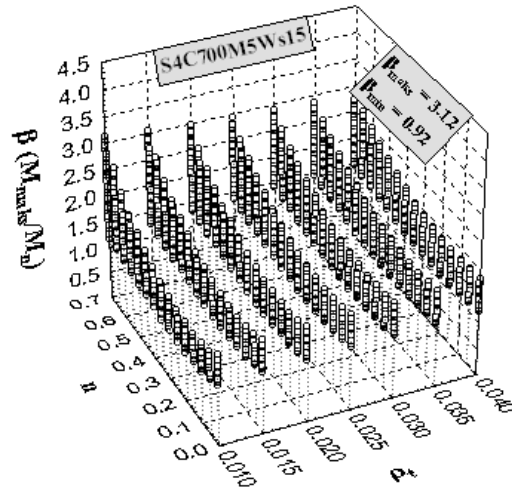
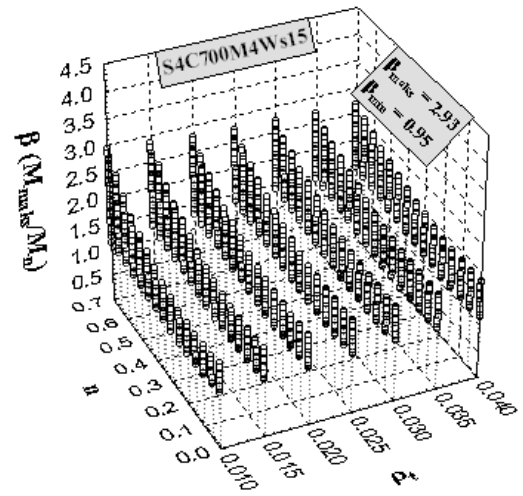
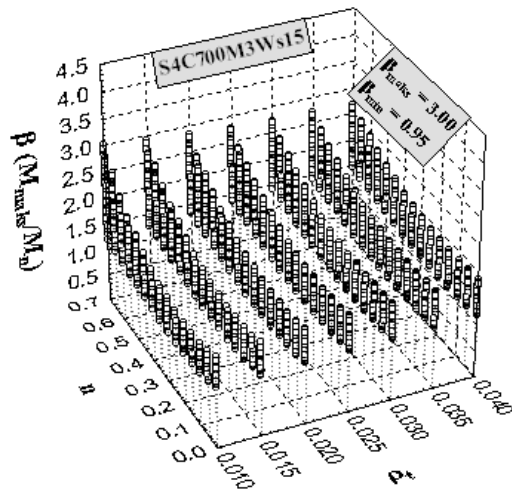
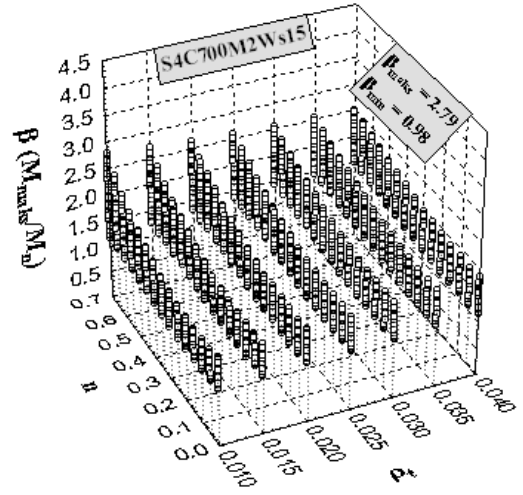
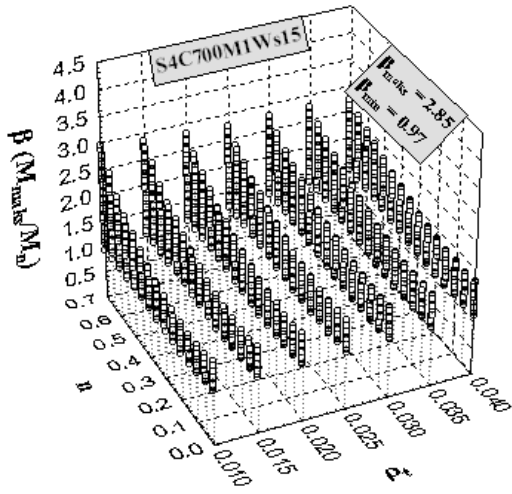
Şekil 3. 44 S4C600 kolonunda β katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.18$

Çizelge 3. 18 Analiz sonuçları: S4C600 kolonu

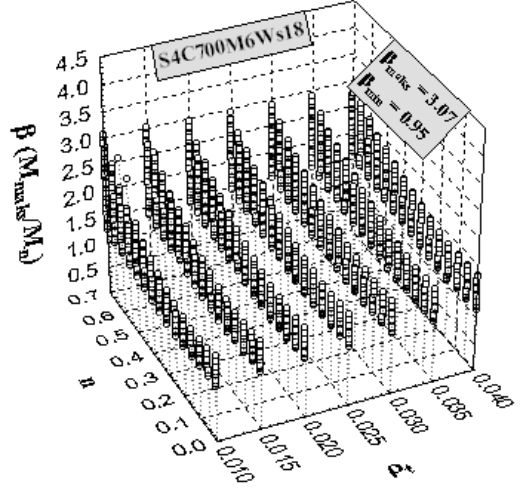
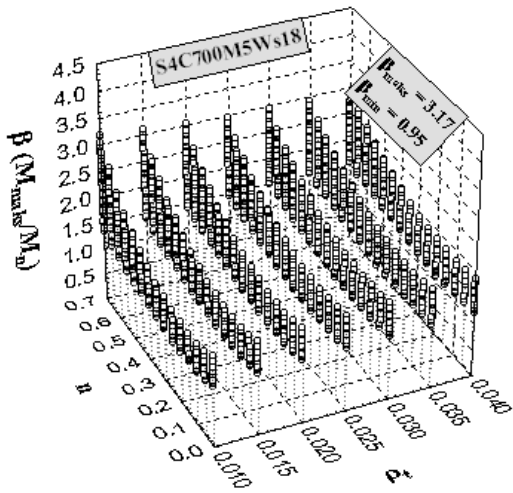
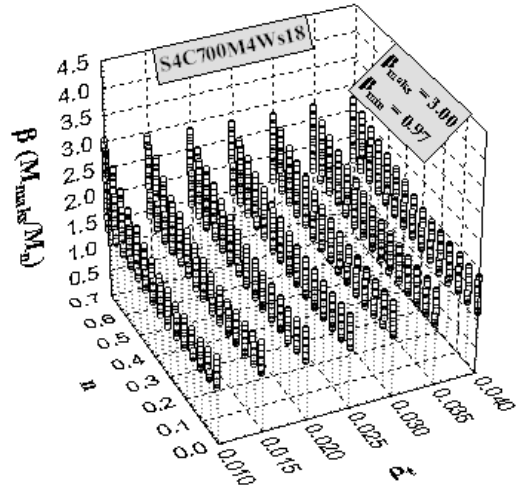
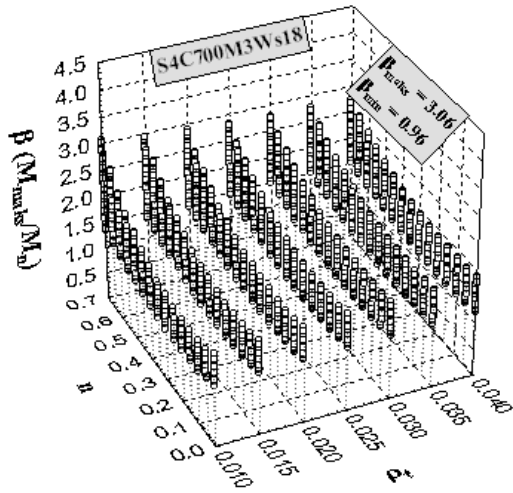
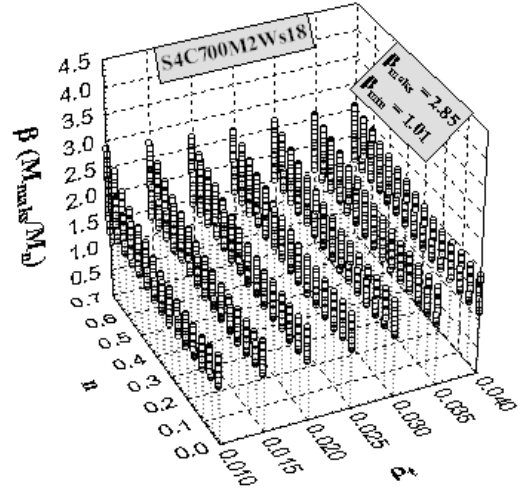
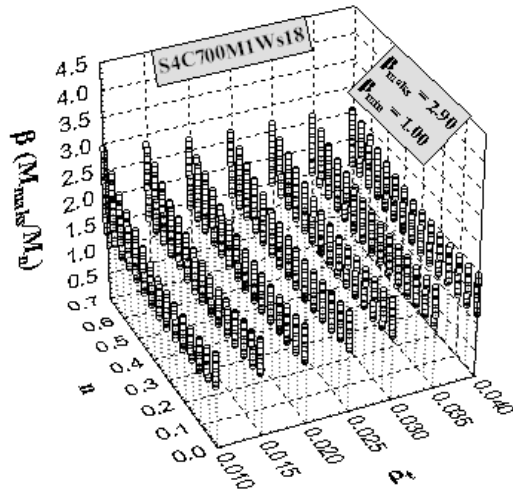
Kolon ismi	n $N/(bh f_{ck})$	ρ_t (A_{st}/A_c)	$\beta = M_{maks} / M_n$			
			Ortalama	Standart sapma	Maksimum	Minimum
S4C600M1Ws12	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.52	0.235	2.73	0.95
S4C600M2Ws12	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.55	0.247	2.65	0.97
S4C600M3Ws12	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.52	0.263	2.90	0.90
S4C600M4Ws12	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.53	0.271	2.86	0.91
S4C600M5Ws12	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.51	0.277	2.98	0.87
S4C600M6Ws12	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.52	0.279	2.97	0.87
S4C600M1Ws15	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.56	0.244	2.73	0.95
S4C600M2Ws15	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.58	0.255	2.70	0.97
S4C600M3Ws15	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.55	0.273	2.89	0.93
S4C600M4Ws15	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.57	0.281	2.84	0.92
S4C600M5Ws15	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.54	0.288	3.01	0.89
S4C600M6Ws15	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.56	0.292	2.99	0.90
S4C600M1Ws18	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.59	0.252	2.79	0.97
S4C600M2Ws18	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.61	0.263	2.75	0.99
S4C600M3Ws18	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.59	0.286	2.93	0.93
S4C600M4Ws18	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.60	0.292	2.89	0.95
S4C600M5Ws18	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.58	0.303	3.05	0.92
S4C600M6Ws18	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.59	0.302	3.03	0.93



Şekil 3. 45 S4C700 kolonunda β katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.12$



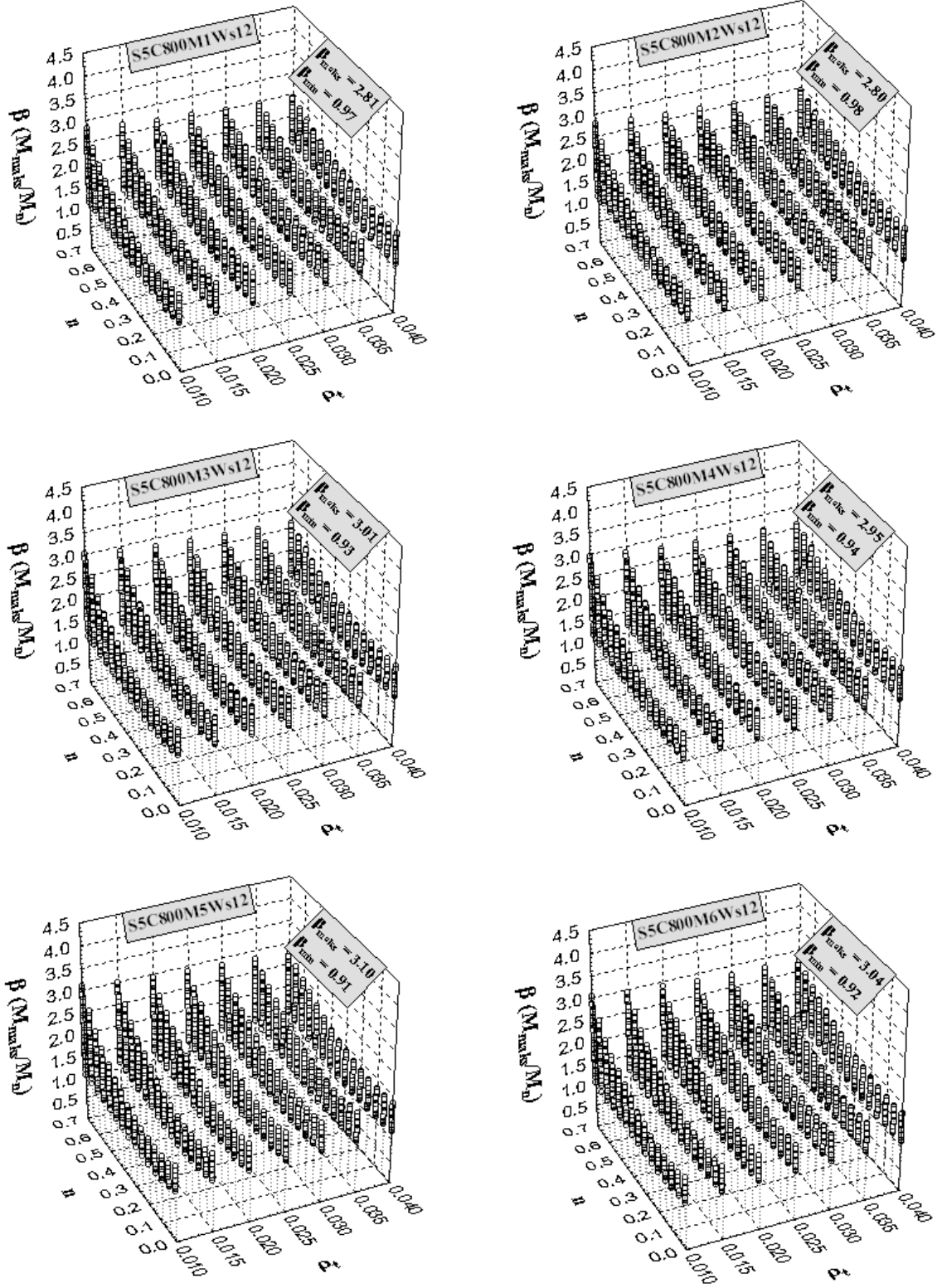
Şekil 3. 46 S4C700 kolonunda β katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.15$



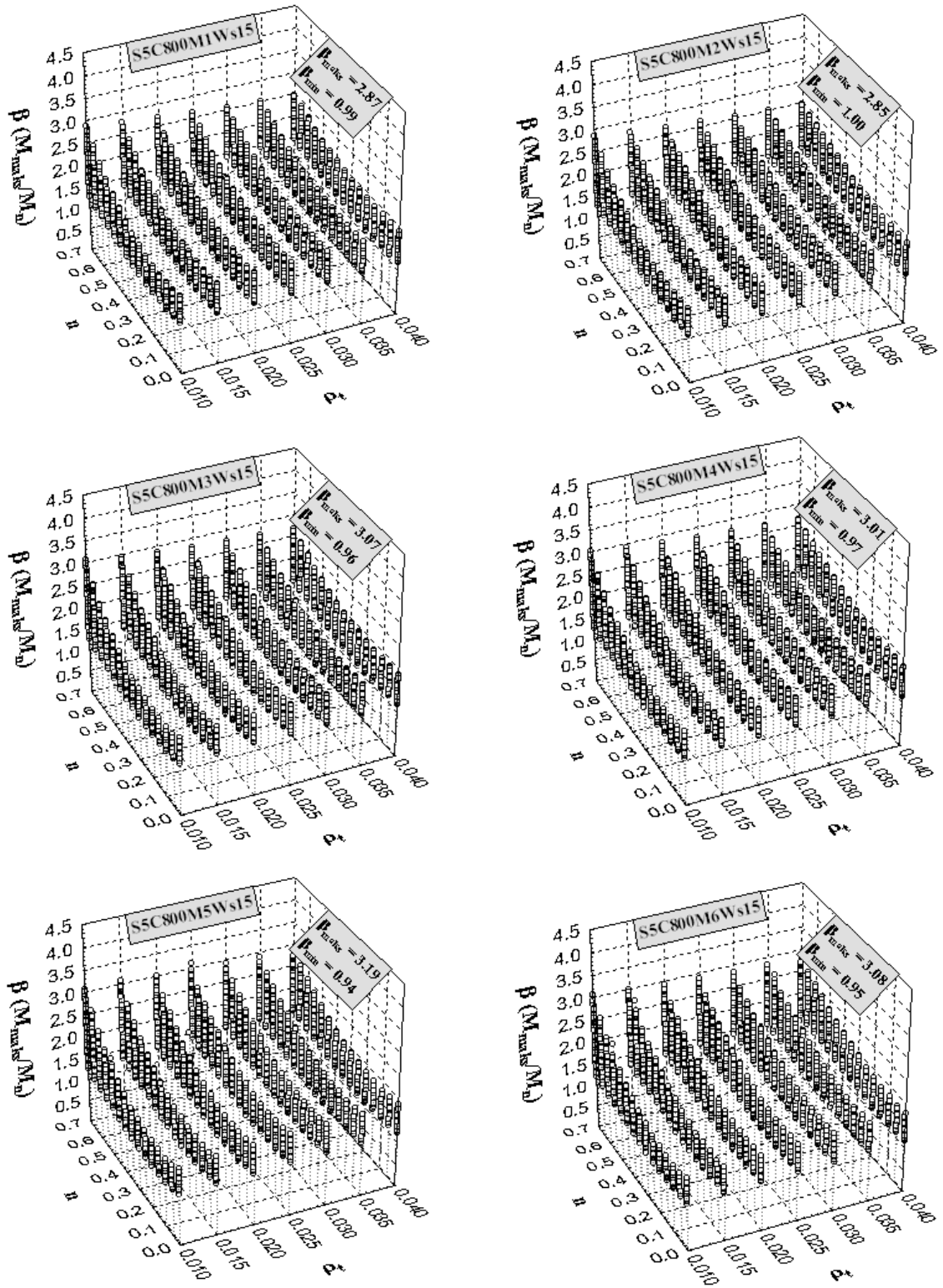
Şekil 3. 47 S4C700 kolonunda β katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.18$

Çizelge 3. 19 Analiz sonuçları: S4C700 kolonu

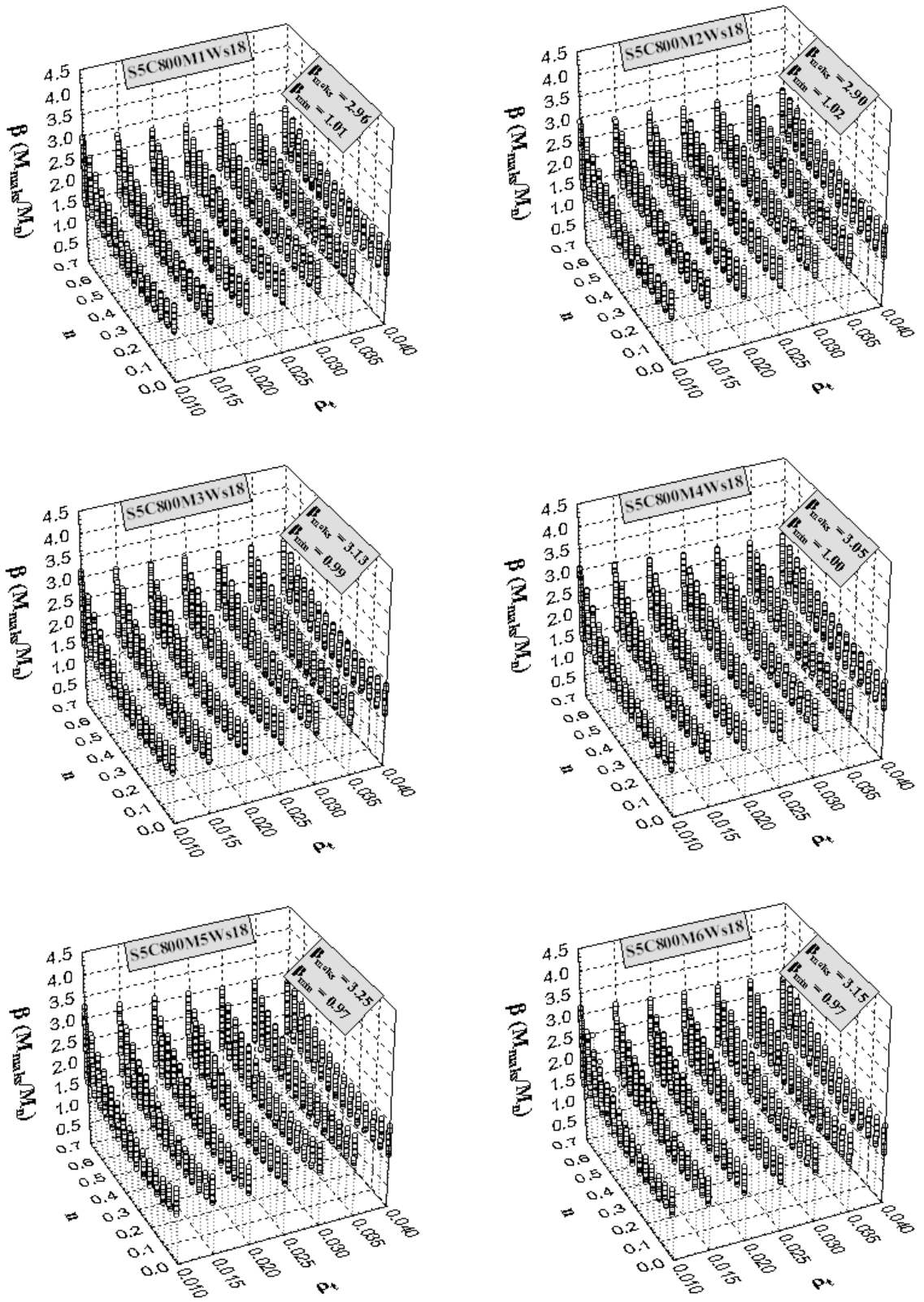
Kolon ismi	n $N/(bh f_{ck})$	ρ_t (A_{st}/A_c)	$\beta = M_{maks} / M_n$			
			Ortalama	Standart sapma	Maksimum	Minimum
S4C700M1Ws12	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.56	0.243	2.77	0.97
S4C700M2Ws12	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.57	0.253	2.73	0.97
S4C700M3Ws12	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.56	0.276	2.93	0.92
S4C700M4Ws12	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.56	0.282	2.89	0.93
S4C700M5Ws12	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.56	0.276	3.07	0.92
S4C700M6Ws12	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.55	0.292	2.94	0.90
S4C700M1Ws15	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.59	0.253	2.85	0.97
S4C700M2Ws15	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.61	0.262	2.79	0.98
S4C700M3Ws15	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.60	0.289	3.00	0.95
S4C700M4Ws15	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.60	0.293	2.93	0.95
S4C700M5Ws15	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.59	0.308	3.12	0.92
S4C700M6Ws15	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.59	0.306	3.02	0.93
S4C700M1Ws18	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.62	0.262	2.90	1.00
S4C700M2Ws18	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.64	0.272	2.90	1.02
S4C700M3Ws18	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.63	0.300	3.06	0.96
S4C700M4Ws18	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.63	0.306	3.05	1.00
S4C700M5Ws18	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.63	0.320	3.17	0.95
S4C700M6Ws18	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.62	0.320	3.15	0.97



Şekil 3. 48 S5C800 kolonunda β katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.12$



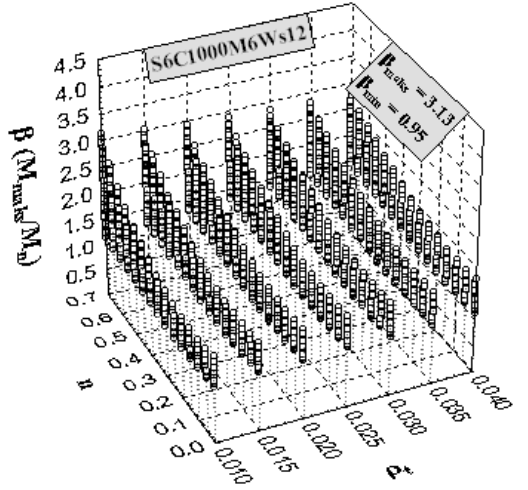
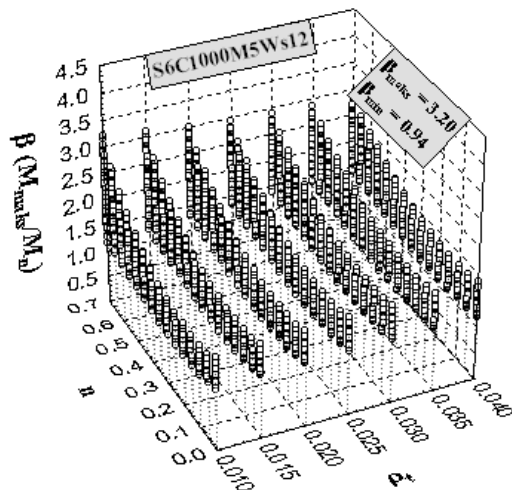
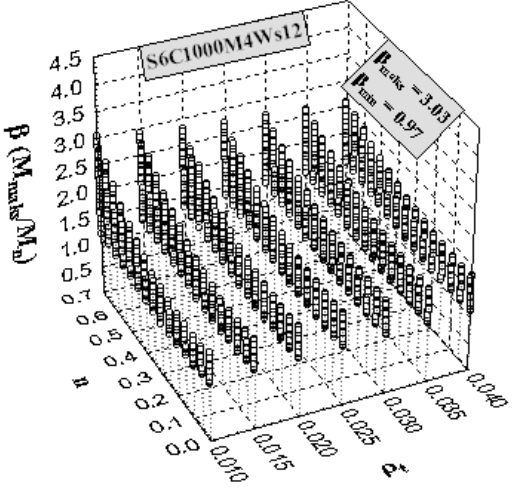
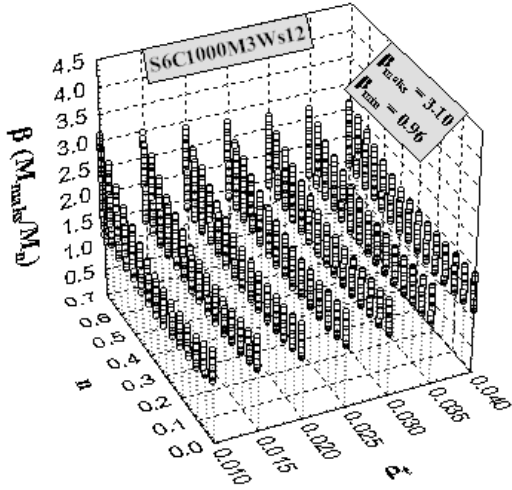
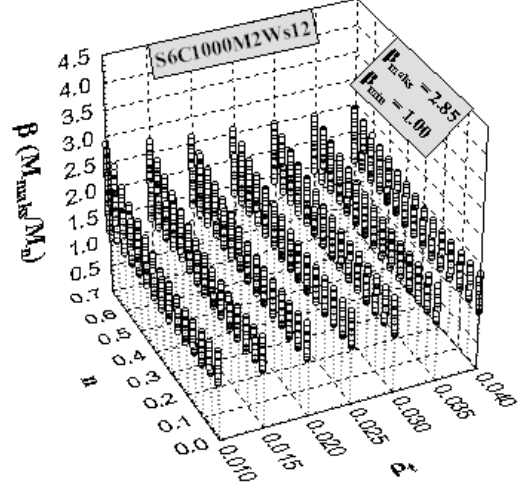
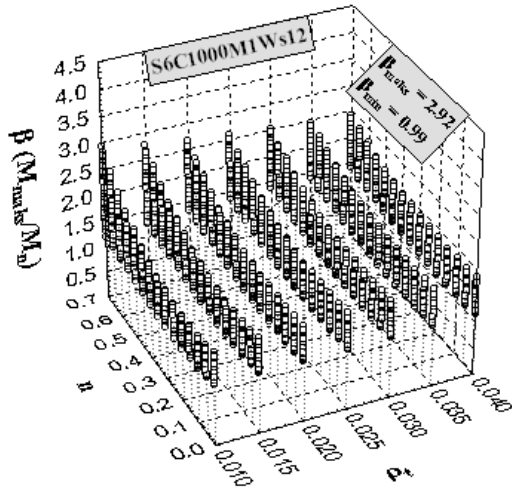
Şekil 3. 49 S5C800 kolonunda β katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.15$



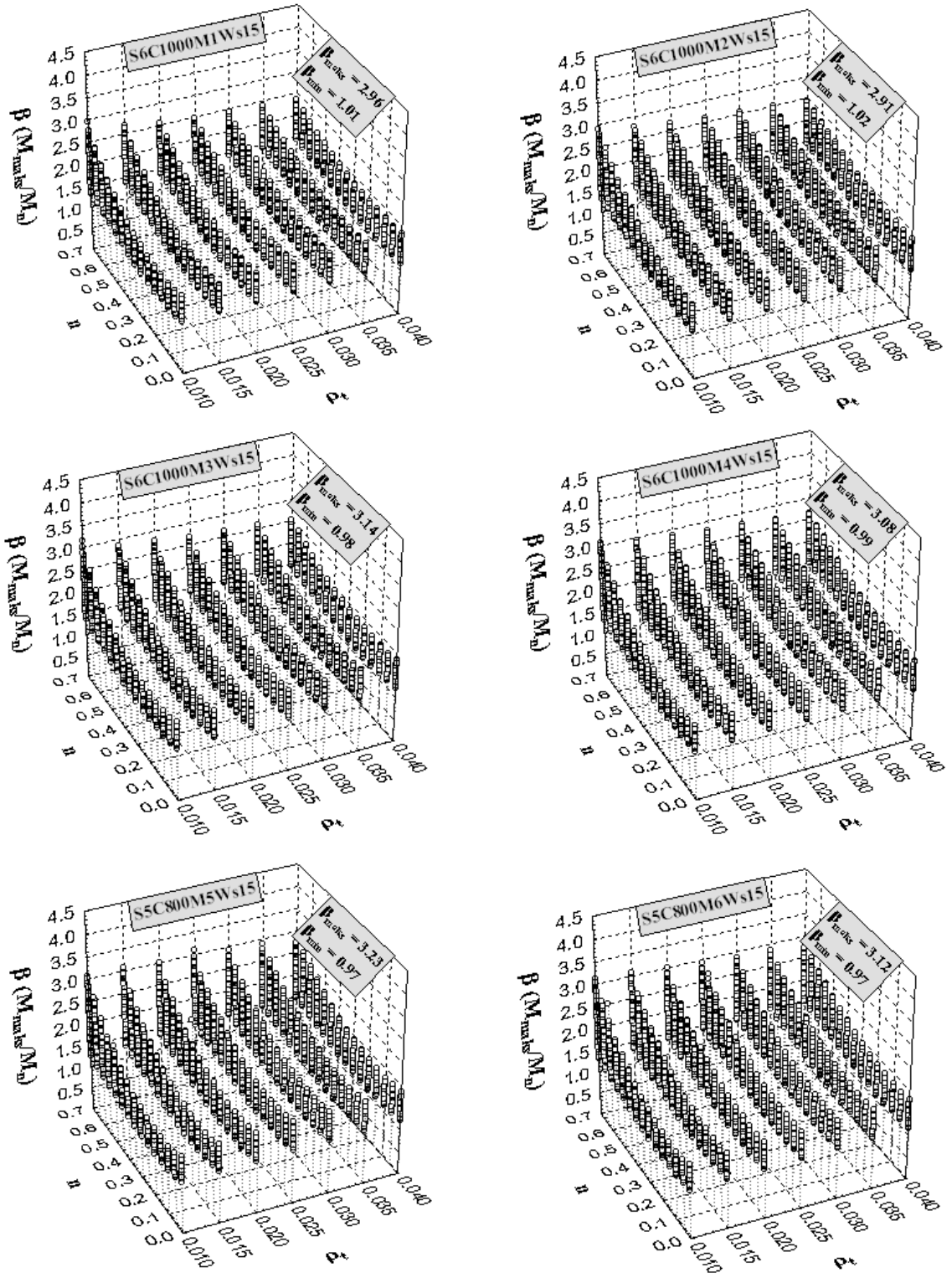
Şekil 3. 50 S5C800 kolonunda β katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.18$

Çizelge 3. 20 Analiz sonuçları: S5C800 kolonu

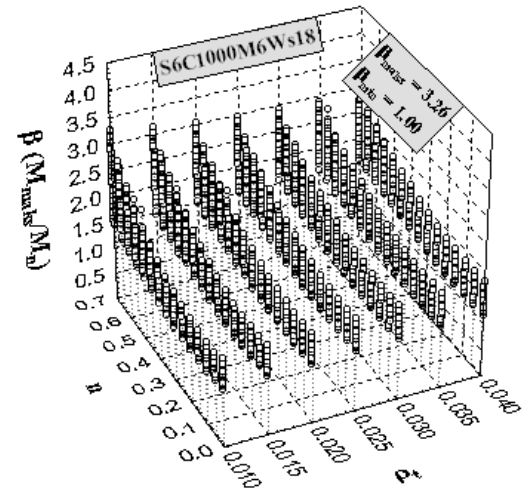
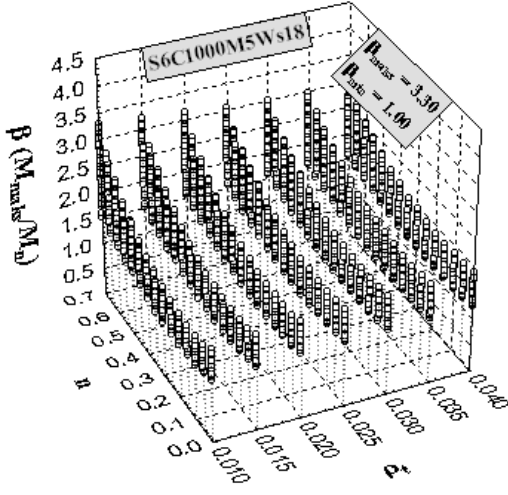
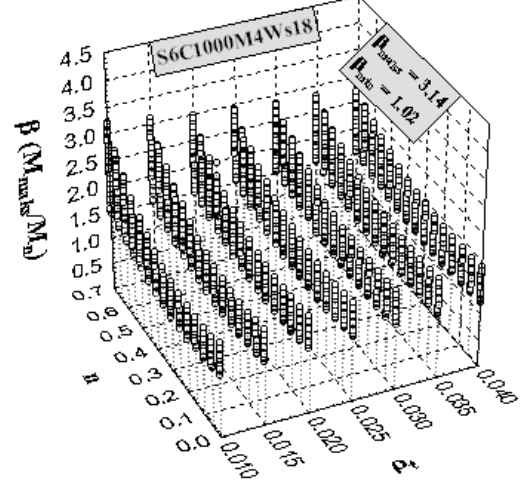
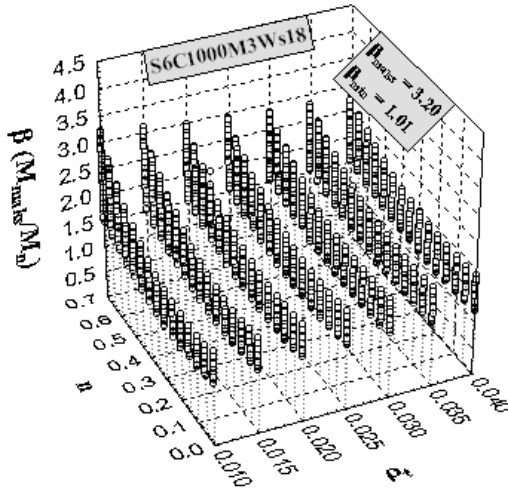
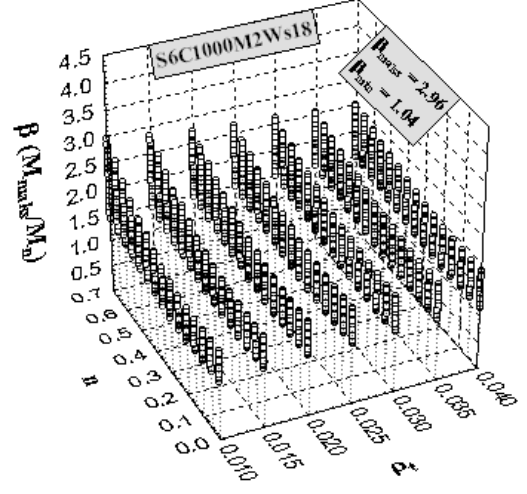
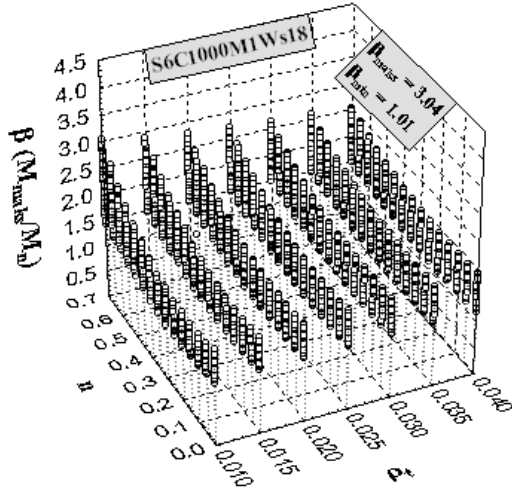
Kolon ismi	n $N/(bh f_{ck})$	ρ_t (A_{st}/A_c)	$\beta = M_{maks} / M_n$			
			Ortalama	Standart sapma	Maksimum	Minimum
S5C800M1Ws12	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.56	0.243	2.81	0.97
S5C800M2Ws12	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.58	0.254	2.80	0.98
S5C800M3Ws12	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.57	0.280	3.01	0.93
S5C800M4Ws12	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.58	0.285	2.95	0.94
S5C800M5Ws12	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.56	0.296	3.10	0.91
S5C800M6Ws12	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.57	0.297	3.04	0.92
S5C800M1Ws15	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.60	0.252	2.87	0.99
S5C800M2Ws15	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.61	0.263	2.85	1.00
S5C800M3Ws15	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.60	0.291	3.07	0.96
S5C800M4Ws15	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.61	0.296	3.01	0.97
S5C800M5Ws15	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.60	0.310	3.10	0.94
S5C800M6Ws15	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.60	0.308	3.08	0.95
S5C800M1Ws18	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.63	0.262	2.96	1.01
S5C800M2Ws18	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.64	0.272	2.90	1.02
S5C800M3Ws18	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.64	0.303	3.13	0.99
S5C800M4Ws18	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.64	0.306	3.05	1.00
S5C800M5Ws18	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.65	0.329	3.25	0.97
S5C800M6Ws18	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.63	0.321	3.15	0.97



Şekil 3. 51 S6C1000 kolonunda β katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.12$



Şekil 3. 52 S6C1000 kolonunda β katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.15$



Şekil 3. 53 S6C1000 kolonunda β katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.18$

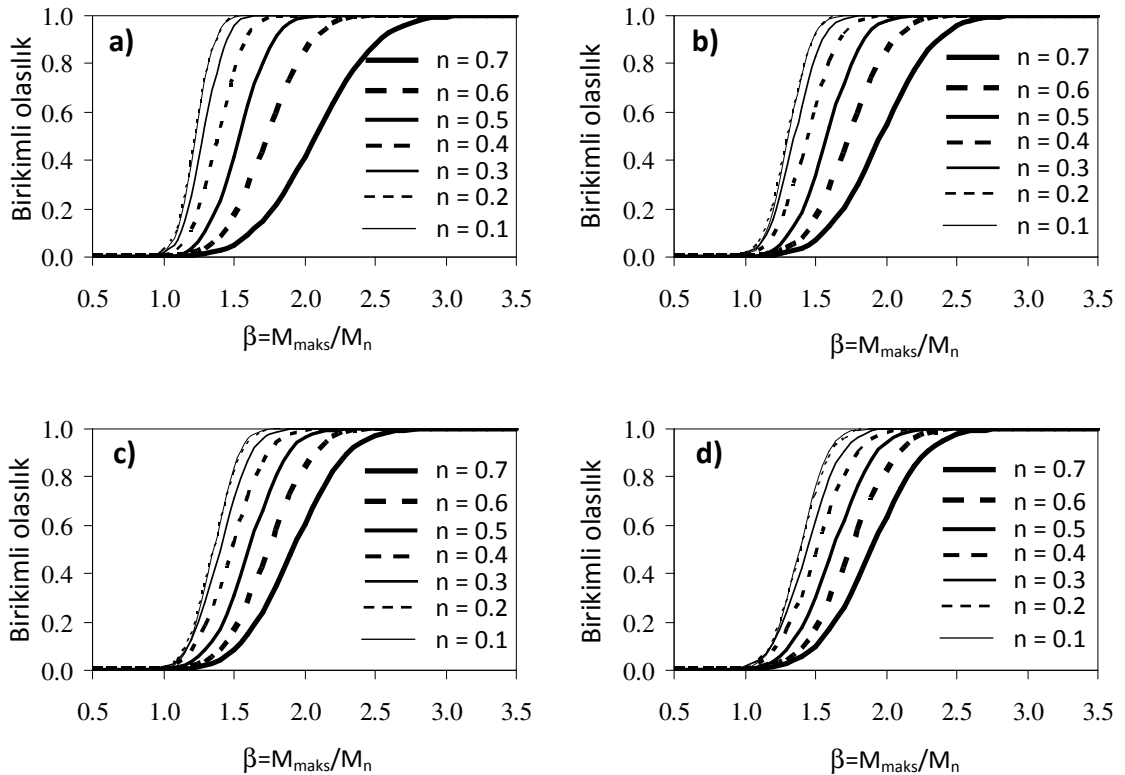
Çizelge 3. 21 Analiz sonuçları: S6C1000 kolonu

Kolon ismi	n $N/(bh f_{ck})$	ρ_t (A_{st}/A_c)	$\beta = M_{maks} / M_n$			
			Ortalama	Standart sapma	Maksimum	Minimum
S6C1000M1Ws12	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.57	0.246	2.92	0.99
S6C1000M2Ws12	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.58	0.254	2.85	1.00
S6C1000M3Ws12	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.59	0.284	3.10	0.96
S6C1000M4Ws12	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.59	0.288	3.03	0.97
S6C1000M5Ws12	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.59	0.306	3.20	0.94
S6C1000M6Ws12	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.59	0.305	3.13	0.95
S6C1000M1Ws15	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.58	0.232	2.96	1.01
S6C1000M2Ws15	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.61	0.262	2.91	1.02
S6C1000M3Ws15	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.60	0.271	3.14	0.98
S6C1000M4Ws15	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.62	0.299	3.08	0.99
S6C1000M5Ws15	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.60	0.294	3.23	0.97
S6C1000M6Ws15	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.62	0.317	3.12	0.97
S6C1000M1Ws18	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.64	0.264	3.04	1.01
S6C1000M2Ws18	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.64	0.271	2.96	1.04
S6C1000M3Ws18	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.66	0.309	3.20	1.01
S6C1000M4Ws18	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.65	0.310	3.14	1.02
S6C1000M5Ws18	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.66	0.333	3.30	1.00
S6C1000M6Ws18	0.0 ~ 0.70	0.01 ~ 0.04	1.65	0.329	3.26	1.00

3.4.2 Kolon Moment Kapasitesinin Karakteristik Moment Kapasitesine Göre Oranının Birikimli Olasılık Eğrileri

Birikimli olasılık eğrilerinin analitik ifadesi (2.12)'de verilmişti. Normal dağılım sergileyen β oranlarının birikimli olasılık eğrisinin çizimi, esasen, bu eğriyi karakterize eden ortalama (m_β) ve standart sapma (σ_β) değerlerinin belirlenmesinden ibarettir. m_β ve σ_β , çizilen her bir birikimli olasılık eğrisi için, o eğriye esas alınan normal rasgele değişkenin ($\beta=M_{maks}/M_n$), Monte Carlo simülasyonu ile gerçekleştirilen kesit analizleri sonucu elde edilen değerleri yardımıyla belirlenebilir. Bu değerler, bir önceki bölümde ele alınan tüm örnek kolon kesitleri için Çizelge 3. 8~3. 21'de verilmişti.

Şekil 3. 54'de, malzeme özelliklerindeki, kesit özelliklerindeki ve yanal donatı mekanik indeksindeki farklılıklar göz ardı edilerek, analizlerde ele alınan tüm örnek kolon kesitleri için elde edilen β oranlarının birikimli olasılık eğrileri, çeşitli eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranı değerleri için verilmiştir.



Şekil 3. 54 β katsayıları birikimli olasılık eğrileri a) $\rho_t = 0.01$, b) $\rho_t = 0.02$ c) $\rho_t = 0.03$ d) $\rho_t = 0.04$

3.4.3 Kolon Moment Kapasitesinin Taşıma Gücü Momentine Göre Oranındaki Değişkenlikler

Temel belirsizlik kaynaklarındaki değişkenlikler ve taşıma gücü hesaplarında esas alınan kabuller, ihmaller ve kullanılan malzeme katsayılarının, kolon moment kapasitesi üzerindeki ortak etkilerinin gözlenmesi amacıyla tanımlanan boyutsuz oran (λ_r), aşağıda verilen (3.4) bağıntısı yardımıyla belirlenebilir.

$$\lambda_r = \frac{M_{maks}}{M_r} \quad (3.4)$$

(3.4) bağıntısında, M_{maks} , Monte Carlo simülasyonu yardımıyla her biri 300 örnekleme için çizilen moment-eğrilik ilişkisinden ayrı ayrı tespit edilmiş olan maksimum eğilme momentleri ve M_r ise deterministik yaklaşımla (tasarım aşamasında esas alınan karakteristik kesit özellikleri ve malzeme hesap dayanımlarına ($f_{cd}=f_{ck}/1.5$, $f_{yd}=f_{yk}/1.15$) göre 1 örneklemeyle belirlenen M_r) belirlenen taşıma gücü momentini göstermektedir.

Çizelge 3. 22 ~ Çizelge 3. 24' de, analizlerde göz önüne alınan tüm örnek kolon kesitleri göz önüne alınarak elde edilen M_{maks}/M_r oranlarının, boyutsuz eksenel yük seviyesi (n), boyuna donatı oranı (ρ_t) ve yanal donatı mekanik indeksine (ω_s) göre değişimleri verilmiştir. Çizelgelerde eksenel yük düzeyi $n=0.5$ ile sınırlandırılmıştır. Çizelgelerden de görüleceği üzere, temel belirsizlik kaynaklarındaki değişkenliklerin ve kolon taşıma gücü momentinin belirlenmesinde yapılan kabuller ve/veya basitleştirmelerin λ_r katsayıları üzerinde değişkenlikler yarattığı, bu değişkenliklerin başta kolon eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranı olmak üzere çeşitli tasarım parametrelerinden belirgin oranda etkilendiği görülebilir.

λ_r katsayılarının, başta boyutsuz eksenel yük düzeyi ve kolon toplam boyuna donatı oranı olmak üzere çeşitli tasarım parametrelerine göre değişimi sonraki bölümlerde ayrıntılı olarak incelenecektir.

Çizelge 3. 22 Analiz sonuçları: Kolon moment kapasitesinin taşıma gücü momentine göre oranlarındaki değişkenlikler ($\omega_s = 0.12$)

Eksenel yük düzeyi $N/(A_c f_{ck})$	Boyuna donatı oranı (A_{st}/A_c)	$\lambda_r = M_{maks}/M_r$			
		Ortalama	Standart sapma	Minimum	Maksimum
0.00	0.010	1.585	0.143	1.150	2.090
0.00	0.015	1.598	0.147	1.160	2.130
0.00	0.020	1.606	0.151	1.167	2.150
0.00	0.025	1.614	0.155	1.160	2.170
0.00	0.030	1.622	0.160	1.150	2.180
0.00	0.035	1.628	0.164	1.150	2.200
0.00	0.040	1.633	0.168	1.140	2.220
0.05	0.010	1.457	0.129	1.060	1.970
0.05	0.015	1.513	0.138	1.110	2.060
0.05	0.020	1.549	0.146	1.120	2.110
0.05	0.025	1.573	0.153	1.130	2.140
0.05	0.030	1.593	0.159	1.130	2.160
0.05	0.035	1.606	0.164	1.140	2.180
0.05	0.040	1.617	0.169	1.140	2.190
0.10	0.010	1.430	0.129	1.010	1.940
0.10	0.015	1.491	0.141	1.040	2.040
0.10	0.020	1.533	0.149	1.070	2.090
0.10	0.025	1.562	0.156	1.090	2.140
0.10	0.030	1.586	0.163	1.100	2.160
0.10	0.035	1.604	0.169	1.120	2.180
0.10	0.040	1.618	0.174	1.140	2.200
0.15	0.010	1.450	0.133	1.000	1.950
0.15	0.015	1.507	0.145	1.050	2.040
0.15	0.020	1.548	0.154	1.080	2.100
0.15	0.025	1.579	0.162	1.110	2.150
0.15	0.030	1.604	0.168	1.120	2.180
0.15	0.035	1.623	0.173	1.130	2.200
0.15	0.040	1.638	0.179	1.150	2.260
0.20	0.010	1.508	0.140	1.010	2.000
0.20	0.015	1.557	0.152	1.040	2.080
0.20	0.020	1.593	0.161	1.090	2.150
0.20	0.025	1.621	0.170	1.100	2.180
0.20	0.030	1.643	0.177	1.130	2.240
0.20	0.035	1.659	0.184	1.140	2.290
0.20	0.040	1.672	0.189	1.150	2.340
0.25	0.010	1.599	0.154	1.060	2.120
0.25	0.015	1.636	0.167	1.080	2.170
0.25	0.020	1.662	0.177	1.100	2.230
0.25	0.025	1.682	0.187	1.110	2.310
0.25	0.030	1.699	0.195	1.130	2.350

Çizelge 3. 22 Analiz sonuçları: Kolon moment kapasitesinin taşıma gücü momentine göre oranlarındaki değişkenlikler ($\omega_s = 0.12$) (devamı)

Eksenel yük düzeyi	Boyuna donatı oranı	$\lambda_r = M_{maks}/M_r$			
		Ortalama	Standart sapma	Minimum	Maksimum
$N/(A_c f_{ck})$	(A_{st}/A_c)				
0.25	0.035	1.710	0.202	1.140	2.410
0.25	0.040	1.719	0.207	1.140	2.460
0.30	0.010	1.743	0.172	1.120	2.300
0.30	0.015	1.763	0.185	1.140	2.370
0.30	0.020	1.775	0.196	1.000	2.420
0.30	0.025	1.782	0.206	1.180	2.460
0.30	0.030	1.789	0.215	1.190	2.540
0.30	0.035	1.792	0.222	1.190	2.580
0.30	0.040	1.793	0.227	1.190	2.630
0.35	0.010	1.929	0.197	1.180	2.590
0.35	0.015	1.927	0.206	1.190	2.600
0.35	0.020	1.922	0.216	1.200	2.630
0.35	0.025	1.915	0.226	1.220	2.660
0.35	0.030	1.909	0.234	1.250	2.720
0.35	0.035	1.901	0.241	1.240	2.760
0.35	0.040	1.892	0.246	1.210	2.810
0.40	0.010	2.160	0.234	1.235	2.980
0.40	0.015	2.121	0.238	1.260	2.950
0.40	0.020	2.091	0.243	1.260	2.940
0.40	0.025	2.066	0.251	1.280	2.930
0.40	0.030	2.045	0.257	1.290	2.930
0.40	0.035	2.025	0.262	1.290	2.970
0.40	0.040	2.007	0.266	1.240	2.990
0.45	0.010	2.474	0.297	1.340	3.580
0.45	0.015	2.365	0.288	1.310	3.460
0.45	0.020	2.293	0.285	1.320	3.340
0.45	0.025	2.239	0.286	1.340	3.280
0.45	0.030	2.199	0.289	1.340	3.220
0.45	0.035	2.163	0.291	1.320	3.220
0.45	0.040	2.132	0.292	1.270	3.210
0.50	0.010	2.986	0.439	1.420	4.620
0.50	0.015	2.700	0.376	1.380	4.210
0.50	0.020	2.551	0.353	1.360	3.960
0.50	0.025	2.450	0.341	1.380	3.770
0.50	0.030	2.379	0.335	1.400	3.630
0.50	0.035	2.321	0.331	1.370	3.560
0.50	0.040	2.272	0.327	1.300	3.540

Çizelge 3. 23 Analiz sonuçları: Kolon moment kapasitesinin taşıma gücü momentine göre oranlarındaki değişkenlikler ($\omega_s = 0.15$)

Eksenel yük düzeyi $N/(A_c f_{ck})$	Boyuna donatı oranı (A_{st}/A_c)	$\lambda_r = M_{maks}/M_r$			
		Ortalama	Standart sapma	Minimum	Maksimum
0.00	0.010	1.595	0.143	1.170	2.100
0.00	0.015	1.614	0.148	1.170	2.130
0.00	0.020	1.625	0.152	1.167	2.160
0.00	0.025	1.635	0.157	1.167	2.180
0.00	0.030	1.644	0.162	1.157	2.230
0.00	0.035	1.651	0.166	1.157	2.250
0.00	0.040	1.656	0.171	1.157	2.280
0.05	0.010	1.469	0.131	1.090	1.970
0.05	0.015	1.530	0.140	1.120	2.060
0.05	0.020	1.569	0.148	1.130	2.130
0.05	0.025	1.594	0.156	1.135	2.170
0.05	0.030	1.615	0.162	1.145	2.230
0.05	0.035	1.629	0.168	1.147	2.280
0.05	0.040	1.640	0.173	1.147	2.310
0.10	0.010	1.440	0.131	1.010	1.950
0.10	0.015	1.507	0.143	1.060	2.060
0.10	0.020	1.551	0.152	1.080	2.160
0.10	0.025	1.582	0.160	1.100	2.220
0.10	0.030	1.608	0.167	1.110	2.270
0.10	0.035	1.626	0.173	1.150	2.310
0.10	0.040	1.641	0.178	1.160	2.350
0.15	0.010	1.459	0.135	1.000	2.010
0.15	0.015	1.521	0.148	1.050	2.130
0.15	0.020	1.566	0.157	1.080	2.210
0.15	0.025	1.599	0.166	1.120	2.270
0.15	0.030	1.625	0.172	1.120	2.310
0.15	0.035	1.645	0.178	1.160	2.360
0.15	0.040	1.660	0.184	1.180	2.410
0.20	0.010	1.517	0.141	1.010	2.120
0.20	0.015	1.571	0.155	1.060	2.220
0.20	0.020	1.611	0.165	1.100	2.290
0.20	0.025	1.640	0.175	1.110	2.360
0.20	0.030	1.664	0.182	1.130	2.410
0.20	0.035	1.681	0.189	1.160	2.430
0.20	0.040	1.694	0.195	1.170	2.470
0.25	0.010	1.608	0.155	1.050	2.270
0.25	0.015	1.650	0.170	1.080	2.350
0.25	0.020	1.680	0.182	1.100	2.420
0.25	0.025	1.702	0.193	1.120	2.450
0.25	0.030	1.720	0.201	1.140	2.500

Çizelge 3. 23 Analiz sonuçları: Kolon moment kapasitesinin taşıma gücü momentine göre oranlarındaki değişkenlikler ($\omega_s = 0.15$) (devamı)

Eksenel yük düzeyi $N/(A_c f_{ck})$	Boyuna donatı oranı (A_{st}/A_c)	$\lambda_r = M_{maks}/M_r$			
		Ortalama	Standart sapma	Minimum	Maksimum
0.25	0.035	1.733	0.209	1.150	2.520
0.25	0.040	1.742	0.214	1.160	2.550
0.30	0.010	1.754	0.173	1.111	2.480
0.30	0.015	1.779	0.188	1.142	2.530
0.30	0.020	1.794	0.201	1.180	2.580
0.30	0.025	1.804	0.213	1.190	2.600
0.30	0.030	1.811	0.222	1.120	2.630
0.30	0.035	1.815	0.229	1.190	2.640
0.30	0.040	1.817	0.235	1.200	2.670
0.35	0.010	1.943	0.197	1.146	2.840
0.35	0.015	1.946	0.209	1.192	2.840
0.35	0.020	1.944	0.221	1.228	2.820
0.35	0.025	1.939	0.233	1.260	2.790
0.35	0.030	1.934	0.242	1.260	2.790
0.35	0.035	1.927	0.249	1.260	2.830
0.35	0.040	1.919	0.255	1.250	2.870
0.40	0.010	2.178	0.233	1.229	3.300
0.40	0.015	2.144	0.240	1.261	3.220
0.40	0.020	2.117	0.249	1.289	3.130
0.40	0.025	2.093	0.258	1.319	3.080
0.40	0.030	2.074	0.266	1.310	4.000
0.40	0.035	2.054	0.272	1.300	3.040
0.40	0.040	2.036	0.276	1.300	3.060
0.45	0.010	2.498	0.295	1.350	3.560
0.45	0.015	2.394	0.290	1.319	3.550
0.45	0.020	2.324	0.291	1.360	4.280
0.45	0.025	2.271	0.294	1.360	3.420
0.45	0.030	2.232	0.298	1.370	3.340
0.45	0.035	2.196	0.301	1.350	3.290
0.45	0.040	2.165	0.303	1.340	4.000
0.50	0.010	3.022	0.437	1.502	4.620
0.50	0.015	2.738	0.379	1.409	4.150
0.50	0.020	2.590	0.360	1.420	4.000
0.50	0.025	2.489	0.350	1.420	3.770
0.50	0.030	2.417	0.345	1.420	3.680
0.50	0.035	2.359	0.342	1.410	4.000
0.50	0.040	2.310	0.338	1.390	3.620

Çizelge 3. 24 Analiz sonuçları: Kolon moment kapasitesinin taşıma gücü momentine göre oranlarındaki değişkenlikler ($\omega_s = 0.18$)

Eksenel yük düzeyi $N/(A_c f_{ck})$	Boyuna donatı oranı (A_{st}/A_c)	$\lambda_r = M_{maks}/M_r$			
		Ortalama	Standart sapma	Minimum	Maksimum
0.00	0.010	1.604	0.144	1.170	2.120
0.00	0.015	1.628	0.149	1.180	2.160
0.00	0.020	1.643	0.154	1.190	2.190
0.00	0.025	1.655	0.159	1.170	2.210
0.00	0.030	1.667	0.165	1.170	2.240
0.00	0.035	1.675	0.169	1.160	2.270
0.00	0.040	1.682	0.174	1.160	2.280
0.05	0.010	1.483	0.133	1.090	2.000
0.05	0.015	1.548	0.143	1.130	2.090
0.05	0.020	1.590	0.151	1.150	2.150
0.05	0.025	1.618	0.159	1.150	2.180
0.05	0.030	1.640	0.165	1.150	2.210
0.05	0.035	1.656	0.171	1.158	2.240
0.05	0.040	1.668	0.176	1.157	2.270
0.10	0.010	1.455	0.134	1.020	1.960
0.10	0.015	1.527	0.146	1.070	2.070
0.10	0.020	1.575	0.154	1.090	2.130
0.10	0.025	1.607	0.163	1.120	2.180
0.10	0.030	1.634	0.170	1.140	2.230
0.10	0.035	1.654	0.176	1.160	2.250
0.10	0.040	1.669	0.182	1.170	2.290
0.15	0.010	1.473	0.138	1.010	1.980
0.15	0.015	1.541	0.151	1.050	2.080
0.15	0.020	1.589	0.160	1.080	2.150
0.15	0.025	1.624	0.169	1.120	2.200
0.15	0.030	1.652	0.176	1.150	2.250
0.15	0.035	1.673	0.182	1.180	2.300
0.15	0.040	1.689	0.188	1.190	2.340
0.20	0.010	1.531	0.144	1.020	2.050
0.20	0.015	1.591	0.159	1.060	2.130
0.20	0.020	1.634	0.169	1.100	2.200
0.20	0.025	1.665	0.179	1.120	2.280
0.20	0.030	1.691	0.187	1.160	2.340
0.20	0.035	1.709	0.194	1.170	2.380
0.20	0.040	1.723	0.200	1.180	2.430
0.25	0.010	1.623	0.159	1.060	2.150
0.25	0.015	1.670	0.175	1.090	2.230
0.25	0.020	1.704	0.187	1.120	2.330
0.25	0.025	1.728	0.199	1.140	2.400
0.25	0.030	1.748	0.207	1.150	2.450

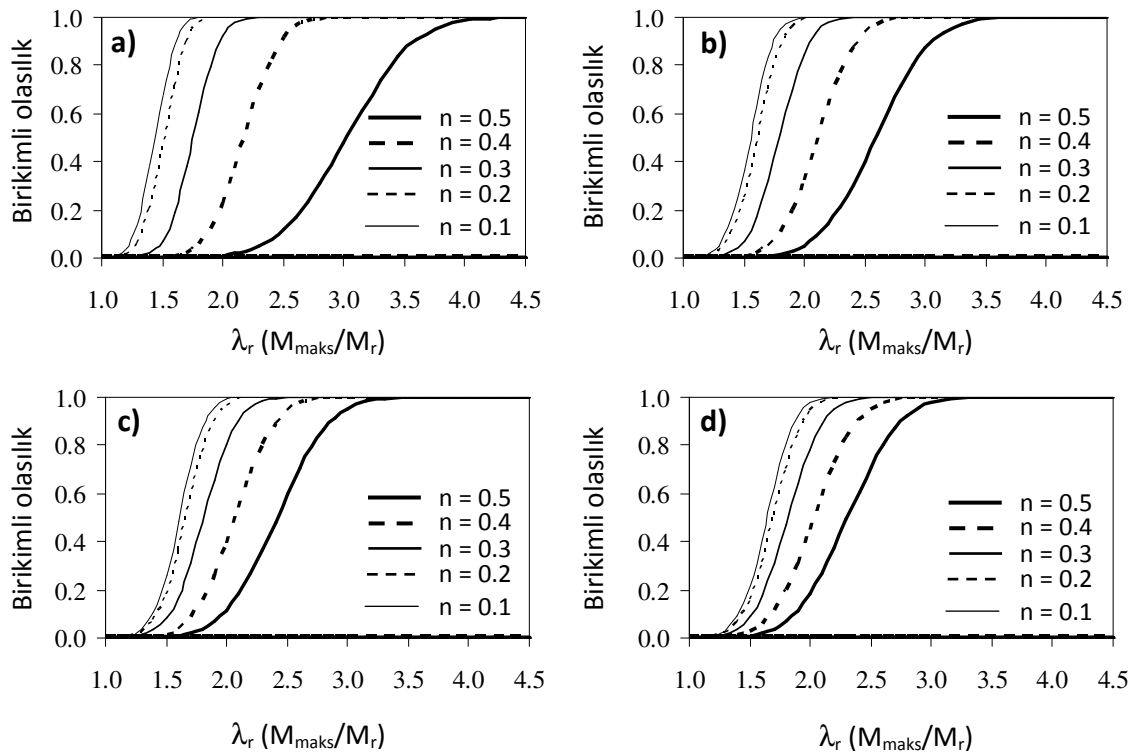
Çizelge 3. 24 Analiz sonuçları: Kolon moment kapasitesinin taşıma gücü momentine göre oranlarındaki değişkenlikler ($\omega_s = 0.18$) (devamı)

Eksenel yük düzeyi $N/(A_c f_{ck})$	Boyuna donatı oranı (A_{st}/A_c)	$\lambda_r = M_{maks}/M_r$			
		Ortalama	Standart sapma	Minimum	Maksimum
0.25	0.035	1.761	0.214	1.170	2.510
0.25	0.040	1.771	0.220	1.180	2.570
0.30	0.010	1.772	0.177	1.150	2.380
0.30	0.015	1.801	0.193	1.180	2.440
0.30	0.020	1.820	0.207	1.170	2.490
0.30	0.025	1.832	0.220	1.190	2.560
0.30	0.030	1.841	0.229	1.210	2.630
0.30	0.035	1.845	0.236	1.220	2.690
0.30	0.040	1.848	0.242	1.210	2.740
0.35	0.010	1.965	0.200	1.210	2.730
0.35	0.015	1.972	0.214	1.230	2.690
0.35	0.020	1.973	0.228	1.260	2.740
0.35	0.025	1.970	0.240	1.270	2.760
0.35	0.030	1.966	0.249	1.290	2.830
0.35	0.035	1.959	0.257	1.270	2.880
0.35	0.040	1.952	0.263	1.260	2.910
0.40	0.010	2.206	0.236	1.290	3.020
0.40	0.015	2.175	0.246	1.310	4.520
0.40	0.020	2.151	0.256	1.320	3.050
0.40	0.025	2.128	0.266	1.340	3.020
0.40	0.030	2.109	0.274	1.340	3.070
0.40	0.035	2.090	0.280	1.330	3.090
0.40	0.040	2.072	0.285	1.100	3.130
0.45	0.010	2.535	0.297	1.390	3.740
0.45	0.015	2.433	0.296	1.370	3.490
0.45	0.020	2.364	0.299	1.390	3.430
0.45	0.025	2.312	0.304	1.390	3.360
0.45	0.030	2.272	0.308	1.380	3.360
0.45	0.035	2.237	0.311	1.370	3.360
0.45	0.040	2.205	0.313	1.340	3.360
0.50	0.010	3.073	0.437	1.530	4.700
0.50	0.015	2.788	0.386	1.470	4.230
0.50	0.020	2.639	0.370	1.450	4.090
0.50	0.025	2.537	0.361	1.450	3.850
0.50	0.030	2.464	0.357	1.440	3.800
0.50	0.035	2.404	0.353	1.420	3.740
0.50	0.040	2.354	0.350	1.410	3.730

3.4.4 Kolon Moment Kapasitesinin Taşıma Gücü Momentine Göre Oranının Birikimli Olasılık Eğrileri

λ_r oranlarının birikimli olasılık eğrileri, Monte Carlo simülasyonu ile gerçekleştirilen kesit analizleri sonucu elde edilen istatistiksel veriler yardımıyla belirlenebilir. Bu değerler, bir önceki bölümde ele alınan tüm örnek kolon kesitleri için Çizelge 3. 22 ~ Çizelge 3. 24’de verilmişti.

Şekil 3. 55’ de, malzeme özelliklerindeki, kesit özelliklerindeki ve yanal donatı mekanik indeksindeki farklılıklar göz ardı edilerek, analizlerde ele alınan tüm örnek kolon kesitleri için elde edilen λ_r oranlarının birikimli olasılık eğrileri, çeşitli eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranı değerleri için verilmiştir.



Şekil 3. 55 λ_r katsayıları birikimli olasılık eğrileri a) $\rho_t = 0.01$, b) $\rho_t = 0.02$ c) $\rho_t = 0.03$ d) $\rho_t = 0.04$

BETONARME KOLONLARIN OLASI MOMENT KAPASİTESİNİN BELİRLENMESİ İÇİN ÖNERİLEN YÖNTEMLER

Kapasite tasarımı gereği belirlenmesi gereken kolon moment kapasitesi, betondaki sargı etkisiyle değişen gerilme-şekil değiştirme ilişkisini, betonun çekme dayanımını, kabuk betonundaki ezilmeyi, donatı çeliğindeki pekleşme gibi etkileri dikkate alacak bir çözümlemeden elde edilecek moment-eğrilik ilişkisindeki en büyük moment olarak tanımlanabilir. Bununla birlikte, Betonarme bir kolonun tasarım aşamasında kullanılan mekanik özelliklerin karakteristik değerleri (örneğin malzeme dayanımları, kesit boyutları vb.) altına düşülme olasılığı belirli bir düzeydeki değeri simgeler. Sözü edilen değişkenliklerin Monte Carlo benzeşim yöntemiyle sayısal olarak modellendiği belirli örnekleme sayısı için kolon olası moment kapasitesi M_p 'yi gerçekçi modellere dayanan bir moment-eğrilik yazılımından elde etmek pratik değildir.

Bu bölümde, kolon M_p moment kapasitesinin belirlenmesine yönelik iki basit yöntem önerilecektir. Önerilecek birinci yöntemde kolon M_p moment kapasitesi karakteristik taşıma gücü momenti (M_n) yardımıyla, ikinci yöntemde ise taşıma gücü momenti (M_r) yardımıyla belirlenecektir.

4.1 Kolon Olası Moment Kapasitesinin Karakteristik Taşıma Gücü Momenti Yardımla Saptanması

Betonarme bir kolonun olası moment kapasitesi M_p , karakteristik taşıma gücü momenti ve dayanım artış katsayılarına bağlı olarak aşağıda verilen bağıntı ile ifade edilebilir.

$$M_p = \beta_{\%p} \times M_n \quad (4.1)$$

Bağıntıda, M_n karakteristik malzeme dayanımlarına (f_{ck} , f_{yk}) göre belirlenen eğilme momenti taşıma gücünü (ACI-318), $\beta_{\%p}$ aşılma olasılığı belirli bir düzeydeki (%p) dayanım artış katsayısını ve M_p ise kolonun olası eğilme momenti kapasitesini göstermektedir.

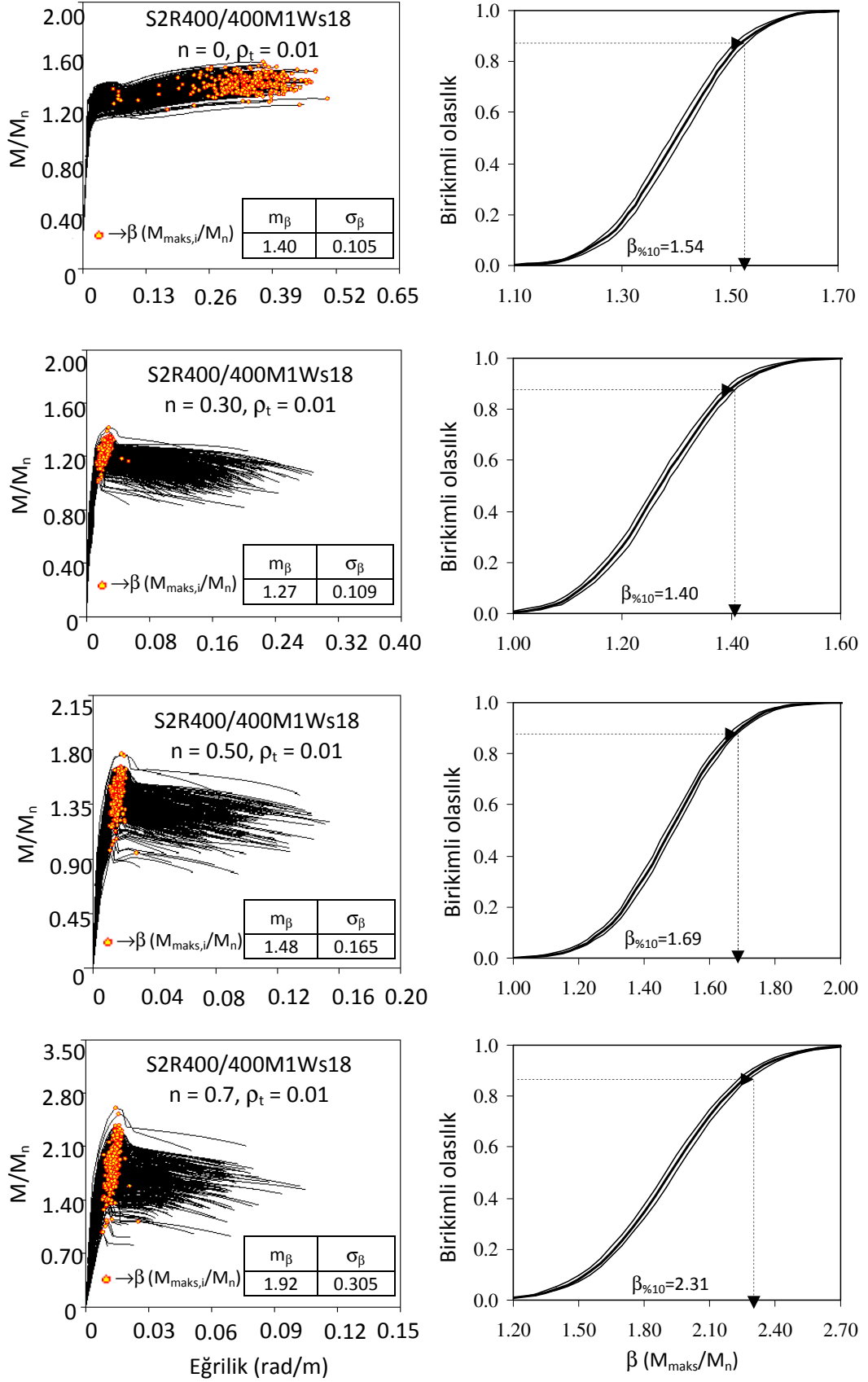
Bir önceki bölümünde örnek kolon kesitlerinde belirli bir eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranı için elde edilen β oranları, bu bölümde istatistiksel değerlendirmeye tabi tutularak, aşılma olasılığı belirli bir düzeydeki ($\beta_{\%p}$) artış katsayıları belirlenmiştir. *Kolon yanal donatı hesabında kullanılacak olası moment kapasitesinin* belirlenmesinde esas alınacak moment kapasitesi için sözü edilen aşılma olasılığı %10 olarak kabul edilmiştir.

4.1.1 Aşılma Olasılığı Belirli Bir Düzeydeki Dayanım Artış Katsayılarının ($\beta_{\%10}$) Belirlenmesi

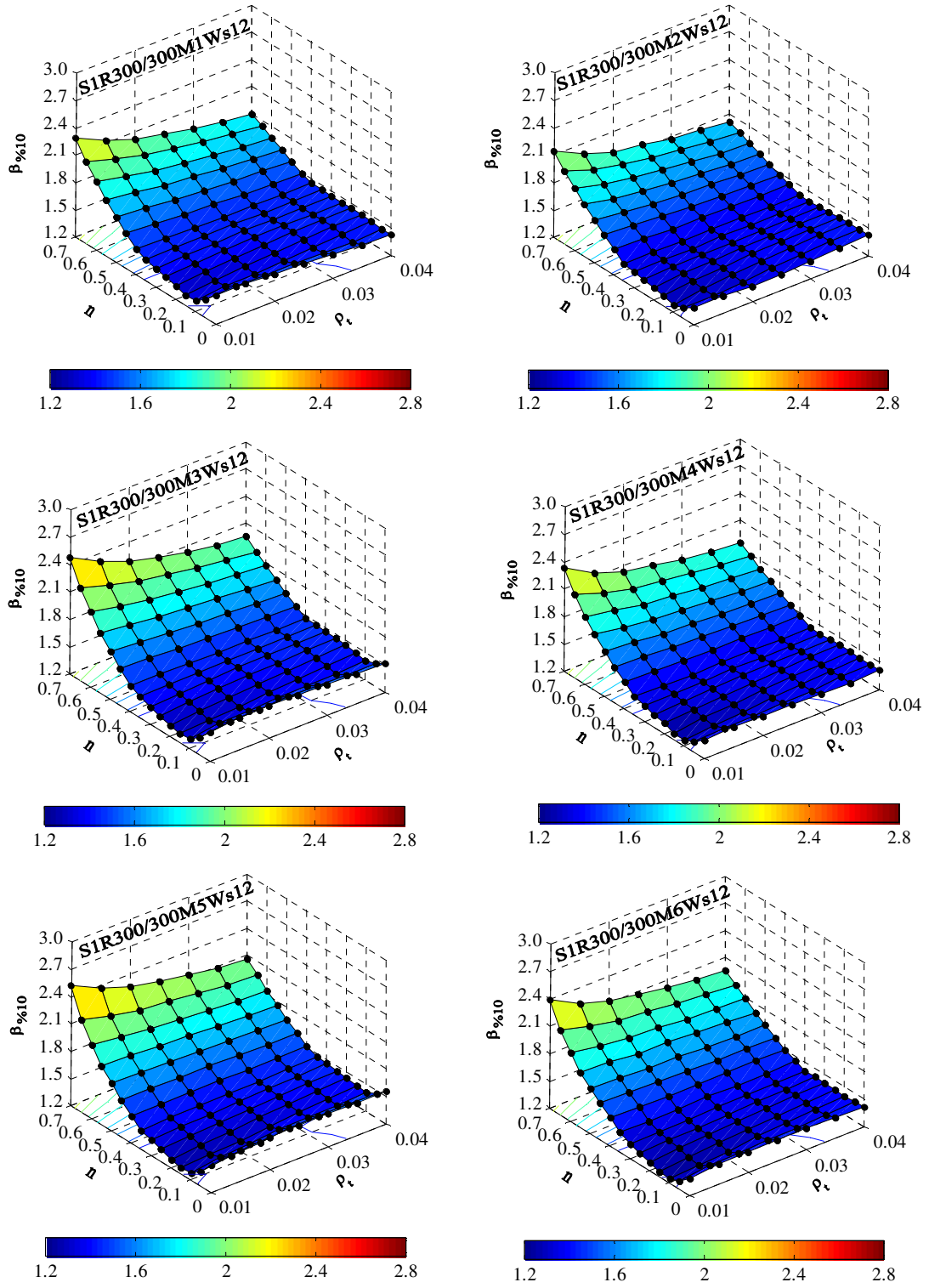
Çalışmada, $\beta_{\%10}$ katsayılarının belirlenmesinde iki aşamalı bir çözümlemeye gidilmiştir. Birinci aşamada, örnek kolon kesitleri, temel belirsizlik kaynaklarındaki değişkenlikler gözetilerek, bu çalışma için hazırlanmış olan moment-eğrilik programı yardımıyla doğrusal olmayan çözümlemeye tabi tutulmuştur. Böylece, taşıma gücü hesaplarında gözardı edilen parametrelerin (örneğin sargı etkisi vb.), malzeme dayanımı ile kesit boyutlarında gerçekleşebilecek değişkenliklerin ve analitik model belirsizliklerinin (lifli ya da şeritli modelleme) kolon moment kapasitesi üzerindeki ortak etkileri incelenmeye çalışılmıştır. Sözü edilen değişkenliklere ait sayısal çözümlemeden elde edilen sonuçlar bir önceki bölümde ayrıntılı olarak verilmişti. İkinci aşamada ise, temel belirsizlik kaynaklarının kolon moment kapasitesi üzerinde yarattığı değişkenlikler, istatistik değerlendirmeye tabi tutulup, birikimli olasılık eğrileri yardımıyla, aşılma olasılığı %10 olan dayanım artış katsayısı belirlenmiştir.

Şekil 4. 1’de, örnek bir kolon kesitinde (S2R400/400M1Ws18) belirli bir eksenel yük düzeyi ve donatı oranı değerleri için karakteristik moment taşıma gücü artış katsayılarının belirlenmesinde kullanılan iki aşamalı çözümlemenin farklı eksenel yük düzeyleri için örnekleri gösterilmiştir. Şekil 4. 1’de gösterilen aşamalı çözümlemenin ilk aşaması moment eğrilik ilişkileri yardımı ile gösterilmiştir. Örnek kolon kesitinde belirli

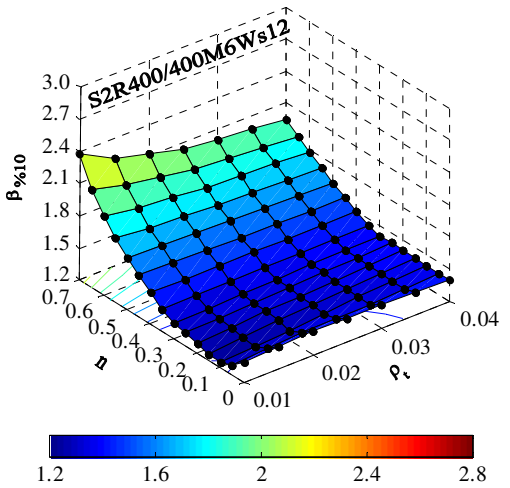
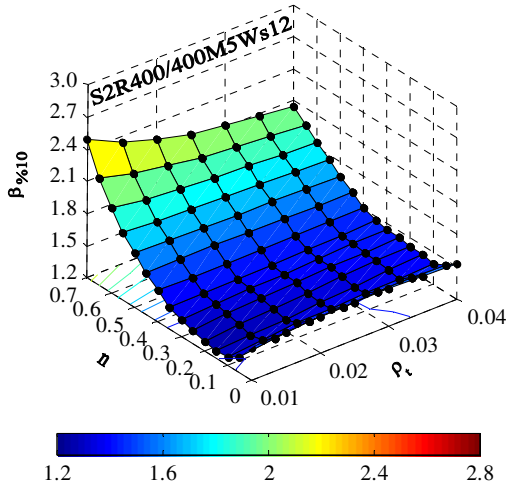
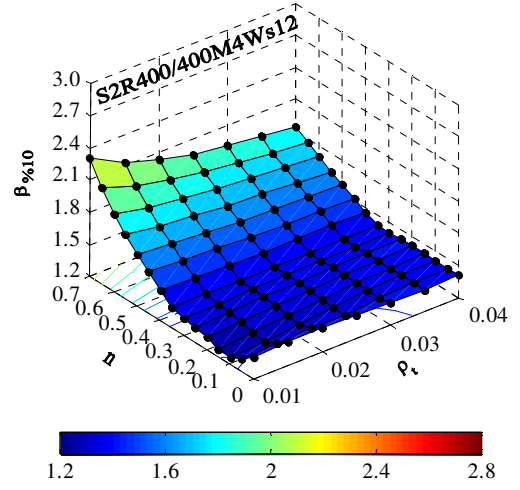
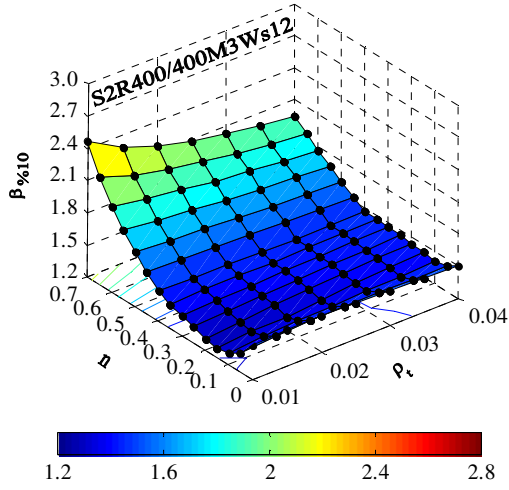
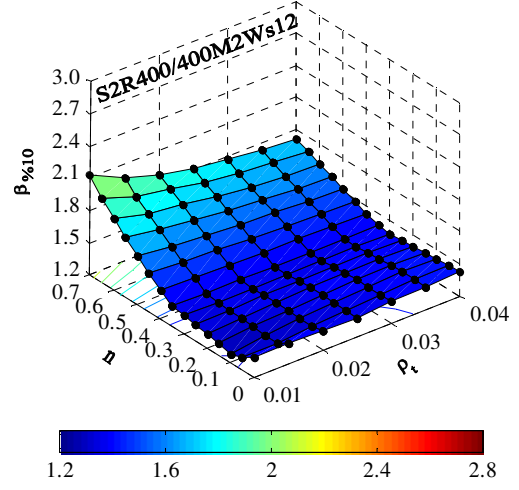
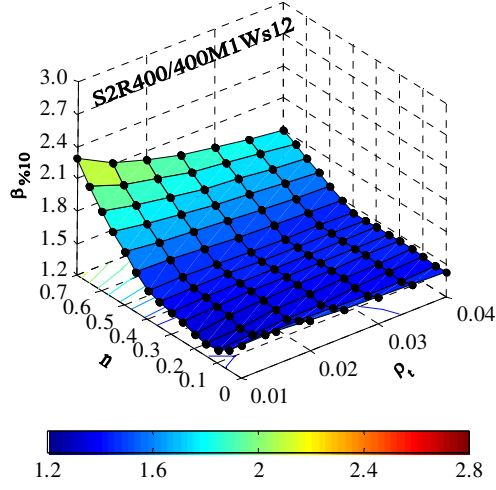
bir eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranı değerleri için Monte Carlo benzeşim yöntemi yardımıyla elde edilen moment-eğrilik ilişkilerindeki eğilme momentleri, deterministik yaklaşımla (tasarım aşamasında belirli olan karakteristik değerler yardımıyla) elde edilen karakteristik taşıma gücü momenti (M_n) ile oranlanmıştır. Ayrıca Farklı eksenel yük düzeyleri için çizilen tüm moment eğrilik ilişkilerinde, maksimum momentin karakteristik taşıma gücü momentine oranları (β) diyagram üzerinde işaretçiler ile gösterilmiş ve β katsayılarının istatistiksel bilgileri sunulmuştur. Diyagramlarda da görüleceği üzere, eksenel yük düzeyinin artan değerlerinde, maksimum moment kapasitesi veya maksimum kesme kuvvetine karşı gelen eğrilik, kesitin eğrilik kapasitesinin altında olmaktadır. İkinci aşama ise her bir moment-eğrilik ilişkilerinin yanında verilen birikimli olasılık eğrileri ile gösterilmiştir. Birinci aşamadan belirlenen istatistiksel veriler yardımıyla çizilen birikimli olasılık eğrilerinde, aşılma olasılığı %10 ve güven düzeyi %90 olan dayanım artış katsayıları ($\beta_{%10}$) belirlenerek, şekil üzerinde gösterilmiştir. Analizlerde ele alınan tüm örnek kolon kesitleri için $\beta_{%10}$ katsayılarının kolon boyutsuz eksenel yük düzeyi ve toplam boyuna donatı oranına göre değişimleri, Şekil 4. 2~4. 37'de üç boyutlu diyagramlar halinde verilmiştir.



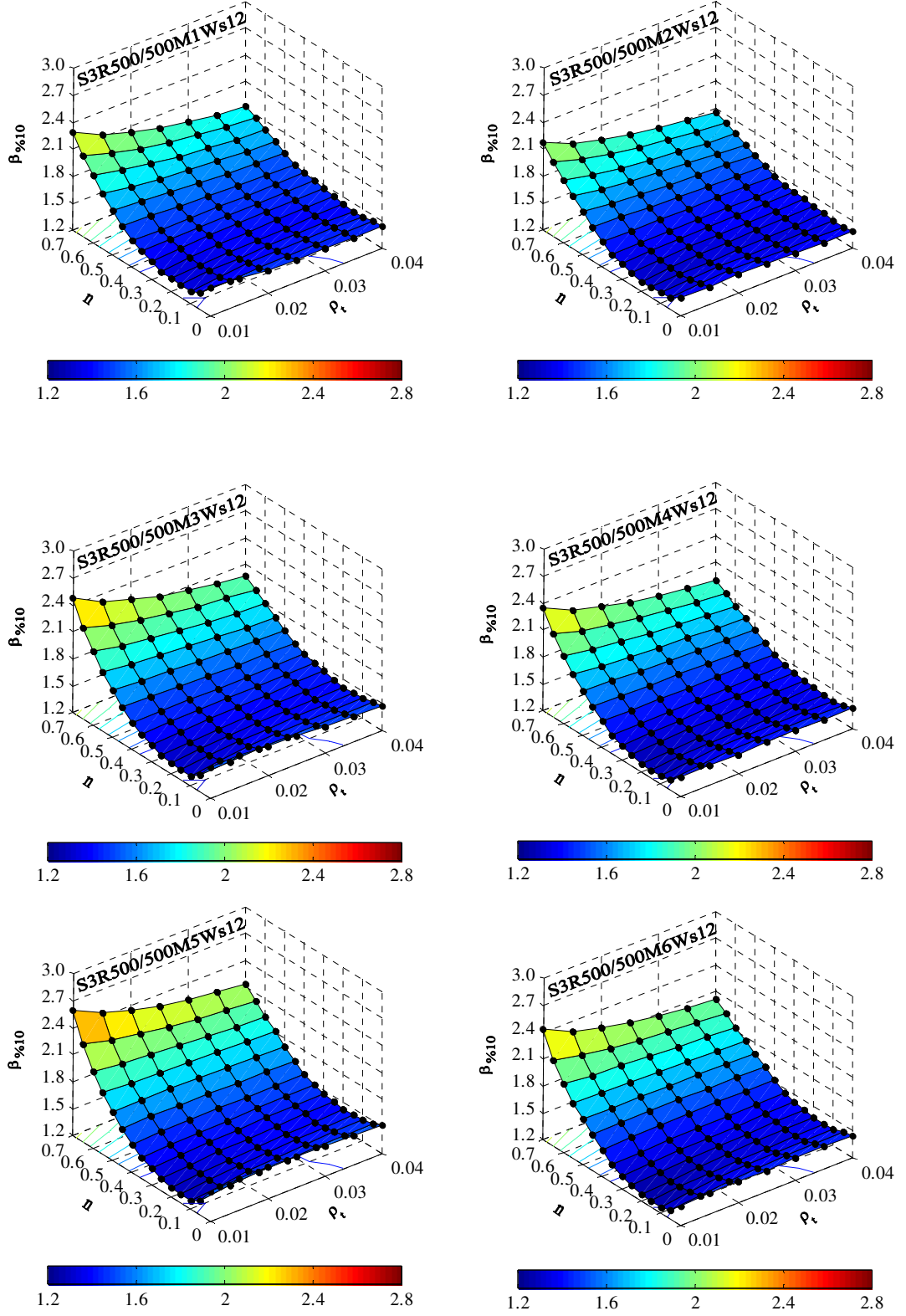
Şekil 4. 1 Örnek bir kolon kesiti için $\beta_{\%10}$ katsayılarının elde edilmesi



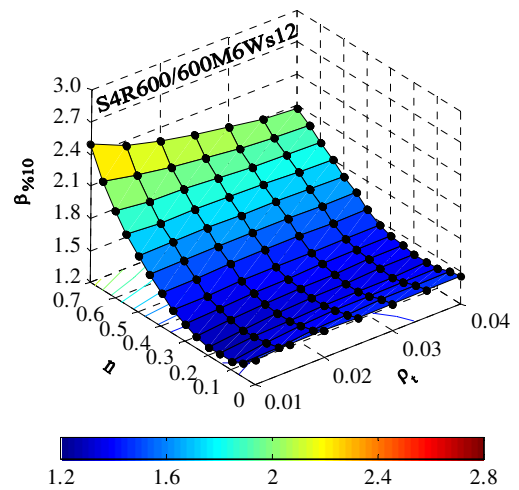
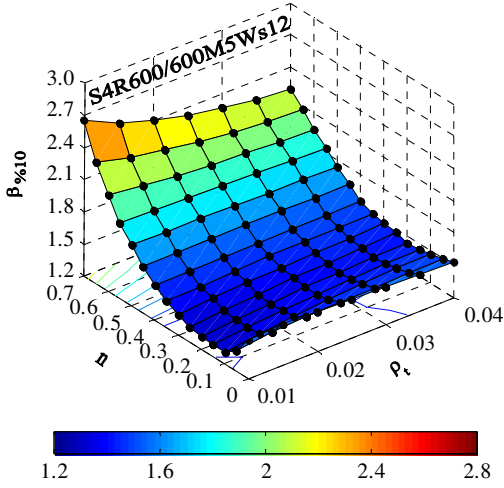
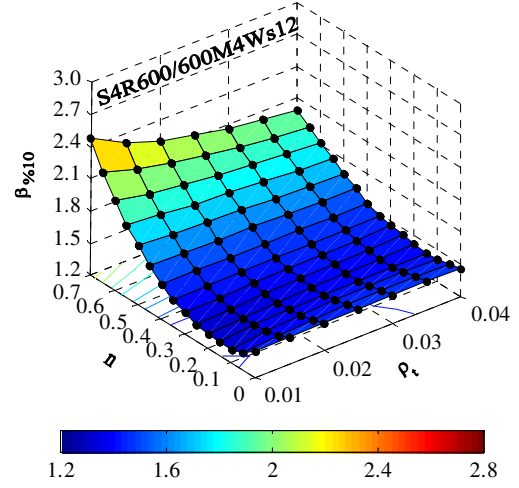
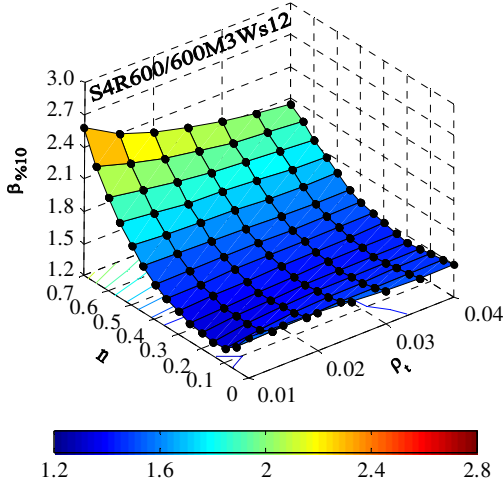
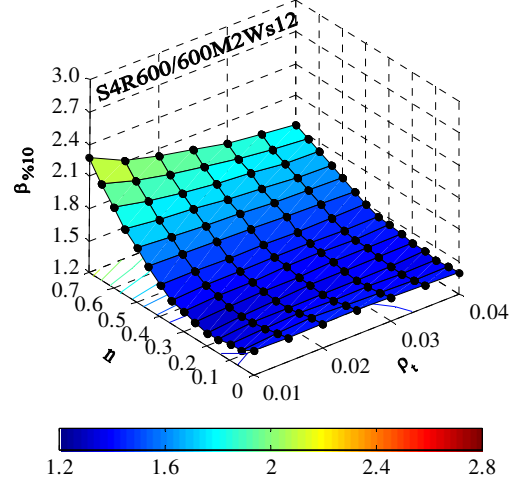
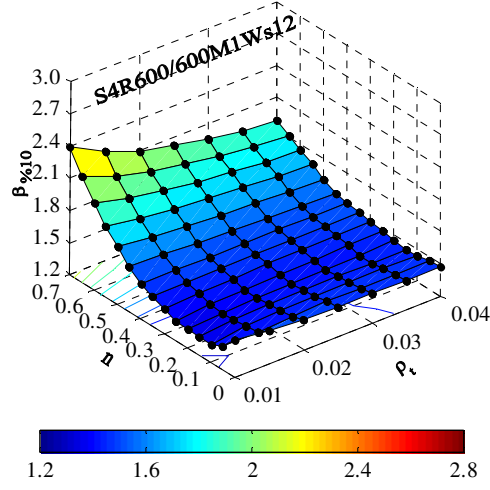
Şekil 4. 2 S1R300/300 kolonunda β_{10} (M_p/M_n) katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.12$



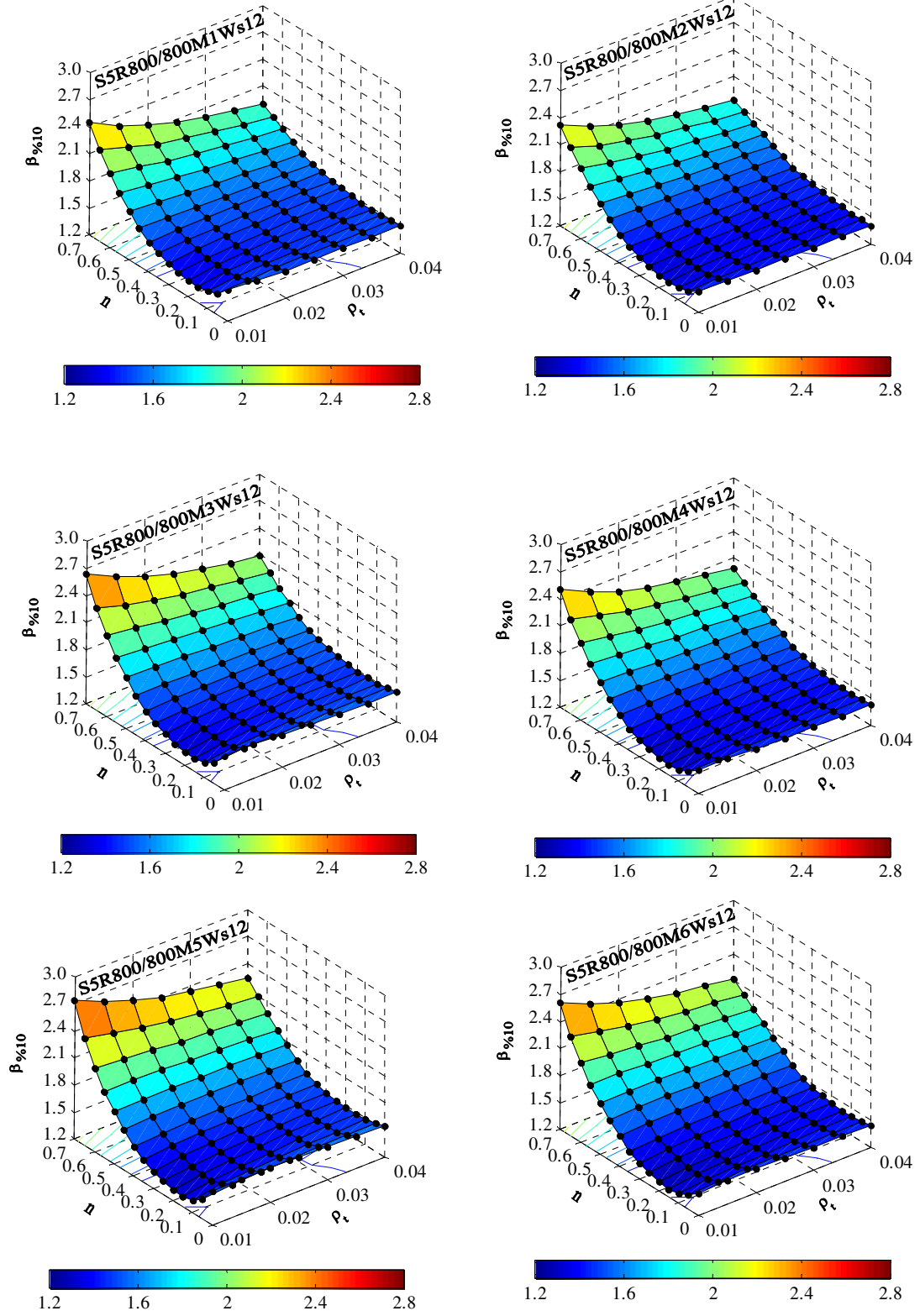
Şekil 4. 3 S2R400/400 kolonunda β_{10} (M_p/M_n) katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.12$



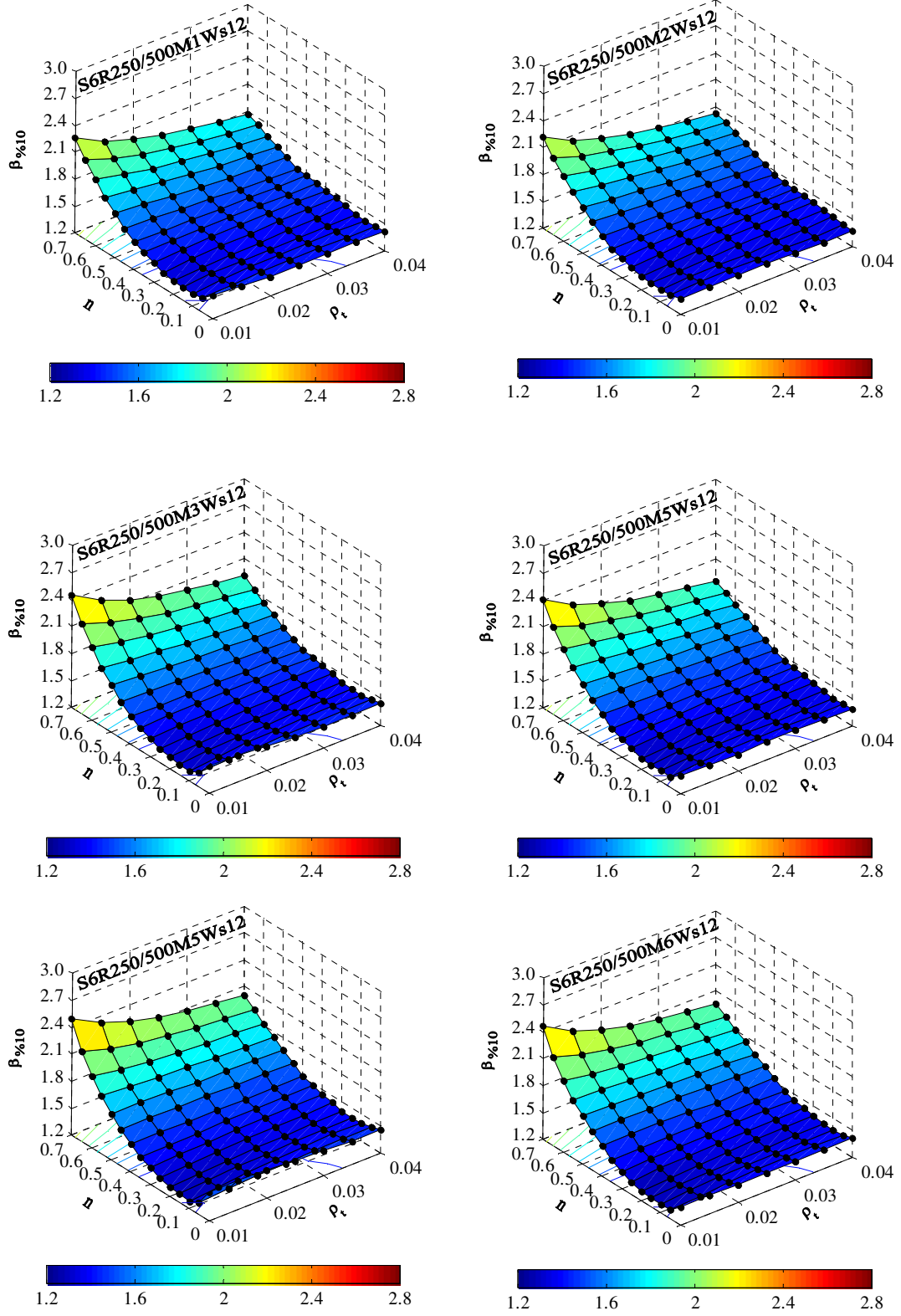
Şekil 4. 4 S3R500/500 kolonunda β_{10} (M_p/M_n) katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.12$



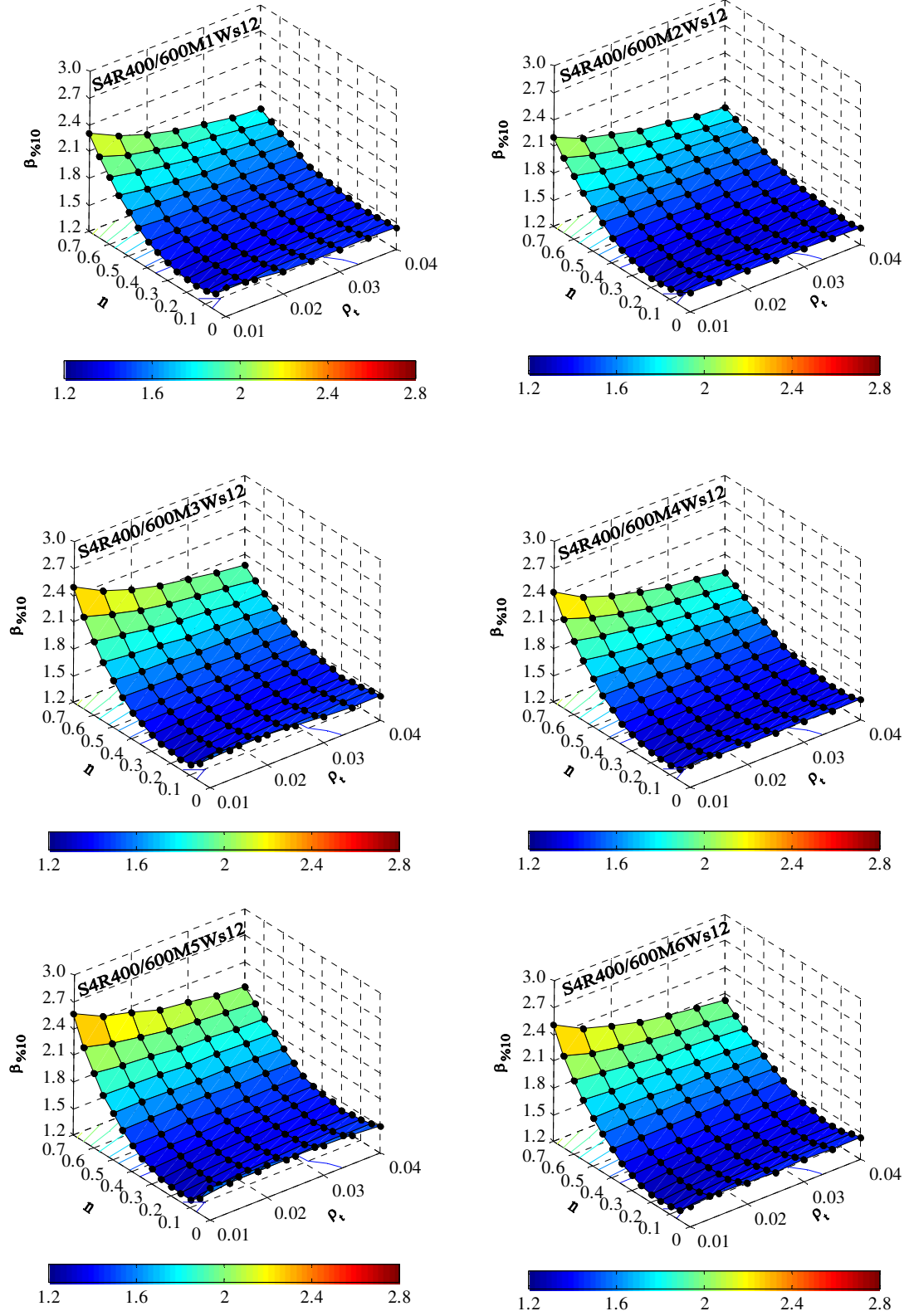
Şekil 4. 5 S4R600/600 kolonunda β_{10} (M_p/M_n) katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.12$



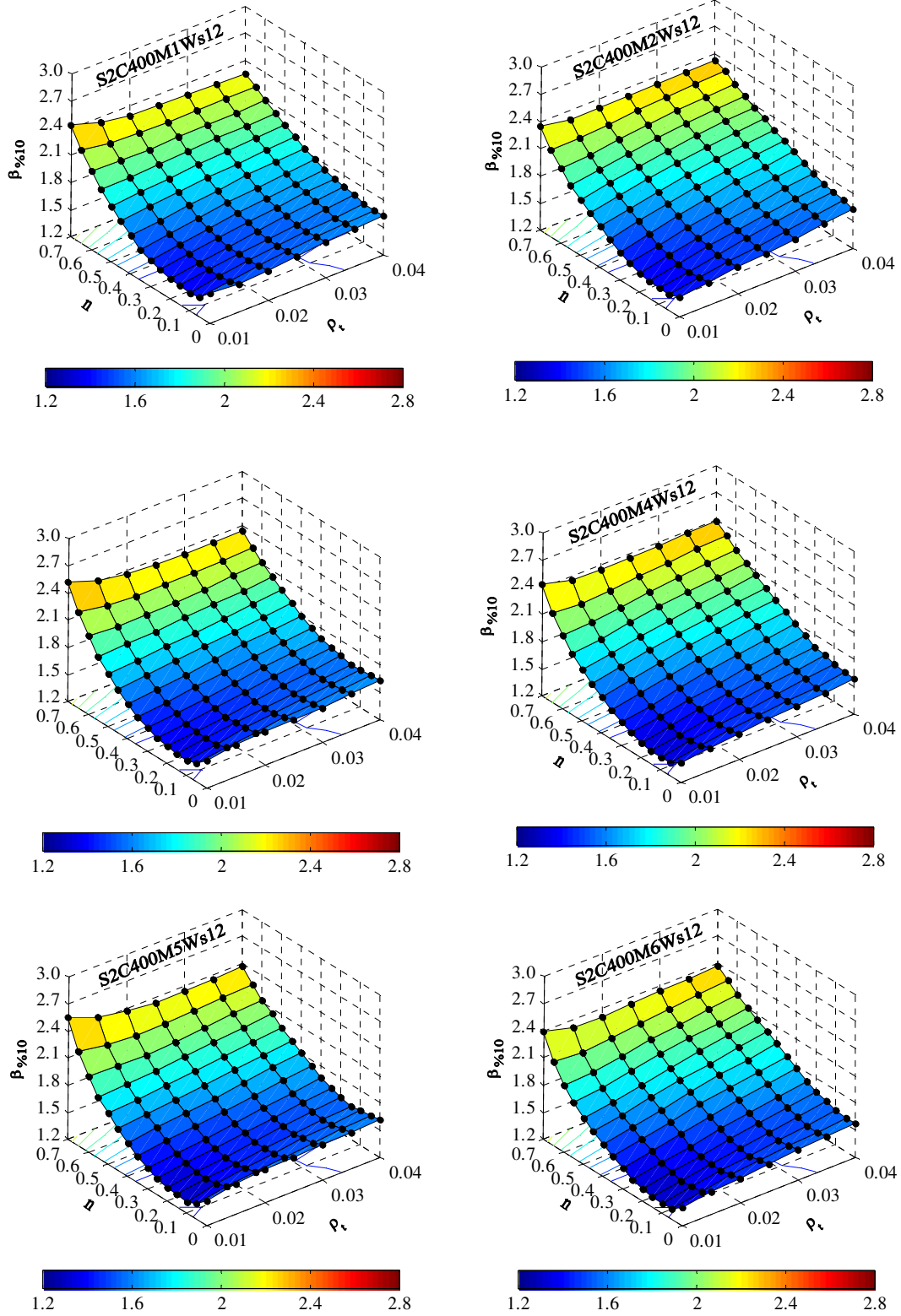
Şekil 4. 6 S5R800/800 kolonunda β_{10} (M_p/M_n) katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.12$



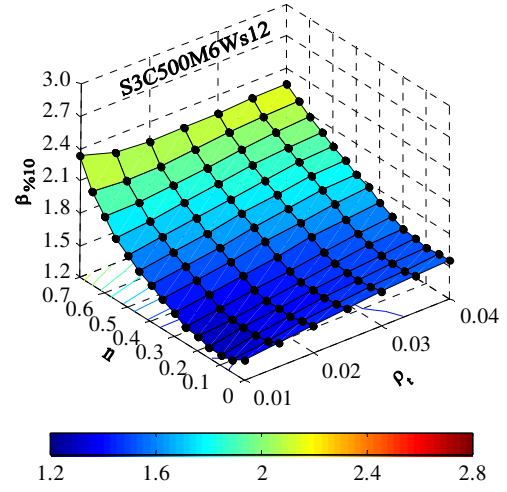
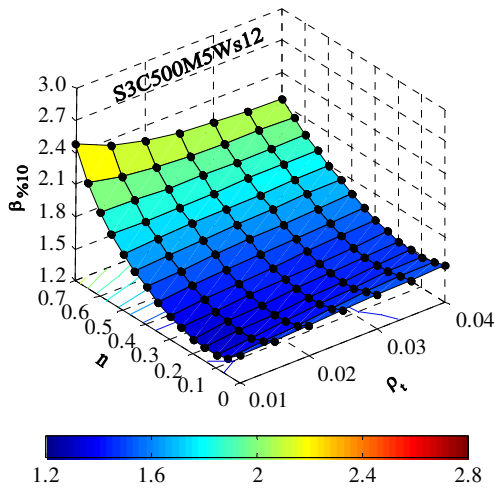
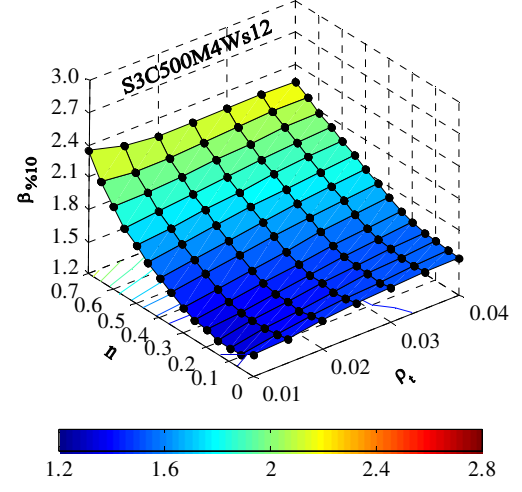
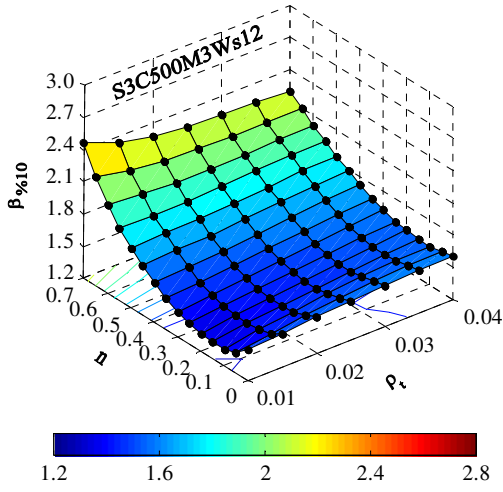
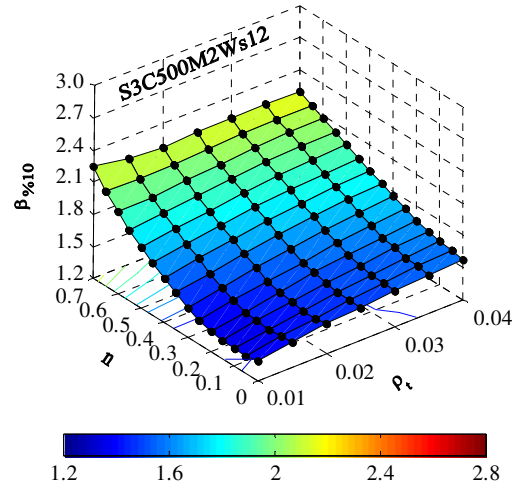
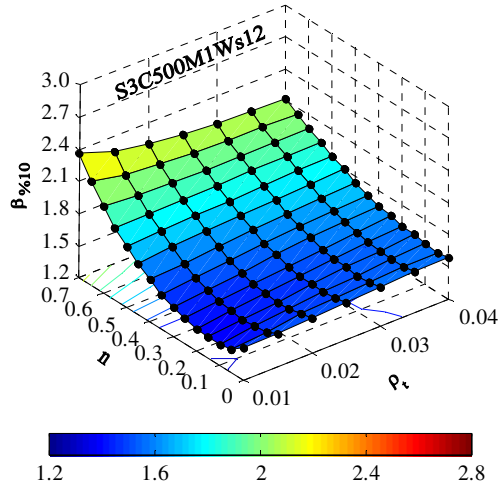
Şekil 4. 7 S6R250/500 kolonunda β_{10} (M_p/M_n) katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.12$



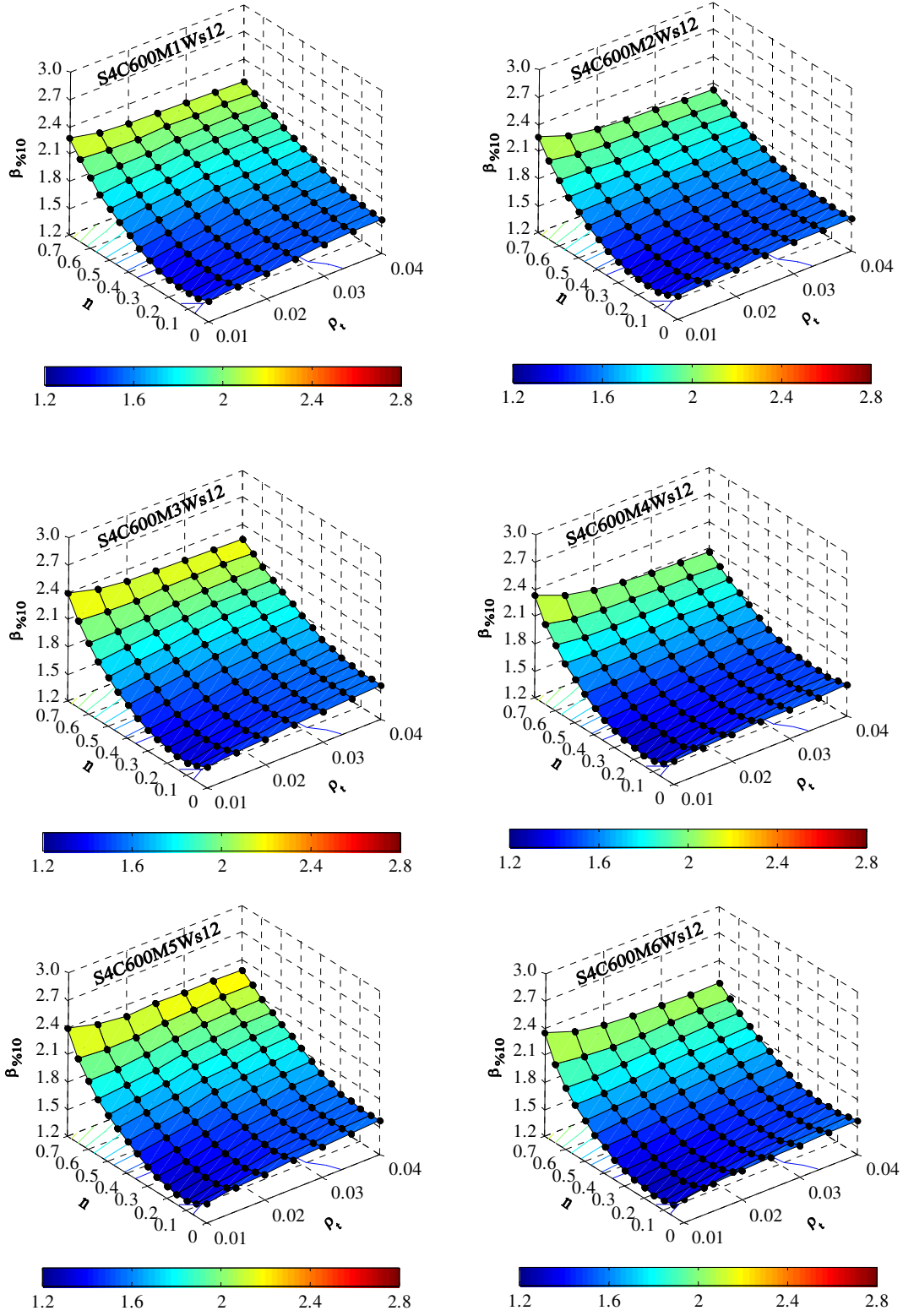
Şekil 4. 8 S4R400/600 kolonunda β_{10} (M_p/M_n) katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.12$



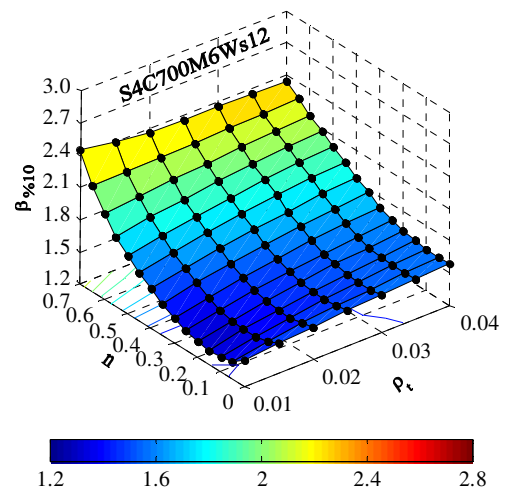
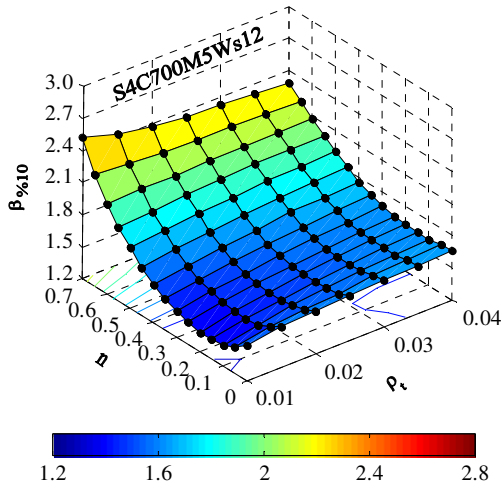
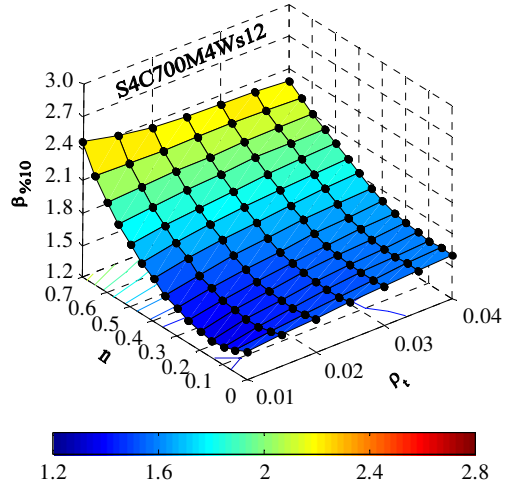
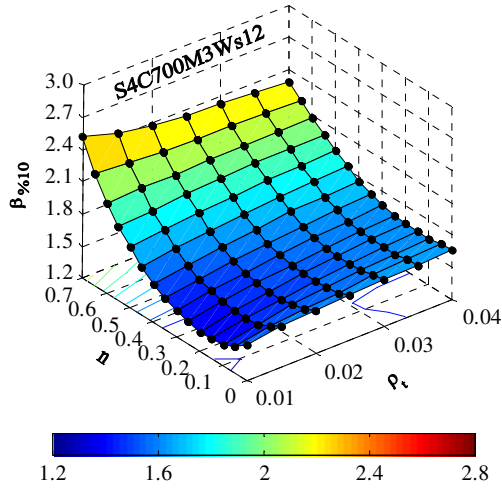
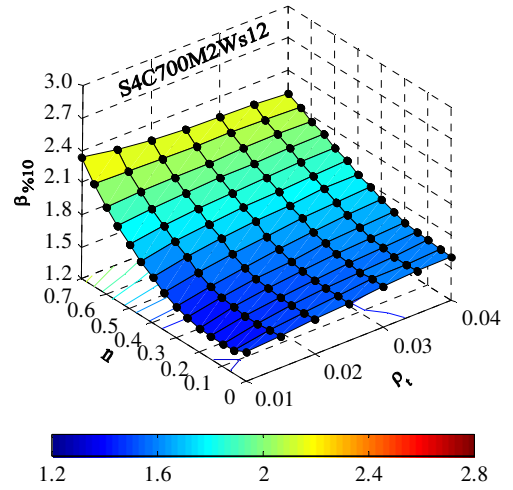
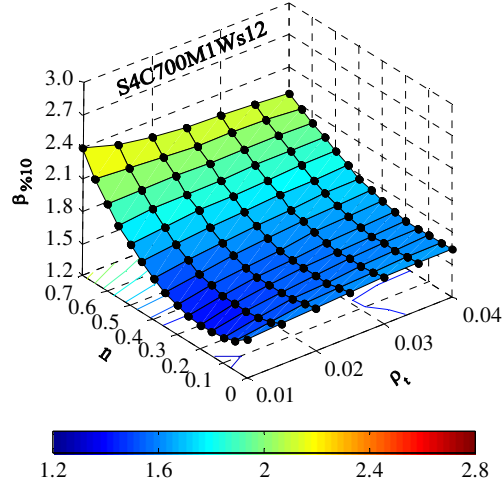
Şekil 4. 9 S2C400 kolonunda $\beta_{\%10}$ (M_p/M_n) katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.12$



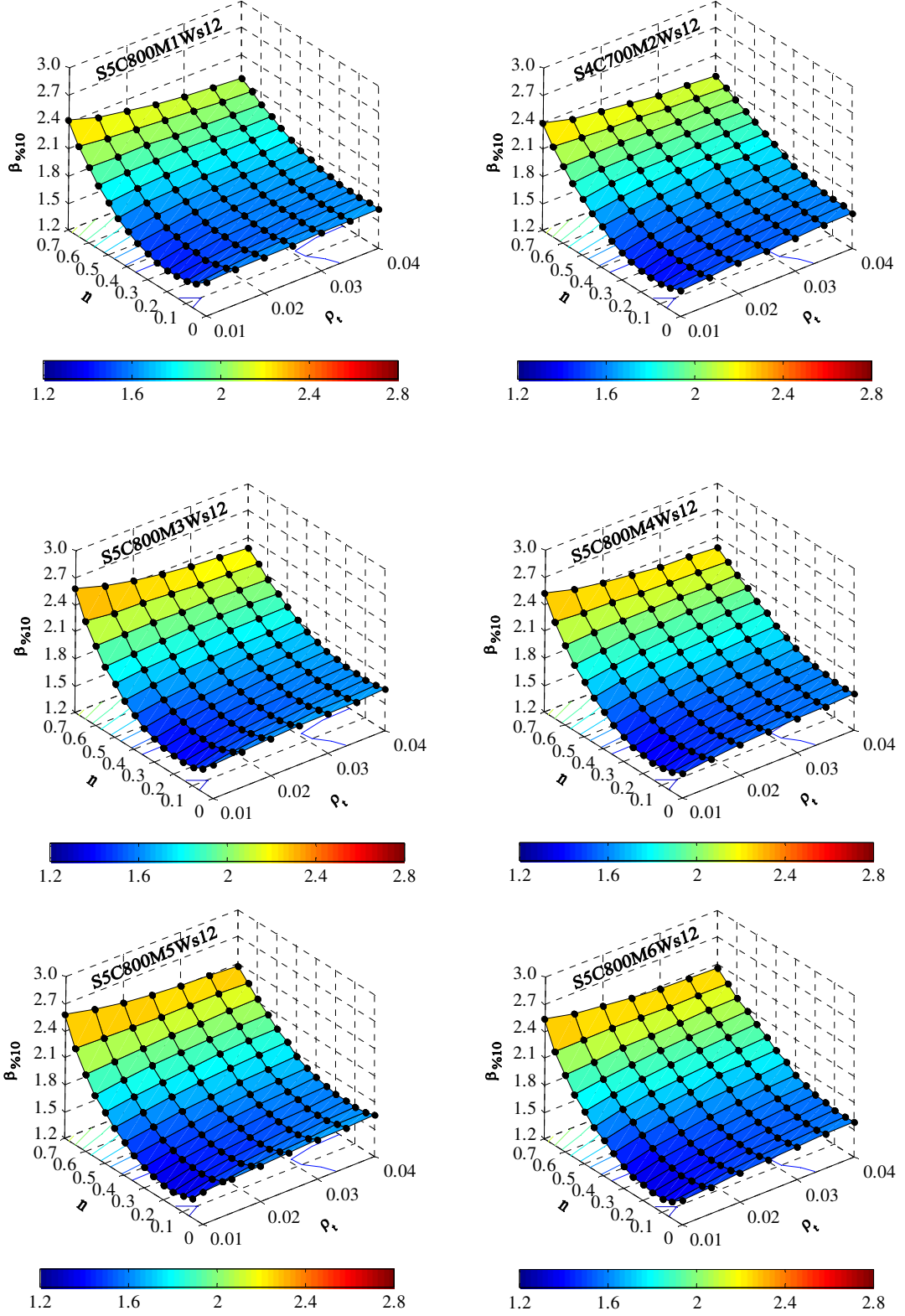
Şekil 4. 10 S3C500 kolonunda β_{10} (M_p/M_n) katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.12$



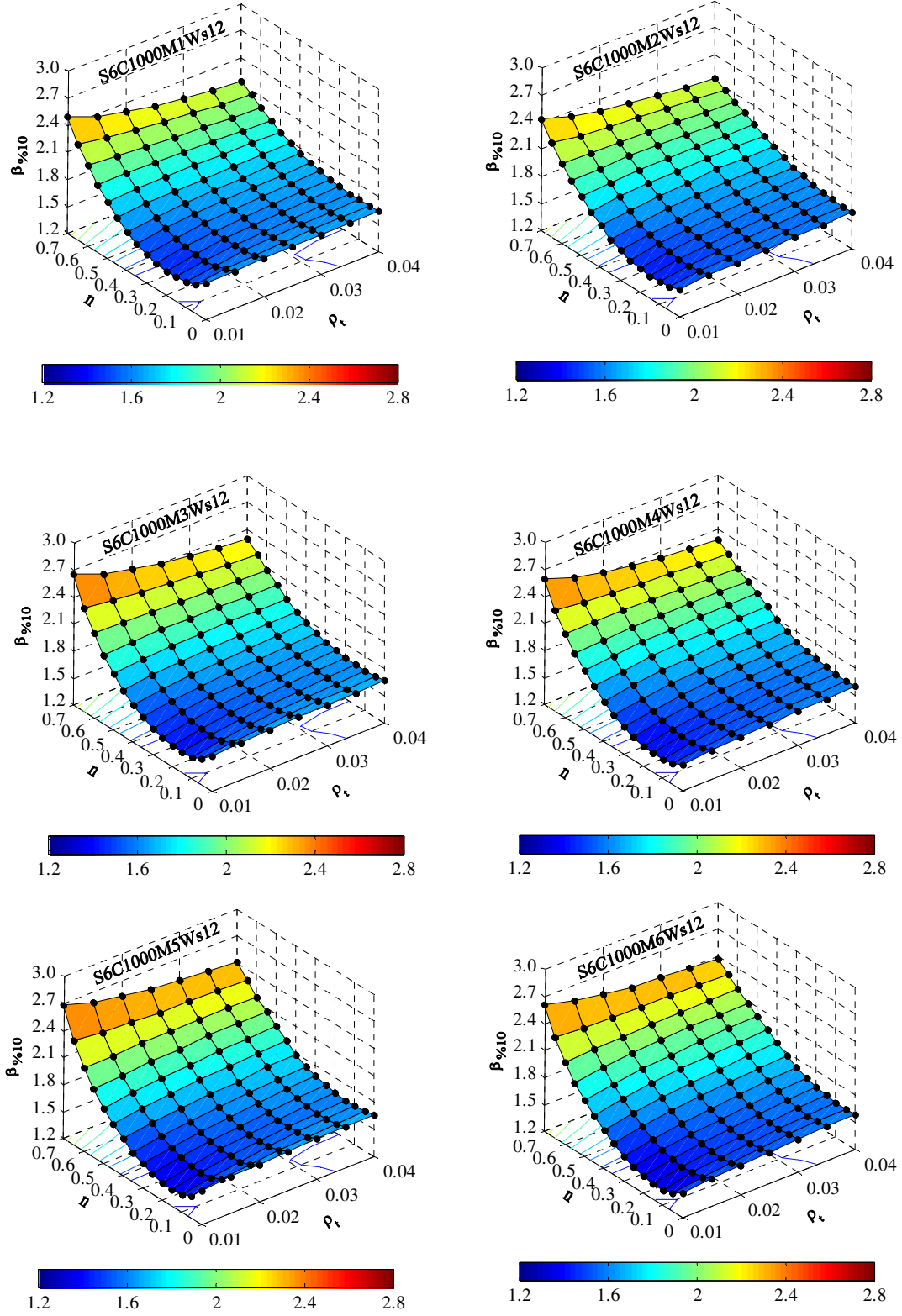
Şekil 4. 11 S4C600 kolonunda β_{10} (M_p/M_n) katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.12$



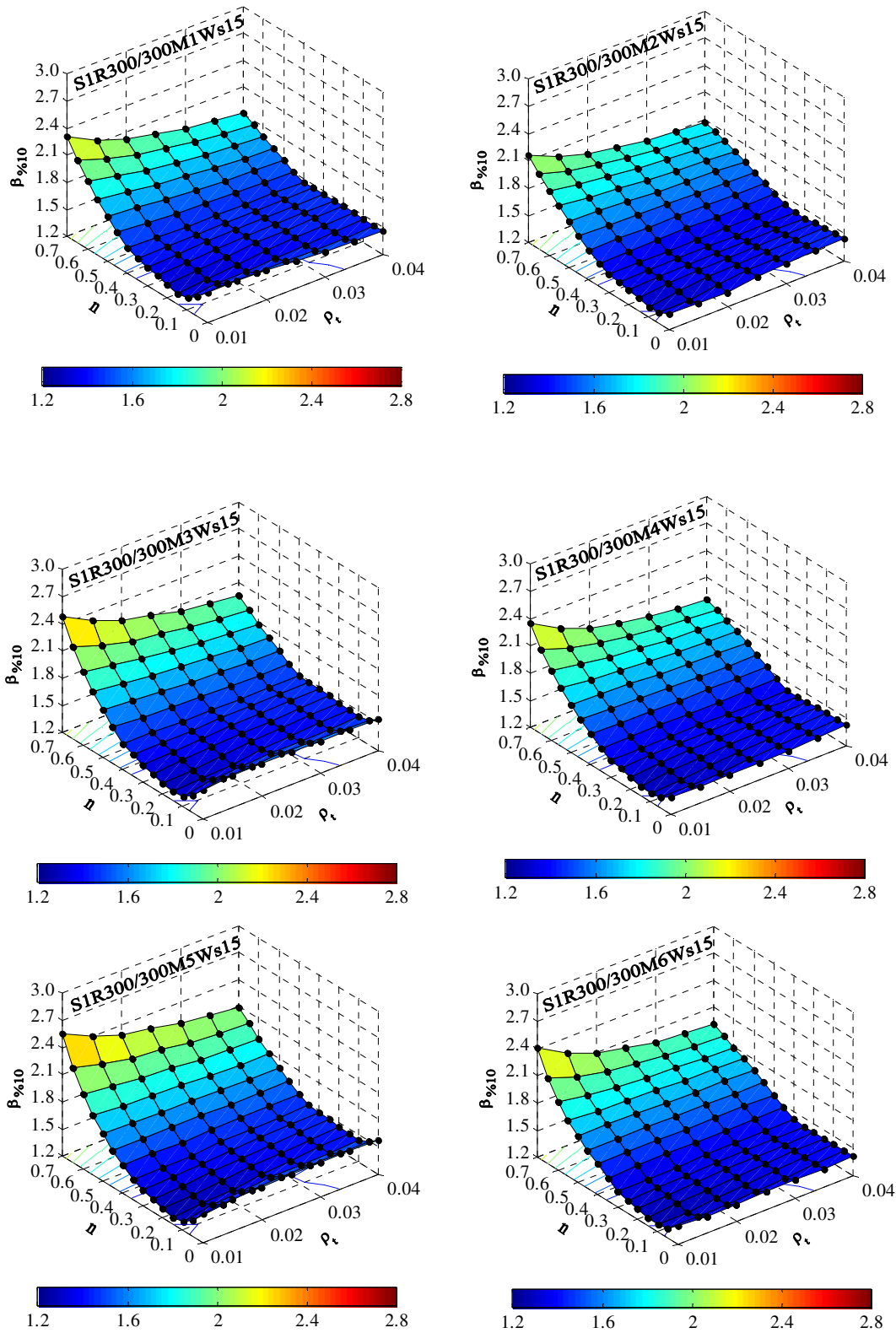
Şekil 4. 12 SAC700 kolonunda β_{10} (M_p/M_n) katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.12$



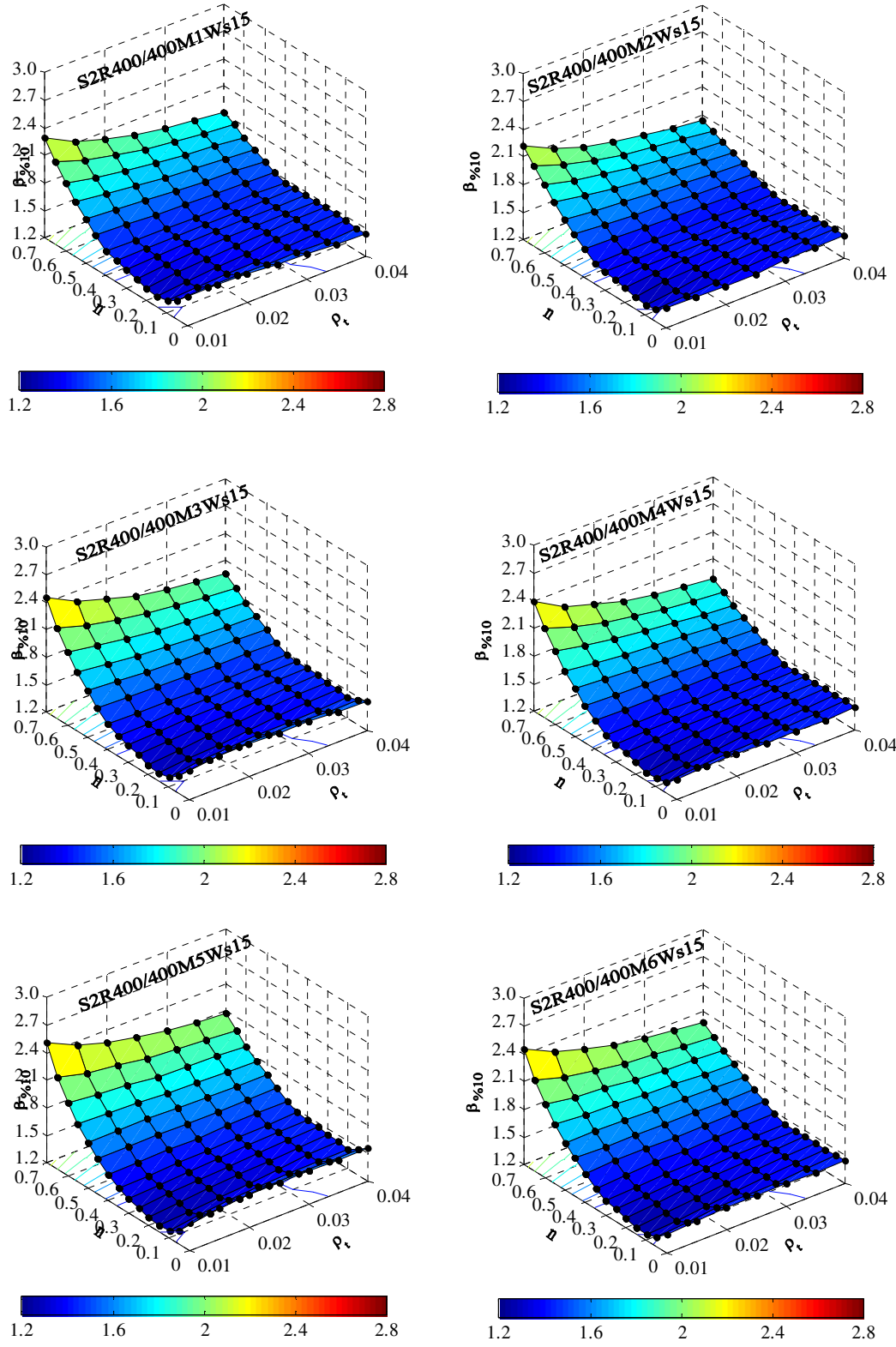
Şekil 4. 13 S5C800 kolonunda $\beta_{\%10}$ (M_p/M_n) katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.12$



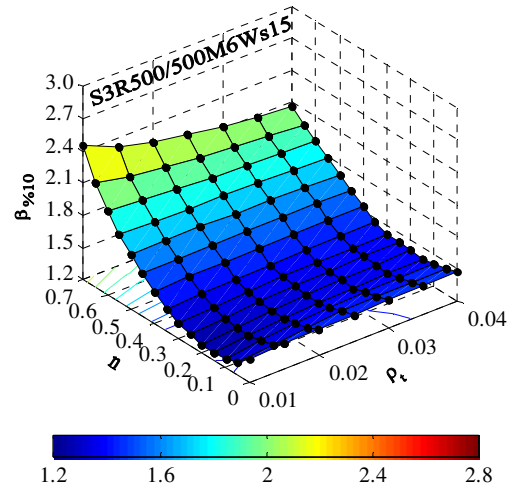
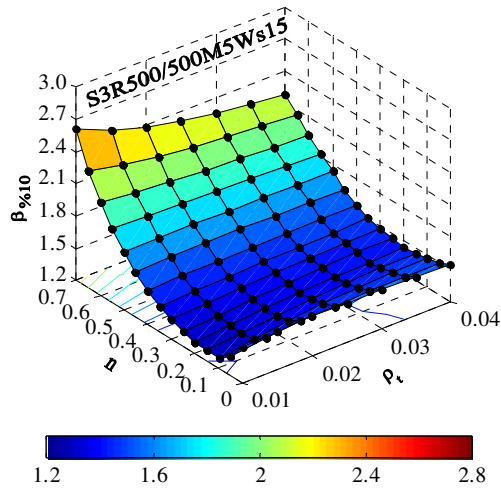
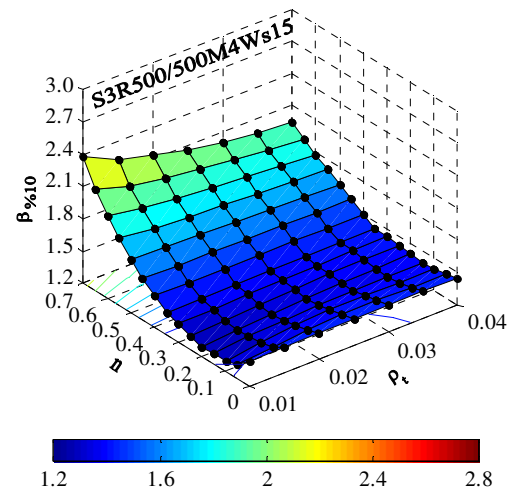
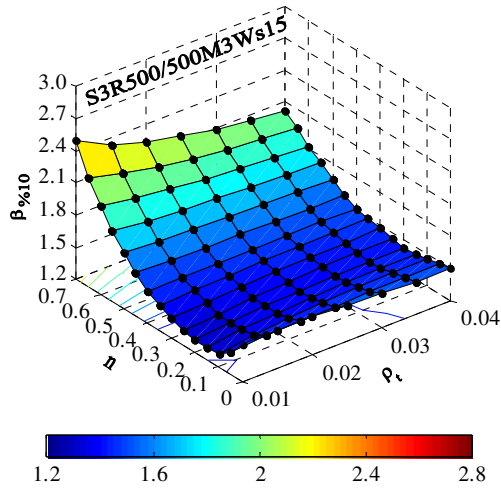
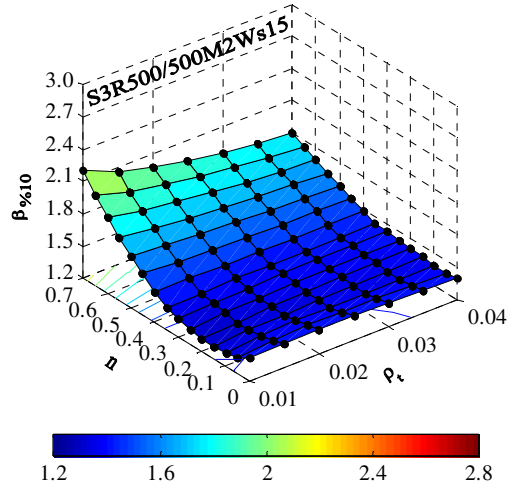
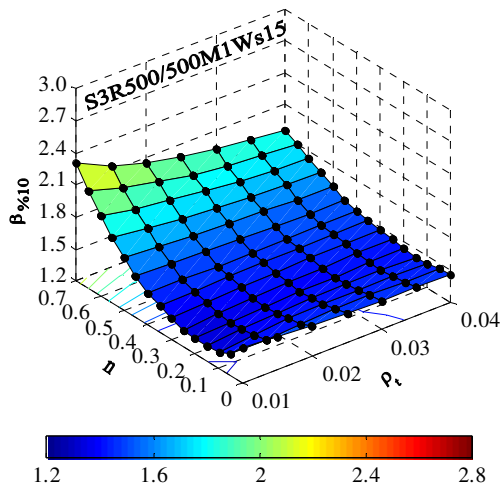
Şekil 4. 14 S6C1000 kolonunda β_{10} (M_p/M_n) katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.12$



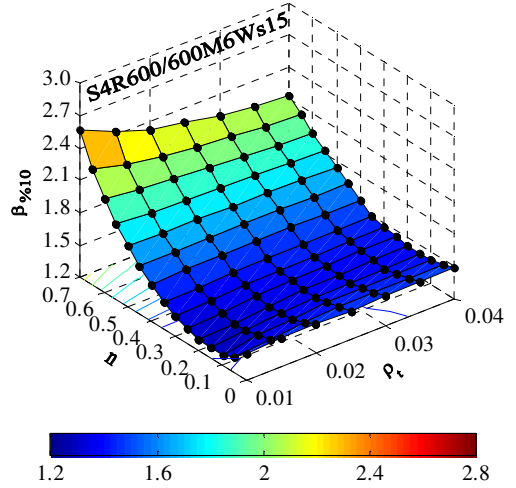
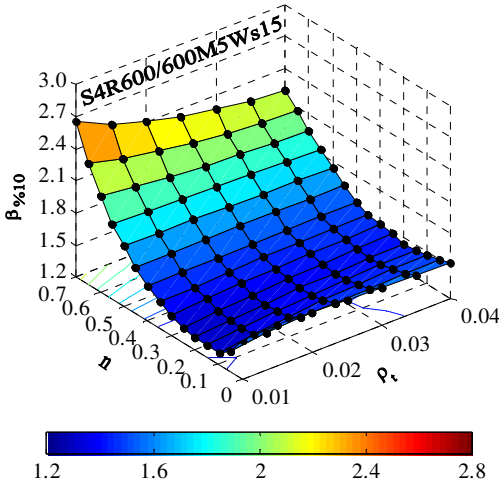
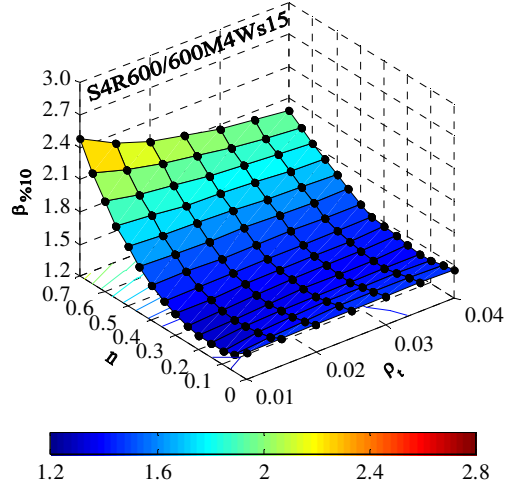
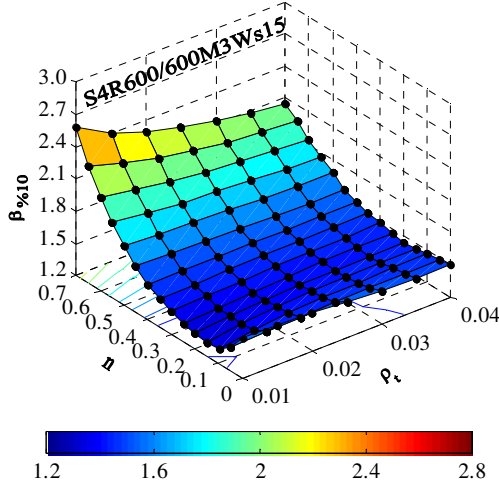
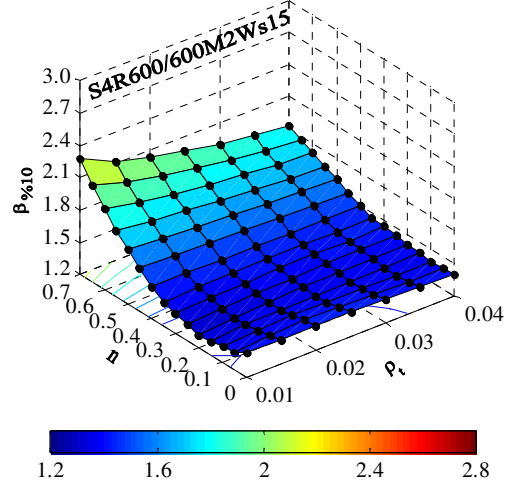
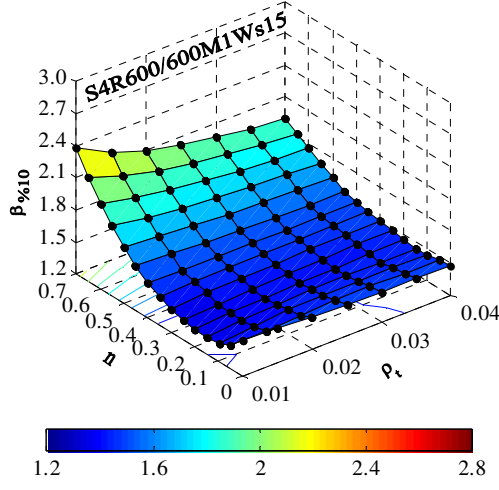
Şekil 4. 15 S1R300/300 kolonunda $\beta_{\%10}$ (M_p/M_n) katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.15$



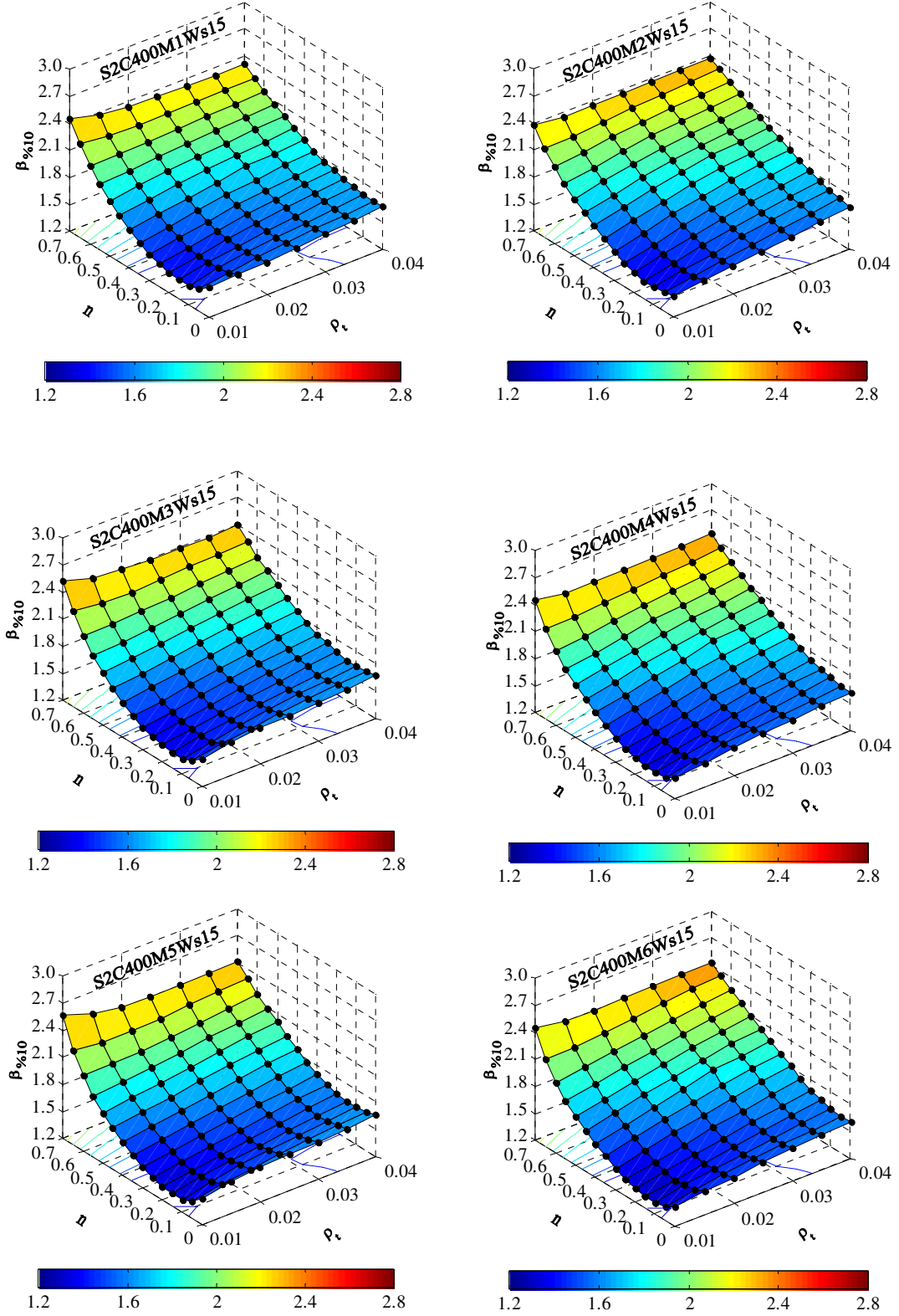
Şekil 4. 16 S2R400/400 kolonunda β_{10} (M_p/M_n) katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.15$



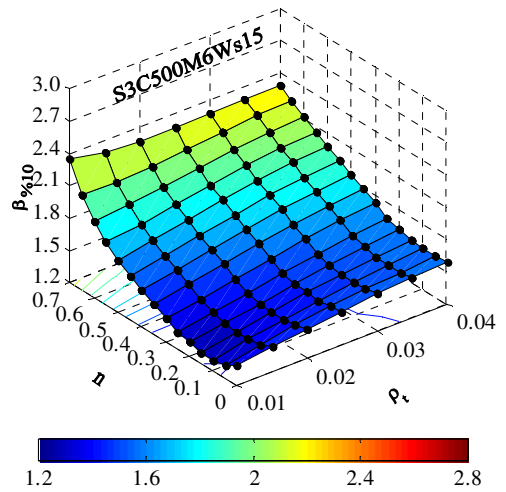
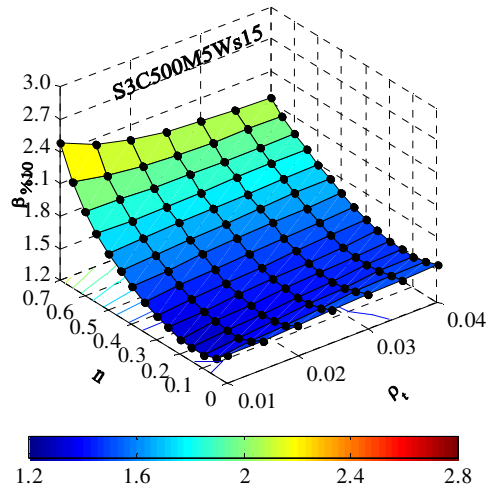
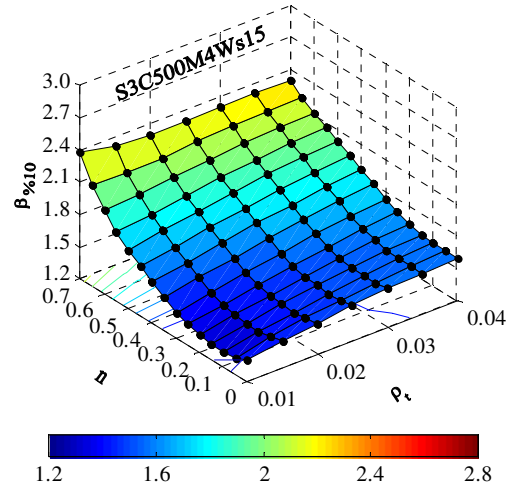
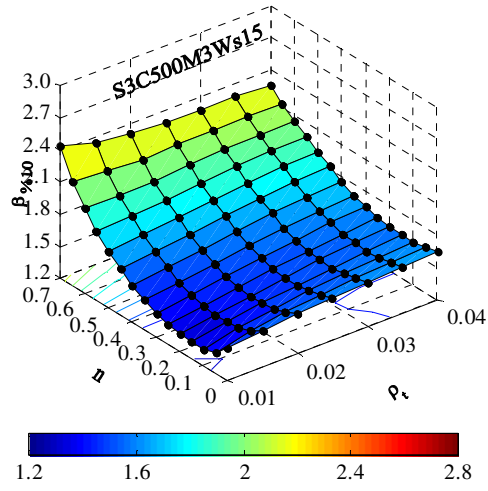
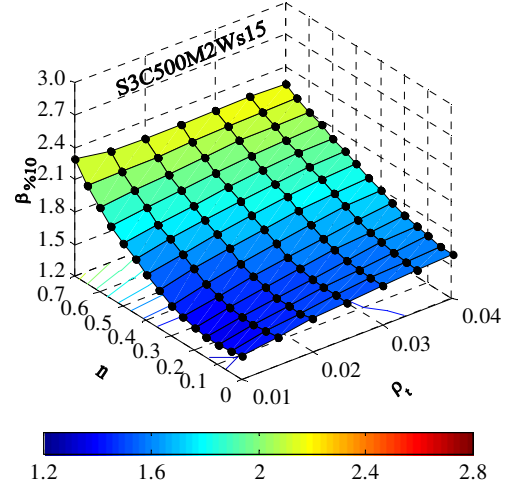
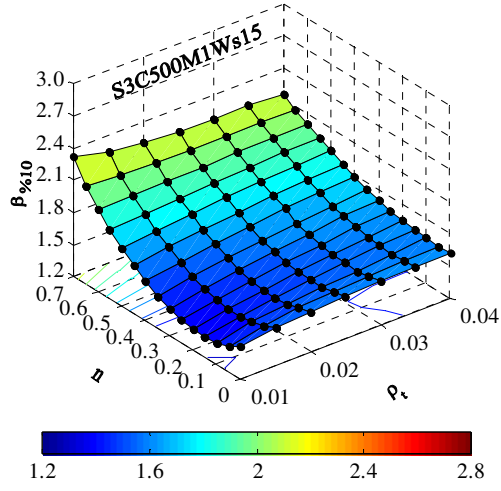
Şekil 4. 17 S3R500/500 kolonunda β_{10} (M_p/M_n) katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.15$



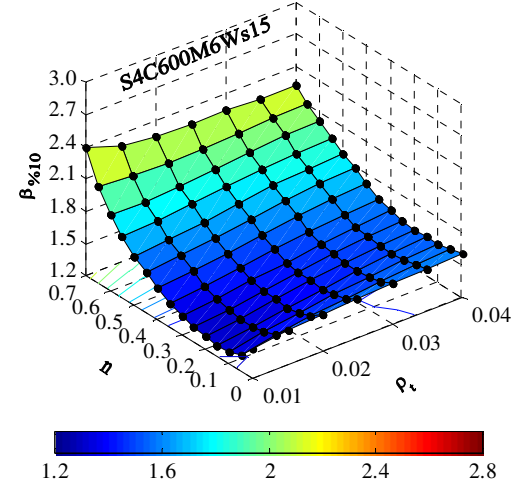
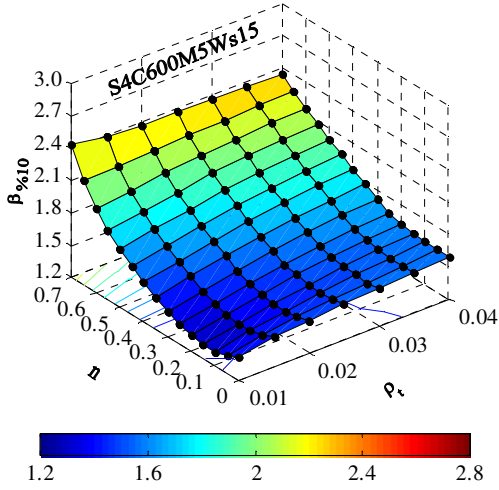
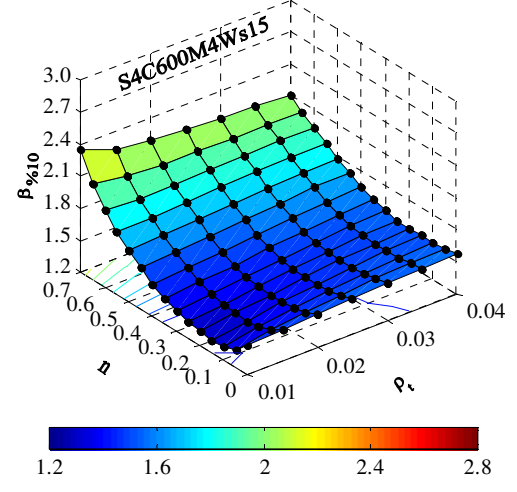
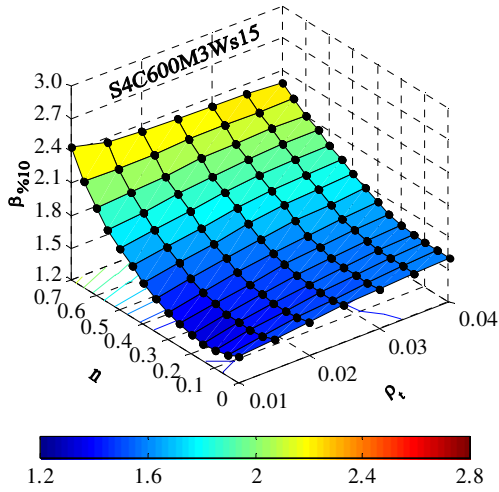
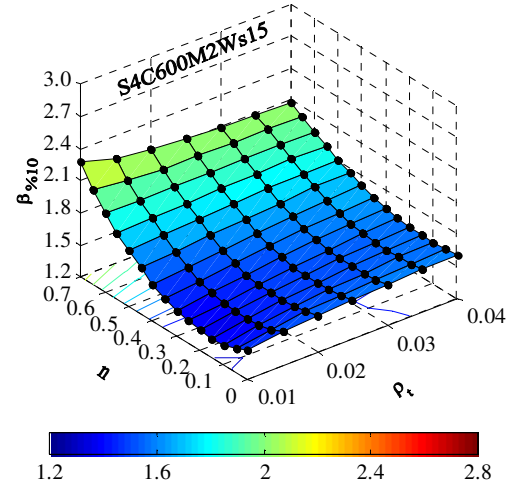
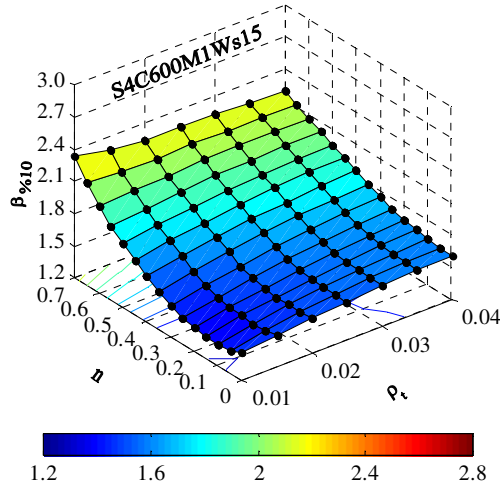
Şekil 4. 18 S4R600/600 kolonunda β_{10} (M_p/M_n) katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.15$



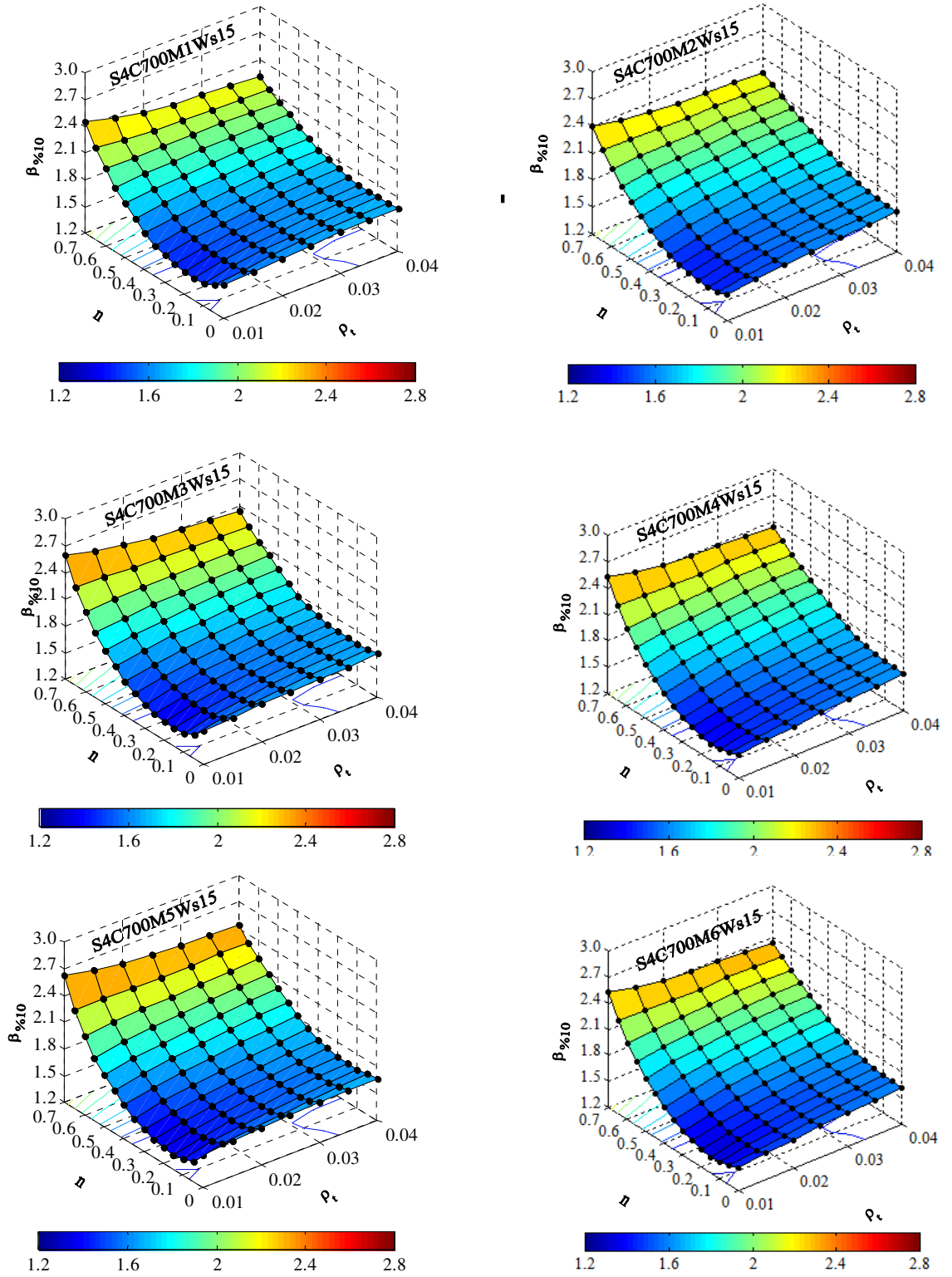
Şekil 4. 19 S2C400 kolonunda β_{10} (M_p/M_n) katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.15$



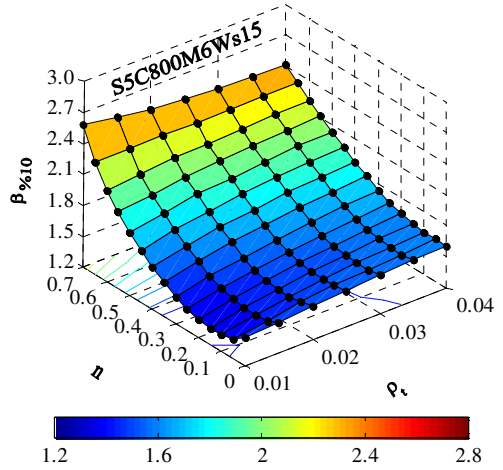
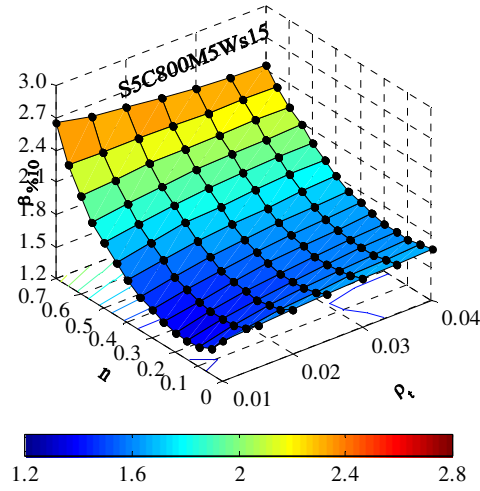
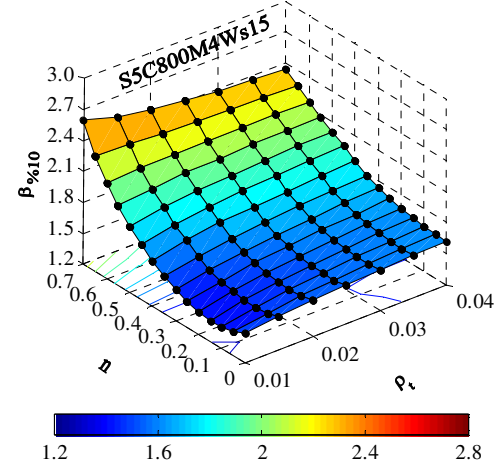
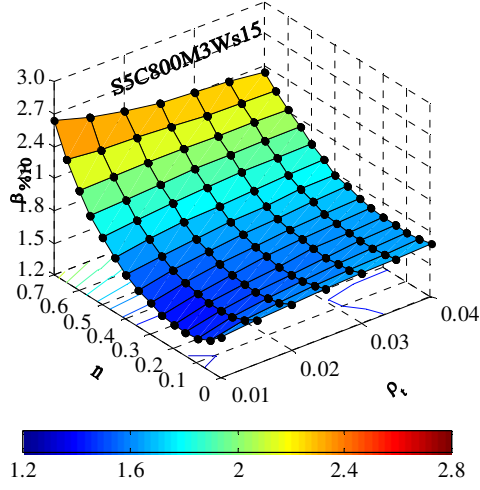
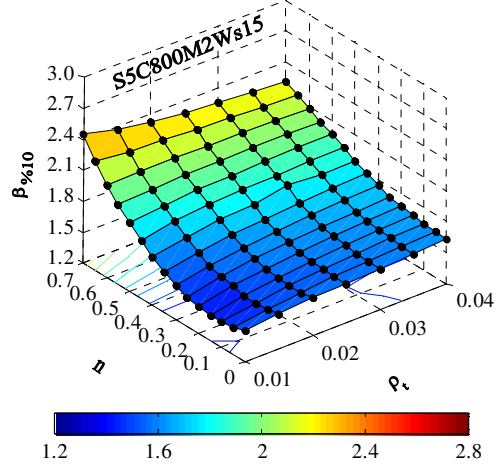
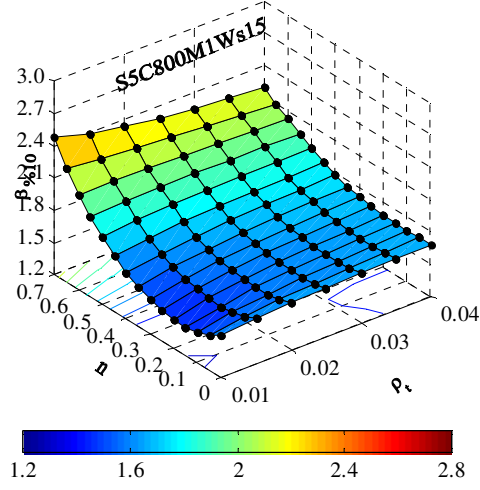
Şekil 4. 20 S3C500 kolonunda β_{10} (M_p/M_n) katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.15$



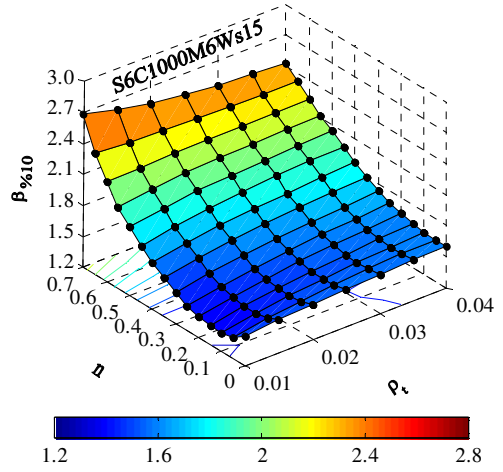
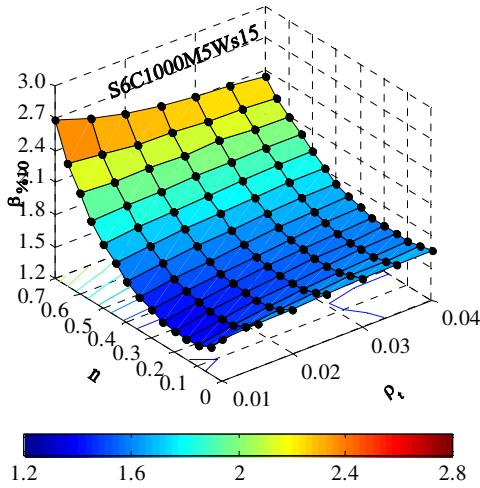
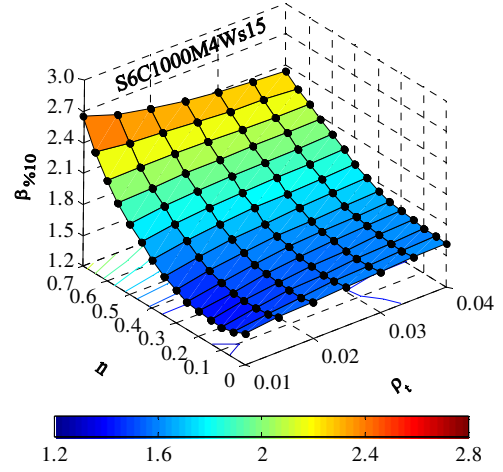
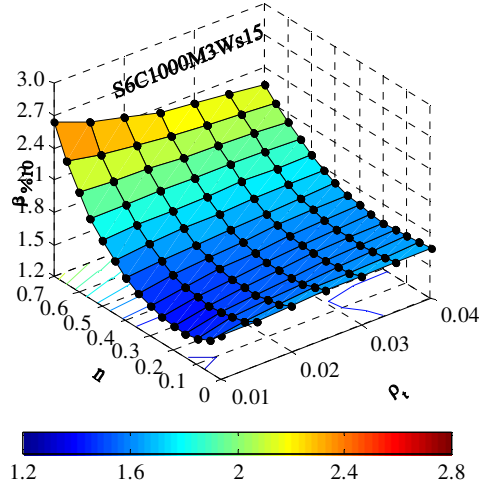
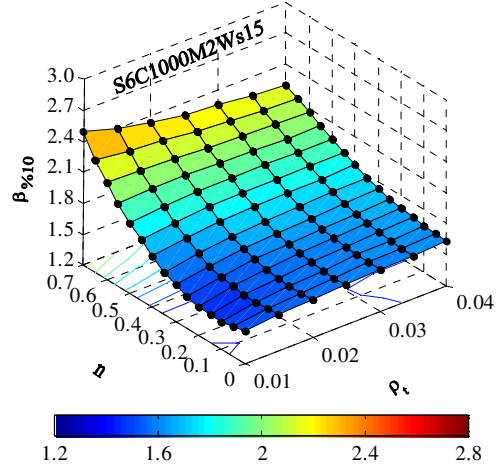
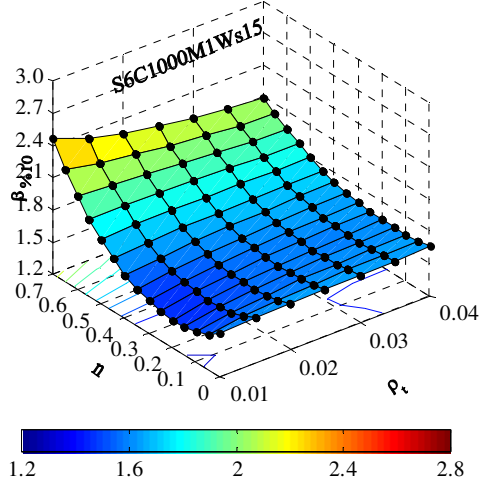
Şekil 4. 21 S4C600 kolonunda β_{10} (M_p/M_n) katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.15$



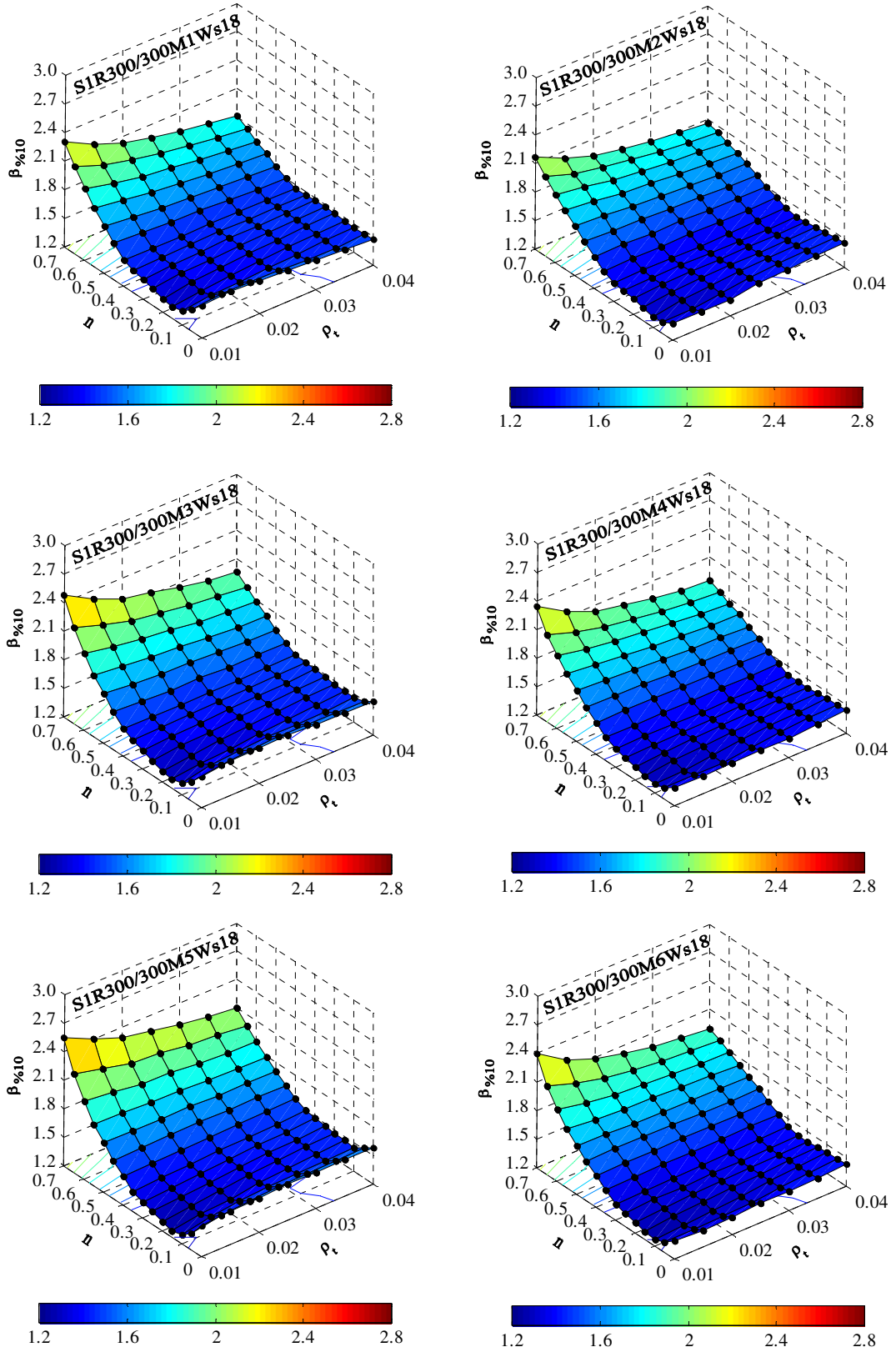
Şekil 4. 22 SAC700 kolonunda β_{10} (M_p/M_n) katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.15$



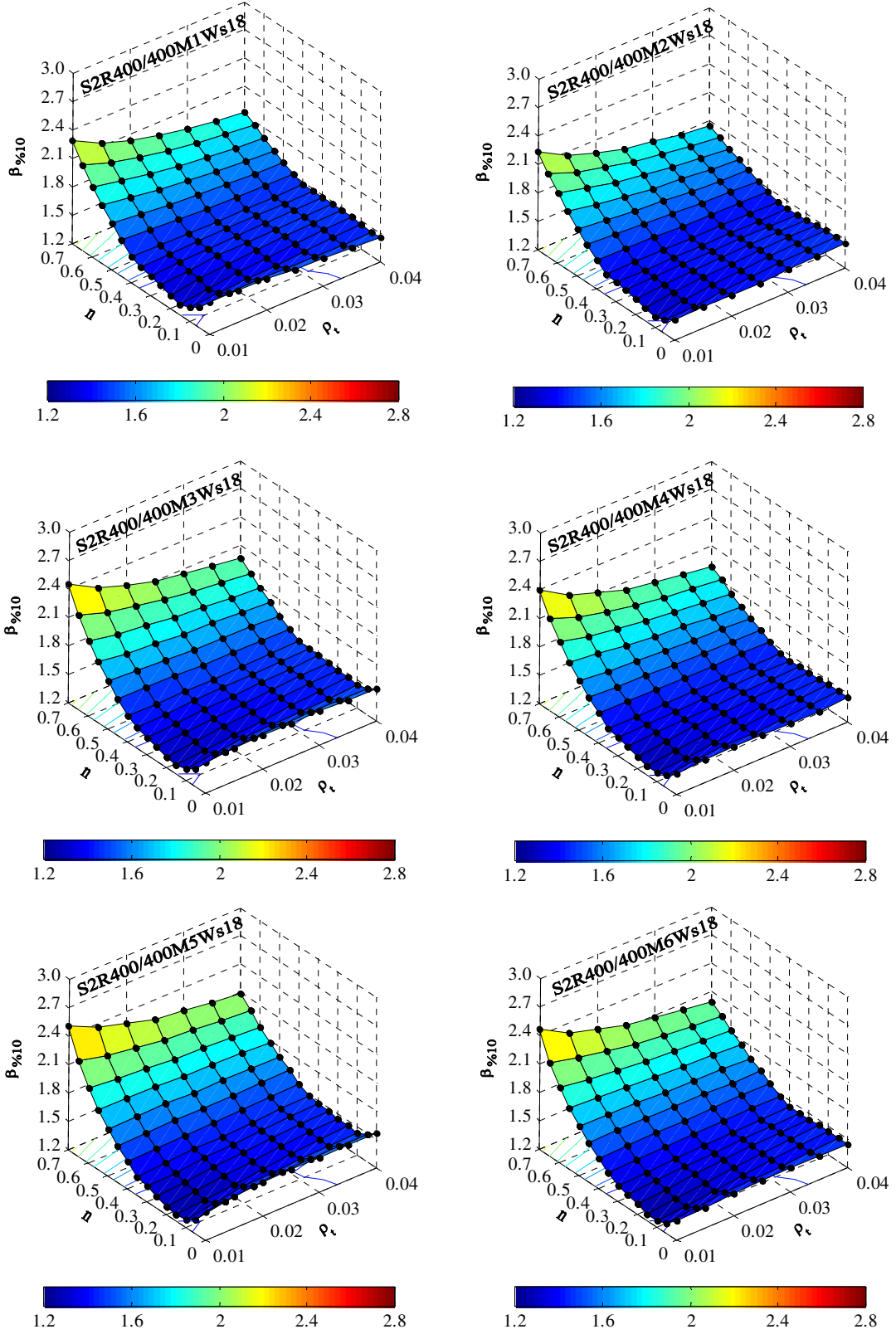
Şekil 4. 23 S5C800 kolonunda β_{10} (M_p/M_n) katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.15$



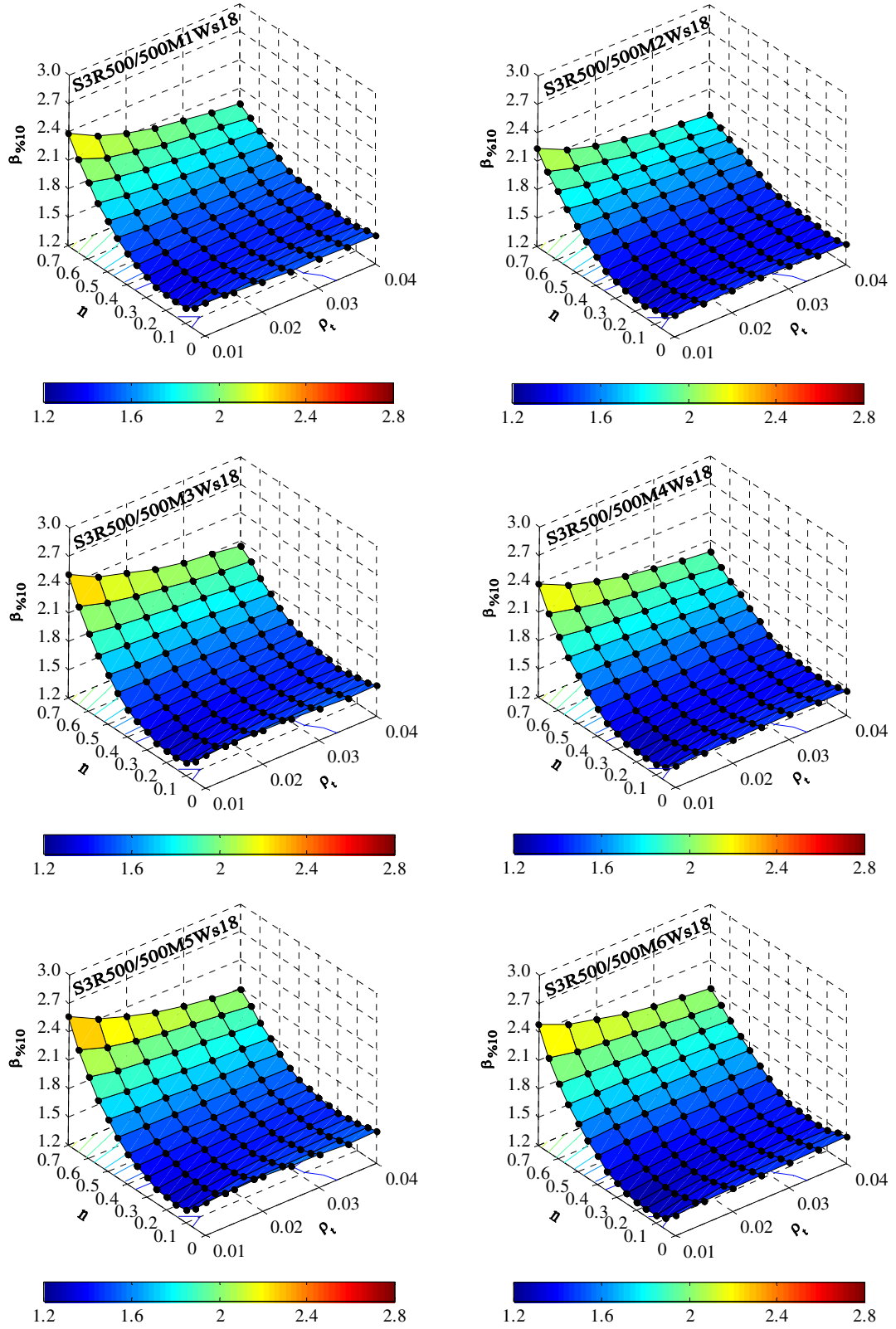
Şekil 4. 24 S6C1000 kolonunda β_{10} (M_p/M_n) katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.15$



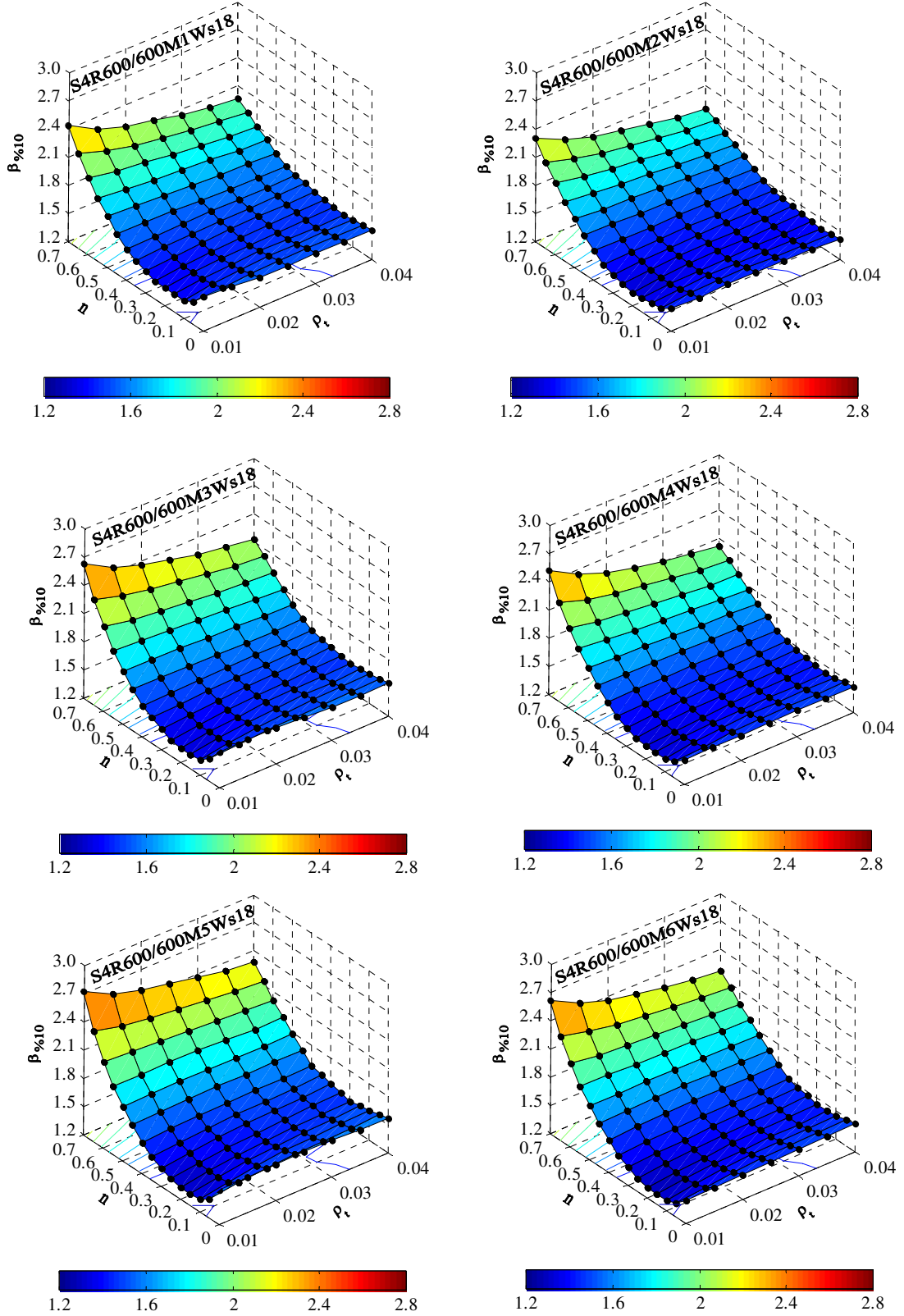
Şekil 4. 25 S1R300/300 kolonunda β_{10} (M_p/M_n) katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.18$



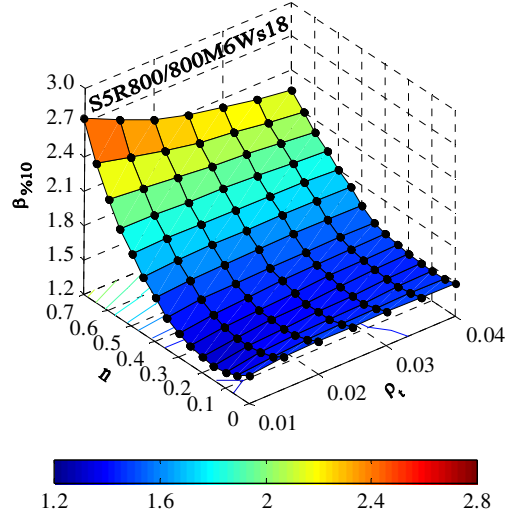
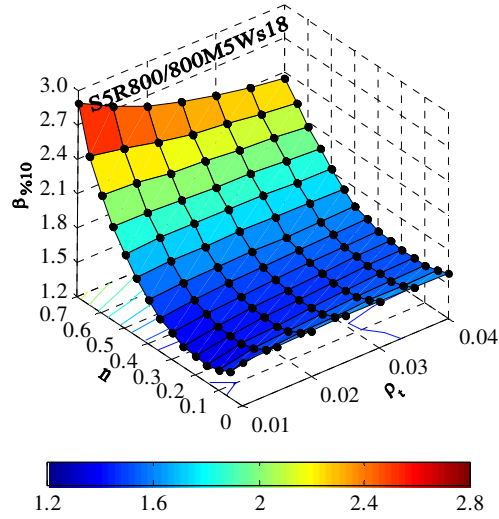
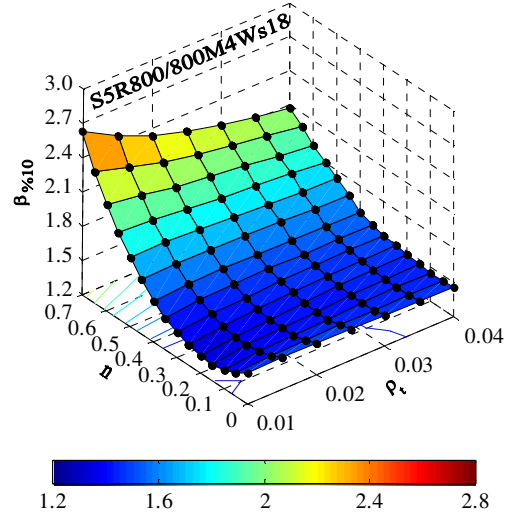
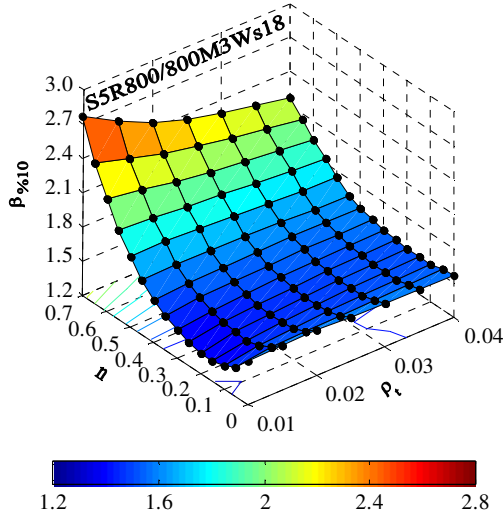
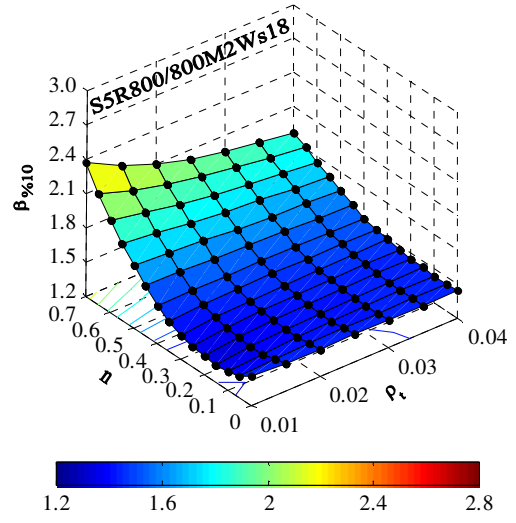
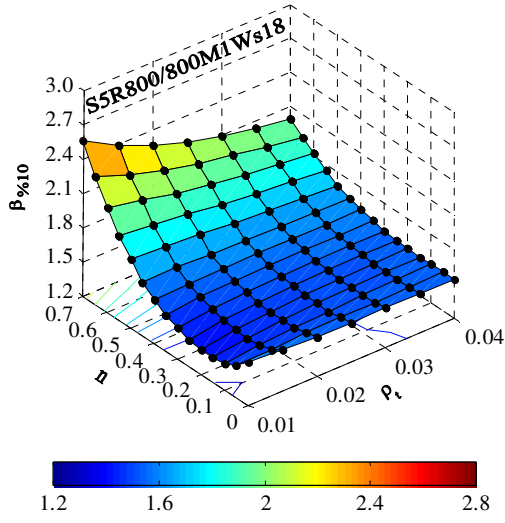
Şekil 4. 26 S2R400/400 kolonunda β_{10} (M_p/M_n) katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.18$



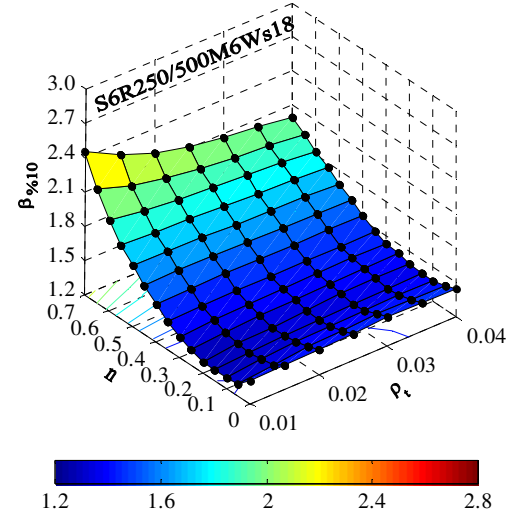
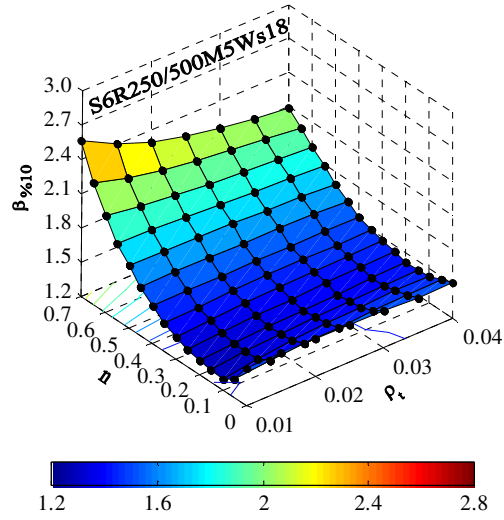
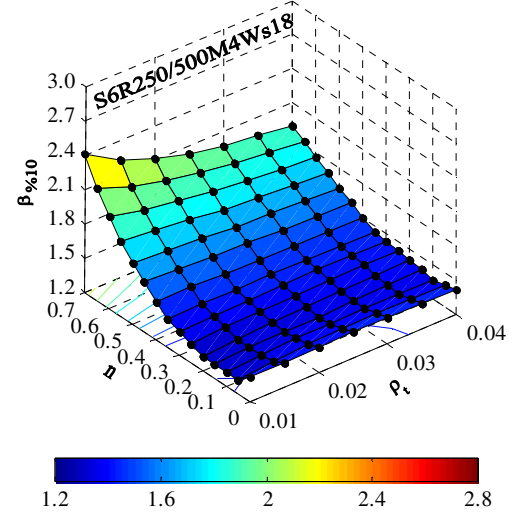
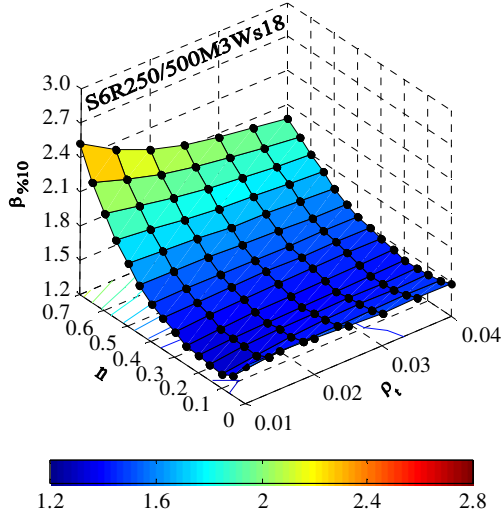
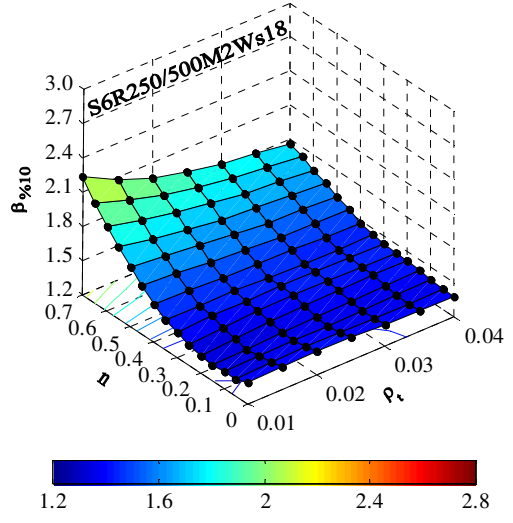
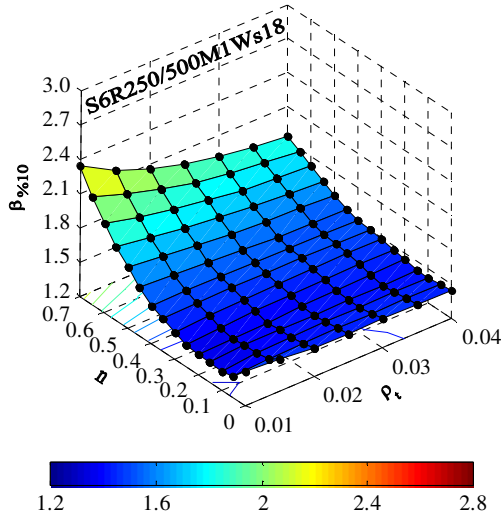
Şekil 4. 27 S3R500/500 kolonunda β_{10} (M_p/M_n) katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.18$



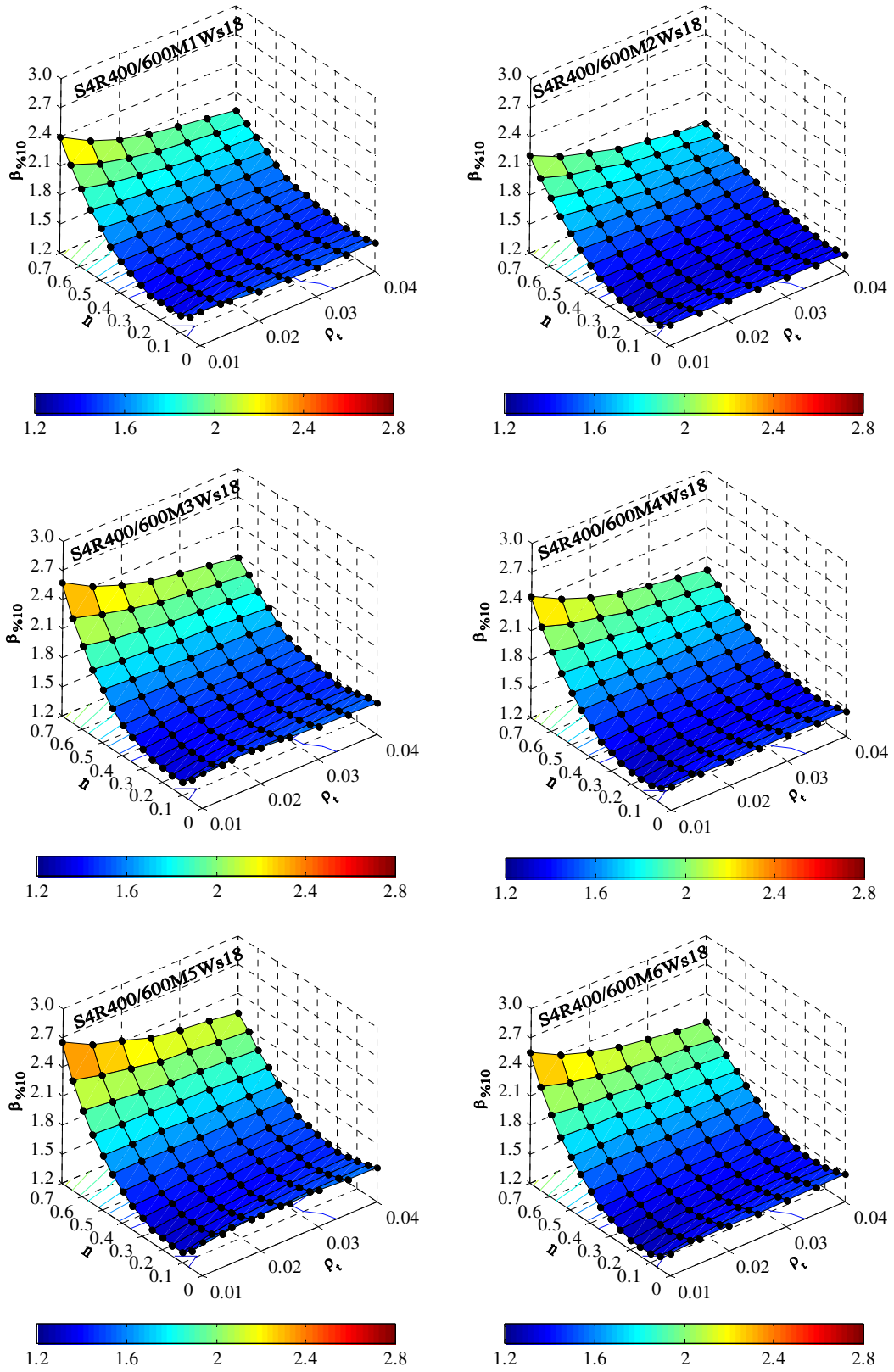
Şekil 4. 28 S4R600/600 kolonunda β_{10} (M_p/M_n) katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.18$



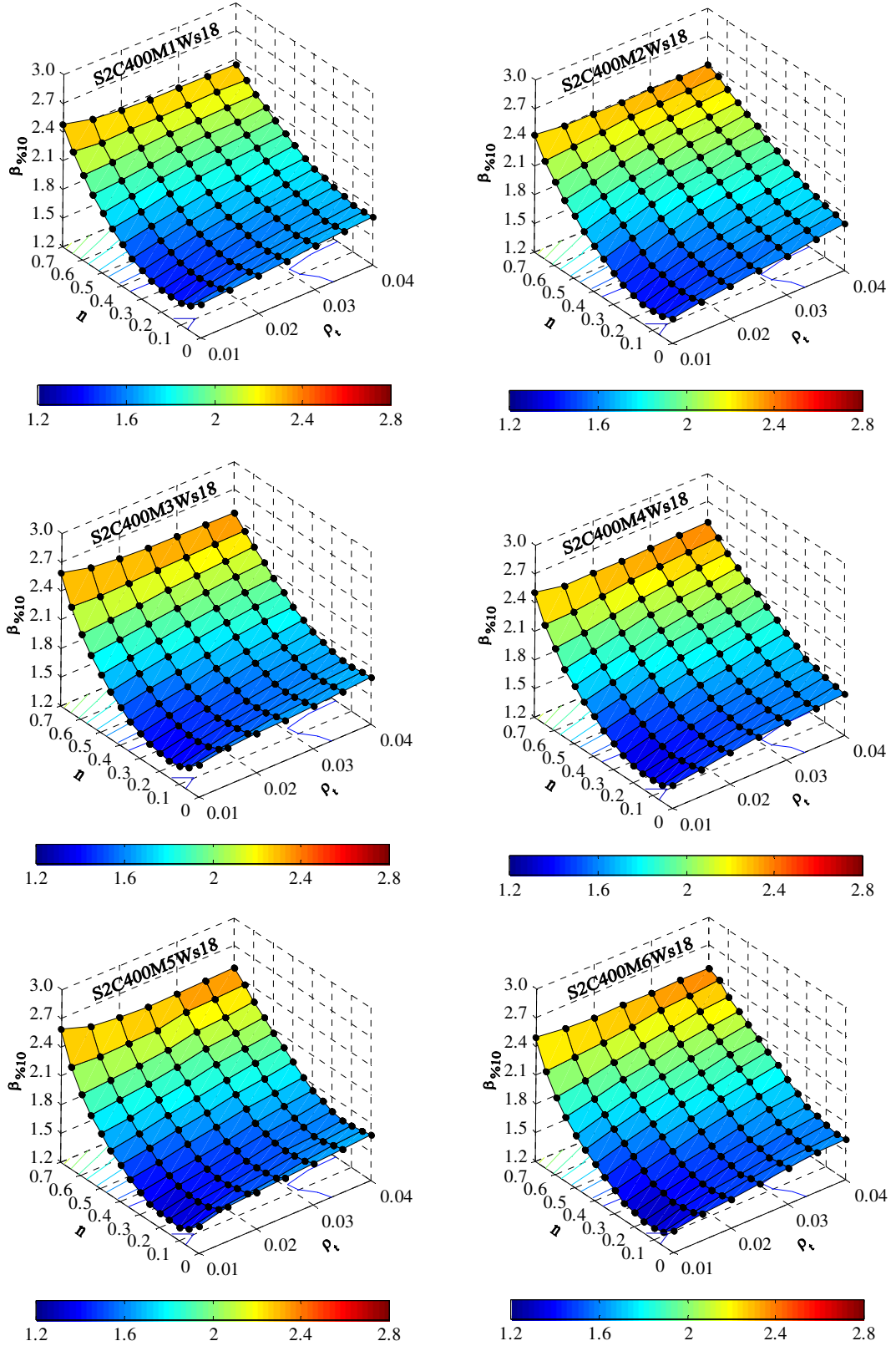
Şekil 4. 29 S5R800/800 kolonunda β_{10} (M_p/M_n) katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.18$



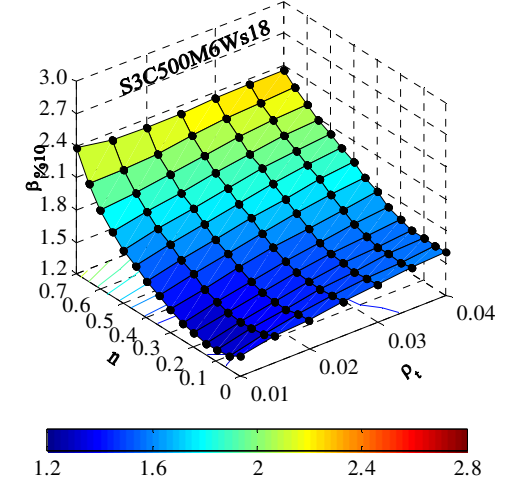
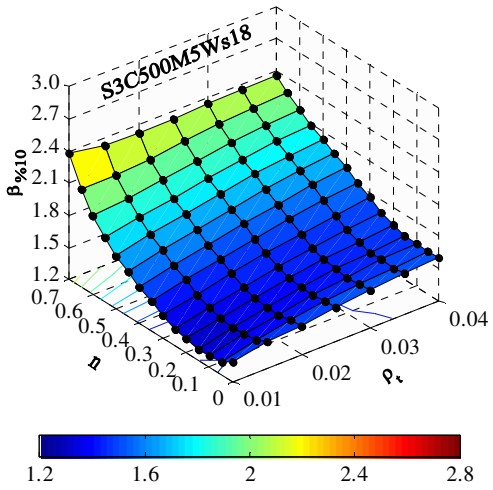
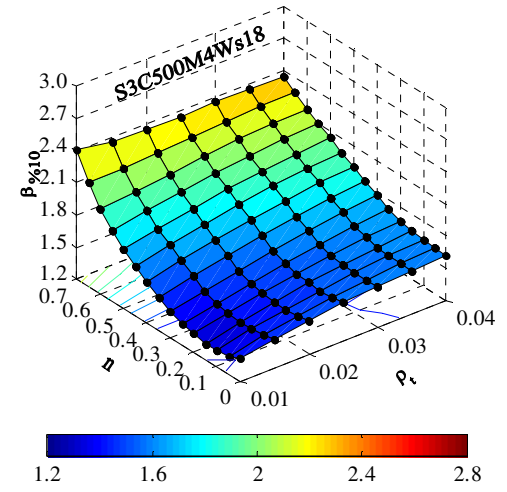
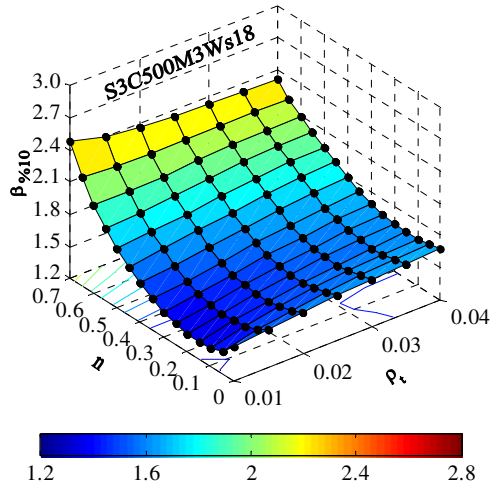
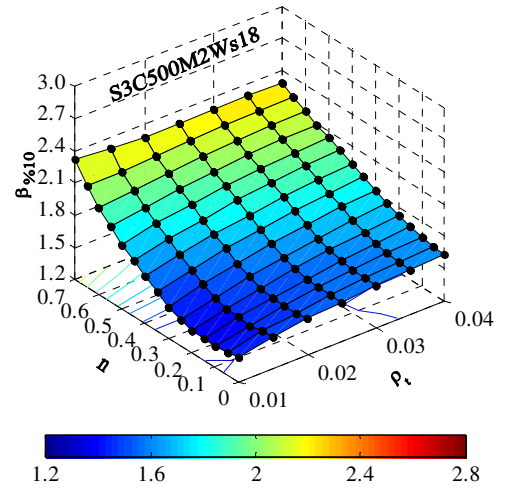
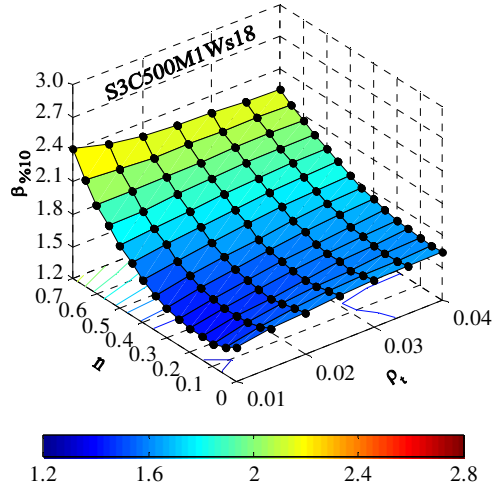
Şekil 4. 30 S6R250/500 kolonunda β_{10} (M_p/M_n) katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.18$



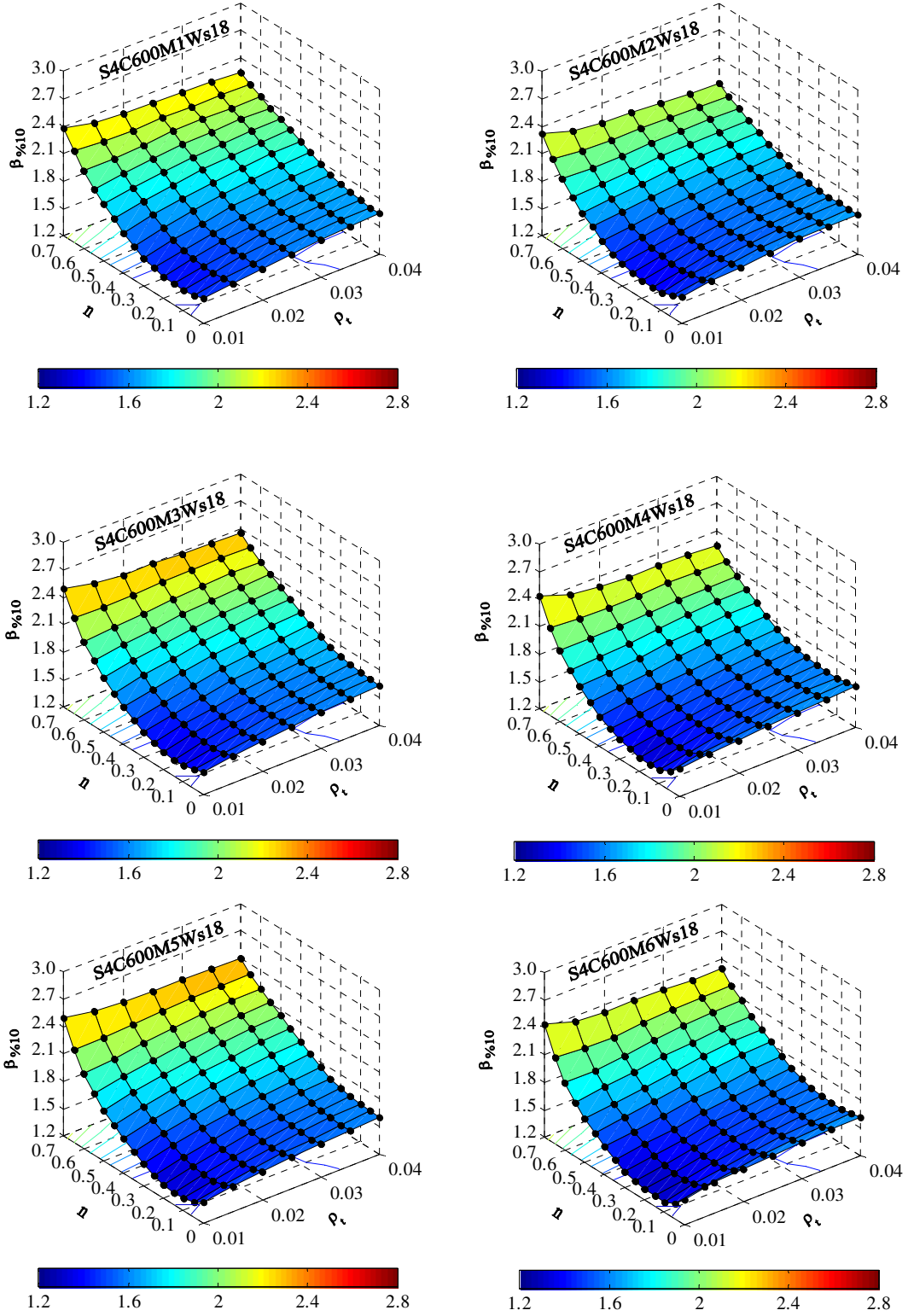
Şekil 4. 31 S4R400/600 kolonunda β_{10} (M_p/M_n) katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.18$



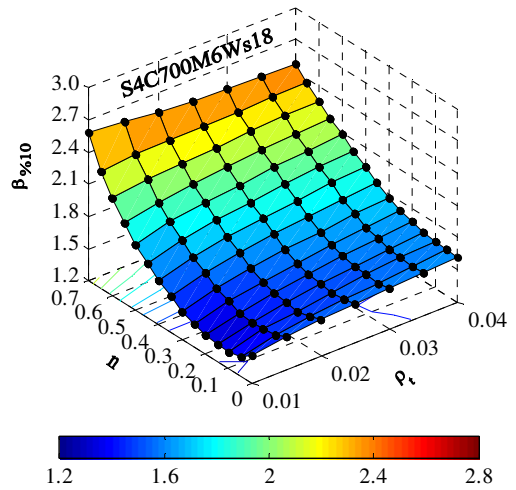
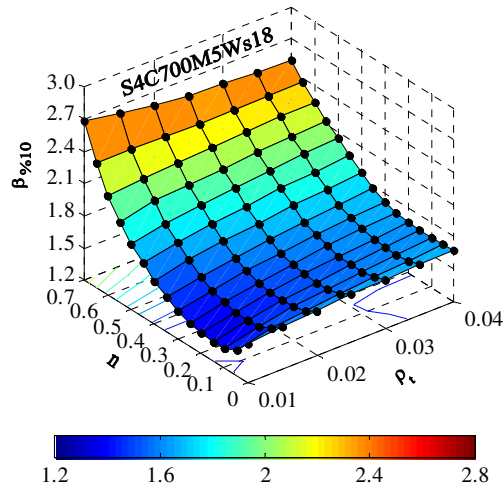
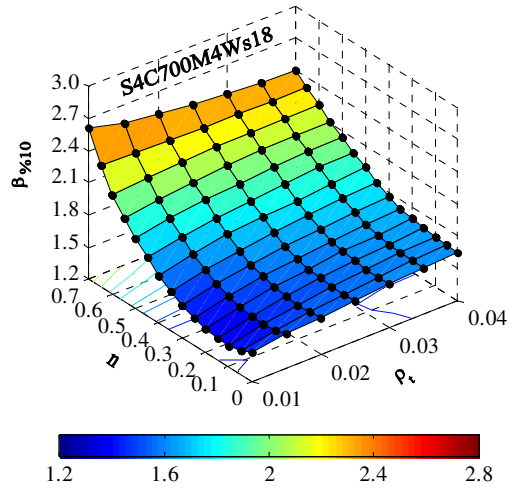
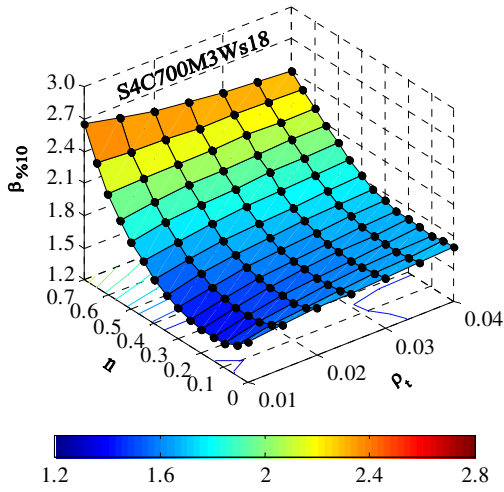
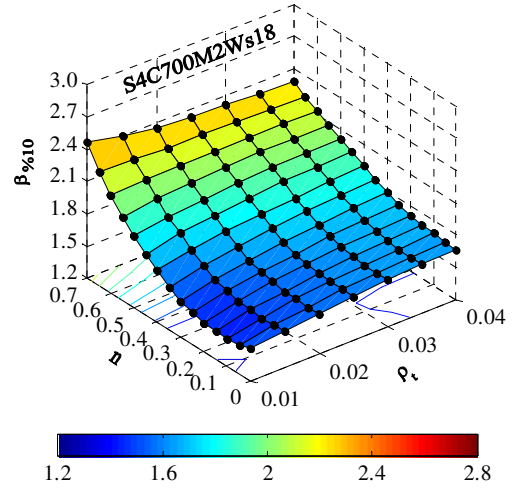
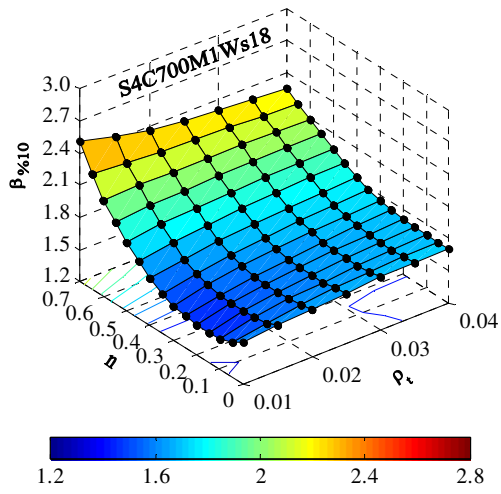
Şekil 4. 32 S2C400 kolonunda β_{10} (M_p/M_n) katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.18$



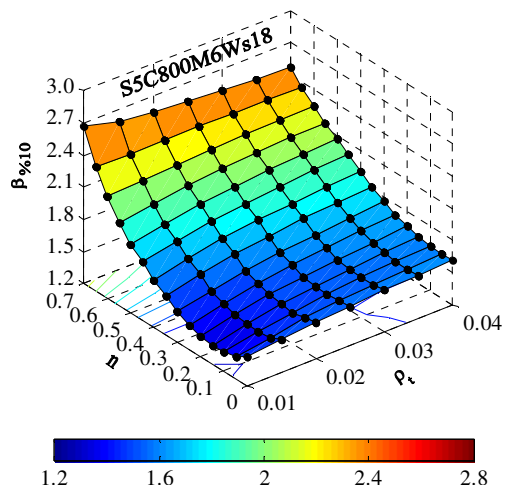
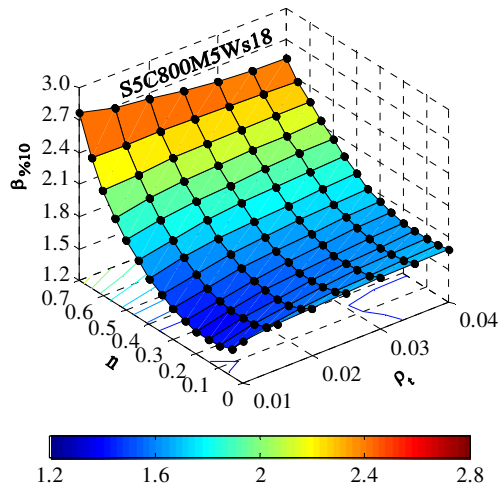
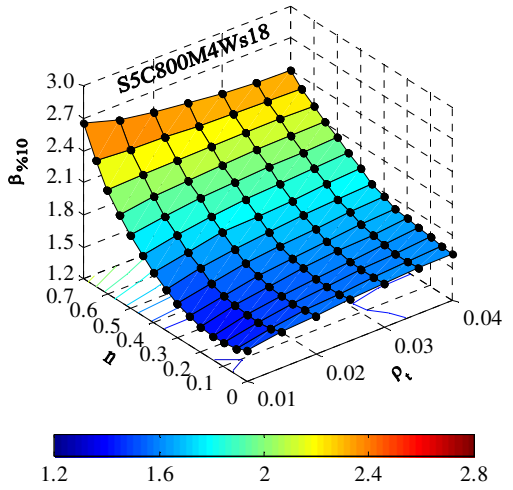
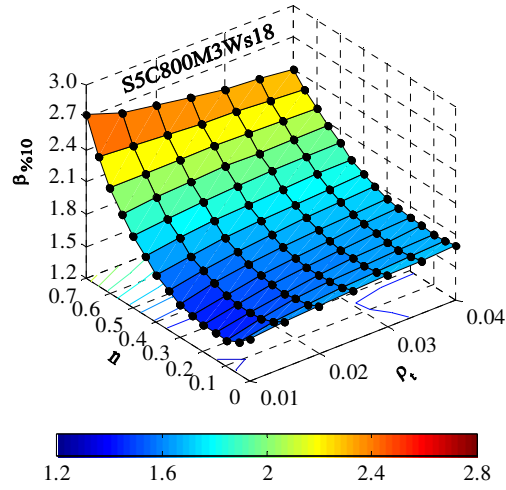
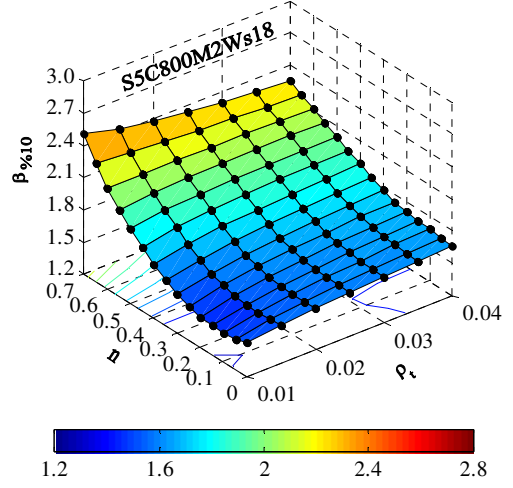
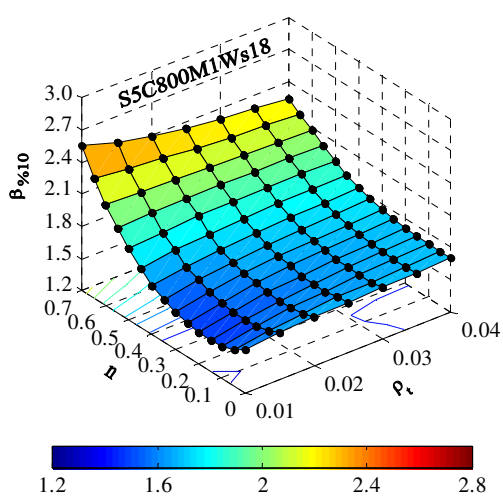
Şekil 4. 33 S3C500 kolonunda β_{10} (M_p/M_n) katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.18$



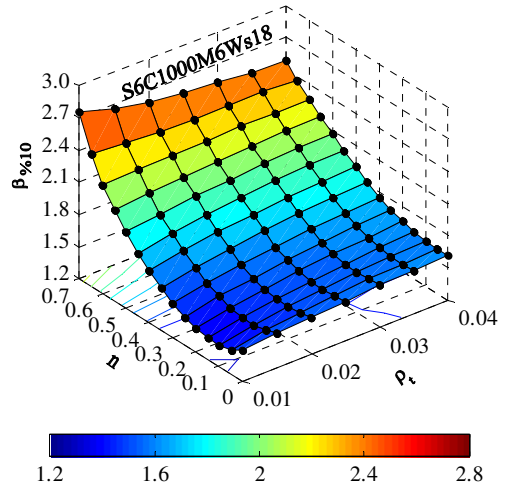
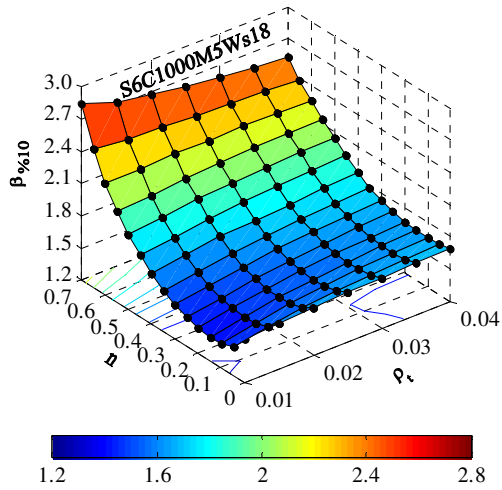
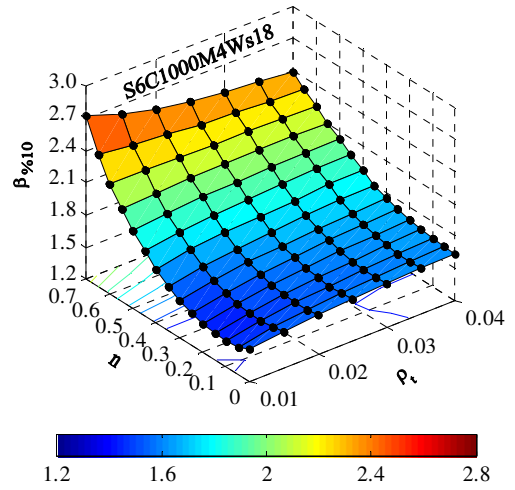
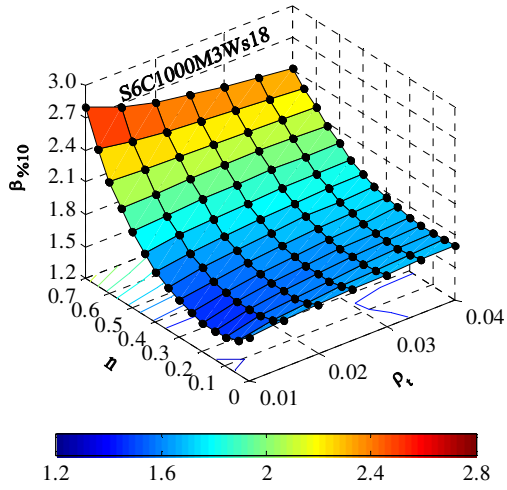
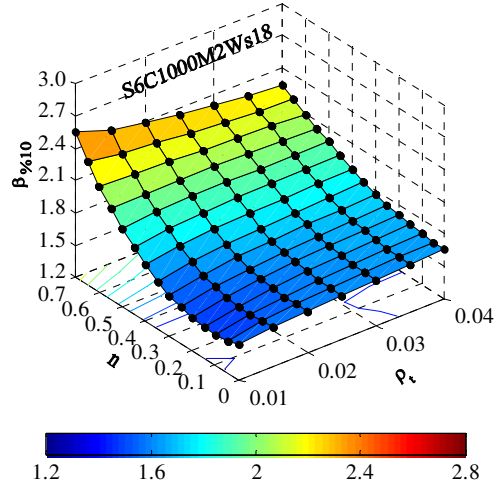
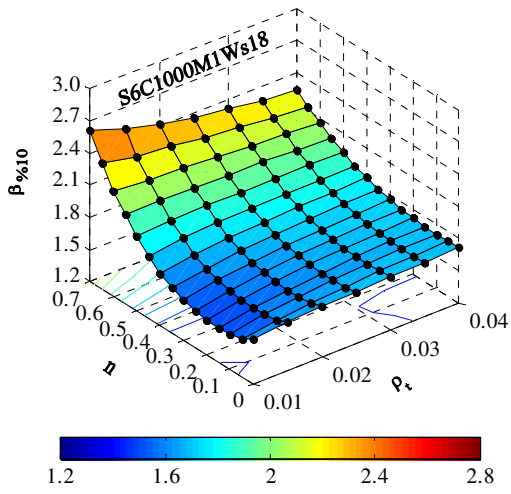
Şekil 4. 34 S4C600 kolonunda β_{10} (M_p/M_n) katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.18$



Şekil 4. 35 S4C700 kolonunda β_{10} (M_p/M_n) katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.18$



Şekil 4. 36 S5C800 kolonunda β_{10} (M_p/M_n) katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.18$



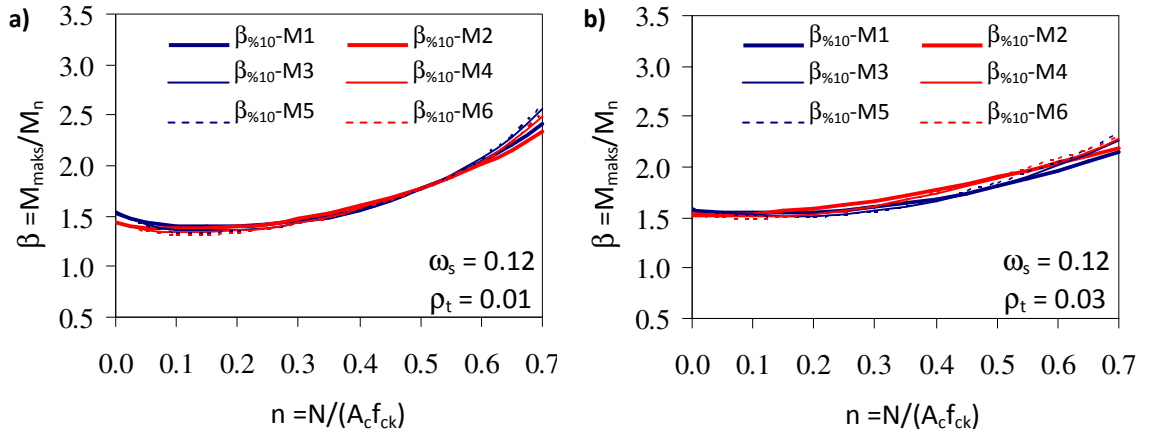
Şekil 4. 37 S6C1000 kolonunda β_{10} (M_p/M_n) katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranına göre değişimleri: $\omega_s = 0.18$

4.1.2 Parametrik İncelemeler

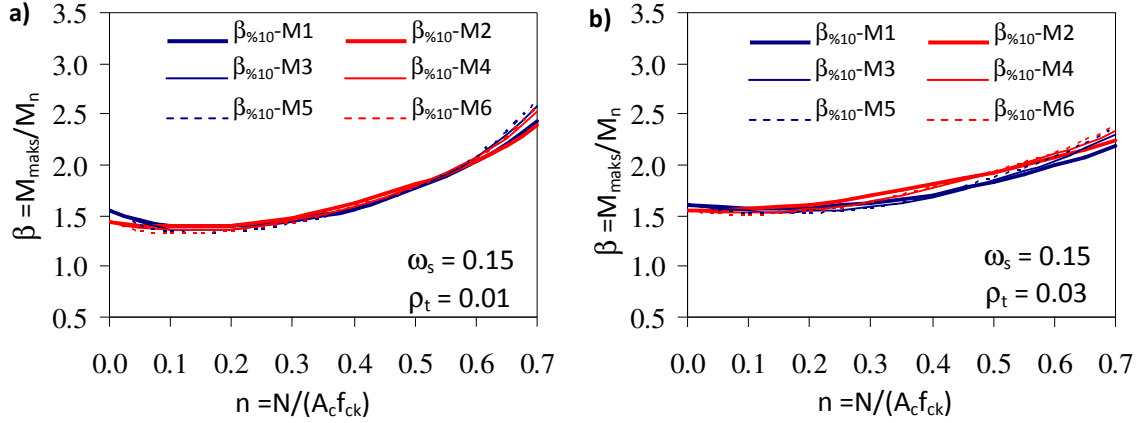
Bu bölümde, çeşitli tasarım değişkenlerinin kolon olası moment kapasitesindeki değişkenlik üzerine etkileri, karakteristik taşıma gücü momenti artış katsayıları yardımıyla, karşılaştırmalı irdelemelerle incelenecektir.

4.1.2.1 Malzeme Sınıfı Farklılıklarının Etkileri

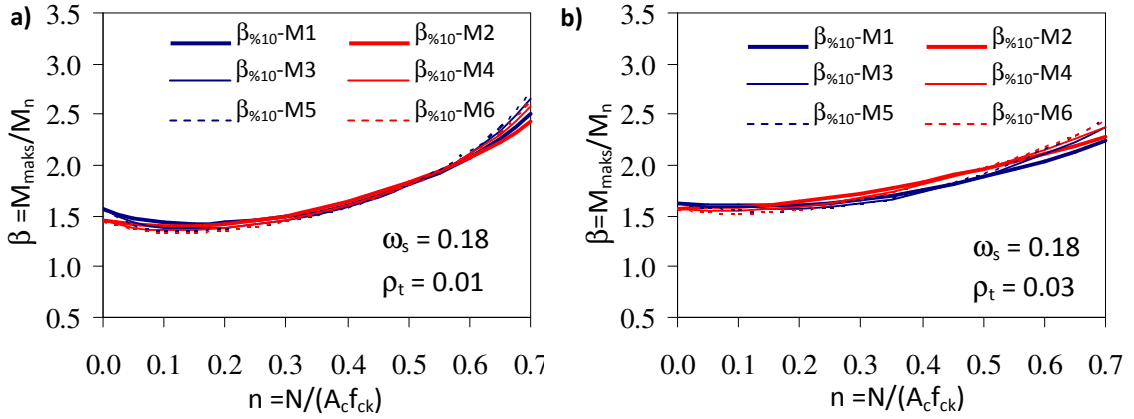
Beton ve donatı çeliği sınıflarındaki değişimin kolon olası moment kapasitesindeki değişkenlik üzerine etkileri, aşılma olasılığı belirli bir düzeydeki taşıma gücü artış katsayılarının karşılaştırılmasıyla incelenecektir. Şekil 4. 38 ~ 4. 40' da, malzeme grupları ortak tüm örnek kolon kesitleri için belirlenen ve aşılma olasılığı %10 olan β katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı yüzdelere göre değişimleri verilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi, donatı çeliği sınıfı ve/veya beton sınıfı farklılığının kolon taşıma gücü artış katsayısı üzerinde meydana getirdiği değişkenlikler sadece yüksek eksenel yük düzeylerinde bir miktar büyük olmakla beraber genelde sınırlı olmaktadır.



Şekil 4. 38 Malzeme sınıfı farklılıklarının karakteristik moment kapasitesi artış katsayıları (β) üzerine etkileri: **a)** $\omega_s = 0.12$, $\rho_t = 0.01$ **b)** $\omega_s = 0.12$, $\rho_t = 0.03$



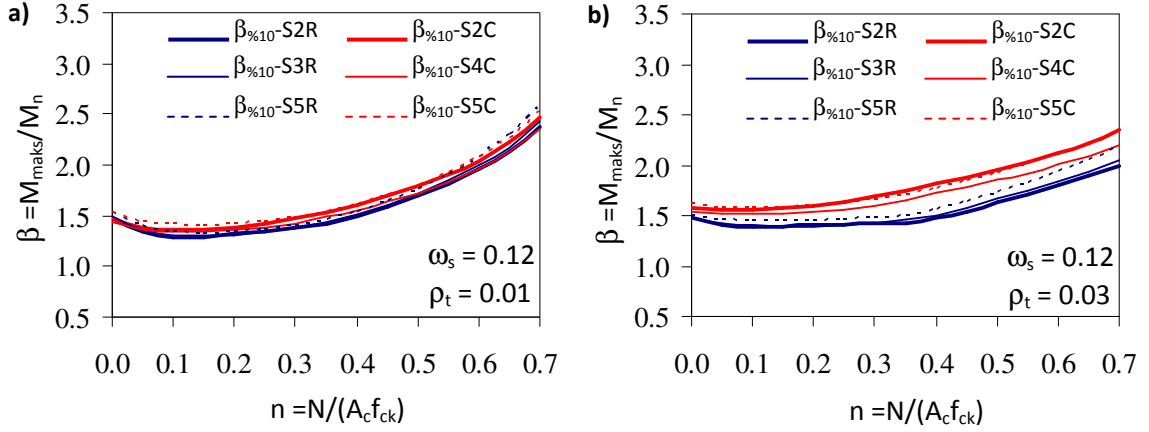
Şekil 4. 39 Malzeme sınıfı farklılıklarının karakteristik moment kapasitesi artış katsayıları (β) üzerine etkileri: **a)** $\omega_s = 0.15$, $\rho_t = 0.01$ **b)** $\omega_s = 0.15$, $\rho_t = 0.03$



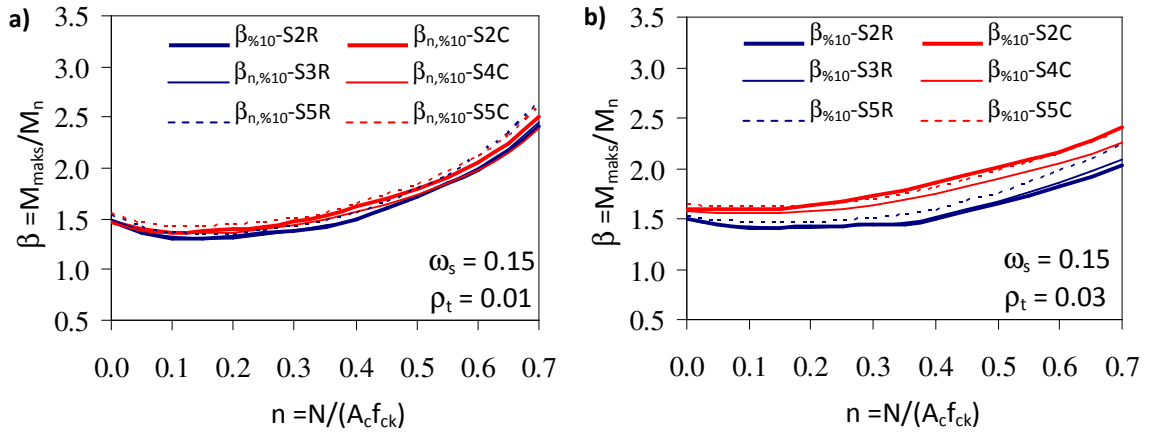
Şekil 4. 40 Malzeme sınıfı farklılıklarının karakteristik moment kapasitesi artış katsayıları (β) üzerine etkileri: **a)** $\omega_s = 0.18$, $\rho_t = 0.01$ **b)** $\omega_s = 0.18$, $\rho_t = 0.03$

4.1.2.2 Donatı Düzeni ve Kesit Boyut Farklılıklarının Etkileri

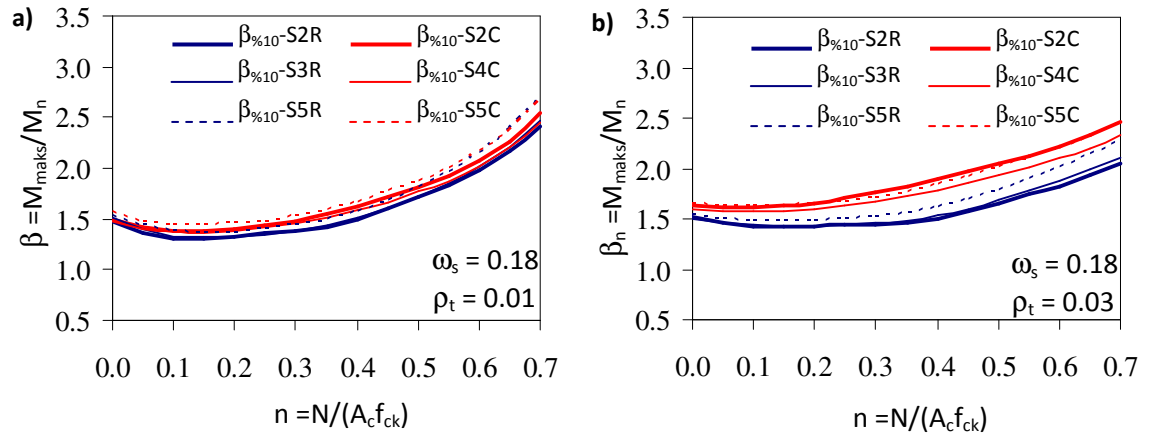
Şekil 4. 41 ~ 4. 43' de, donatı düzeni, kesit geometrisi ve kesit boyut farklılıklarının kolon moment kapasitesindeki değişkenlik üzerine etkileri karşılaştırılmalı olarak incelenmiştir. Karşılaştırmalarda, kesit geometrisi ortak çeşitli örnek kolon kesitlerinde aşılma olasılığı %10 olan artış katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı yüzdelere göre değişimleri irdelenmiştir. Şekilden de görüleceği üzere, donatı düzeni ve kesit boyutlarının farklılığının kolon karakteristik taşıma gücü artış katsayısı üzerinde meydana getirdiği değişkenlikler genelde sınırlıdır. Kesit geometrisindeki farklılığın (dikdörtgen veya dairesel) etkileri ise, özellikle boyuna donatı oranının artmasıyla belirginleşmekle birlikte, donatı oranının göreceli küçük değerleri için genelde sınırlı olmaktadır.



Şekil 4. 41 Donatı düzeni, kesit geometrisi ve boyutlarındaki farklılıklarının karakteristik moment kapasitesi artış katsayıları (β) üzerine etkileri: **a)** $\omega_s = 0.12$, $\rho_t = 0.01$
b) $\omega_s = 0.12$, $\rho_t = 0.03$



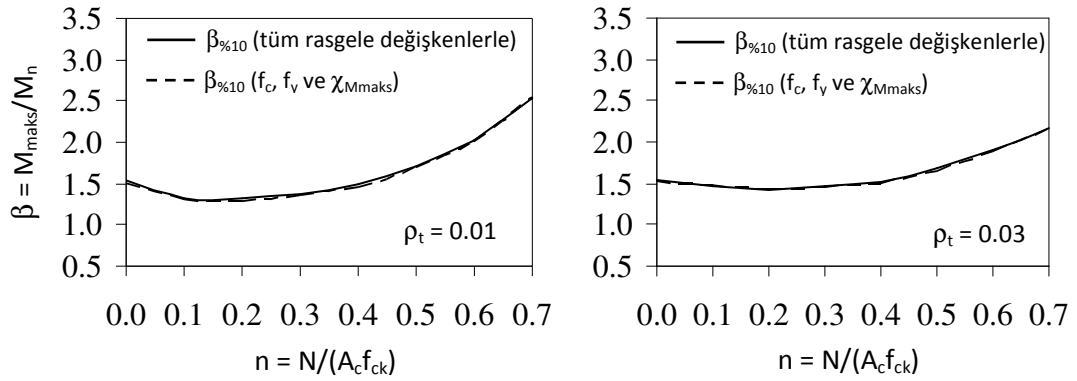
Şekil 4. 42 Donatı düzeni, kesit geometrisi ve boyutlarındaki farklılıklarının karakteristik moment kapasitesi artış katsayıları (β) üzerine etkileri: **a)** $\omega_s = 0.15$, $\rho_t = 0.01$
b) $\omega_s = 0.15$, $\rho_t = 0.03$



Şekil 4. 43 Donatı düzeni, kesit geometrisi ve boyutlarındaki farklılıklarının karakteristik moment kapasitesi artış katsayıları (β) üzerine etkileri: **a)** $\omega_s = 0.18$, $\rho_t = 0.01$ **b)** $\omega_s = 0.18$, $\rho_t = 0.03$

4.1.2.3 Temel Belirsizlik Kaynaklarındaki Değişkenliklerin Etkileri

Önceki bölümlerde de değinildiği üzere, malzeme özellikleri ve kesit boyutlarının doğasından kaynaklanan değişkenlikler ile analitik model belirsizliklerinin kolon eğilme momenti kapasitesi üzerine ortak etkilerinin incelenmesi amacıyla, sözü edilen parametreler rasgele değişken olarak kabul edilerek elde edilen sonuçlar istatistiksel incelemeye tabi tutulmuştur. İncelemeler sonunda, kolon taşıma gücü momenti kapasitesi üzerinde belirgin değişkenliklere neden olan başlıca parametrelerin beton basınç dayanımı, donatı çeliği akma dayanımı ve analitik model belirsizlikleri olduğu tespit edilmiştir. Şekil 4. 44’de, örnek bir kolon kesitinde, analizlerde ele alınan tüm rasgele değişkenlerin ortak etkisi ile sadece beton basınç dayanımı, donatı çeliği akma dayanımı ile analitik model belirsizliğinin ortak etkisi altında, aşılma olasılığı %10 olan dayanım artış katsayılarının karşılaştırılmıştır. Şekilden de görüleceği üzere, beton basınç dayanımı, donatı çeliği akma dayanımı ve analitik model belirsizliği dışındaki diğer belirsizlik kaynaklarındaki değişkenliklerin, kolon taşıma gücü artış katsayısı üzerindeki etkileri oldukça sınırlıdır.



Şekil 4. 44 Karakteristik moment taşıma gücü dayanım fazlalığı üzerine etkin olan rasgele değişkenler: **a)** $\rho_t = 0.01$ **b)** $\rho_t = 0.03$

4.1.3 Regresyon Analizi

Bir önceki bölümde yapılan karşılaştırmalarda da görülebileceği gibi, malzeme sınıfı, donatı düzeni, kesit boyutları ve geometrisindeki farklılıkların kolon taşıma gücü artış katsayıları üzerindeki etkileri genelde sınırlı olmaktadır. Bu bağlamda, kolon olası moment kapasitesinin dayanım artış katsayılarına bağlı ifadesinde (4.1), yukarıda sözü edilen tasarım değişkenlerinin etkileri ihmal edilebilir. Çizelge 4.1’de, karakteristik

moment taşıma gücü artış katsayılarının ($\beta_{%10}$), kolon boyutsuz eksenel yükü, toplam boyuna donatı oranı ve yanal donatı mekanik indeksi gibi tasarım değişkenleriyle olan etkileşiminin bir göstergesi olan korelasyon matrisi görülmektedir. Çizelgeden de görüleceği gibi, sözü edilen dayanım artış katsayısı üzerinde en etkin parametre kolon eksenel yük seviyesidir.

Çizelge 4. 1 Korelasyon matrisi: Karakteristik moment taşıma gücü artış katsayıları üzerine etkili parametrelerin araştırılması

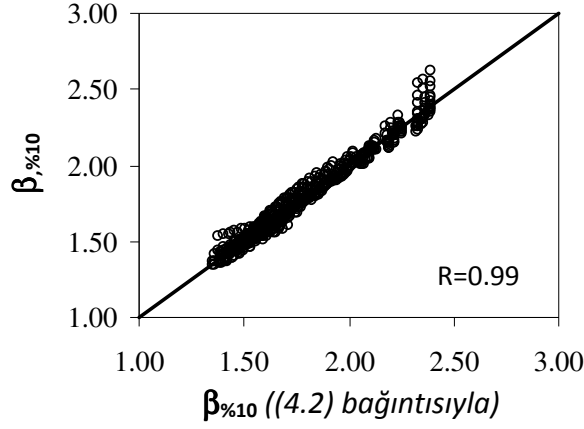
<i>Parametre</i>	$\beta_{%10}$	n	ρ_t	ω_s	n^2	$1/n$	ρ_t^2	$1/\rho_t$	ω_s^2	$n \times \rho_t$
$\beta_{%10}$	1.00	0.81	0.08	0.07	0.86	-0.46	0.08	-0.08	0.07	0.63
n	0.81	1.00	0.00	0.00	0.97	-0.76	0.00	0.00	0.00	0.76
ρ_t	0.08	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.99	-0.92	0.00	0.57
ω_s	0.07	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
n^2	0.86	0.97	0.00	0.00	1.00	-0.62	0.00	0.00	0.00	0.74
$1/n$	-0.46	-0.76	0.00	0.00	-0.62	1.00	0.00	0.00	0.00	-0.58
ρ_t^2	0.08	0.00	0.99	0.00	0.00	0.00	1.00	-0.85	0.00	0.56
$1/\rho_t$	-0.08	0.00	-0.92	0.00	0.00	0.00	-0.85	1.00	0.00	-0.52
ω_s^2	0.07	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
$n \times \rho_t$	0.63	0.76	0.57	0.00	0.74	-0.58	0.56	-0.52	0.00	1.00
<i>Ortalama</i>	1.708	0.375	0.025	0.150	0.181	4.645	0.001	49.082	0.023	0.009
<i>Standart sapma</i>	0.301	0.202	0.010	0.024	0.155	4.843	0.001	24.594	0.007	0.007

Kesit analizlerinin istatistiksel değerlendirmesi ile elde edilen taşıma gücü momentleri dayanım artış katsayıları ($\beta_{%10}$), kolon taşıma gücü artış katsayıları üzerinde etkin tasarım değişkenlerine bağlı biçimde, yaklaşık bir bağıntı ile tahmin edilmesi amacıyla, Statistica programı [65] yardımıyla doğrusal olmayan regresyon analizi yapılarak, aşağıdaki bağıntısı elde edilmiştir.

$$\beta_{%10} = 1.15 + \omega_s - 0.33 \cdot n + 2.61 \cdot n^2 + 10.84 \cdot \rho_t - 31.24 \cdot \rho_t^2 - 13.57 \cdot n \cdot \rho_t \quad (4.2)$$

(4.2) bağıntısında, n karakteristik beton dayanımına (f_{ck}) göre belirlenen eksenel yük düzeyini, ρ_t boyuna donatı oranını ve ω_s karakteristik malzeme dayanımlarına (f_{ck} , f_{ywk}) göre belirlenecek yanal donatı mekanik indeksini göstermektedir. Bağıntının

korelasyon katsayısı R, 0.99 olarak hesaplanmıştır. Şekil 4. 45'da (4.2) bağıntısının sonuçları ile aşılma olasılığı %10 olan artış katsayılarının karşılaştırılmaları verilmiştir.



Şekil 4. 45 Önerilen (4.2) bağıntısı sonuçlarının karşılaştırılması

4.2 Kolon Olası Moment Kapasitesinin Taşıma Gücü Momenti Yardımıyla Saptanması

Betonarme bir kolonun olası moment kapasitesi M_p , taşıma gücü momenti ve dayanım artış katsayılarına bağlı olarak aşağıda verilen bağıntı ile ifade edilebilir.

$$M_p = \lambda_{r, \%p} \times M_r \quad (4.3)$$

Bağıntılarda, M_r malzeme hesap dayanımlarına (f_{cd} , f_{yd}) göre belirlenen eğilme momenti taşıma gücünü [26], $\lambda_{r, \%p}$ aşılma olasılığı belirli bir düzeydeki (%p) dayanım artış katsayısını ve M_p ise kolonun olası eğilme momenti kapasitesini göstermektedir.

Çalışmanın üçüncü bölümünde örnek kolon kesitlerinde belirli bir eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı oranı için elde edilen λ_r oranları, bu bölümde istatistiksel değerlendirmeye tabi tutularak, aşılma olasılığı belirli bir düzeydeki ($\lambda_{r, \%p}$) artış katsayıları belirlenmiştir. *Kolon yanal donatı hesabında* kullanılacak *olası moment kapasitesinin* belirlenmesinde esas alınacak moment kapasitesi için sözü edilen aşılma olasılığı %10 olarak kabul edilmiştir.

4.2.1 Aşılma Olasılığı Belirli Bir Düzeydeki Dayanım Artış Katsayılarının ($\lambda_{r,\%10}$) Belirlenmesi

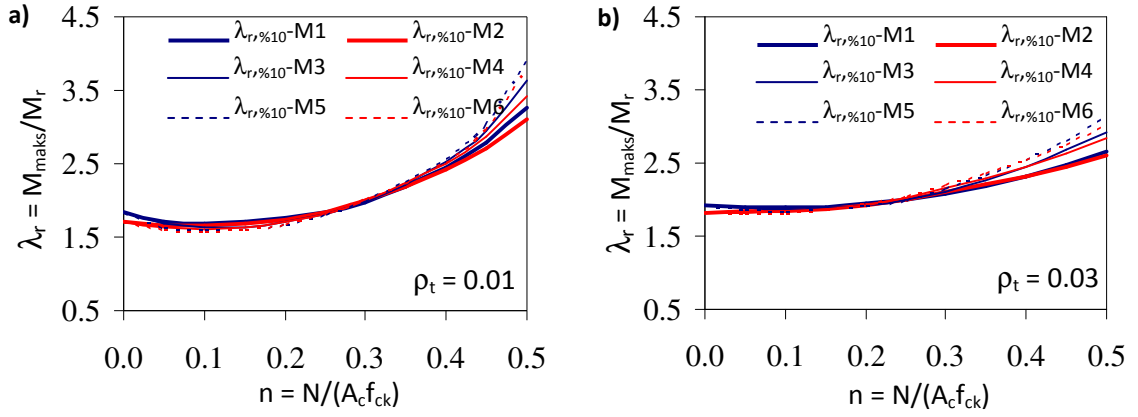
Çalışmada, $\lambda_{r, \%10}$ katsayılarının belirlenmesinde, $\beta_{\%10}$ katsayılarının belirlenmesine benzer şekilde, iki aşamalı bir çözümlemeye gidilmiştir. Birinci aşamada, örnek kolon kesitleri, temel belirsizlik kaynaklarındaki değişkenlikler gözetilerek, bu çalışma için hazırlanmış olan moment-eğrilik programı yardımıyla doğrusal olmayan çözümlemeye tabi tutulmuştur. Böylece, taşıma gücü hesaplarında gözardı edilen parametrelerin (örneğin sargı etkisi vb.), malzeme hesap dayanımlarının belirlenmesinde kullanılan katsayıların, malzeme dayanımı ile kesit boyutlarında gerçekleşebilecek değişkenliklerin ve analitik model belirsizliklerinin (lifli ya da şeritli modelleme) kolon moment kapasitesi üzerindeki ortak etkileri incelenmeye çalışılmıştır. Sözü edilen değişkenliklere ait sayısal çözümlemelerden elde edilen sonuçlar çalışmanın üçüncü bölümde ayrıntılı olarak verilmiştir. İkinci aşamada ise, temel belirsizlik kaynaklarının kolon moment kapasitesi üzerinde yarattığı değişkenlikler, istatistik değerlendirmeye tabi tutulup, birikimli olasılık eğrileri yardımıyla, aşılma olasılığı %10 olan dayanım artış katsayısı belirlenmiştir.

4.2.2 Parametrik İncelemeler

Bu bölümde, çeşitli tasarım değişkenlerinin kolon olası moment kapasitesindeki değişkenlik üzerine etkileri, taşıma gücü momenti artış katsayıları yardımıyla, karşılaştırmalı irdelemelerle incelenecektir.

4.2.2.1 Malzeme Sınıfı Farklılıklarının Etkileri

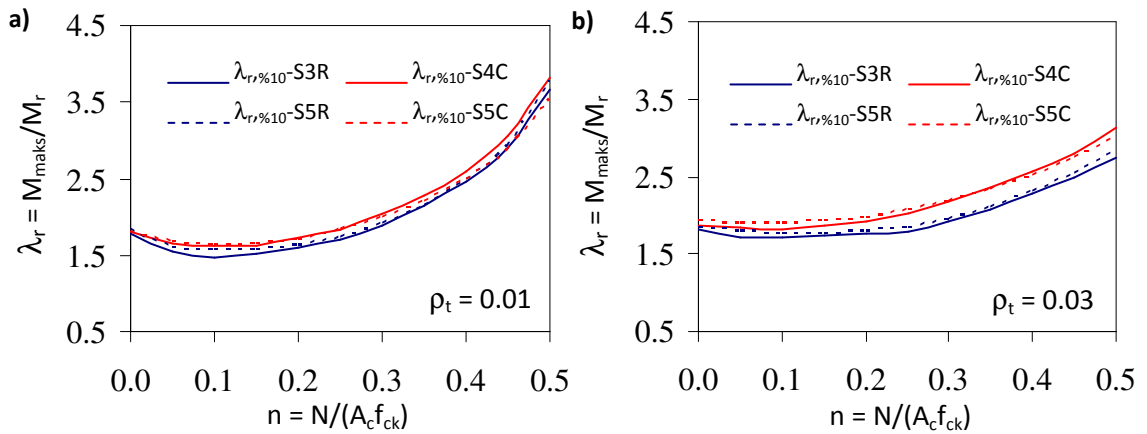
Şekil 4. 46'da, malzeme grupları ortak olan tüm örnek kolon kesitlerinde aşılma olasılığı %10 olan λ_r katsayılarının (M_{maks}/M_r) eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı yüzdelere göre değişimleri verilmiştir. Şekilde de görüleceği üzere, donatı çeliği sınıfı ve/veya beton sınıfı farklılığının $\lambda_{r,\%10}$ artış katsayısı üzerinde meydana getirdiği değişkenlikler, $\beta_{\%10}$ katsayıları için yapılan karşılaştırmalara benzer bir eğilim sergilemektedir.



Şekil 4. 46 Malzeme sınıfı farklılıklarının taşıma gücü momenti artış katsayıları (λ_r) üzerine etkileri: **a)** $\omega_s = 0.12\sim 0.18$, $\rho_t = 0.01$ **b)** $\omega_s = 0.12\sim 0.18$, $\rho_t = 0.03$

4.2.2.2 Donatı Düzeni ve Kesit Boyut Farklılıklarının Etkileri

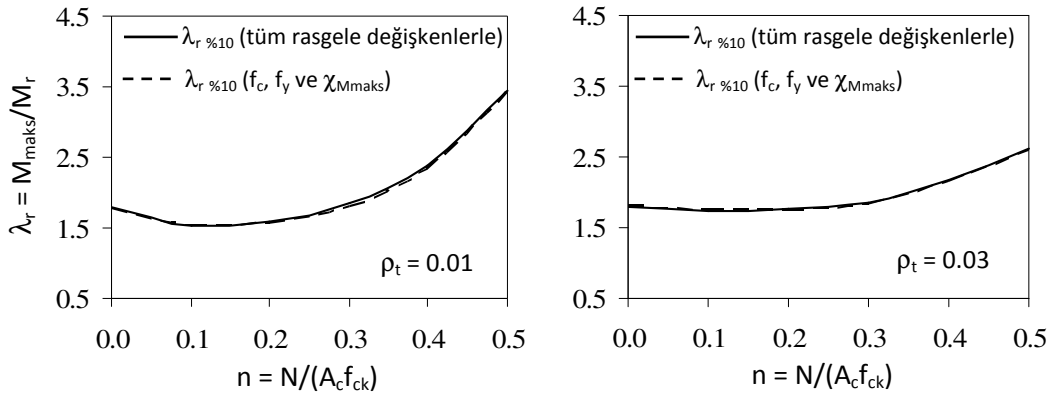
Şekil 4. 47’de, donatı düzeni, kesit geometrisi ve kesit boyut farklılıklarının, çeşitli örnek kolon kesitleride olasılığı %10 olan λ_r katsayılarıyla eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı yüzdelerinin etkileşimi görülmektedir. Şekilde de görüleceği üzere, donatı düzeni ve kesit boyutlarının farklılığının $\lambda_{r,%10}$ artış katsayısı üzerinde meydana getirdiği değişkenlikler genelde sınırlıdır. Kesit geometrisindeki farklılığın (dikdörtgen veya dairesel) etkileri ise, özellikle boyuna donatı oranının artmasıyla belirginleşmekle birlikte, donatı oranının göreceli küçük değerleri için genelde sınırlı olmaktadır.



Şekil 4. 47 Donatı düzeni, kesit geometrisi ve boyutlarındaki farklılıklarının taşıma gücü momenti artış katsayıları (λ_r) üzerine etkileri: **a)** $\omega_s = 0.12\sim 0.18$, $\rho_t = 0.01$ **b)** $\omega_s = 0.12\sim 0.18$, $\rho_t = 0.03$

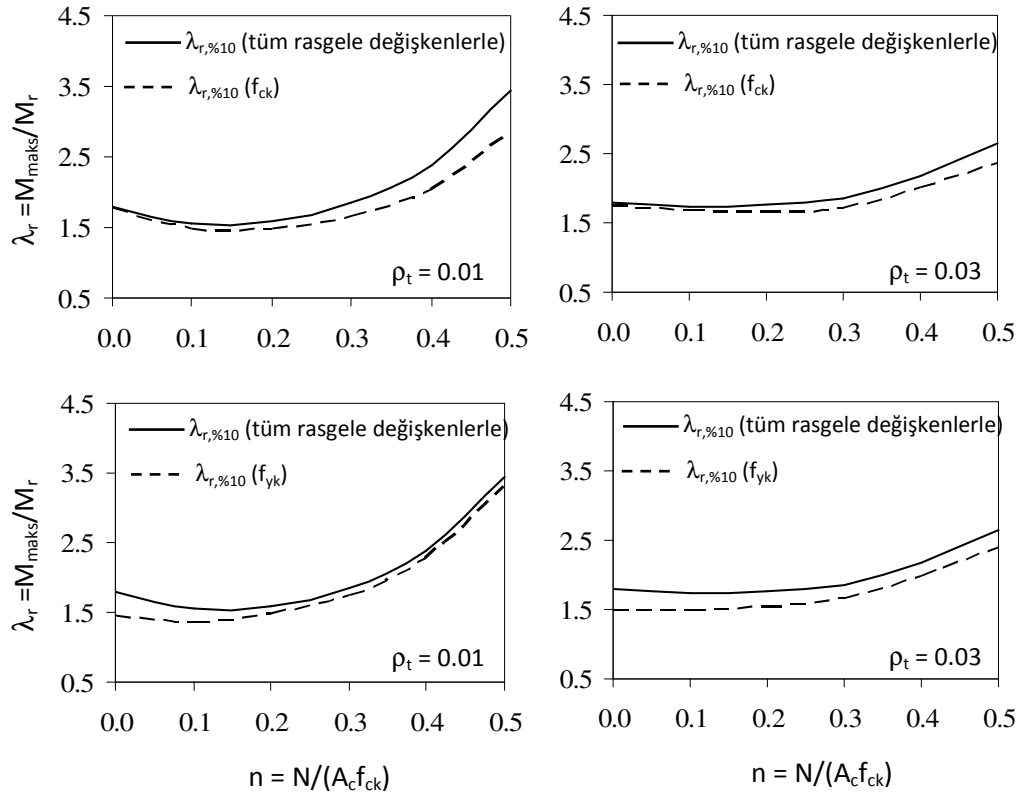
4.2.2.3 Temel Belirsizlik Kaynaklarındaki Değişkenliklerin Etkileri

Şekil 4. 48’de, örnek bir kolon kesitinde, analizlerde ele alınan tüm rasgele değişkenlerin ortak etkisi ve sadece beton basınç dayanımı, donatı çeliği akma dayanımı ile analitik model belirsizliğinin ortak etkisi altında, aşılma olasılığı %10 olan dayanım artış katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı yüzdelere göre değişimleri verilmiştir. Şekillerden de görüleceği üzere, beton basınç dayanımı, donatı çeliği akma dayanımı ve analitik model belirsizliği dışındaki diğer belirsizlik kaynaklarındaki değişkenliklerin, kolon taşıma gücü artış katsayısı üzerindeki etkileri oldukça sınırlıdır.



Şekil 4. 48 Taşıma gücü momenti dayanım fazlalığı üzerine etkin olan rasgele değişkenler: a) $\rho_t = 0.01$ b) $\rho_t = 0.03$

Beton basınç dayanımı veya donatı çeliği akma dayanımının deterministik (karakteristik dayanım kullanılarak) ya da rasgele değişken (olasılık modeliyle) olarak kabulünün taşıma gücü artışı üzerindeki etkileri eksenel yük düzeyi ve donatı oranına göre farklı eğilimler sergilemektedir. Beton basınç dayanımının deterministik ya da rasgele değişken olarak kabulünün etkileri, eksenel yük seviyesinin artması ve donatı oranının azalmasıyla daha belirginleşmekteyken, donatı çeliğinde eksenel yük seviyesinin azalması ve donatı oranının artmasıyla belirginleşmektedir. Sözü edilen değişkenlik %30'lara varan oranlara ulaşabilmektedir. Şekil 4.49'da, örnek bir kolon kesitinde, analizlerde ele alınan tüm rasgele değişkenlerin ortak etkisi ile beton basınç dayanımı veya donatı çeliği dayanımının deterministik kabulünün etkisi altında, aşılma olasılığı %10 olan dayanım artış katsayılarının eksenel yük düzeyi ve boyuna donatı yüzdelere göre değişimleri verilmiştir.



Şekil 4. 49 Malzeme dayanımlarının deterministik kabulünün taşıma gücü momenti artış katsayıları üzerine etkileri: **a)** $\rho_t = 0.01$ **b)** $\rho_t = 0.03$

4.2.3 Regresyon Analizi

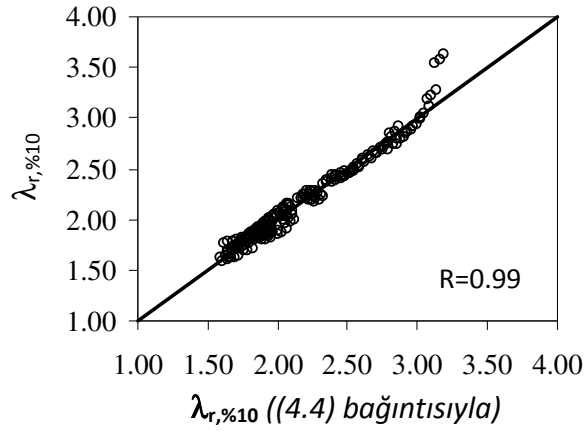
Bir önceki bölümde yapılan karşılaştırmalarda da görülebileceği gibi, malzeme sınıfı, donatı düzeni, kesit boyutları ve geometrisindeki farklılıkların $\lambda_{r,\%10}$ artış katsayıları üzerindeki etkileri genelde sınırlı olmaktadır. Bu bağlamda, kolon olası moment kapasitesinin dayanım artış katsayılarına bağlı ifadesinde (4.3), yukarıda sözü edilen tasarım değişkenlerinin etkileri ihmal edilebilir.

Kesit analizlerinin istatistiksel değerlendirmesi ile elde edilen $\lambda_{r,\%10}$ artış katsayıları, kolon taşıma gücü artış katsayıları üzerinde etkin tasarım değişkenlerine bağlı biçimde, yaklaşık bir bağıntı ile tahmin edilmesi amacıyla, Statistica programı [65] yardımıyla doğrusal olmayan regresyon analizi yapılarak, aşağıdaki (4.4) bağıntısı elde edilmiştir.

$$\lambda_{r,\%10} = 1.37 + 1.06 \cdot \omega_s - 0.40 \cdot n + 7.81 \cdot n^2 + 12.35 \cdot \rho_t + 10.76 \cdot \rho_t^2 - 48.09 \cdot n \cdot \rho_t \quad (4.4)$$

(4.4) bağıntısında, n , karakteristik beton dayanımına (f_{ck}) göre belirlenen eksenel yük düzeyini, ρ_t boyuna donatı oranını ve ω_s karakteristik malzeme dayanımlarına (f_{ck} , f_{ywk})

göre belirlenecek yanal donatı mekanik indeksini göstermektedir. Bağıntının korelasyon katsayısı R, 0.99 olarak hesaplanmıştır. Şekil 4. 50’de (4.4) bağıntısı sonuçları ile aşılma olasılığı %10 olan artış katsayılarının karşılaştırılmaları verilmiştir.



Şekil 4. 50 Önerilen (4.4) bağıntısı sonuçlarının karşılaştırılması

KARŞILAŞTIRMALAR

Çalışmanın bu bölümünde, kolon olası moment kapasitesinin tahminine yönelik çeşitli yönetmelik yaklaşımları ve bu çalışmada önerilen yöntemler, Monte Carlo benzeşim yöntemi sonuçları ve çeşitli araştırmacılar tarafından yapılmış olan deneysel sonuçlar yardımıyla karşılaştırmalı olarak incelenecektir. Karşılaştırmalarda, tasarım aşamasındaki malzeme dayanımları ve kesit bilgileri yardımıyla, bileşik eğilme etkisindeki betonarme bir kesitin moment kapasitesinin tahminine yönelik yaklaşımlar, aşağıda kısaca özetlenmiştir.

$M_{p,TDY}$ Moment Kapasitesi (DBYBHY 2007): Türk Deprem Yönetmeliği'nde, kolonlarda en büyük eğilme momenti kapasitesi M_p 'nin daha kesin hesap yapılamayan durumlarda TS500'e göre bulunan taşıma gücü momenti M_r 'nin 1.4 katı olarak alınabileceği belirtilmektedir [1, 2].

$M_{p,Aci}$, Moment Kapasitesi (ACI-318): ACI 318'de, kolonlarda en büyük eğilme momenti kapasitesi M_p 'nin donatı çeliği akma dayanımının %25 arttırılıp ($f_y=1.25 \times f_{yk}$), eğilme dayanımı azaltma katsayısının (ϕ) 1 alınmasıyla yardımıyla belirlenebileceği belirtilmektedir [5].

$M_{p,Eurocode8}$ Moment Kapasitesi (Eurocode 8): Eurocode 8'de, kolonlarda en büyük eğilme momenti kapasitesi M_p 'nin sünelik düzeyi yüksek sistemler için taşıma gücü momenti M_r 'nin 1.3 katı olarak alınabileceği belirtilmektedir [14].

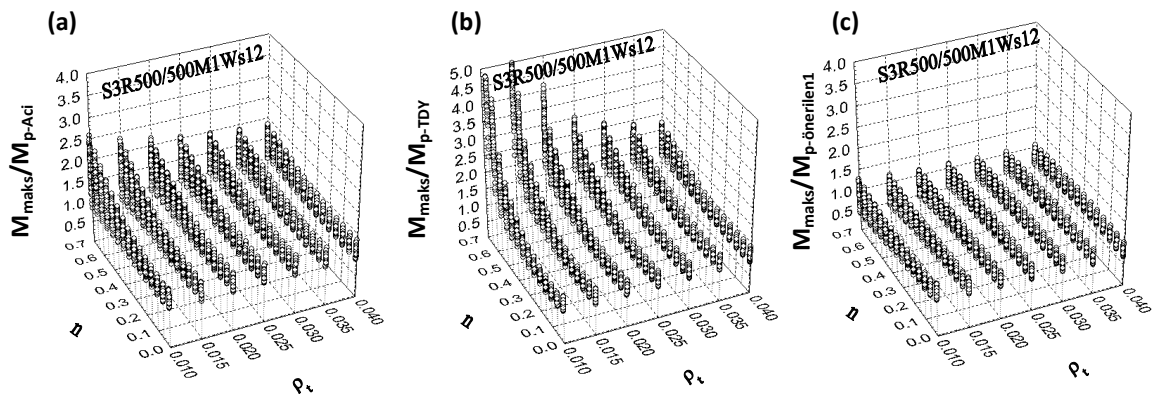
$M_{p,önerilen1}$ Moment Kapasitesi: Betonarme bir kolonun aşılma olasılığı belirli bir düzeydeki (%10) eğilme momenti kapasitesi M_p 'nin karakteristik taşıma gücü momenti

M_n yardımıyla saptanması amacıyla önerilen (4.2) bağıntısı yardımıyla belirlenen moment kapasitesi.

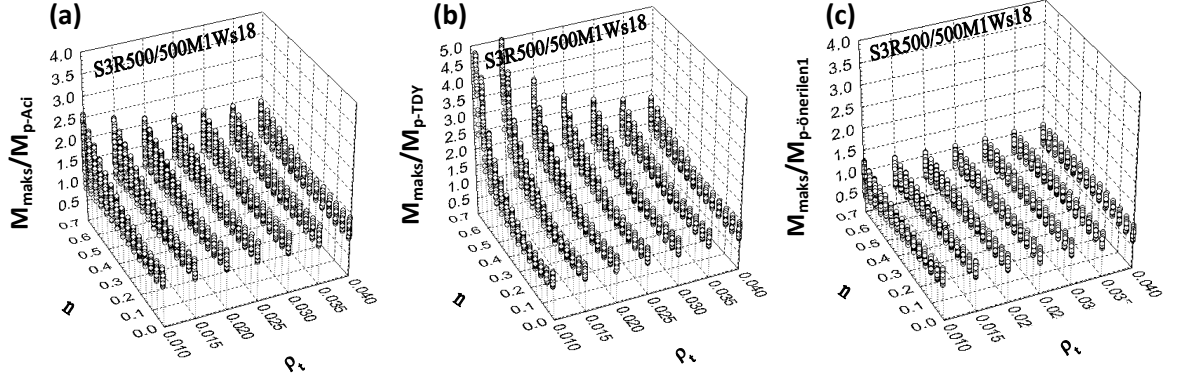
$M_{p,önerilen2}$ Moment Kapasitesi: Betonarme bir kolonun aşılma olasılığı belirli bir düzeydeki (%10) eğilme momenti kapasitesi M_p 'nin taşıma gücü momenti M_r yardımıyla belirlenmesi amacıyla önerilen (4.4) bağıntısı yardımıyla hesaplanan moment kapasitesi.

5.1 Önerilen Yöntemlerin Monte Carlo Simülasyonu ile Karşılaştırılması

Şekil 5. 1~ Şekil 5. 8'de, çalışmada göz önüne alınan çeşitli örnek kolonlar için Monte Carlo simülasyonu sonuçları ile (M_{maks}), $M_{p,Aci}$, $M_{p,TDY}$ ve $M_{p,önerilen1}$ moment kapasitelerinin karşılaştırmaları üç boyutlu diyagramlar üzerinde verilmiştir, Diyagramlarda, incelenen aksel yük (0~0.7) ve toplam boyuna donatı oranı (0.01~0.04) aralığında yaklaşık yöntemlerin (tasarım aşamasındaki özellikler kullanılarak) simülasyon sonucu elde edilen moment kapasitelerine oranlarının etkileşimleri incelendiğinde, özellikle aksel yük düzeyinin artan değerlerinde, önerilen yöntemin diğer yaklaşık yöntemlere kıyasla, tasarım açısından daha kabul edilebilir düzeyde tahminler sergilediği görülmektedir.

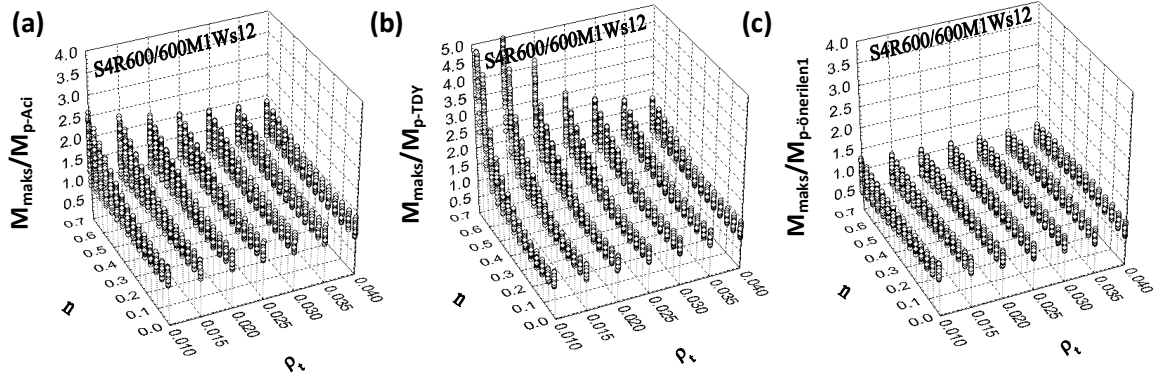


Şekil 5. 1 S3R500/500M1Ws12 kolonunda olası moment kapasitesinin belirlenmesi:
(a) $f_y = 1.25 f_{yk}$ yaklaşımı [5] **(b)** $1.4 M_r$ yaklaşımı [2] **(c)** Önerilen yöntem: (4.2) bağıntısıyla



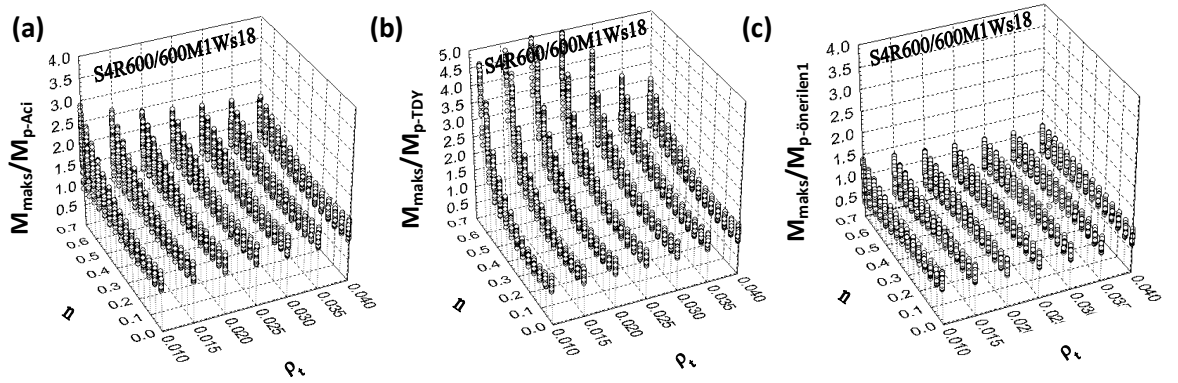
Şekil 5. 2 S3R500/500M1Ws18 kolonunda olası moment kapasitesinin belirlenmesi:

(a) $f_y = 1.25 f_{yk}$ yaklaşımı [5] (b) $1.4M_r$ yaklaşımı [2] (c) Önerilen yöntem: (4.2) bağıntısıyla



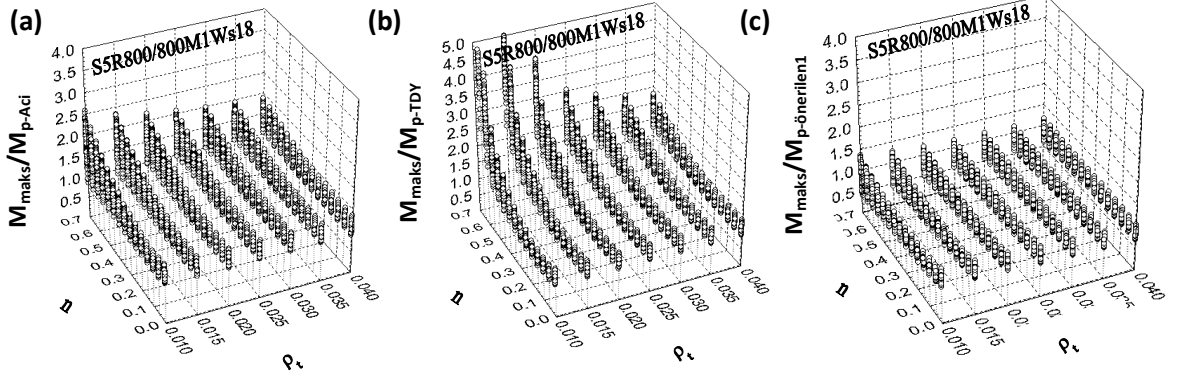
Şekil 5. 3 S4R600/600M1Ws12 kolonunda olası moment kapasitesinin belirlenmesi:

(a) $f_y = 1.25 f_{yk}$ yaklaşımı [5] (b) $1.4M_r$ yaklaşımı [2] (c) Önerilen yöntem: (4.2) bağıntısıyla



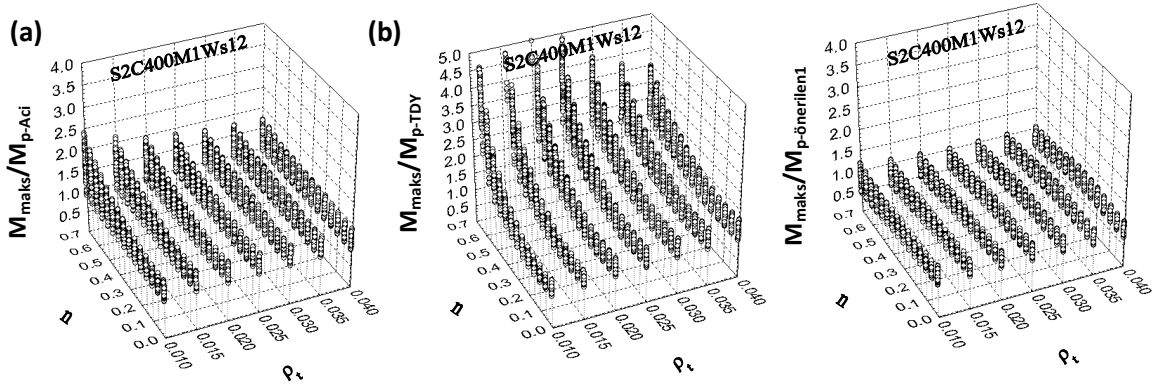
Şekil 5. 4 S4R600/600M1Ws18 kolonunda olası moment kapasitesinin belirlenmesi:

(a) $f_y = 1.25 f_{yk}$ yaklaşımı [5] (b) $1.4M_r$ yaklaşımı [2] (c) Önerilen yöntem: (4.2) bağıntısıyla



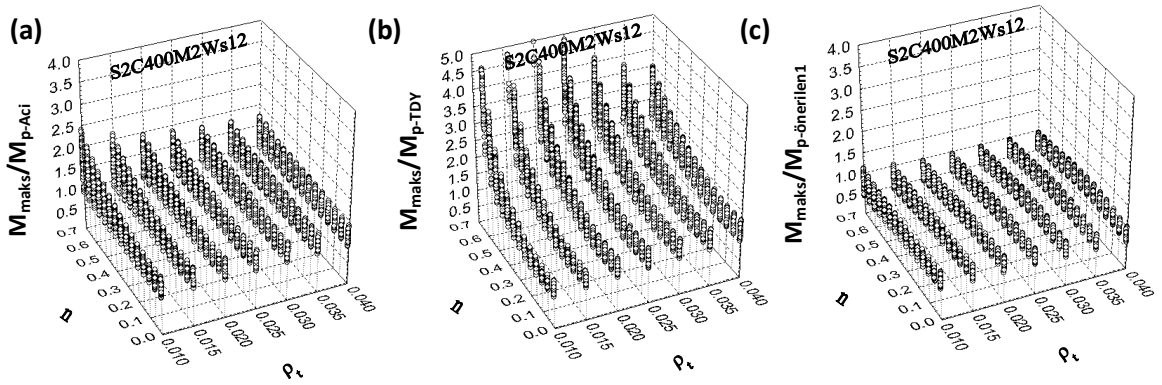
Şekil 5. 5 S5R800/800M1Ws18 kolonunda olası moment kapasitesinin belirlenmesi:

(a) $f_y = 1.25 f_{yk}$ yaklaşımı [5] (b) $1.4M_r$ yaklaşımı [2] (c) Önerilen yöntem: (4.2) bağıntısıyla



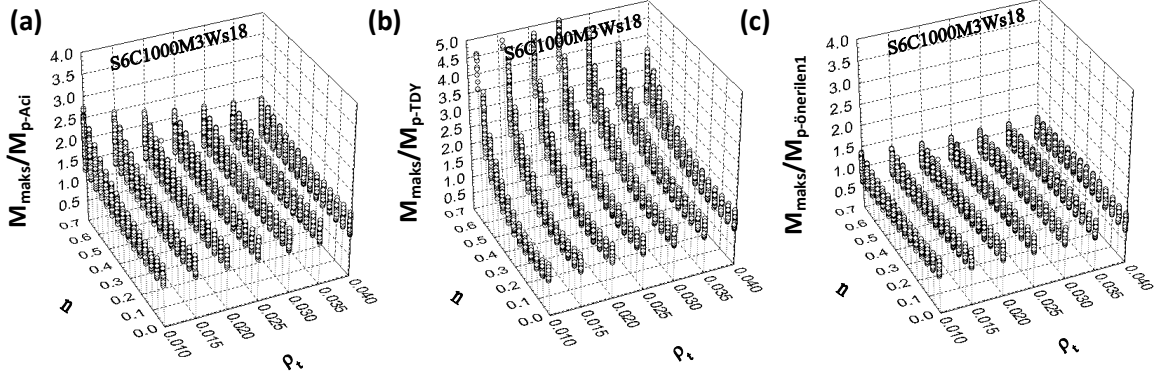
Şekil 5. 6 S2C400M1Ws12 kolonunda olası moment kapasitesinin belirlenmesi:

(a) $f_y = 1.25 f_{yk}$ yaklaşımı [5] (b) $1.4M_r$ yaklaşımı [2] (c) Önerilen yöntem: (4.2) bağıntısıyla



Şekil 5. 7 S2C400M2Ws12 kolonunda olası moment kapasitesinin belirlenmesi:

(a) $f_y = 1.25 f_{yk}$ yaklaşımı [5] (b) $1.4M_r$ yaklaşımı [2] (c) Önerilen yöntem: (4.2) bağıntısıyla



Şekil 5. 8 S6C1000M3Ws18 kolonunda olası moment kapasitesinin belirlenmesi:
(a) $f_y = 1.25 f_{yk}$ yaklaşımı [5] **(b)** $1.4M_r$ yaklaşımı [2] **(c)** Önerilen yöntem: (4.2)
bağıntısıyla

Çizelge 5. 1’de, kolon olası moment kapasitesinin taşıma gücü momentine bağlı biçimde belirlenmesine yönelik önerilen basit yaklaşımların, Monte Carlo benzeşim yöntemi yardımıyla elde edilen sonuçlar ile karşılaştırmaları verilmiştir. Karşılaştırmalarda incelenen eksenel yük düzeyi aralığı 0 ~ 0.5; boyuna donatı oranı aralığı ise 0.01 ~ 0.04’tür. Sözü edilen aralıklarda, Monte Carlo benzeşim yöntemi yardımıyla yapılan kesit analizlerindeki tüm örnek kolonlar, yanal donatı mekanik indeksi, eksenel yük düzeyi ve toplam boyuna donatı oranına göre ayrı ayrı gruplandırılmıştır. Her bir grup için (eksenel yük seviyesi, boyuna donatı oranı ve yanal donatı mekanik indeksi eşit tüm örnek kolonlarda) Monte Calo benzeşim yöntemi yardımıyla elde edilen kolon taşıma gücü artış katsayıları, göz önüne alınan yaklaşık yöntemlerle belirlenen artış katsayıları ile karşılaştırılıp, ilgili yöntemin verdiği sonuçların aşılma olasılıkları belirlenmiştir. Çizelgeden de görüleceği üzere, göz önüne alınan yönetmeliklerde kolon moment kapasitesinin temel tasarım değişkenlerinden bağımsız olarak sabit bir katsayı yardımıyla hesaplanması durumunda, belirlenen kapasitenin aşılma olasılığı tasarım bağlamında kabul edilebilir sınırların çok üstündedir. Çizelgede verilen tüm verilerin ortak değerlendirmesinden, kolon moment kapasitesinin $1.4M_r$ yaklaşımıyla belirlenmesi durumunda aşılma olasılıklarının ortalaması %94, $1.3M_r$ yaklaşımıyla belirlenmesi durumunda %98 ve önerilen (4.4) bağıntısı yardımıyla belirlenmesi durumunda ise %11 dir.

Çizelge 5. 1 Kolon taşıma gücü momenti yardımıyla belirlenen moment kapasitelerinin aşılma olasılıkları

n	ρ_t	Aşılma olasılığı (%)								
		$\omega_s = 0.12$			$\omega_s = 0.15$			$\omega_s = 0.18$		
		$(\approx 1.4M_r)$ (TDY 07)	$(\approx 1.3M_r)$ (Eurocode8)	(4.4) bağıntısıyla	$(\approx 1.4M_r)$ (TDY 07)	$(\approx 1.3M_r)$ (Eurocode8)	(4.4) bağıntısıyla	$(\approx 1.4M_r)$ (TDY 07)	$(\approx 1.3M_r)$ (Eurocode8)	(4.4) bağıntısıyla
0.10	0.010	59.3	84.3	8.0	62.1	85.8	6.1	65.9	87.6	5.0
0.10	0.015	74.2	91.3	12.8	77.2	92.6	10.9	80.8	94.0	9.9
0.10	0.020	81.4	94.1	14.4	84.1	95.1	13.0	87.1	96.3	12.2
0.10	0.025	85.0	95.3	14.1	87.3	96.1	13.0	89.9	97.1	12.6
0.10	0.030	87.3	96.0	12.8	89.3	96.7	12.1	91.6	97.5	11.9
0.10	0.035	88.6	96.4	10.9	90.5	97.0	10.4	92.5	97.8	10.4
0.10	0.040	89.6	96.7	8.7	91.2	97.2	8.5	93.1	97.9	8.6
0.15	0.010	64.6	87.0	5.3	66.8	88.1	3.8	70.1	89.5	3.1
0.15	0.015	76.9	92.3	10.1	79.4	93.3	8.5	82.4	94.5	7.7
0.15	0.020	83.2	94.7	13.3	85.4	95.5	11.9	88.1	96.4	11.3
0.15	0.025	86.6	95.8	14.8	88.5	96.4	13.7	90.8	97.2	13.4
0.15	0.030	88.8	96.5	15.2	90.5	97.1	14.4	92.4	97.7	14.2
0.15	0.035	90.1	96.9	14.6	91.6	97.4	14.0	93.3	98.0	14.0
0.15	0.040	90.9	97.1	13.4	92.2	97.5	13.0	93.8	98.1	13.1
0.20	0.010	78.1	93.2	3.7	79.6	93.8	2.6	81.8	94.6	2.2
0.20	0.015	84.9	95.5	7.8	86.5	96.0	6.5	88.5	96.7	6.0
0.20	0.020	88.5	96.6	11.3	89.9	97.0	10.2	91.7	97.6	9.9
0.20	0.025	90.3	97.0	14.0	91.5	97.4	13.0	93.1	97.9	12.9
0.30	0.010	91.5	97.3	15.7	92.6	97.7	15.0	94.0	98.2	15.0
0.30	0.015	92.1	97.5	16.5	93.1	97.8	15.9	94.4	98.2	16.0
0.30	0.020	92.5	97.5	16.5	93.4	97.8	16.1	94.7	98.3	16.3
0.30	0.025	90.2	97.4	2.9	91.0	97.6	2.2	92.0	97.9	1.9
0.30	0.030	92.1	97.8	6.2	92.9	98.0	5.3	93.9	98.3	5.1
0.30	0.035	93.0	97.9	9.3	93.8	98.2	8.7	94.8	98.5	8.6
0.30	0.040	93.4	97.9	12.2	94.1	98.1	11.7	95.1	98.4	11.8
0.35	0.010	93.7	98.0	14.6	94.4	98.1	14.1	95.3	98.5	14.4
0.35	0.015	93.8	97.9	16.1	94.5	98.1	15.8	95.4	98.4	16.1
0.35	0.020	93.8	97.8	17.1	94.5	98.0	16.9	95.4	98.4	17.2
0.35	0.025	97.7	99.5	3.3	98.0	99.6	2.5	98.2	99.6	2.3
0.35	0.030	97.5	99.4	5.9	97.8	99.4	5.3	98.1	99.5	5.2
0.35	0.035	97.2	99.2	8.5	97.5	99.3	8.2	97.9	99.4	8.3

Çizelge 5. 1 Kolon taşıma gücü momenti yardımıyla belirlenen moment kapasitelerinin aşılma olasılıkları (Devamı)

n	ρ_t	Aşılma olasılığı (%)								
		$\omega_s = 0.12$			$\omega_s = 0.15$			$\omega_s = 0.18$		
		($\approx 1.4M_r$) (TDY 07)	($\approx 1.3M_r$) (Eurocode8)	(4.4) bağıntısıyla	($\approx 1.4M_r$) (TDY 07)	($\approx 1.3M_r$) (Eurocode8)	(4.4) bağıntısıyla	($\approx 1.4M_r$) (TDY 07)	($\approx 1.3M_r$) (Eurocode8)	(4.4) bağıntısıyla
0.35	0.040	97.7	99.2	14.6	97.9	99.2	14.9	98.2	99.3	15.7
0.40	0.010	99.9	100.0	6.3	100.0	100.0	5.5	100.0	100.0	5.5
0.40	0.015	99.9	100.0	6.2	99.9	100.0	6.0	99.9	100.0	6.4
0.40	0.020	99.8	99.9	6.8	99.8	99.9	6.9	99.8	100.0	7.6
0.40	0.025	99.6	99.9	7.8	99.6	99.9	8.1	99.7	99.9	9.0
0.40	0.030	99.4	99.8	9.0	99.4	99.8	9.5	99.5	99.8	10.5
0.40	0.035	99.1	99.7	10.2	99.2	99.7	10.8	99.3	99.8	11.8
0.40	0.040	98.9	99.6	11.3	98.9	99.6	12.0	99.1	99.7	13.0
0.45	0.010	100.0	100.0	13.1	100.0	100.0	12.4	100.0	100.0	12.9
0.45	0.015	100.0	100.0	8.4	100.0	100.0	8.4	100.0	100.0	9.2
0.45	0.020	99.9	100.0	6.8	99.9	100.0	7.2	99.9	100.0	8.2
0.45	0.025	99.8	99.9	6.5	99.8	100.0	7.0	99.9	100.0	8.1
0.45	0.030	99.7	99.9	6.8	99.7	99.9	7.5	99.8	99.9	8.6
0.45	0.035	99.6	99.9	7.3	99.6	99.9	8.0	99.6	99.9	9.2
0.45	0.040	99.4	99.8	7.9	99.4	99.8	8.7	99.5	99.8	9.9
0.50	0.010	100.0	100.0	30.8	100.0	100.0	31.8	100.0	100.0	32.8
0.50	0.015	100.0	100.0	15.8	100.0	100.0	16.4	100.0	100.0	18.1
0.50	0.020	99.9	100.0	9.2	100.0	100.0	10.0	100.0	100.0	11.5
0.50	0.025	99.9	100.0	6.6	99.9	100.0	7.4	99.9	100.0	8.7
0.50	0.030	99.8	99.9	5.7	99.8	99.9	6.5	99.9	99.9	7.7
0.50	0.035	99.7	99.9	5.4	99.7	99.9	6.2	99.8	99.9	7.3
0.50	0.040	99.6	99.9	5.4	99.6	99.9	6.2	99.7	99.9	7.3

5.2 Önerilen Yöntemlerin Deneysel Sonuçlarla Karşılaştırılması

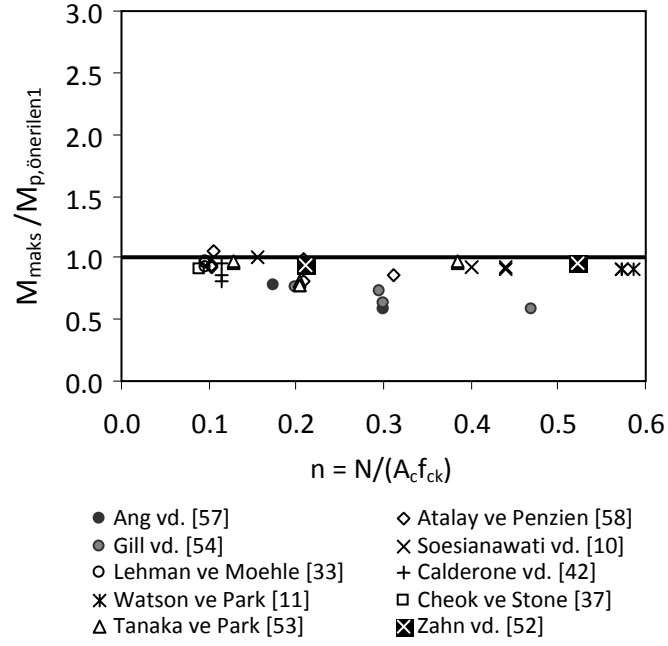
Çalışmanın bu bölümünde, çeşitli araştırmacılar tarafından, sabit düşey yük ve çevrimsel yatay yük altında deprem yüklerine benzeştirilerek test edilmiş ve taşıma güçlerine eğilme kırılmasıyla ulaşan kolon deney elemanlarının sonuçlarından yararlanılacaktır. Söz konusu deney elemanlarının genel özellikleri, eğilme momenti kapasiteleri ve *tasarım aşamasında rapor edilen karakteristik malzeme dayanımları* Çizelge 5. 2’de özetlenmiştir.

Şekil 5. 9 ve Şekil 5. 10’da, ele alınan deneysel kolonların *tasarım aşamasında rapor edilen malzeme dayanımları* yardımıyla, bu çalışmada önerilen (4.2) ve (4.4) bağıntıları

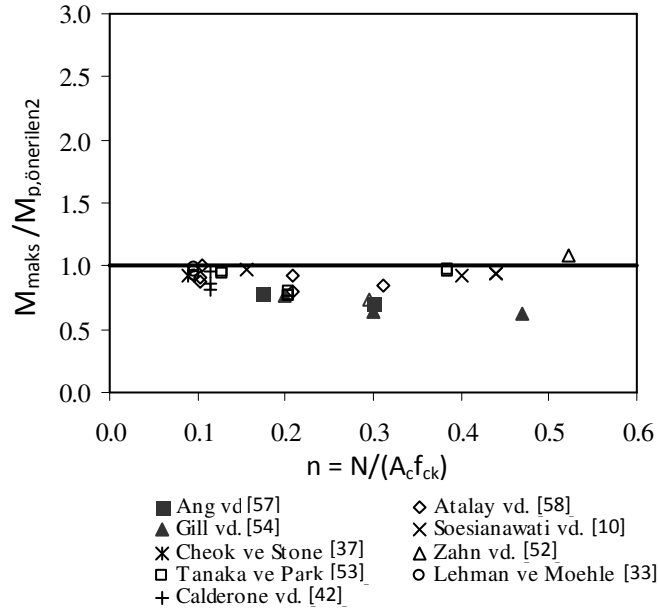
yardımıyla belirlenen olası eğilme momenti kapasitelerinin ($M_p = \beta_{r,10} \times M_n$, $M_p = \lambda_{r,10} M_r$), deneysel eğilme momenti kapasiteleriyle karşılaştırılmaları verilmiştir. Çizelge 5. 2'den de görüleceği üzere, karşılaştırmalarda karakteristik malzeme dayanımları (f_{ck} , f_{yk} , f_{ywk}) gerçek malzeme dayanımlarının (f_c , f_y , f_{yw}) üzerinde olan kolonlar olabildiği gibi; altında olan kolonlar da (bu tip elemanlar diyagramlarda iç bölümü taranmış işaretçilerle gösterilmiştir) olabilmektedir.

Çizelge 5. 2 Deney elemanları ve genel özellikleri

Eleman ismi/ Referans	Tasarım aşaması				Deney aşaması		
	$f_{ck}/f_{yk}/f_{ywk}$ (MPa)	b/h (mm)	ρ_t	ρ_s	N (kN)	$f'_c/f_y/f_{yw}$ (MPa)	M_{max} (kNm)
No3/[57]	30/ 380/ 275	400/400	0.0151	0.028	1435	23.6/ 427/ 320	337
No4/[57]	30/ 380/ 275	400/400	0.0151	0.022	840	25/ 427/ 280	298
No7/[52]	30/ 380/ 380	400/400	0.0151	0.016	1010	28.3/ 440/ 466	398
No8/[52]	30/ 380/ 380	400/400	0.0151	0.020	2502	40.1/ 440/ 466	554
No1/[10]	30/ 380/ 275	400/400	0.0151	0.009	744	46.5/ 446/ 364	354
No2/[10]	30/ 380/ 275	400/400	0.0151	0.012	2112	44/ 446/ 360	481
No3/[10]	30/ 380/ 275	400/400	0.0151	0.008	2112	44/ 446/ 364	474
No4/[10]	30/ 380/ 275	400/400	0.0151	0.006	1920	40/ 446/ 255	457
No5/[11]	35/ 380/ 275	400/400	0.0151	0.007	3280	41/ 474/ 372	535
No6/[11]	35/ 380/ 275	400/400	0.0151	0.003	3200	40/ 474/ 388	528
No10/[11]	35/ 380/ 275	400	0.0182	0.006	2652	40/ 474/ 372	393
407/[33]	22.8/ 414/ 552	610	0.0075	0.007	654	31/ 462/ 607	443
415/[33]	22.8/ 414/ 552	610	0.0149	0.007	654	31/ 462/ 607	708
430/[33]	22.8/ 414/ 552	610	0.0298	0.007	654	31/ 462/ 607	1180
Flexure/[37]	27.6/ 414/ 414	1520	0.0200	0.006	4450	35.8/ 475/ 493	13300
328/[42]	27.6/ 414/ 414	610	0.0273	0.009	912	34.5/ 441/ 607	1030
828/[42]	27.6/ 414/ 414	610	0.0273	0.009	912	34.5/ 441/ 607	975
1028/[42]	27.6/ 414/ 414	610	0.0273	0.009	912	34.5/ 441/ 607	1160
No1/[53]	25/ 380/ 275	400/400	0.0157	0.025	819	25.6/ 474/ 333	290
No2/[53]	25/ 380/ 275	400/400	0.0157	0.025	819	25.6/ 474/ 333	291
No3/[53]	25/ 380/ 275	400/400	0.0157	0.025	819	25.6/ 474/ 333	302
No4/[53]	25/ 380/ 275	400/400	0.0157	0.025	819	25.6/ 474/ 333	292
No5/[53]	25/ 380/ 275	550/550	0.0125	0.017	968	32/ 511/ 325	704
No6/[53]	25/ 380/ 275	550/550	0.0125	0.017	968	32/ 511/ 325	717
No7/[53]	25/ 380/ 275	550/550	0.0125	0.021	2913	32.1/ 511/ 325	1070
No8/[53]	25/ 380/ 275	550/550	0.0125	0.021	2913	32.1/ 511/ 325	1090
No1/[54]	30/ 380/ 275	550/550	0.0179	0.015	1815	23.1/ 375/ 297	838
No2/[54]	30/ 380/ 275	550/550	0.0179	0.023	2680	41.4/ 375/ 316	953
No3/[54]	30/ 380/ 275	550/550	0.0179	0.020	2719	21.4/ 375/ 297	817
No4/[54]	30/ 380/ 275	550/550	0.0179	0.031	4265	23.5/ 375/ 294	903
1S1/[58]	27.6/ 275/ 275	305/305	0.0163	0.015	267	29.1/ 367/ 363	112
2S1/[58]	27.6/ 275/ 275	305/305	0.0163	0.009	267	20.7/ 367/ 363	113
3S1/[58]	27.6/ 275/ 275	305/305	0.0163	0.015	267	29.2/ 367/ 363	105
5S1/[58]	27.6/ 275/ 275	305/305	0.0163	0.015	534	29.4/ 429/ 392	139
6S1/[58]	27.6/ 275/ 275	305/305	0.0163	0.009	534	31.8/ 429/ 392	143
No9/[58]	27.6/ 275/ 275	305/305	0.0163	0.015	801	33.3/ 363/ 392	148
No10/[58]	27.6/ 275/ 275	305/305	0.0163	0.009	801	32.4/ 363/ 392	151



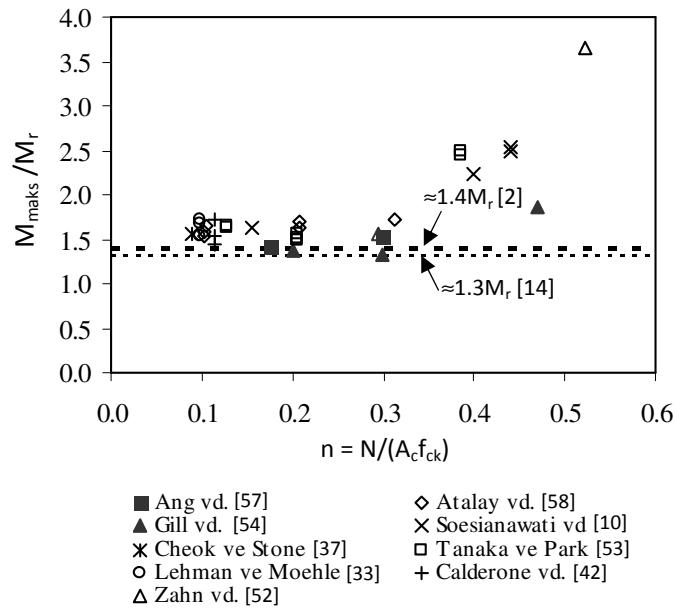
Şekil 5. 9 Önerilen yöntemin deneysel sonuçlarla karşılaştırılması



Şekil 5. 10 Önerilen yöntemin deneysel sonuçlarla karşılaştırılması

Deneysel moment kapasitelerinin, tasarım aşamasındaki malzeme dayanımları yardımıyla belirlenmiş hesap dayanımları ($f_{cd}=f_{ck}/\gamma_c$, $f_{yd}=f_{yk}/\gamma_s$) yardımıyla elde edilen taşıma gücü momenti M_r ile oranlarının kolon eksenel yük seviyesine göre değişimleri Şekil 5. 11’de verilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi, boyutsuz eksenel yük seviyesi arttıkça eğilme momenti artış katsayısının büyüdüğü görülmektedir. Boyutsuz eksenel

yük seviyesi arttıkça taşıma gücü momenti M_r , gerçek kapasitenin altında olması ve daha küçük bir eksenel yük seviyesinden (dengeli eksenel yük) itibaren azalım eğilimine geçmesi nedeni ile bu tip bir eğilim doğaldır. Ayrıca karakteristik beton dayanımı ile gerçek dayanım arasındaki farklılık arttıkça sözü edilen bölgedeki artış miktarının daha da büyüyeceği beklenebilir. Eksenel yük seviyesinin görece küçük değerlerinde söz edilen oranlar 1.75 değerini bulabilmektedir. Bu durum özellikle donatı çeliği akma dayanımında meydana gelen dayanım fazlalığı ve donatı oranının büyük olmasına bağlıdır.



Şekil 5. 11 M_{maks}/M_r oranlarının kolon eksenel yük seviyelerine göre değişimleri

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, bileşik eğilme etkisindeki betonarme kolonların olası eğilme momenti kapasitesinin gerçeğe yakın bir şekilde belirlenmesi ve bu kapasite üzerinde çeşitli tasarım değişkenlerinin etkileri incelenmiştir. Bu amaçla, malzeme özelliklerinin, kesit boyutlarının ve analitik moment-eğrilik ilişkilerinin sonuçlarının rasgele değişken olarak gözönüne alındığı bir yöntem kullanılmıştır. Rasgele değişkenlerin sayısal değerlerinin - bir başka ifade ile moment-eğrilik ilişkilerinin belirlenmesinde göz önüne alınan birçok giriş bilgisinin -Monte Carlo benzeşim yöntemi yardımıyla türetildiği analizlerde, analitik moment eğrilik ilişkilerinin belirlenmesinde üç farklı sargılı beton davranış modeli kullanılmıştır. Malzemenin doğrusal olmayan davranışının göz önüne alındığı farklı davranış modelleri deneysel moment kapasitelerin karşılaştırılmasından, her bir analitik model için model belirsizlik katsayıları ayrı ayrı belirlenmiştir. Yeter sayıda örnekleme ile çalışmada göz önüne alınan örnek kolon kesitleri için yapılan analiz sonuçlarından, aşılma olasılığı belirli bir orandaki kolon olası moment kapasitesinin belirlenmesine yönelik iki basit yöntem önerilmiştir. Önerilen yöntemlerde, kolon olası moment kapasitesi (M_p), tasarım aşamasında belirli olan karakteristik eleman özellikleri ile belirlenen karakteristik moment taşıma gücü (M_n) ve moment taşıma gücü (M_r) değerleri yardımıyla, (4.1~4.2) ve (4.3~4.4) bağıntıları kullanılarak belirlenebilir.

Temel belirsizlik kaynaklarındaki değişkenliklerin göz önüne alındığı analiz sonuçları ve kolon olası moment kapasitesinin (M_p) deterministik yaklaşımla belirlenen eğilme momenti taşıma gücü momentleriyle (M_n , M_r) karşılaştırılmasında aşağıdaki sonuçlara varılabilir:

- Betonarme kolonların davranışı üzerine yapılan istatistiksel çalışmalarda, gözlenen davranış parametresine (kesitin sınır eğriliği, dönme kapasitesi vb.) bağlı olarak farklı örnekleme sayıları kullanılabilir. Örnekleme sayısının taşıma gücü artış katsayısı üzerine etkilerinin araştırılması amacıyla çeşitli sayıda (100~1500) örnekleme ile ön denemeler yapılmış ve örnekleme sayısının 300 ve üzerindeki değerleri için, kolon moment kapasitesi ve/veya taşıma gücü momenti artış katsayısı ile örnekleme sayısı arasında sabite yakın bir ilişki gözlenmiştir.
- Kolon eğilme momenti artış katsayılarındaki değişkenlikler (saçılma) başta boyutsuz eksenel yük seviyesinin artması ve boyuna donatı oranının değişimine bağlı olarak farklı eğilimler sergileyebilmektedir. Sözü edilen değişkenlikler eksenel yük düzeyinin büyük değerlerinde donatı oranının azalmasıyla; eksenel yük düzeyinin düşük değerlerinde ise donatı oranının artmasıyla daha da belirginleşmektedir. Küçük eksenel yük düzeylerinde, donatı oranının artımıyla gözlenen değişim, boyuna donatı akma dayanımındaki değişkenlik ve artan boyuna donatı oranının ortak etkisinin; görel olarak küçük donatı yüzdeleri ve görel olarak artan pekleşme potansiyeli ile gerilme artışının ortak etkisinden büyük olabileceğini göstermektedir.
- Beton ve/veya donatı çeliği sınıflarındaki farklılığın karakteristik taşıma gücü momenti artış katsayılarındaki ($\beta_{%10} = M_p/M_n$) değişkenlikler üzerindeki etkileri, sadece yüksek eksenel yük düzeylerinde bir miktar büyük olmakla beraber genelde sınırlı olmaktadır. Benzer bir eğilim taşıma gücü momenti artış katsayılarında ($\lambda_{r,%10} = M_p/M_r$) da gözlenmiştir.
- Donatı düzenleri ve kesit boyutlarındaki farklılıkların karakteristik taşıma gücü momenti artış katsayıları ($\beta_{%10} = M_p/M_n$) üzerinde meydana getirdiği değişkenlikler genelde sınırlıdır. Kesit geometrisindeki farklılığın (dikdörtgen veya dairesel) etkileri ise, özellikle boyuna donatı oranının artmasıyla belirginleşmekle birlikte, donatı oranının nispeten küçük değerleri için genelde sınırlı olmaktadır. Benzer eğilimler taşıma gücü momenti artış katsayıları ($\lambda_{r,%10} = M_p/M_r$) içinde geçerlidir.
- Kolon eğilme momenti artış katsayılarındaki değişkenlikler başta boyutsuz

eksenel yük seviyesinin artması ve boyuna donatı oranının azalmasıyla belirginleşmektedir. Sözü edilen artış katsayıları üzerinde belirgin değişkenliklere neden olan başlıca temel belirsizlik kaynakları; beton basınç dayanımı ve donatı çeliği akma ve kopma dayanımlarındaki değişkenliklerdir ve analitik model belirsizliğidir. Bir başka ifade ile beton basınç dayanımı ve donatı çeliği akma ve kopma dayanımları analitik model belirsizliği dışında çalışmada dikkate alınan tüm rasgele değişkenlikler, moment kapasitesi belirlenmesi bağlamında, deterministik kabul edilebilir (örneğin kesit boyutları vb.).

- Kolon moment kapasitesinin, taşıma gücü momenti ya da karakteristik taşıma gücü momenti yardımıyla, aşılma olasılığı belirli bir düzeydeki değerinin tahmininde bu çalışmada önerilen bağıntılar, Monte Carlo benzeşimi ve deneysel sonuçlarla karşılaştırıldığında, tasarım aşamasında kabul edilebilir yakınsaklıkta sonuçlar verdiği görülmüştür.
- Kolon taşıma gücü momenti artış katsayıları, taşıma gücü hesaplarında ihmal edilen parametreler ve temel belirsizlik kaynaklarındaki değişkenliklerden belirgin düzeyde etkilenmektedir. Sözü edilen artış katsayılarının temel tasarım değişkenlerinden bağımsız olarak sabit bir katsayı yardımıyla hesaplanması durumunda, belirlenen kapasitenin aşılma olasılığı tasarım bağlamında kabul edilebilir sınırların çok üstündedir. Analizlerde esas alınan tüm örnek kolonlar için, kolon moment kapasitesinin $1.4M_r$ yaklaşımıyla belirlenmesi durumunda aşılma olasılıklarının ortalaması %94, $1.3M_r$ yaklaşımıyla belirlenmesi durumunda %98 ve önerilen (4.4) bağıntısı yardımıyla belirlenmesi durumunda ise %11'dir.
- Monte-Carlo benzeşim yöntemi yardımıyla, temel belirsizlik kaynaklarındaki değişkenliklerin, belirli bir süneklik düzeyindeki (düşük, orta ve yüksek) kolonun yanal donatı gereksinimi üzerindeki etkileri incelenmelidir. Bu tip bir incelemede örnekleme sayısı çalışmada dikkate alınan örnekleme sayısının üzerinde olabilir.
- Temel belirsizlik kaynaklarının betonarme bir kolonun sınır durumdaki dönme kapasitesi üzerine etkileri incelenerek, belirli bir plastik dönme değeri kabulüyle, kolon eksenel yük değeri sınırlandırılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, (1997). “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik”, Ankara.
- [2] Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, (2007). “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik”, Ankara.
- [3] Ersoy, U., ve Özcebe, G., (2001). “Betonarme”, Evrim Yayınevi.
- [4] Türk Standartları Enstitüsü TS-500 (2000), “Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları”, Ankara.
- [5] American Concrete Institute, ACI-318-05 (2005), “Building Codes Requirements for Reinforced Concrete”, Detroit.
- [6] Gündüz, A., (1991). “Yüksek ve Normal Mukavemetli Beton Davranışının Yanal Donatıyla Yetkinleştirilmesi”, 2. Ulusal Betonarme Kongresi Bildiriler Kitabı, İMO, İstanbul: 147-158.
- [7] Tankut, T., (1990). “Yerinde Tutulmuş Boyuna Çubukların Sargılama Etkisi”, Teknik Dergi, 1(3):169-175.
- [8] Aydemir, C., Zorbozan M., ve Alacalı S.N., (2009). “Dikdörtgen Kesitli Betonarme Kolonların M_p Moment Kapasitelerinin Belirlenmesi”, İMO Teknik Dergi, 20(1):4545-4565.
- [9] Aschheim M., Moehle J.P., ve Mahin S.A., (1997). “Design Evaluation of RC Bridges for Seismic Resistace”, Report No. EERC 97-04, University of California, Berkeley.
- [10] Ersoy, U., (1998), “Betonarme Kiriş ve Kolonların Moment Kapasitelerinin Saptanması”, İMO Teknik Dergi, 9(4):1781-1797.
- [11] Ang B. G., Priestley M.J.N., ve Paulay T., (1985), “Seismic Shear Strength of Circular Bridge Piers”, Report 85-5, Department of Civil Engineering, University of Canterbury, Christchurch, New Zealand.
- [12] Soesianawati, M.T., Park, R., ve Priestley, M.J.N., (1986), “Limited Ductility Design of Reinforced Concrete Columns”, Report 86-10, Department of Civil Engineering, University of Canterbury, Christchurch, New Zealand.

- [13] Watson, S., ve Park, R., (1989), "Design of Reinforced Concrete Frames of Limited Ductility", Report 89-4, Department of Civil Engineering, University of Canterbury, Christchurch, New Zealand.
- [14] CEN Techn.Comm., Eurocode 8 (2004), "Design of Structures for Earthquake Resistance", Part 1: General Rules, Seismic Actions and Rules for Building, CEN, Brussels.
- [15] Tichy, M., ve Vorlicek, M., (1962), "Safety of Eccentrically Loaded Reinforced Concrete Columns", Journal of the Structural Division, ASCE, 88(ST5):1-10.
- [16] Grant L.H., Mirza S.A., ve MacGregor J.G., (1978), "Monte Carlo Study of Strength of Concrete Columns", ACI Structural Journal, 75(8):348-57.
- [17] Israel M., Ellingwood B., ve Corotis R., (1987), "Reliability-Based Code Formulations for Reinforced Concrete Buildings", Journal of Structural Engineering, ASCE, 113(10):2235-52.
- [18] Kareem A., Hsieh J., (1988), "Statistical Analysis of Tubular R/C Sections", Journal of Structural Engineering, ASCE, 114(4):900-16.
- [19] Ruiz S.E., ve Aguilar J.C., (1994), "Reliability of Short and Slender Reinforced Concrete Columns", Journal of the Structural Division, ASCE, 120(6):1850-65.
- [20] Frangopol DM, Yutuka I., Spacone E., ve Iwaki I., (1996), "A New Look at Reliability of Reinforced Concrete Columns", Structural Safety, 18(2/3):123-50.
- [21] Kappos AJ, Chryssanthopoulos MK, Dymiotis C., (1999), "Uncertainty analysis of strength and ductility of confined reinforced concrete members" J of Engineering Structures, 21:195-208.
- [22] Yong Lu ve Xiaoming Gu., (2004), "Probability Analysis of RC Member Deformation Limits for Different Performance Levels and Reliability of Their Deterministic Calculations", J. of Structural Safety, 26:367-389.
- [23] Ang A.H-S., ve Tang W.H., (2007), "Probability Concepts in Engineering", Wiley and sons, 2nd edition.
- [24] Gündüz, A., (1996), "Mühendislikte Olasılık, İstatistik, Risk ve Güvenilirlik", Küre Basım Yayım, 1.Baskı.
- [25] MathSoft Inc., (1999) "MathCad 2000" for Windows.
- [26] Joint Committee for Structural Safety, (1995) "Probabilistic model code. Part 3: Resistance models" Working document JCSS-RACK-08-01-95.
- [27] Scott BD, Park R, ve Priestley MJN. (1982), "Stress-strain behavior of concrete confined by overlapping hoops at low and high strain rates". ACI Structural Journal, 79(1):13-27.
- [28] Saatçioğlu, M., ve Ravzi, S.R., (1991), "Flexural Members with Confined Concrete", ASCE Journal of Structural Division, 97(ST7).
- [29] Hognestad, E., (1951), "A Study of Combined Bending and Axial Load in RC Members", University of Illinois Engineering Exp. Sta. Bull., No 399.

- [30] Mander, J.B., Priestley, M.J.N., ve Park, R., (1988), "Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete", *ASCE Structural Journal*, 114(8):1804-1826.
- [31] Belarbi A, ve Hsu TTC., (1994), "Constitutive Laws of Concrete in Tension and Reinforcing Bars Stiffened by Concrete", *ACI Structural Journal*, 91(4):465-74.
- [32] Bae S., ve Bayrak O., (2008), "Seismic Performance of Full-Scale Reinforced Concrete", *ACI Structural Journal*, 105(2):123-133.
- [33] Lehman, D.E., ve Moehle, J.P., (2000), "Seismic Performance of Well-Confined Concrete Bridge Columns", *Pacific Earthquake Engineering Research Center Report 1998/01*, University of California, Berkeley.
- [34] Saatcioglu, M., ve Baingo, D., (1999), "Circular High-Strength Concrete Columns under Simulated Seismic Loading", *J. of Struct. Eng.*, 125(3), 272-280.
- [35] Sritharan, S., Priestley, M.J.N., ve Seible F., (1996), "Seismic Response of Column/Cap Beam Tee Connections with Cap Beam Prestressing", *Structural Systems Research Project*, Report No. ssrp-96/09, University of California, San Diego.
- [36] Wong, Y.L., Paulay, T., ve Priestley, M.J.N., (1990), "Squat Circular Bridge Piers Under Multi-Directional Seismic Attack", *Report 90-4*, Department of Civil Engineering, University of Canterbury, Christchurch, New Zealand.
- [37] Cheok, G.S., and Stone, W. C., (1986), "Behavior of 1/6-Scale Model Bridge Columns Subjected to Cycle Inelastic Loading", *NBSIR 86-3494*, U.S. National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland.
- [38] Kunnath, S., El-Bahy, A., Taylor, A., ve Stone, W., (1997), "Cumulative Seismic Damage of Reinforced Concrete Bridge Piers", *Technical Report NCEER-97-0006*, National Center for Earthquake Engineering Research, Buffalo, New York.
- [39] Kowalsky, M.J., Priestley, M.J.N., ve Seible, F., (1999), "Shear and Flexural Behavior of Lightweight Concrete Bridge Columns in Seismic Regions", *ACI Struct. J.*, 96(1):136-148.
- [40] Hose, Y.D., Seible, F. ve Priestley, M.J.N., (1997), "Strategic Relocation of Plastic Hinges in Bridge Columns", *Structural Systems Research Project*, 97/05, University of California, San Diego, La Jolla, September.
- [41] Henry, L., ve Mahin, S. A., (1999), "Study of Buckling of Longitudinal Bars in Reinforced Concrete Bridge Columns", *Report to the California Department of Transportation*.
- [42] Calderone, A.J., Lehman, D.E., ve Moehle, J.P., (2000), "Behavior of Reinforced Concrete Bridge Columns Having Varying Aspect Ratios and Varying Lengths of Confinement", *Pacific Earthquake Engineering Research Center*, University of California, Berkeley.
- [43] Ang B. G., Priestley M.J.N., ve Paulay T., (1989), "Seismic Shear Strength of Circular Reinforced Concrete Columns", *ACI Structural Journal*, January-February:45-59.

- [44] Kanda, M., Shirai, N., Adachi, H., ve Sato, T., (1988), "Analytical Study on Elasto-Plastic Hysteretic Behaviors of Reinforced Concrete Members", Transactions of the Japan Concrete Institute, 10.
- [45] Matamoros, A.B., (1999), "Study of Drift Limits for High-Strength Concrete Columns", Department of Civil Engineering, University of Illinois at Urbana-Champaign.
- [46] Ohno, T., ve Nishioka, T., (1984), "An Experimental Study on Energy Absorption Capacity of Columns in Reinforced Concrete Structures", Proceedings of the JSCE, Structural Engineering/Earthquake Engineering, 1(2).
- [47] Park, R., ve Paulay, T., (1990), "Use of Interlocking Spirals for Transverse Reinforcement in Bridge Columns." Strength and Ductility of Concrete Substructures of Bridges, RRU (Road Research Unit) Bulletin 84(1):77-92.
- [48] Nagasaka, T., (1982), "Effectiveness of Steel Fiber as Web Reinforcement in Reinforced Concrete Columns", Transactions of the Japan Concrete Institute, 4.
- [49] Noshio, K., Stanton, J., ve MacRae, G., (1996), "Retrofit of Rectangular Reinforced Concrete Columns using Tonen Forca Tow Sheet Carbon Fiber Wrapping", Report No. SGEM 96-2, Department of Civil Engineering, University of Washington, Seattle.
- [50] Mo, Y.L., ve Wang, S.J., (2000), "Seismic Behavior of RC Columns with Various Tie Configurations", J. Struct. Eng., 126(10):1122-1130.
- [51] Saatcioglu, M., ve Gira, M., (1999), "Confinement of Reinforced Concrete Columns with Welded Reinforcement Grids", ACI Struct. J., 96(1):29-39.
- [52] Zahn, F.A., Park, R., ve Priestley, M.J.N., (1986), "Design of Reinforced Bridge Columns for Strength and Ductility", Report 86-7, Department of Civil Engineering, University of Canterbury, Christchurch, New Zealand.
- [53] Tanaka, H., ve Park, R., (1990), "Effect of Lateral Confining Reinforcement on the Ductile Behavior of Reinforced Concrete Columns", Report 90-2, Department of Civil Engineering, University of Canterbury, Christchurch, New Zealand.
- [54] Gill, W. D., Park, R., ve Priestley, M.J.N., (1979), "Ductility of Rectangular Reinforced Concrete Columns With Axial Load", Report 79-1, Department of Civil Engineering, University of Canterbury, Christchurch, New Zealand.
- [55] Kono, S., ve Watanabe, F., (2000), "Damage Evaluation of Reinforced Concrete Columns Under Multiaxial Cyclic Loadings", The Second U.S.-Japan Workshop on Performance-Based Earthquake Engineering Methodology for Reinforced Concrete Building Structures, Sapporo, Japan.
- [56] Azizinamini, A., Johal, L. S., Hanson, N. W., Musser, D. W., ve Corley, W.G., (1988), "Effects of Transverse Reinforcement on Seismic Performance of Columns – A Partial Parametric Investigation", Project No. CR-9617, Construction Technology Laboratories, Skokie, Illinois.

- [57] Ang Beng G., Priestley, M.J.N., ve Park R., (1981), "Ductility of Reinforced Bridge Piers Under Seismic Loading", Report 81-3, Department of Civil Engineering, University of Canterbury, Christchurch, New Zealand, February.
- [58] Atalay, M.B., ve Penzien, J., (1975), "The Seismic Behavior of Critical Regions of Reinforced Concrete Components as Influenced by Moment, Shear and Axial Force", Report No. EERC 75-19, University of California, Berkeley, California.
- [59] Saatcioglu, M., ve Özcebe, G., (1989), "Response of Reinforced Concrete Columns to Simulated Seismic Loading", ACI Struct. J., 86(1):3-12.
- [60] Bartlett FM, MacGregor JG., (1996), "Statistical Analysis of the Compressive Strength of Concrete in Structures", ACI Mat J, 93(2):158-68.
- [61] Trezos CG., (1997), "Reliability Considerations on the Confinement of RC Columns for Ductility", Soil Dyn Earthquake Eng., 16:1-8.
- [62] Pipa M., ve Carvalho E.C., (1994), "Reinforcing Steel Characteristics for Earthquake Resistant Structures". Proceedings of the 10th European Conference on Earthquake Engineering, vol. 4. Vienna, August-September, 2887-92.
- [63] Mirza S.H., Hatzinikolas M., ve MacGregor J.G., (1979), "Variation in Dimensions of Reinforced Concrete", Journal of Struct. Div, ASCE, 105(4):751.
- [64] Mirza SH., Hatzinikolas M., MacGregor JG. (1979) Statistical descriptions of strength of concrete, Journal of Structural Engineering, ASCE, 105(6):1021-37.
- [65] StatSoft Inc., (1995), "STATISTICA V.6.0 for Windows", Tulsa, OK, USA.

KHİ-KARE DAĞILIMI $C_{1-\alpha,f}$ DEĞERLERİ

```

Ckri:= C10,0 ← 0.001
      C10,1 ← 0.001
      C10,2 ← 0.001
      C10,3 ← 0.001
      C10,4 ← 0.001
      C10,5 ← 0.001
      for f ∈ 1, 2.. 40
        for pj ∈ 1.. 6
          p ← 0.800 if pj = 1
          p ← 0.850 if pj = 2
          p ← 0.900 if pj = 3
          p ← 0.950 if pj = 4
          p ← 0.975 if pj = 5
          p ← 0.990 if pj = 6
          c ← C1f-1, pj-1
          artim ← 1
          for i ∈ 1, 2.. 10000
            c ← c + artim
            
$$\beta \leftarrow \frac{\int_0^c \frac{1}{2^{0.5f} \cdot \left( \int_0^\infty c^{0.5f-1} \cdot e^{-c} dc \right)} \cdot c^{0.5f-1} \cdot e^{-0.5c} dc}$$

            c ← c - artim if β > p
            artim ←  $\frac{\text{artim}}{2}$  if β > p
            break if |β - p| ≤ 10-6
          C1f, pj ← c
      C1

```

Şekil Ek A 1 Khi-kare dağılımının f ve (P=1-α) değerlerine karşı gelen kritik değerlerin belirlenmesi için hazırlanan program

Çizelge EK-A. 1 Chi-kare dağılımı $C_{1-\alpha, f}$ değerleri

f	$p = 1-\alpha$					
	0.800	0.850	0.900	0.950	0.975	0.990
1	1.6424	2.0722	2.7055	3.8415	5.0238	6.6348
2	3.2189	3.7942	4.6049	5.9914	7.3776	9.2094
3	4.6416	5.3170	6.2513	7.8147	9.3484	11.3444
4	5.9886	6.7449	7.7794	9.4877	11.1433	13.2766
5	7.2893	8.1152	9.2364	11.0705	12.8324	15.0861
6	8.5580	9.4461	10.6446	12.5916	14.4455	16.8110
7	9.8032	10.7479	12.0170	14.0671	16.0127	18.4753
8	11.0301	12.0271	13.3615	15.5072	17.5345	20.0899
9	12.2421	13.2880	14.6836	16.9189	19.0072	21.6659
10	13.4420	14.5339	15.9871	18.3066	20.4831	23.2084
11	14.6314	15.7671	17.2749	19.6751	21.9199	24.7248
12	15.8120	16.9888	18.5493	21.0259	23.3362	26.2168
13	16.9847	18.2019	19.8118	22.3618	24.7356	27.6878
14	18.1508	19.4061	21.0632	23.6848	26.1189	29.1409
15	19.3105	20.6029	22.3071	24.9948	27.4875	30.5779
16	20.4648	21.7930	23.5414	26.2961	28.8445	31.9992
17	21.6145	22.9766	24.7690	27.5870	30.1909	33.4070
18	22.7595	24.1555	25.9894	28.8691	31.5245	34.8052
19	23.9004	25.3279	27.2036	30.1434	32.8522	36.1906
20	25.0375	26.4976	28.4119	31.4103	34.1696	37.5661
21	26.1711	27.6620	29.6150	32.6697	35.4787	38.9313
22	27.3015	28.8224	30.8132	33.9244	36.7805	40.2892
23	28.4288	29.9792	32.0069	35.1724	38.0756	41.6379
24	29.5533	31.1324	33.1962	36.4131	39.3640	42.9779
25	30.6752	32.2824	34.3815	37.6523	40.6456	44.3132
26	31.7946	33.4294	35.5627	38.8851	41.9228	45.6417
27	32.9117	34.5734	36.7412	40.1133	43.1945	46.9628
28	34.0266	35.7150	37.9159	41.3369	44.4570	48.2765
29	35.1393	36.8538	39.0875	42.5565	45.7222	49.5879
30	36.2502	37.9902	40.2559	43.7711	46.9784	50.8921
31	37.3591	39.1243	41.4216	44.9844	48.2242	52.1913
32	38.4663	40.2563	42.5843	46.1941	49.4766	53.4820
33	39.5718	41.3861	43.7452	47.3997	50.7249	54.7755
34	40.6755	42.5140	44.9027	48.6024	51.9622	56.0608
35	41.7780	43.6399	46.0588	49.8016	53.2029	57.3411
36	42.8788	44.7640	47.2122	50.9982	54.4364	58.6190
37	43.9782	45.8864	48.3634	52.1921	55.6662	59.8925
38	45.0762	47.0071	49.5126	53.3834	56.8955	61.1584
39	46.1730	48.1262	50.6597	54.5721	58.1198	62.4277
40	47.2676	49.2438	51.8051	55.7584	59.3417	63.6901

KORELASYONSUZ RASGELE DEĞİŞKENLERİN SAYISAL DEĞERLERİNİN TÜRETİLMESİ

Çizelge EK-B. 1 Korelasyonsuz normal dağılımlı rasgele değişkenlerin sayısal değerlerinin türetilmesi için hazırlanan hesap tablosu (C20 betonunda sargısız beton basınç dayanımı için 300 örnekleme)

	A	B	C	D	E
1	m_x^*	σ_x^{**}	Örnek No	u_i	x_i
2				(D3 *** =S_SAYI_ÜRET())	(E3 *** =NORMTERS(D3;A\$3;B\$3))
3	28	5	1	0.440191	27.248
4			2	0.188816	23.589
5			3	0.159490	23.017
6			4	0.918988	34.991
7			5	0.789744	32.028
8			5	0.830862	32.788
9			5	0.085698	21.161
10			5	0.325125	25.733
11			5	0.301160	25.395
....					
292			294	0.671874	21.969
293			295	0.172262	25.568
294			294	0.919647	36.317
295			295	0.123374	26.011
296			294	0.495086	24.661
297			295	0.113854	29.895
298			296	0.313331	28.927
299			297	0.951883	25.019
300			298	0.345424	33.265
301			299	0.252139	27.265
302			300	0.647668	31.547

* Rasgele değişkenin (sargısız beton basınç dayanımı) ortalama değeri

** Rasgele değişkenin (sargısız beton basınç dayanımı) standart sapması

*** Satır numarası (3~302)

KORELASYONLU RASGELE DEĞİŞKENLERİN SAYISAL DEĞERLERİNİN TÜRETİLMESİ

% Açıklamalar:

% mx: X rasgele değişkeninin ortalaması

% my: Y rasgele değişkeninin ortalaması

% sx: X rasgele değişkeninin standart sapması

% sy: Y rasgele değişkeninin standart sapması

% ro: X ve Y rasgele değişkenlerinin korelasyon katsayısı

% n: Örneklem sayısı

`x=normrnd(mx,sx,n,1)`

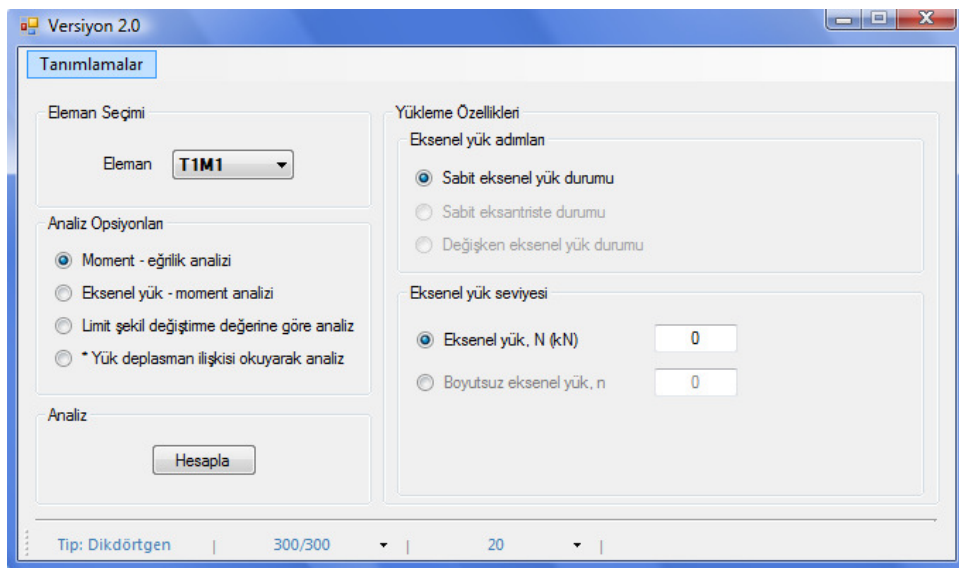
`uy=my+ro*sy/sx.*(x-mx)`

`sy=sy*sqrt(1-ro^2)`

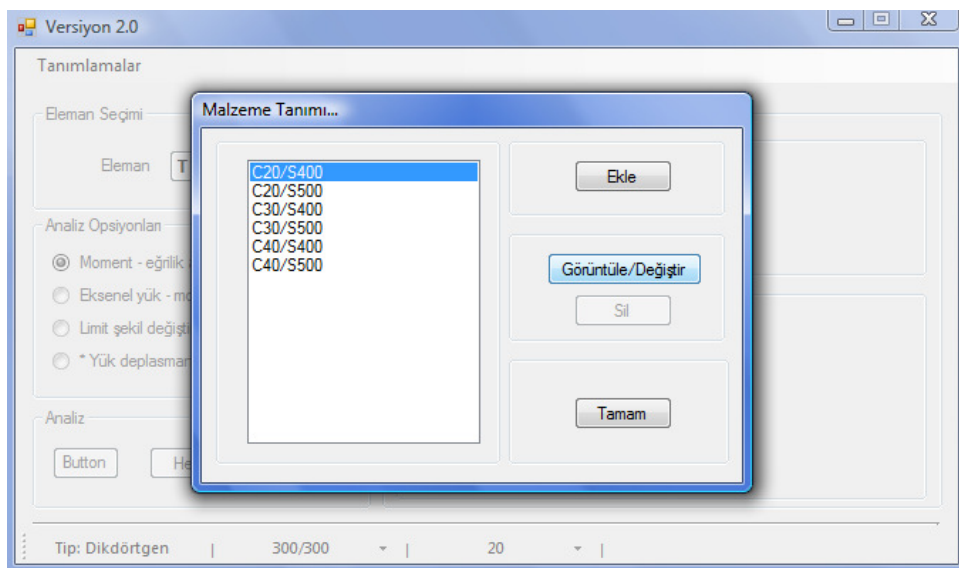
`y=normrnd(uy,sy)`

Şekil EK-C. 1 Korelasyonlu rasgele değişkenin sayısal değerlerinin türetilmesi için
Matlab program dilinde hazırlanan bir örnek: İki değişkenli normal dağılım

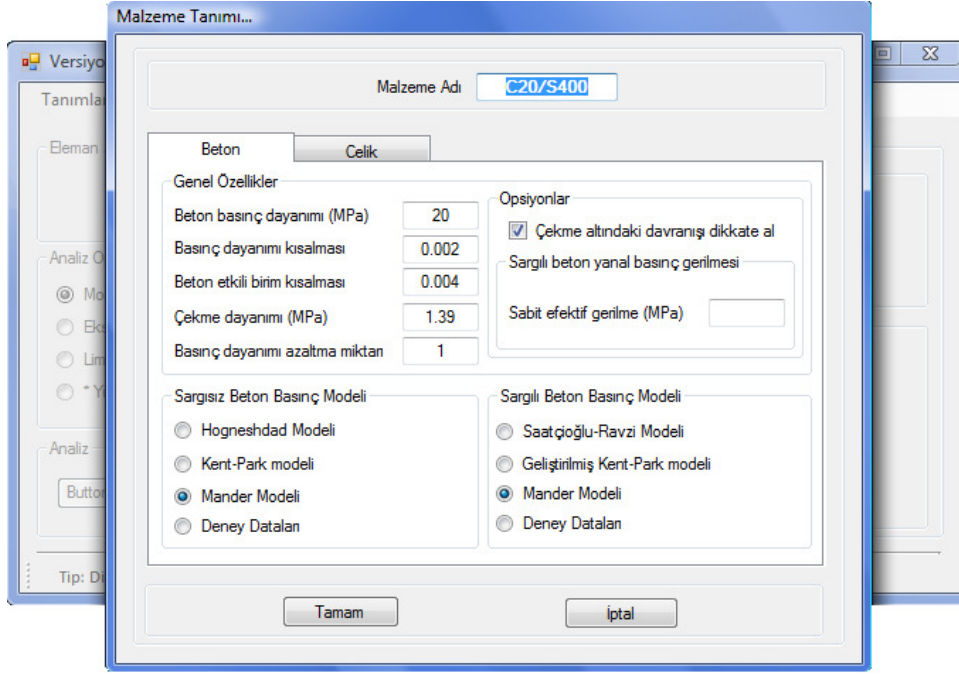
MOMENT-EĞRİLİK ANALİZİ PROGRAMININ TANITIMI



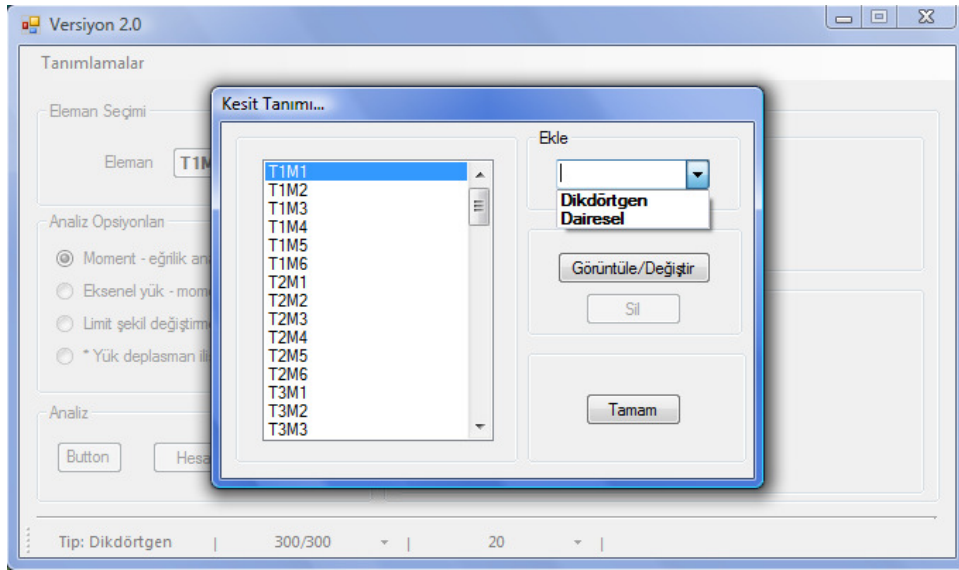
Şekil EK-D. 1 Moment eğrilik programının genel görünümü ve menüler



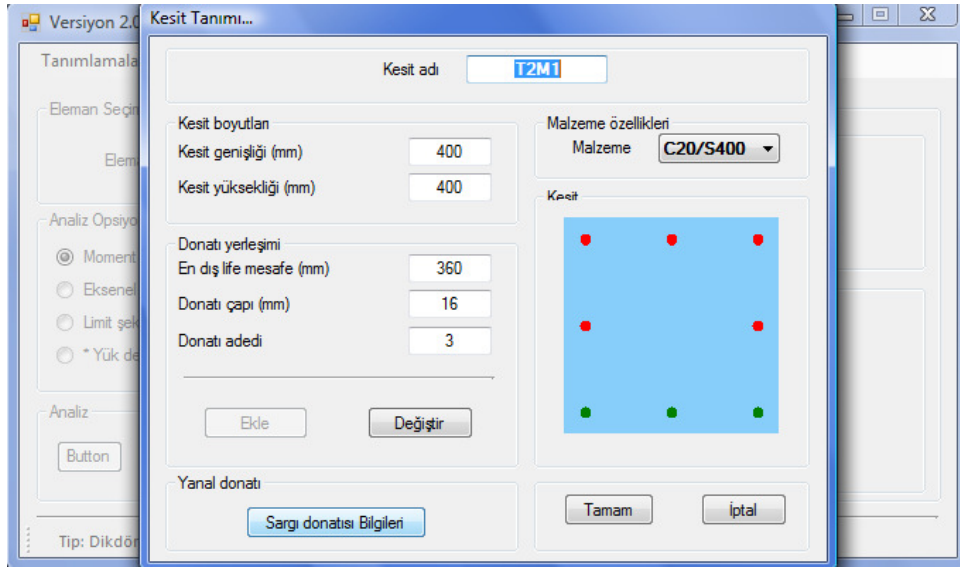
Şekil EK-D. 2 Malzeme özellikleri tanımlama menüsü



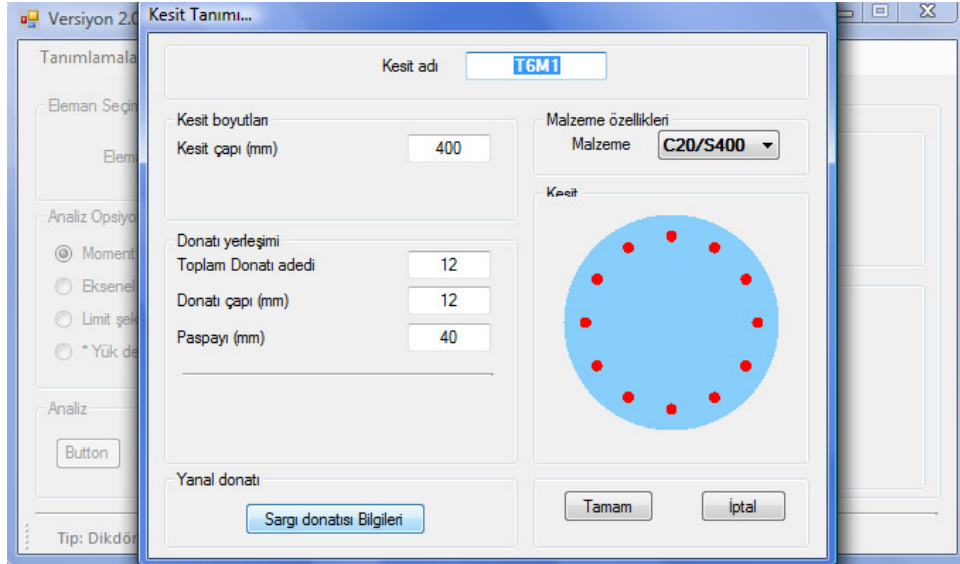
Şekil EK-D. 3 Malzeme özellikleri tanımlama ve atanması



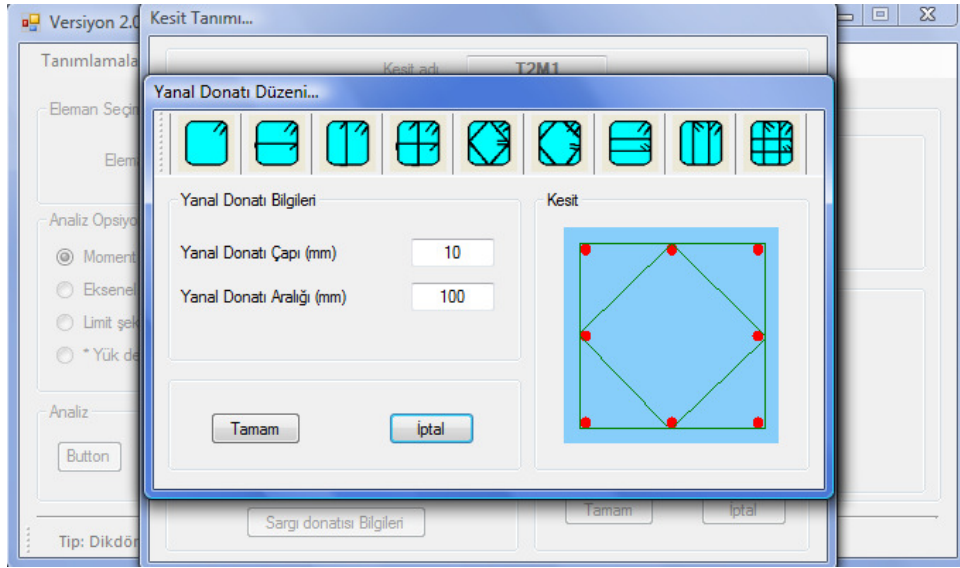
Şekil EK-D. 4 Kesit özellikleri tanımlama menüsü



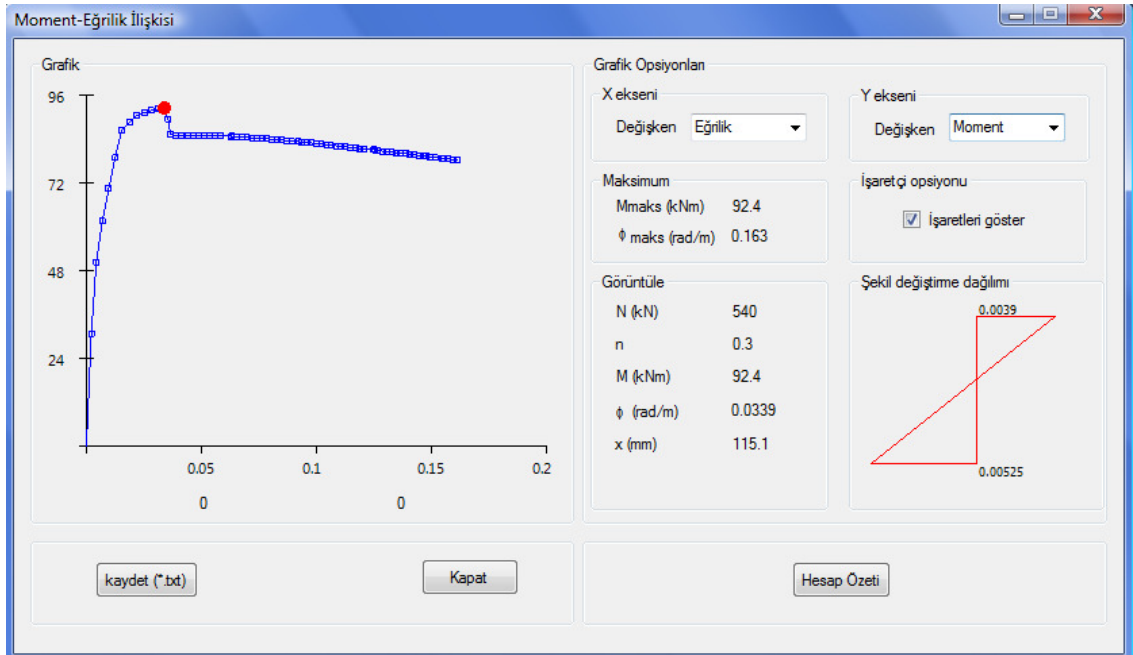
Şekil EK-D. 5 Dikdörtgen elemanlarda kesit özellikleri tanımlanması ve atanması



Şekil EK-D. 6 Dairesel elemanlarda kesit özellikleri tanımlanması ve atanması

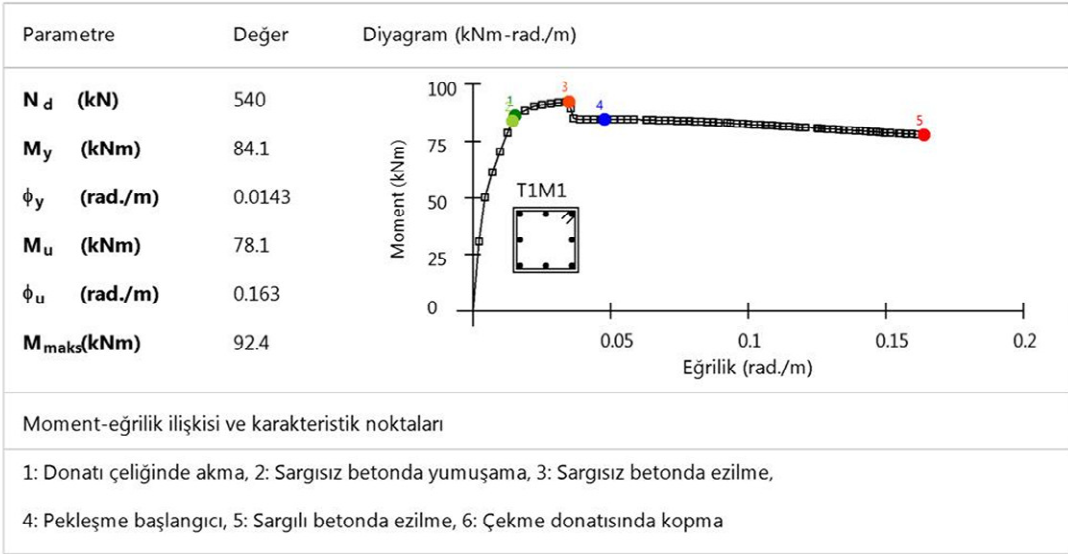


Şekil EK-D. 7 Sargı donatısının tanımlanması ve atanması



Şekil EK-D. 8 Tekil analiz sonuçlarının görüntülenmesi ve kaydedilmesi

T1M1 Kolonunda Hesap Özeti



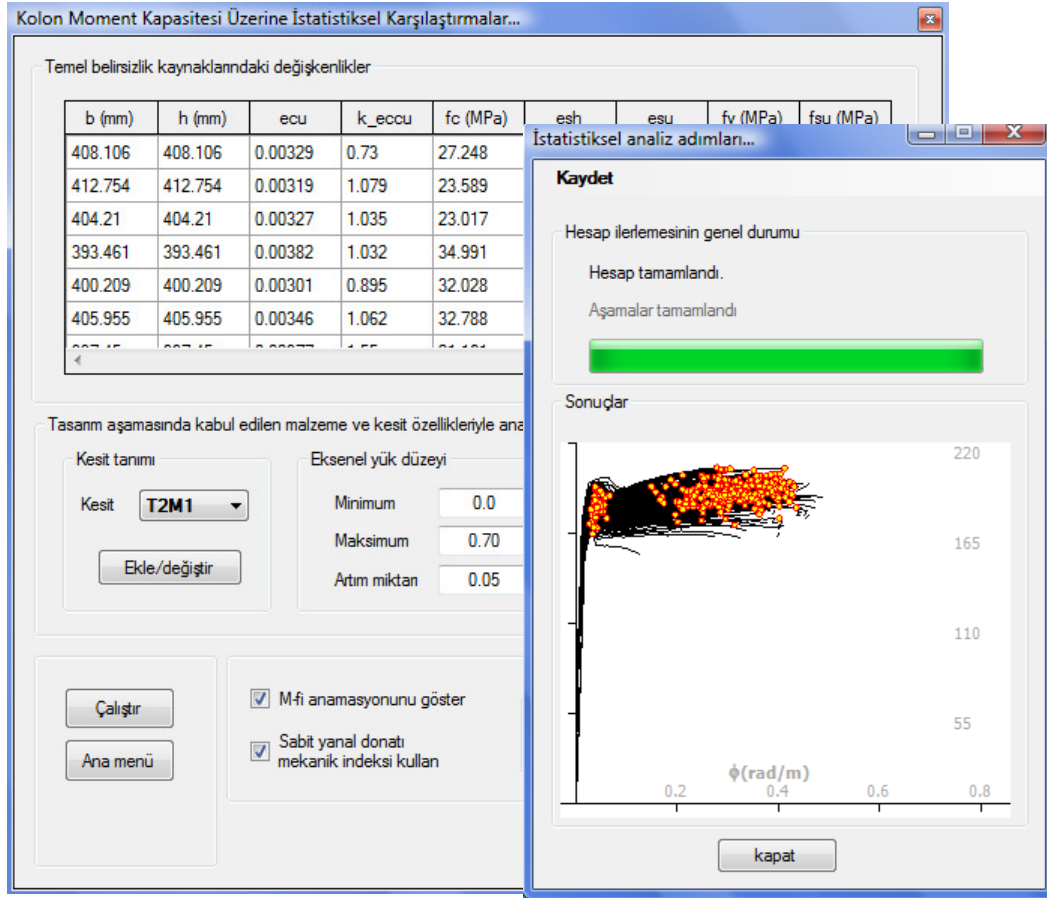
Mazeme özellikleri

Beton basınç dayanımı, f_c (MPa)	20
Beton çekme dayanımı, f_{ct} (MPa)	1.39
Beton etkili birim kısalması, ϵ_{cu}	0.004
Sargılı beton basınç dayanımı, f_{cc} (MPa)	23.4
Sargılı beton etkili birim kısalması, ϵ_{ccu}	0.02
Beton elastisite modülü, E_c (MPa)	21019
Donatı çeliği akma dayanımı, f_y (MPa)	400
Donatı çeliği kopma dayanımı, f_u (MPa)	480
Donatı çeliği pekleşme başlangıç birim şekil değiştirmesi, ϵ_{sh}	0.007
Donatı çeliği kopma birim şekil değiştirmesi, ϵ_{su}	0.12
Donatı çeliği elastisite modülü, E_s (MPa)	200000
Yanal donatı akma dayanımı, f_{yw} (MPa)	400

Kesit özellikleri

Kesit genişliği, b (mm)	300
Kesit yüksekliği, h (mm)	300
Kesit etkili derinliği, d (mm)	270
Toplam boyuna donatı yüzdesi, ρ_t	0.01
Enine donatı hacımsal yüzdesi, ρ_s	0.007

Şekil EK-D. 9 Tekil analiz sonuçlarının hesap özeti



Şekil EK-D. 10 Monte Carlo benzeşim yöntemiyle kesit analizlerinin giriş bilgileri ve çoklu analiz sonuçları

'Açıklamalar:

'Dikdörtgen kesitli kolonların geometrik tanımlanması (kesitin hayali şeritlere ayrılması) ve belirli bir tarafsız eksen derinliğine göre hesap için hazırlanan fonksiyonun (Mea_sh1) kodu:

'parca: Şerit (dilim) sayısı, ycs(i) : i. şerit ağırlık merkezinin en dış basınç lifine uzaklığı

'tortu: Örtü beton kalınlığı, xum : tarafsız eksenin en dış basınç lifine uzaklığı

'ecm: en dış basınç lifi birim kısalması, h : kesit yüksekliği, dh: $h-2 \times \text{tortu}$

'ecs(i): i. şerit ağırlık merkezindeki birim şekil değiştirme, Accs(i) : i. şerit sargılı beton en kesit alanı

'sigmaec(i): i. şerit sargısız beton basınç gerilmesi, sigmaecc(i) : i. şerit sargılı beton basınç gerilmesi

'sigmaect(i): i. şerit beton çekme gerilmesi, Fcs(i) : i. şerit bileşke kuvveti, Mcs(i) : i. şerit momenti

'ısıra: Kesitteki donatı sırası sayısı, ys(i) : i. donatı sırasının en dış basınç lifine mesafesi

'Ass(i): i. donatı sırasındaki toplam donatı kesit alanı, es(i) : i. donatı sırasının birim şekil değiştirme

For i = 1 To parca

ycs(i) = h / parca * (i - 0.5)

ecs(i) = ecm * (xum - ycs(i)) / xum

If (ycs(i) + h / (2 * parca)) <= tortu Or (ycs(i) - h / (2 * parca)) >= (dh + tortu) Then

Accs(i) = 0

End If

If (ycs(i) - h / (2 * parca)) >= tortu And (ycs(i) + h / (2 * parca)) <= (dh + tortu) Then

Accs(i) = bh * h / parca

End If

If (ycs(i) - h / (2 * parca)) < tortu And (ycs(i) + h / (2 * parca)) > tortu Then

Accs(i) = bh * (ycs(i) + (h / (2 * parca)) - tortu)

End If

If (ycs(i) - h / (2 * parca)) > tortu And (ycs(i) - h / (2 * parca)) < (dh + tortu) And (ycs(i) + h / (2 * parca)) > (dh + tortu) Then

Accs(i) = bh * (tortu + dh - ycs(i) + (h / (2 * parca)))

End If

Acs(i) = b * h / parca - Accs(i)

'Her bir beton lifindeki gerimelerin belirlenmesi

Fcs(i) = (Acs(i) * sigmaec(i) + Accs(i) * sigmaecc(i) + (Acs(i) + Accs(i)) * sigmaect(i)) * 10 ^ -3

Mcs(i) = Fcs(i) * (xp - ycs(i)) * 10 ^ -3

Next

'i. Donatı sırası için hesap:

For i = 1 To ısıra

ys(i) = xp - ysıra(i)

Ass(i) = adet(i) * cap(i) ^ 2 * 22 / 28

es(i) = ecm * (xum - (xp - ys(i))) / xum

'Her bir donatı sırasındaki gerimelerin tespiti

Fss(i) = Ass(i) * sigmaess(i) * 10 ^ -3

Mss(i) = Fss(i) * ys(i) * 10 ^ -3

Next

'Denge denklemleri

Şekil EK-D. 11 Dikdörtgen kesitli elemanların geometrik tanımı ve belirli bir tarafsız eksen derinliğine göre hesap için hazırlanan bilgisayar programı (VB) fonksiyonu

'Açıklamalar:

'Dairesel kesitli kolonların geometrik tanımlanması (kesitin hayali şeritlere ayrılması) ve belirli bir tarafsız eksen derinliğine göre hesap için hazırlanan fonksiyonun (Mea_sh2) kodu:

'R: Kesit çapı, s(i) : i. şerit genişliği (kesit yüksekliği boyunca değişken), 'spas: Pas payı

'ndonati: Kesitteki toplam boyuna donatı sayısı, s(i) : i. şerit genişliği (kesit yüksekliği boyunca değişken)

'capr: Boyuna donatı çapı, rdonati : Boyuna donatı ağırlık merkezinin kesit orta noktasına mesafesi

For i = 1 To parca

ycs(i) = R / parca * (i - 0.5)

ecs(i) = ecm * (xum - ycs(i)) / xum

s(i) = 2 * (ycs(i) * (R - ycs(i))) ^ 0.5

If ycs(i) >= tortu Then sc(i) = 2 * ((ycs(i) - tortu) * (R - 2 * tortu - (ycs(i) - tortu))) ^ 0.5

If ycs(i) < tortu Then sc(i) = 0

If (ycs(i) + R / (2 * parca)) <= tortu Or (ycs(i) - R / (2 * parca)) >= (R - tortu) Then Accs(i) = 0

If (ycs(i) + R / (2 * parca)) <= tortu Then Accs(i) = 0

If (ycs(i) - R / (2 * parca)) >= tortu And (ycs(i) + R / (2 * parca)) <= (R - tortu) Then

Accs(i) = sc(i) * R / parca

End If

If (ycs(i) - R / (2 * parca)) < tortu And (ycs(i) + R / (2 * parca)) > tortu Then

yac(i) = ycs(i) + R / (2 * parca) - tortu

sac(i) = 2 * (yac(i) * 0.5 * (R - 2 * tortu - yac(i) * 0.5)) ^ 0.5

Accs(i) = yac(i) * sac(i)

End If

If (ycs(i) - R / (2 * parca)) > tortu And (ycs(i) - R / (2 * parca)) < (R - tortu) And (ycs(i) + R / (2 * parca)) > (R - tortu) Then

yac(i) = R - tortu - ycs(i) + (R / (2 * parca))

sac(i) = 2 * (yac(i) * 0.5 * (R - 2 * tortu - yac(i) * 0.5)) ^ 0.5

Accs(i) = yac(i) * sac(i)

End If

Acs(i) = s(i) * R / parca - Accs(i)

'Her bir beton lifindeki gerimelerin belirlenmesi

Fcs(i) = (Acs(i) * sigmaec(i) + Accs(i) * sigmaecc(i) + (Acs(i) + Accs(i)) * sigmaect(i)) * 10 ^ -3

Mcs(i) = Fcs(i) * (xp - ycs(i)) * 10 ^ -3

Next

'i. Donatı için hesap:

For i = 0 To ndonati - 1

aci = i * 44 / (7 * ndonati)

rdonati = R / 2 - spas

orta = R / 2

ys(i) = xp - System.Math.Round(R - (orta + System.Math.Cos(aci) * rdonati), 0)

Ass(i) = 22 * capr ^ 2 / 28

es(i) = ecm * (xum - (xp - ys(i))) / xum

'Her bir donatı sırasındaki gerimelerin tespiti

Fss(i) = Ass(i) * sigmaess(i) * 10 ^ -3

Mss(i) = Fss(i) * ys(i) * 10 ^ -3

Next

'Denge denklemleri

Şekil EK-D. 12 Dairesel kesitli elemanların geometrik tanımı ve belirli bir tarafsız eksen derinliğine göre hesap için hazırlanan bilgisayar programı (VB) fonksiyonu

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Cem AYDEMİR
Doğum Tarihi ve Yeri : 12.03.1978
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : caydemir@yildiz.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Yapı	YTU Fen Bilimleri	2005
Lisans	İnşaat Müh.	YTU	2001
Lise	Fen/Matematik	Taksim Atatürk Lisesi	1996

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2003-devam ediyor	YTU/İnşaat Fakültesi	Araştırma görevlisi

YAYINLARI

Makale

1. **Aydemir, C.**, Zorbozan, M. ve Alacalı, S. (2009), “Dikdörtgen Kesitli Betonarme Kolonların M_p Moment Kapasitelerinin Belirlenmesi”, İMO Teknik Dergi, 20,(1), 4545-4565. (Aydemir, C., Zorbozan, M. ve Alacalı, S. (2009), “Determination of Moment Capacity M_p for Rectangular Reinforced Concrete Columns”, İMO Technical Journal, Digest 2009, 20, 1293-1312.
2. **Aydemir, C.**, Kırçıl, MS., Hancıoğlu, B. ve Zorbozan, M., (2011), “Betonarme Kolonların Hasar Limit Eğriliklerinin Belirlenmesi”, İMO Teknik Dergi (Cilt 22, Sayı 1, Ekim 2011 sayısında yayınlanmak üzere kabul edildi).
3. Eser, M., **Aydemir, C.**, ve Ekiz, İ., (2011) “Inelastic Displacement Ratios for Structures with Foundation Flexibility” KSCE Journal of Civil Engineering, 26 Nisan 2011 tarihinde yayınlanmak üzere kabul edildi).
4. Zorbozan, M., ve **Aydemir, C.**, (2008), “Tek Katlı Prefabrike Yapılarda Etkin Göreli Kat Öteleme ve İkinci Mertebe Koşullarını Sağlayan En Küçük Kolon Kesitlerinin Saptanması”, Beton Prefabrikasyon Dergisi, 87, 7-16.

Bildiri

1. Hancıoğlu, B., **Aydemir, C.**, ve Kırçıl, MS., “Betonarme Kolonlarda Performans Değerlendirmesi İçin Analitik Bir İrdeleme”, Yedinci Uluslararası İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler Kongresi (ACE2006), 11 – 13 Ekim 2006, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
2. **Aydemir, C.**, Kırçıl, MS., Eser, M., ve Zorbozan, M., “Critical Review of Code Provisions for Estimation of Probable Flexural Strength of

R/C Beams”, First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, 3 – 8 September 2006, Geneva, Switzerland.

3. **Aydemir, C.**, Zorbozan, M., ve Kırçıl, M.S., “Uncertainty Analysis for Estimation of Flexural Strength Enhancement Ratio of R/C Columns”, Fourteenth European Conference on Earthquake Engineering, 30 August – 3 September 2010, Ohrid, Macedonia.
4. Eser, M., **Aydemir, C.**, ve Ekiz, İ., “Effects of Soil Structure Interaction on Strength Reduction Factors”, The Twelfth East – Asia Pacific Conference on Structural Engineering and Construction (EASEC-12), 26 – 28 January 2011, Hong Kong SAR, China.
5. Eser, M., **Aydemir, C.**, ve Ekiz, İ., “Soil Structure Interaction Effects on Response of Multistorey Structures”, Structural Engineering World Congress, 4 – 6 April 2011, Como, Italy.