

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BETONARME KOLON DAVRANIŞININ MOMENT
EĞRİLİK İLİŞKİSİ İLE PARAMETRİK OLARAK
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Abdulhalim AKKAYA

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : YAPI
Tez Danışmanı : Doç. Dr. Naci ÇAĞLAR

Ocak 2014

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BETONARME KOLON DAVRANIŞININ MOMENT-
EĞRİLİK İLİŞKİSİ İLE PARAMETRİK OLARAK
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Abdulhalim AKKAYA

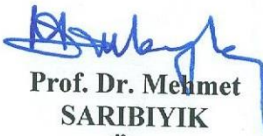
Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : YAPI

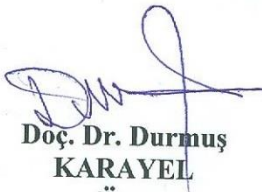
Bu tez 09 / 01 /2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.


Doç. Dr. Naci ÇAĞLAR

Jüri Başkanı


Prof. Dr. Mehmet
SARIBIYIK

Üye


Doç. Dr. Durmuş
KARAYEL

Üye

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca, değerli bilgi ve yardımlarını benden esirgemeyen, her aşamada çalışmalarımı izleyip değerlendirerek yön veren ve her türlü desteği sağlayan hocam sayın Doç. Dr. Naci Çağlar'a,

Ayrıca tüm dostlarıma, çalışma arkadaşlarıma ve özellikle de, tez çalışması boyunca benden yardımlarını esirgemeyen araştırma görevlisi Aydın Demir ve Hakan Öztürk'e,

Hayatım boyunca benden maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen başta annem ve babam olmak üzere tüm aile fertlerime teőekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
TABLolar LİSTESİ	xi
ÖZET	xiii
SUMMARY	xiv
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
1.1. Konu ile İlgili Çalışmalar.....	1
1.2. Amaç ve Kapsam	4
BÖLÜM 2.	
MOMENT-EĞRİLİK.....	5
2.1. Moment-Eğrilik İlişkisinin Belirlenmesi	7
BÖLÜM 3.	
MALZEME MODELLERİ.....	11
3.1. Donatı Çeliği İçin Önerilen Model	11
3.2. Basınç Altındaki Betonun Gerilme-Birim Deformasyon Modelleri.....	13
3.2.1. Hognestad beton modeli.....	13
3.2.2. Geliştirilmiş Kent ve Park sargılı ve sargısız beton modeli.....	14
3.2.3. Sheikh ve Üzümeri beton modeli.....	16
3.2.4. Mander sargılı ve sargısız beton modeli	17

BÖLÜM 4.

SAYISAL ÇALIŞMA	20
4.1. Kolon Modelleri	23
4.1.1. Dairesel kolonlar	23
4.1.2. Kare kolonlar.....	24
4.1.3. Dikdörtgen kolonlar	25
4.2. Boyuna Donatı Oranının ve Eksenel Kuvvetin Moment-Eğrilik İlişkisine Etkisi	25
4.2.1. Dairesel kolonlarda boyuna donatı oranı ve eksenel kuvvet değişimi.....	26
4.2.2. Kare kolonlarda boyuna donatı oranı ve eksenel kuvvet değişim .	34
4.2.3. Dikdörtgen kolonlarda boyuna donatı oranı ve eksenel kuvvet değişimi.....	40
4.2.3.1. Dikdörtgen kolonlarda boyuna donatı oranı ve eksenel kuvvet değişimi (Zayıf doğrultu)	41
4.2.3.2. Dikdörtgen kolonlarda boyuna donatı oranı ve eksenel kuvvet değişimi (Kuvvetli doğrultu).....	45
4.3. Beton Kalitesinin Moment-Eğrilik İlişkisine Etkisi	49
4.3.1. Dairesel kolonlarda beton kalitesi değişimi	50
4.3.2. Kare kolonlarda beton kalitesi değişimi.....	53
4.3.3. Dikdörtgen kolonlarda beton kalitesi değişimi	56
4.3.3.1. Dikdörtgen kolonlarda beton kalitesi değişimi (Zayıf doğrultu)	57
4.3.3.2. Dikdörtgen kolonlarda beton kalitesi değişimi (Kuvvetli doğrultu)	59
4.4. Enine Donatı Oranının Moment-Eğrilik İlişkisine Etkisi	61
4.4.1. Dairesel kolonlarda enine donatı oranı değişimi	61
4.4.2. Kare kolonlarda enine donatı oranı değişimi	67
4.4.3. Dikdörtgen kolonlarda enine donatı oranı değişimi	71
4.4.3.1. Dikdörtgen kolonlarda enine donatı oranı değişimi (Zayıf doğrultu)	72
4.4.3.2. Dikdörtgen kolonlarda enine donatı oranı değişimi (Kuvvetli doğrultu).....	75

BÖLÜM 5.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER 78

KAYNAKLAR..... 80

ÖZGEÇMİŞ 82

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

A_c	: Kolon kesit alanı
A_{st}	: Kesitteki donatı alanı
c	: Tarafsız eksen derinliği
D	: Dairesel kolon çekirdek çapı
d_0	: Dairesel kolon brüt çapı
E	: Elastisite modülü
EI_e	: Çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitliği
F_c	: Basınç bloğu bileşkesi
f_{cc}	: Sargılı beton dayanımı
f_{cd}	: Tasarım beton basınç dayanımı
f_{ck}	: Karakteristik beton basınç dayanımı
f_{co}	: Sargısız beton dayanımı
F_{si}	: Donatı kuvveti
f_{yd}	: Hesap çelik akma dayanımı
f_{yk}	: Karakteristik çelik akma dayanımı
I	: Atalet momenti
M_u	: Kesitin kırıldığı andaki moment
M_y	: Kesitteki çekme donatısının aktığı andaki moment
N_d	: Ts-500'e göre kesitin taşıyabileceği maksimum eksenel yük
N_{dm}	: Tdy-2007'e göre kesitin taşıyabileceği maksimum eksenel yük
P_p	: Paspayı
S	: Sargı donatısı adım mesafesi
TDY-2007	: 2007 türk deprem yönetmeliği
TS-500	: Türk standartı betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları
ε	: Birim deformasyon
ε_{sh}	: Donatı çeliğinin pekleşme başlangıcındaki birim deformasyonu

ε_{su}	:	Donatı çeliğinin kopma anındaki birim deformasyonu
ε_{sy}	:	Donatı çeliğinin akma anındaki birim deformasyonu
ϕ	:	Boyuna donatı çapı
ϕ_u	:	Kesitin kırıldığı andaki eğrilik
ϕ_w	:	Enine donatı çapı
ϕ_y	:	Kesitteki çekme donatısının aktığı andaki eğrilik
μ	:	Eğrilik süneklik katsayısı
ρ_t	:	Boyuna donatı oranı
ρ_w	:	Enine donatı oranı
σ_i	:	Gerilme

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Eğilme ve aksenal yük altında deforme olmuş eleman parçası.....	5
Şekil 2.2. Moment-eğrilik ilişkisi.....	6
Şekil 2.3. Malzeme modelleri, birim deformasyon ve gerilme dağılımları.....	8
Şekil 3.1. Doğal sertlikte ki bir çelik için gerilme-deformasyon ilişkisi.....	11
Şekil 3.2. TDY-2007 yönetmeliğinde sunulan çeliğe ait, $f-\varepsilon$ ilişkisi.....	12
Şekil 3.3. Hognestad sargısız beton modeli.....	13
Şekil 3.4. Geliştirilmiş kent ve park sargılı ve sargısız beton modeli.....	14
Şekil 3.5. Sheikh ve üzümeri sargılı beton modeli.....	16
Şekil 3.6. Mander sargılı ve sargısız beton modeli	19
Şekil 4.1. Dairesel, kare ve dikdörtgen kolon kesit modelleri	20
Şekil 4.2. XTRACT betonarme kesitler için moment-eğrilik ilişkisi grafiği	21
Şekil 4.3. S420 donatı çeliği gerilme-birim şekil değiştirme eğrisi	22
Şekil 4.4. Mander sargılı ve sargısız beton gerilme-birim deformasyon eğrileri ...	22
Şekil 4.5. Dairesel kolon modelleri.....	23
Şekil 4.6. Kare kolon modelleri.....	24
Şekil 4.7. Dikdörtgen kolon modelleri	25
Şekil 4.8. CR50 kolonunda boyuna donatı oranı ve aksenal kuvvet değişiminin moment-eğrilik ilişkisine etkisi.....	27
Şekil 4.9. CR100 kolonunda boyuna donatı oranı ve aksenal kuvvet değişiminin moment-eğrilik ilişkisine etkisi.....	28
Şekil 4.10. CR150 kolonunda boyuna donatı oranı ve aksenal kuvvet değişiminin moment-eğrilik ilişkisine etkisi.....	29
Şekil 4.11. CR200 kolonunda boyuna donatı oranı ve aksenal kuvvet değişiminin moment-eğrilik ilişkisine etkisi.....	30
Şekil 4.12. Farklı aksenal yükler altındaki dairese kolon kesitine ait moment-eğrilik ilişkisi.....	33

Şekil 4.13. Donatı oranı değişiminin eksenel kuvvet- moment etkileşim diyagramına etkisi	33
Şekil 4.14. S1 kolonunda boyuna donatı oranı ve eksenel kuvvet değişiminin moment-eğrilik ilişkisine etkisi.....	35
Şekil 4.15. S2 kolonunda boyuna donatı oranı ve eksenel kuvvet değişiminin moment-eğrilik ilişkisine etkisi.....	36
Şekil 4.16. S1_D16 kesitine uygulanan farklı düzeyde ki eksenel kuvvetler için donatı ve betonda oluşan maksimum birim deformasyonlar.....	38
Şekil 4.17. REC1 kolonunda boyuna donatı oranı ve eksenel kuvvet değişiminin moment-eğrilik ilişkisine etkisi (Zayıf doğrultu).....	41
Şekil 4.18. REC2 kolonunda boyuna donatı oranı ve eksenel kuvvet değişiminin moment-eğrilik ilişkisine etkisi (Zayıf doğrultu).....	42
Şekil 4.19. REC1 kolonunda boyuna donatı oranı ve eksenel kuvvet değişiminin moment-eğrilik ilişkisine etkisi (Kuvvetli doğrultu).....	45
Şekil 4.20. REC2 kolonunda boyuna donatı oranı ve eksenel kuvvet değişiminin moment-eğrilik ilişkisine etkisi (Kuvvetli doğrultu).....	46
Şekil 4.21. CR50 kolonunda beton kalitesi değişiminin moment-eğrilik ilişkisine etkisi	51
Şekil 4.22. CR100 kolonunda beton kalitesi değişiminin moment-eğrilik ilişkisine etkisi	51
Şekil 4.23. CR150 kolonunda beton kalitesi değişiminin moment-eğrilik ilişkisine etkisi	52
Şekil 4.24. CR200 kolonunda beton kalitesi değişiminin moment-eğrilik ilişkisine etkisi	52
Şekil 4.25. S1 kolonunda beton kalitesi değişiminin moment-eğrilik ilişkisine etkisi	54
Şekil 4.26. S2 kolonunda beton kalitesi değişiminin moment-eğrilik ilişkisine etkisi	54
Şekil 4.27. REC1 kolonunda beton kalitesi değişiminin moment-eğrilik ilişkisine etkisi (Zayıf doğrultu).....	57

Şekil 4.28. REC2 kolonunda beton kalitesi değişiminin moment-eğrilik ilişkisine etkisi (Zayıf doğrultu).....	57
Şekil 4.29. REC1 kolonunda beton kalitesi değişiminin moment-eğrilik ilişkisine etkisi (Kuvvetli doğrultu).....	59
Şekil 4.30. REC2 kolonunda beton kalitesi değişiminin moment-eğrilik ilişkisine etkisi (Kuvvetli doğrultu).....	59
Şekil 4.31. CR50 kolonunda enine donatı oranı değişiminin moment-eğrilik ilişkisine etkisi	62
Şekil 4.32. CR100 kolonunda enine donatı oranı değişiminin moment-eğrilik ilişkisine etkisi	63
Şekil 4.33. CR150 kolonunda enine donatı oranı değişiminin moment-eğrilik ilişkisine etkisi	64
Şekil 4.34. CR200 kolonunda enine donatı oranı değişiminin moment-eğrilik ilişkisine etkisi	65
Şekil 4.35. S1 kolonunda enine donatı oranı değişiminin moment-eğrilik ilişkisine etkisi	68
Şekil 4.36. S2 kolonunda enine donatı oranı değişiminin moment-eğrilik ilişkisine etkisi	69
Şekil 4.37. REC1 kolonunda enine donatı oranı değişiminin moment-eğrilik ilişkisine etkisi (Zayıf doğrultu).....	72
Şekil 4.38. REC2 kolonunda enine donatı oranı değişiminin moment-eğrilik ilişkisine etkisi (Zayıf doğrultu).....	73
Şekil 4.39. REC1 kolonunda enine donatı oranı değişiminin moment-eğrilik ilişkisine etkisi (Kuvvetli doğrultu).....	75
Şekil 4.40. REC2 kolonunda enine donatı oranı değişiminin moment-eğrilik ilişkisine etkisi (Kuvvetli doğrultu).....	76

TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1. TDY-2007’de Sunulan Çelik Türlerine Ait Gerilme-Birim Deformasyon Değerleri.....	12
Tablo 4.1. Dairesel Kolonlara Ait Kesit Ölçüleri ve Donatı Miktarları ...	24
Tablo 4.2. Kare Kolonlara Ait Kesit Ölçüleri ve Donatı Miktarları	24
Tablo 4.3. Dikdörtgen Kolonlara Ait Kesit Ölçüleri ve Donatı Miktarları..	25
Tablo 4.4. Dairesel Kolonlara Ait Boyuna Donatı Çapları ve Uygulanan Eksenel Kuvvetler	26
Tablo 4.5. Dairesel Kolonlarda Farklı Boyuna Donatı Çaplarına Karşılık Gelen Boyuna Donatı Oranları.....	26
Tablo 4.6. Kare Kolonlara Ait Boyuna Donatı Çapları ve Uygulanan Eksenel Kuvvetler	34
Tablo 4.7. Kare Kolonlarda Farklı Boyuna Donatı Çaplarına Karşılık Gelen Boyuna Donatı Oranları.....	34
Tablo 4.8. Dikdörtgen Kolonlara Ait Boyuna Donatı Çapları ve Uygulanan Eksenel Kuvvetler	40
Tablo 4.9. Dikdörtgen Kolonlarda Farklı Boyuna Donatı Çaplarına Karşılık Gelen Boyuna Donatı Oranları.....	40
Tablo 4.10. TS-500’ e Göre Beton Sınıflarına Ait Elastisite Modülleri ve Beton Basınç Dayanımları	49
Tablo 4.11. Dairesel Kolonlara Ait Boyuna Donatı Çapları, Beton Sınıfları ve Uygulanan Eksenel Kuvvetler.....	50
Tablo 4.12. Kare Kolonlara Ait Boyuna Donatı Çapları, Beton Sınıfları ve Uygulanan Eksenel Kuvvetler.....	53
Tablo 4.13. Dikdörtgen Kolonlara Ait Boyuna Donatı Çapları, Beton Sınıfları ve Uygulanan Eksenel Kuvvetler.....	56

Tablo 4.14. Dairesel Kolonlara Ait Enine ve Boyuna Donatı çapları ile Uygulanan Eksenel Kuvvetler	61
Tablo 4.15. Dairesel Kolonlarda Farklı Enine Donatı aplarına Karşılık Gelen Enine Donatı Oranları.....	61
Tablo 4.16. Kare Kolonlara Ait Enine ve Boyuna Donatı çapları ile Uygulanan Eksenel Kuvvetler	67
Tablo 4.17. Kare Kolonlarda Farklı Enine Donatı aplarına Karşılık Gelen Enine Donatı Oranları.....	67
Tablo 4.18. Dikdörtgen Kolonlara Ait Enine ve Boyuna Donatı çapları ile Uygulanan Eksenel Kuvvetler	71
Tablo 4.19. Dikdörtgen Kolonlarda Farklı Enine Donatı aplarına Karşılık Gelen Enine Donatı Oranları.....	71

ÖZET

Anahtar kelimeler: Moment-eğrilik, Betonarme Kolon, Eksenel Kuvvet, Etkin Eğilme Rijitliği, Süneklik

Betonarme kolon davranışının anlaşılabilmesi için kesit davranışının iyi bilinmesi gerekmektedir. Kesit davranışı ise, en sağlıklı biçimde moment-eğrilik ilişkisi üzerinden anlaşılabilir.

Bu çalışmada, betonarme kolon davranışına, eksenel kuvvet, boyuna donatı oranı, enine donatı oranı ve beton karakteristik basınç dayanımının etkilerinin belirlenebilmesi amacıyla parametrik bir çalışma yapılmıştır. Betonarme kolonların davranışları, malzemelerin doğrusal olmayan davranışı göz önüne alınarak moment-eğrilik ilişkisi üzerinden incelenmiştir. moment eğrilik ilişkisi üzerinden belirlenmiştir. Bu amaçla kare, dikdörtgen ve daire kesitli 400 adet betonarme kolon modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan betonarme kolon modellerinin moment eğrilik ilişkileri XTRACT v3.0.9 programı ile elde edilmiş ve basitleştirilmiş(bilineer) eğrilerin kullanıldığı grafiklerle sunulmuştur. İncelenen parametrelerin kolon davranışına etkileri, etkin eğilme rijitliği, eğrilik sünekliği ve kesit dayanımı açısından değerlendirilmiştir.

PARAMETRIC INVESTIGATION OF RC COLUMN BEHAVIOR VIA MOMENT-CURVATURE RELATIONSHIP

SUMMARY

Key words: Moment-curvature, RC column, Ductility, Axial force, Effective flexural stiffness

In order to fully understand reinforced concrete column behavior, sectional behavior should be known well. The section behavior can be observed the most appropriately from moment-curvature relationship.

In this thesis, a parametric study is performed to investigate effect of axial force, longitudinal and transverse reinforcing steel ratio and compressive strength of concrete on RC column behavior. Behavior of RC columns is observed via moment-curvature relationship by taking into account nonlinear properties of materials constituting reinforced concrete. The moment-curvature relationships of created RC column models are obtained by using XTRACT v3.0.9 program and the results are demonstrated on bilinear curves. Effects of investigated parameters on column behavior are evaluated in terms of effective flexural stiffness, curvature ductility and strength.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Dünyada betonarme yapı sistemlerinin kullanılmaya başlanması, 19. yüzyıl sonlarına kadar dayanmaktadır. Ülkemizde yaygın olarak kullanılan bu sistem, beton ve donatı çeliği olmak üzere iki ana malzemedен oluşmaktadır. Bu iki malzemedен betonun davranışı gevrek, çeliğin davranışı ise sünektir. Beton doğrusal-elastik olmayan davranış sergilerken, donatı çeliğinin elasto-plastik davrandığı, yani akma gerilmesine ulaşıncaya kadar doğrusal elastik, akma gerilmesini aştıktan sonra ise plastik davranış sergilediği kabul edilir. Bu iki malzemenin birleşiminden meydana gelen betonarme malzemesinin davranışı ise nonlinear olup hem betonun, hem de çeliğin mekanik özelliklerinden etkilenmektedir (Ersoy ve Özcebe, 2001).

Betonarme yapı elemanlarının davranışını, elemana ait kesit davranışı belirlemektedir. Kesit davranışı, kesitte kullanılan malzeme, kesitin geometrisi ve kesite etki eden yüklemelere bağlıdır. Eğilme etkisi altında ki bir kesitin davranışı ise en sağlıklı biçimde moment eğrilik ilişkisinden belirlenebilir. Moment eğrilik ilişkisi gerçek malzeme davranışını temel alarak yapılan analitik ve deneysel çalışmalar sonucu elde edilir (Canbay vd., 2008).

1.1. Konu İle İlgili Çalışmalar

Yuva ve Bakırcı (1997), çalışmalarında betonarme kirişlerin eğilme dayanımına ve sünekliliğine etki eden faktörleri analitik olarak incelemişlerdir. Moment taşıma gücünün çelik sınıfı ve boyuna donatı oranına bağlı olduğunu ve boyuna donatı oranındaki artışla birlikte moment taşıma gücünde de artış olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca basınç donatısı oranı, kayma donatısı oranı ve beton dayanımında ki artışların sünekliliği artırdığını belirtmişlerdir.

Ersoy ve Özcebe (1998), yaptıkları çalışmada betonarme kesitlerin moment-eğrilik ilişkisini analitik olarak irdelemek amacıyla EXCELL programını kullanarak geliştirilen elektronik bir hesap tablosunu tanıtmışlardır. Daha önce deneysel olarak yapılan çalışmaları analiz ederek, tanıtılan hesap tablosunun doğruluğunu sınıamışlardır. Ayrıca sargı etkisinin, eksenel yük düzeyinin, donatı çeliği modelinin ve kirişlerdeki basınç donatısı oranının eğilme davranışı üzerindeki etkilerini analitik olarak irdelemişlerdir.

Kaltakçı vd. (2001), çalışmalarında betonarme kolonların davranışına etki eden tasarım değişkenlerini analitik olarak incelemişlerdir. Eksenel yükün yüksek seviyeleri için beton basınç dayanımının artışıyla moment taşıma kapasitesinin arttığını ve sünekliliğin azaldığını, etriye sıklığı ve etriye miktarında ki artışla birlikte moment taşıma kapasitesinin ve sünekliliğin arttığını ifade etmişlerdir. Çalışmada yalnızca kare kolon modeli kullanılmıştır.

Kolgu ve Peker (2003), yaptıkları çalışmada betonarme kesitlere ait tasarım parametrelerinin, kesitin davranışı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Eksenel kuvvet düzeyindeki artışla plastik dönme kapasitesi ve eğrilik sünekliliğinin azaldığını, sargı donatısı adım mesafesindeki daralmayla ise eğrilik sünekliliğinin arttığını ifade etmişlerdir. Çalışmada yalnızca kare kolon modeli kullanılmış ve boyuna donatı oranı ile beton basınç dayanımı etkisi incelenmemiştir.

Özmen vd. (2007), yaptıkları çalışmada sargılı beton davranışının betonarme eleman ve sistem davranışına etkisini incelemişlerdir. Farklı malzeme modelleri kullanarak oluşturdukları kesitlerde genel olarak, beton kalitesinin ve sargı donatısının, yapının yanal yük taşıma kapasitesi üzerinde etkili olmadığını ancak beton basınç dayanımının ve sargı donatısı adım mesafesi sıklığının artmasıyla birlikte yapının sünekliliğinde artış meydana geldiğini belirtmişlerdir. Çalışma kolon ve kiriş elemanları için yapılmış olup kolon modellerinde eksenel kuvvet ve boyuna donatı oranının etkisi incelenmemiştir.

Cihanlı ve Arslan (2009), çalışmalarında yüksek dayanımlı sargısız betonarme kirişlerin eğrilik sünekliklerini incelemişlerdir. Çelik akma dayanımı ile çekme donatısı oranında ki artışın eğrilik sünekliğini azalttığını ve beton dayanımındaki artışın eğrilik sünekliğini artırdığı belirtmişlerdir. Çalışma belirtildiği üzere, yalnızca sargısız betonarme kirişler için yapılmıştır.

Sayın vd. (2010), çalışmalarında farklı yapıstırıcı kalınlıklarıyla uygulanmış FRP'li kirişlerin moment-eğrilik ilişkisini incelemişlerdir. FRP uygulanan kesitlerin eğilme rijitliklerinde artışa sebep olduğu ve davranışı gevreklettiğini belirtmişlerdir. Analiz modellerinde beton basınç dayanımının, boyuna donatı oranının ve enine donatı oranının etkisi dikkate alınmamıştır.

Kiracı vd. (2010), yaptıkları çalışmada betonarme bir elemanın eğrilik sünekliğini analitik olarak incelemişlerdir. Çekme donatısı akma dayanımı ve çekme donatısı oranının artmasıyla eğrilik sünekliğinde azalma meydana geldiğini, basınç donatısı oranının artmasıyla eğrilik sünekliği artış meydana geldiğini ifade etmişlerdir. Ayrıca çekme donatısı oranının yüksek olduğu durumlarda, etriye oranının ve sıklığının davranış üzerinde etkili olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmada yalnızca kirişler incelenmiştir.

Demir ve Çağlar (2013), yaptıkları çalışmada dairesel kolonlara ait etkin eğilme rijitliklerini analitik olarak incelemişler ve eksenel kuvvet artışıyla birlikte kesitlere ait etkin eğilme rijitliklerinin arttığını belirtmişlerdir. Çalışmada yalnızca dairesel kolon modelleri kullanılmış ve beton basınç dayanımı ile enine donatı oranının etkisi incelenmemiştir.

Yukarıda verilen literatür çalışmalarında genel olarak, betonarme kolon ve kiriş davranışlarına etki eden faktörler incelenmiştir. Ancak literatürdeki bu çalışmalar, sabit kesit geometrisi ile sınırlı kalmıştır. Bu çalışmada ise, daire, kare ve dikdörtgen kesitli betonarme kolonlar incelenmiş ve kesit geometrisinin etkisi de dikkate alınmıştır.

1.2. Amaç ve Kapsam

Bu çalışmada, eğilme momenti etkisi altında ki betonarme kolonların davranışları moment-eğrilik ilişkisi üzerinden tespit edilmiş ve kolonlara ait tasarım parametreleri ile aksenal yük değişiminin, kolonların davranışı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu amaçla kare, dikdörtgen ve daireden meydana gelen farklı geometriye sahip kolon modelleri oluşturulmuş ve 400 adet kolon modelinin moment eğrilik ilişkileri belirlenmiştir. Oluşturulan bu kolon modelleri üzerinde öncelikle aksenal kuvvet ve boyuna donatı oranı değişiminin etkileri incelenmiştir. Bu parametrelerin değişimlerini gözlemleyebilmek amacıyla seçilen her bir donatı için farklı düzeyde aksenal yük uygulanmıştır. Daha sonra beton kalitesinin kolonların davranışına olan etkisini incelemek amacıyla, farklı beton sınıfları kullanılarak kolon modelleri oluşturulmuştur. Her bir kolon modeline ait boyuna donatı değeri için beton sınıflarının davranışa olan etkisi incelenmiştir. Son olarak enine donatı oranı değiştirilerek kolon davranışına olan etkisi incelenmiştir. Analizi yapılan kesitlerin davranış üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi, etkin eğilme rijitliği, eğrilik sünekliği ve kesit dayanımı üzerinden yapılmıştır. İncelenen kesitlere ait moment-eğrilik ilişkileri, grafikler halinde sunulmuş ve yorumlanmıştır.

Çalışma beş bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde, konu ile ilgili genel bilgi ve daha önce yapılmış çalışmalar hakkında bilgiler verilmiştir.

İkinci bölümde, betonarme elemanların davranışının en etkili şekilde gözlemlenebildiği ikili ilişki olan moment-eğrilikten bahsedilmiştir.

Üçüncü bölümde, moment-eğrilik ilişkisi tespitinde kullanılan malzeme modelleri tanıtılmıştır.

Dördüncü bölümde, XTRACT sonlu eleman yazılımı kullanılarak analiz edilen dairesel, kare ve dikdörtgen geometrilere sahip kolon kesit modellerinin moment eğrilik ilişkileri, grafikler halinde sunulmuş ve yorumlanmıştır.

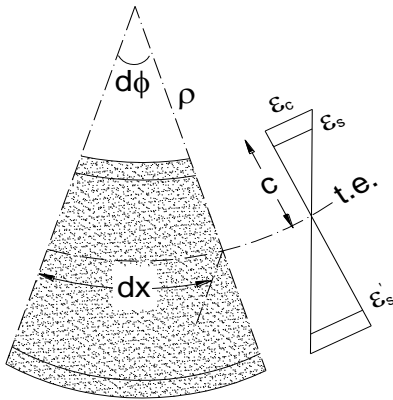
Beşinci bölümde sonuçlar ve öneriler sunulmuştur.

BÖLÜM 2. MOMENT-EĞRİLİK

Betonarme yapı sistemlerinin iyi tasarlanabilmesi yapı davranışının, dolayısıyla yapı elemanlarının davranışının kavranabilmesine bağlıdır. Elemanın davranışının kavranabilmesi ise kesit davranışının bilinmesi ile mümkündür. Eğilme etkisi altındaki kesitlerin davranışı, en sağlıklı biçimde moment-eğrilik ilişkisi incelenerek anlaşılabilir. Ayrıca kesitin rijitlik ve dayanımının nasıl değiştiği, kesit davranışının süneklik durumu gibi olaylar yine moment-eğrilik ilişkisi üzerinden izlenebilir (Ersoy ve Özcebe, 1988).

Eğrilik, birim dönme açısı olarak tanımlanır. Bir elastik eğri üzerindeki iki komşu nokta arasındaki açının, bu noktalar arasındaki mesafeye bölünmesi ile elde edilir.

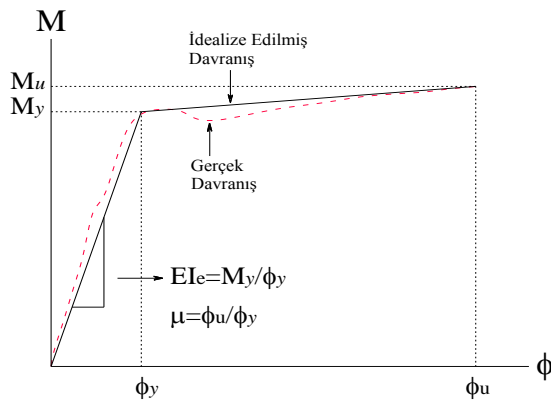
Şekil 2.1’de eğilme ve aksenal yük altındaki bir elemana ait deformasyon şekli ve kesite ait birim deformasyon dağılımı gösterilmektedir. Bağlantı 1’de eğrilik, $d\phi/dx$ şeklinde tanımlanmıştır.



Şekil 2.1. Eğilme ve aksenal yük altında deforme olmuş eleman parçası (Çağlar vd., 2013)

$$Eğrilik = \phi = \frac{d\phi}{dx} = \frac{1}{\rho} \quad (2.1)$$

Betonarme kesitler, farklı özelliklere sahip malzemelerden oluşmaktadır. Donatı çeliğinin davranışının elasto-plastik olduğu ve çekme ile basınç gerilmeleri altındaki davranışının özdeş olduğu varsayılır. Beton ise çekme ve basınç gerilmeleri altında farklı deformasyon özelliklerine sahip olup, doğrusal olmayan davranışa sahiptir. Gerçek malzeme davranışını göz önüne alarak elde edilen moment-eğrilik ilişkisi eğrileri, doğrusal değildir. Bu eğriler, akma momenti, akma eğriliği, etkin eğilme rijitliği ve eğrilik sünekliği kapasitesini elde etmek amacıyla iki doğru (bilineer) haline getirilerek idealize edilir.



Şekil 2.2. Moment-eğrilik ilişkisi

Betonarme kesitlerde süneklik, kesitin dayanımında önemli bir azalma olmadan (maksimum dayanımının %15'ini kaybetmesine izin verilir) yapabileceği doğrusal ötesi deformasyon kapasitesi olarak tanımlanır. Sayısal olarak ise süneklik, eğrilik süneklik katsayısı ile ifade edilir. Eğrilik süneklik katsayısı, kesitin kırılma anında yaptığı eğriliğin (ϕ_u), çekme donatısının aktığı anda kesitte oluşan eğriliğe (ϕ_y) oranıdır.

$$\mu = \frac{\phi_u}{\phi_y} \quad (2.2)$$

Sunulan bilinear egrideki ilk doğrunun eğimi, çatlama kesite ait etkin eğilme rijitliğine (EI_e) karşılık gelmektedir.

$$EI_e = \frac{M_y}{\phi_y} \quad (2.3)$$

ϕ_y : Çekme bölgesindeki donatının aktığı andaki eğrilik

M_y : Çekme bölgesindeki donatının aktığı andaki moment

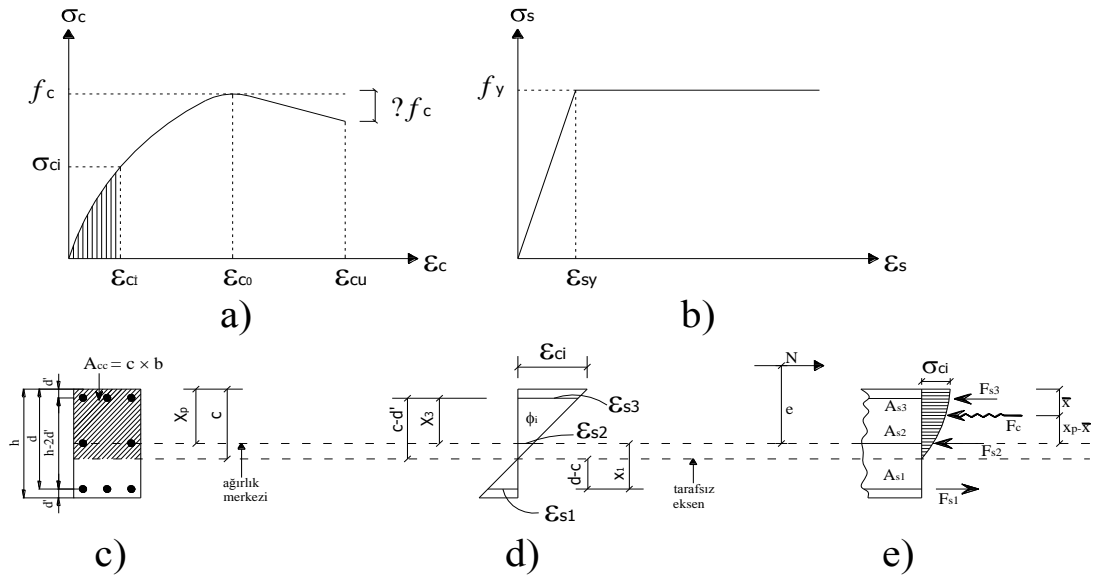
2.1. Moment-Eğrilik İlişkisinin Belirlenmesi

Betonarme kesitlerin moment-eğrilik ilişkileri, malzemelere ait gerilme-birim deformasyon ilişkilerinin belirlenmesinden sonra denge denklemlerinin ve yeterli sayıda uygunluk denklemlerinin oluşturulmasıyla hesaplanır. Beton ve donatı çeliğine ait gerilme-birim deformasyon ilişkileri için, araştırmacıların deneysel verilere ait gerilme birim deformasyon eğrilerini basitleştirerek elde ettikleri davranış modelleri kullanılır. Geometrik özellikleri belli olan kesitlerin aksenal yük altındaki moment-eğrilik ilişkilerinin elde edilmesinde, aşağıdaki kabullerden yararlanır.

1. Şekil değiştirmeden önce düzlem olan kesitler, şekil değiştirdikten sonra da düzlem olarak kalır.
2. Beton ve donatı arasında tam aderans vardır. Başka bir deyişle, donatı çubuğundaki birim boy değişimi, komşu beton liflerindeki birim boy değişimi ile özdeştir.
3. Sargılı ve sargısız betonun basınç altındaki davranışı, betonun çekme altındaki davranışı, donatı çeliğinin basınç ve çekme altındaki davranışları gerçekçi malzeme modelleri ile tanımlanır (Ersoy ve Özcebe, 1998).

Çözümde kolaylık sağlaması amacıyla, beton malzemesinin çekme dayanımı ihmal edilerek, uzama bölgesindeki tüm gerilmelerin donatı çeliği tarafından karşılandığı varsayılır.

Moment-eğrilik ilişkisi hesabı için izlenecek yol kısaca aşağıda anlatılmıştır. Burada çözümü basitleştirmek amacıyla, kesitteki sargı etkisi ve uzama bölgesindeki betonun çekme dayanımı ihmal edilmiştir. Tüm kesit için beton modeli olarak Hognestad beton modeli seçilmiş, çelik için ise pekleşmesi ihmal edilmiş elasto-plastik davranış yaptığı varsayılan çelik modeli tercih edilmiştir.



Şekil 2.3. Malzeme modelleri, birim deformasyon ve gerilme dağılımları (Canbay vd., 2008)

a) En dış lifteki beton birim kısalması(ϵ_{ci}) için bir değer seçilir. Bu değer sıfır ile ϵ_{cu} arasındaki herhangi bir değer olabilir. Sistematik bir yaklaşım için başlangıç değerinin küçük bir değer alınması daha iyi olacaktır.

b) Tarafsız eksen mesafesi(c) için bir değer kabul edilir. Bu değer kabulü ile birim deformasyon dağılımının geometrisi tam olarak oluşturulmuş olur (Şekil 2.2d).

c) Seçilen ϵ_{ci} ve c için her donatı düzeyindeki birim deformasyon değerleri(ϵ_{s1} , ϵ_{s2} , ϵ_{s3}) hesaplanır. Uzama bölgesinin işareti (-), kısalma bölgesinin işareti ise (+) alınacaktır.

d) Bulunan ϵ_{si} değerlerini kullanarak, her bir donatı düzeyi için gerilme değerleri hesap edilir. Çekme gerilmeleri (-), basınç gerilmeleri ise (+) alınacaktır.

$$\sigma_{si} = \epsilon_{si} E_s \quad (2.4)$$

e) Her donatı düzeyi için bulunan gerilme değerleri, o düzeydeki donatı alanı ile çarpılarak donatı kuvvetleri bulunur.

$$F_{si} = A_{si} \sigma_{si} \quad (2.5)$$

f) Beton basınç bileşkesi(F_c) hesaplanır. F_c 'nin hesabı için, seçilen birim deformasyon değeri(ε_{ci}) ile gerilme-birim deformasyon eğrisinde bu değere karşılık gelen gerilme değeri(σ_{si}) saptanır. Saptanan bu gerilme kesit alanına c derinliği boyunca etkimektedir. F_c bileşkesi, Şekil 2.2c' de görülen taralı alan üzerine etkileyen gerilme dağılımının oluşturduğu hacime eşittir.

g) Hesaplanan iç kuvvetlerin, ilk denge denklemini sağlayıp sağlamadıkları kontrol edilir. Eğer bulunan iç kuvvetlerin toplamı($\sum F$) etkileyen eksenel kuvvet(N)'e eşit değilse, b'deki adıma geri giderek c için yeni seçim yapılır. $\sum F = N$ sağlanana kadar bu işleme devam edilir. Eğer $\sum F = N$ ise bir sonraki adıma geçilir.

$$\sum F = F_c + \sum F_{si} \quad (2.6)$$

h) Kesitin ağırlık merkezi etrafında iç kuvvetlerin momenti alınır. Bağlantı 7'de, Şekil 2.2'den elde edilen moment ifadesi yazılmıştır.

$$M_i = F_c(X_p + \bar{X}) + \sum F_{si} X_i \quad (2.7)$$

i) Moment elde edildikten sonra, betonun en dış lifi için seçilen birim deformasyon(ε_{ci}) tarafsız eksen derinliği(c)' ye oranlanarak eğrilik elde edilir. Böylece $M - \phi$ eğrisine ait bir nokta bulunmuş olur.

$$\phi_i = \frac{\varepsilon_{ci}}{c} \quad (2.8)$$

j) Daha sonra ilk adıma geri gidilerek betonun en dış lifi için farklı bir birim deformasyon(ε_{ci}) değeri seçilir. Aynı işlemler tekrar edilerek $M - \phi$ eğrisine ait yeni bir nokta bulunur. Yeterli sayıda nokta elde edildikten sonra $M - \phi$ eğrisi çizilir (Canbay vd., 2008).

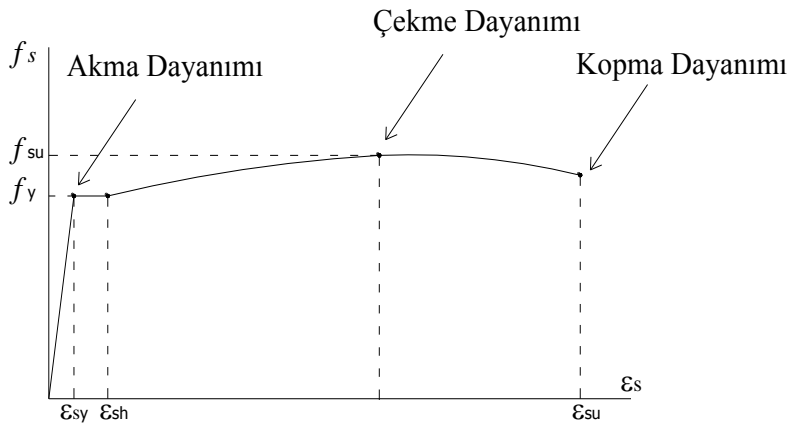
El ile yapılan moment-eğrilik ilişkisi tespiti hem zahmetli, hem de zaman alıcıdır. Günümüzde bu çözümlmeyi çok kısa sürede gerçekleştiren bilgisayar yazılımları mevcuttur. Bu çalışmada, bu amaca yönelik üretilmiş XTRACT sonlu eleman yazılımı kullanılmıştır. XTRACT yazılımı, yapısal elemanların kesit bazlı analizlerini yapan bir programdır. Bu yazılım ile bir kesitin geometrik özellikleri ve kesitte bulunan malzemelerin modelleri girilerek, kesite ait moment-eğrilik, aksenal kuvvet-moment ve kapasite yörüngesi analizleri yapılabilmektedir.

BÖLÜM 3. MALZEME MODELLERİ

Moment-eğrilik ilişkisi belirlenirken, malzeme davranışlarından yararlanılmaktadır. Bu nedenle hesapların doğruluğu, tanımlanan donatı çeliği ve beton malzemelerine ait davranışın gerçekçiliğine bağlıdır (Ersoy ve Özcebe, 1998). Literatürde, araştırmacıların yaptıkları deneysel çalışma verilerine dayanarak önerdikleri birçok malzeme modeli yer almaktadır. Bu bölümde yaygın olarak kullanılan malzeme modelleri tanıtılacaktır.

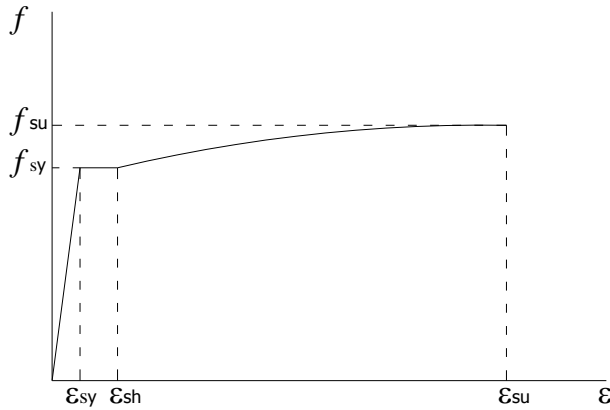
3.1. Donatı Çeliği İçin Önerilen Model

Doğal sertlikte ki bir çeliğin gerilme-birim deformasyon eğrisi Şekil 3.1’de gösterilmektedir. Çelikte ki gerilme f_{sy} ve birim deformasyon ϵ_{sy} değerine ulaştığı anda çelikte plastik deformasyon meydana gelir ve sabit gerilme altında birim deformasyonda artış olur. Birim deformasyon değeri ϵ_{sh} değerine ulaştığı anda çelikte pekleşme başlar ve deformasyon artışıyla birlikte yeniden gerilme artışı gerçekleşir. Pekleşme devam ederken gerilme değeri f_{su} yani çekme dayanımı değerine ulaşır. Bu noktadan sonra dayanımda bir miktar azalma meydana gelir. Birim deformasyon ϵ_{su} değerine ulaştınca da çelikte kopma meydana gelir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Doğal sertlikte ki bir çelik için gerilme-deformasyon ilişkisi (Doğangün, 2007)

Deprem yönetmeliği 7B.2’de verilen ve pekleşmeyi de göz önünde bulunduran donatı çeliği modeline ait $f-\varepsilon$ ilişkisi aşağıda gösterilmektedir(Şekil 3.2). Çeliğe ait yönetmeliğin kabul ettiği gerilme-birim deformasyon eğrisinde, çeliğin çekme dayanımına ulaştığı anda maksimum deformasyon gerçekleştirdiği kabul edilir.



Şekil 3.2. TDY-2007 yönetmeliğinde sunulan çeliğe ait, $f-\varepsilon$ ilişkisi

$$f_s = E_s \varepsilon_s \quad (\varepsilon_s \leq \varepsilon_{sy}) \quad (3.1)$$

$$f_s = f_{sy} \quad (\varepsilon_{sy} < \varepsilon_s \leq \varepsilon_{sh}) \quad (3.2)$$

$$f_s = f_{su} - (f_{su} - f_{sy}) \frac{(\varepsilon_{su} - \varepsilon_s)^2}{(\varepsilon_{su} - \varepsilon_{sh})^2} \quad (\varepsilon_{sh} < \varepsilon_s \leq \varepsilon_{su}) \quad (3.3)$$

E_s : Donatı çeliğinin elastisite modülü.

f_s : Donatı çeliğindeki gerilme.

f_{sy} : Donatı çeliğinin akma dayanımı.

f_{su} : Donatı çeliğinin kopma dayanımı.

ε_{sy} : Donatı çeliğinin akma birim şekildeğiştirme.

ε_{sh} : Donatı çeliğinin pekleşme başlangıcındaki birim şekildeğiştirme.

ε_{su} : Donatı çeliğinin kopma birim şekildeğiştirme.

Tablo 3.1. TDY-2007’de sunulan çelik türlerine ait gerilme-birim deformasyon değerleri

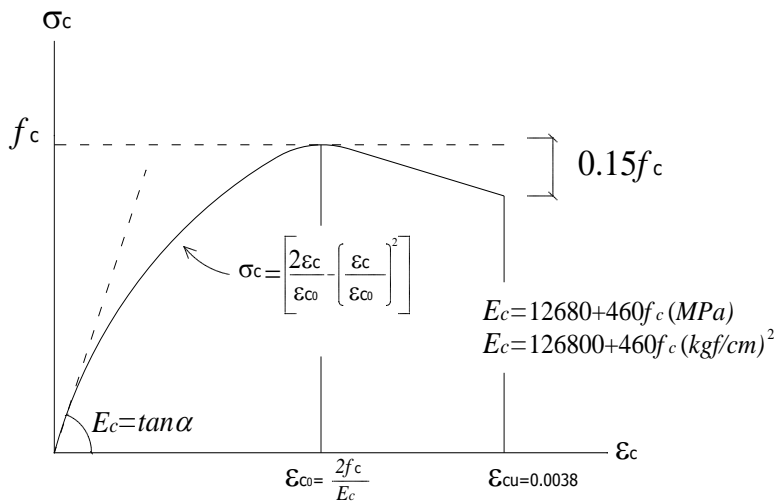
Kalite	f_{sy} (MPa)	ε_{sy}	ε_{sh}	ε_{su}	f_{su} (MPa)
S220	220	0.0011	0.011	0.16	275
S420	420	0.0021	0.008	0.10	550

3.2. Basınç Altındaki Betonun Gerilme-Birim Deformasyon Modelleri

Beton, çeşitli malzemelerin bir araya gelmesiyle oluşan kompozit bir malzemedir. Betonun homojen olmayan yapısı, beton için sabit bir gerilme-birim deformasyon ilişkisi sunmayı imkansız hale getirmektedir. Geçmişte araştırmacılar, eksenel yük etkisi altındaki betona ait deneysel verilerden elde ettikleri gerilme-birim deformasyon eğrilerini idealleştirerek birçok matematik model önermişlerdir. Bu kısımda, bunların bazılarında kısaca bahsedilecektir.

3.2.1. Hognestad beton modeli

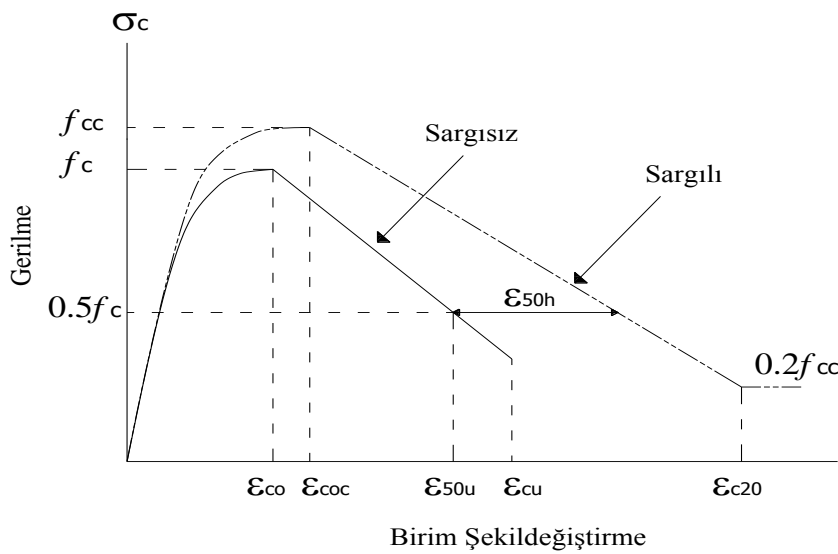
Hognestad beton modeli, sargı etkisi dikkate alınmadan tanımlanmış bir modeldir. Bu modele göre oluşturulan σ - ϵ ilişkisinde, dayanım maksimum noktaya ulaşana kadar 2. dereceden parabol ile tanımlanmakta, maksimum dayanımdan sonraki kısım ise doğrusal olarak tanımlanmaktadır. Maksimum gerilmeye karşılık gelen birim deformasyon, beton dayanımından bağımsız olarak 0.002 civarındadır (Doğangün, 2007). Betonda kırılma meydana geldiği andaki birim deformasyon 0.0038 ve gerilme ise $0.85f_c$ değerindedir. Hognestad donatısız beton modeli şekil 3.3'de verilmiştir.



Şekil 3.3. Hognestad sargısız beton modeli (Ersoy ve Özcebe, 2012)

3.2.2. Geliştirilmiş Kent ve Park sargılı ve sargısız beton modeli

Bu modelde beton dayanımının ve buna karşılık gelen birim deformasyonunun, sargı etkisi ile arttığı varsayılmaktadır. Beton modelleri için önerilen eğriler, maksimum gerilmeye kadar ikinci derece parabol ile ifade edilmektedir. Maksimum gerilme aşıldıktan sonra her iki betonun dayanımında meydana gelen azalmanın doğrusal olduğu varsayılmaktadır. Sargılı betona ait eğrideki azalma eğimi, sargısız betona oranla daha küçüktür. Sargısız betonda maksimum kısılma sınırı ϵ_{cu} iken, sargısız betonda böyle bir sınır yoktur.



Şekil 3.4. Geliştirilmiş Kent ve Park sargılı ve sargısız beton modeli (Ersoy ve Özcebe, 2012)

Parabolik Eğri:

Sargısız Beton;

$$\sigma_c = f_c \left[\frac{2\epsilon_c}{\epsilon_{co}} - \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_{co}} \right)^2 \right] \quad (3.4)$$

Sargılı Beton;

$$\sigma_c = f_{cc} \left[\frac{2\epsilon_c}{\epsilon_{coc}} - \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_{coc}} \right)^2 \right] \quad (3.5)$$

$$f_{cc} = K f_c \quad (3.6)$$

$$\epsilon_{coc} = K \epsilon_{co} \quad (3.7)$$

$$K = 1 + \frac{\rho_s f_{ywk}}{f_c} \quad (3.8)$$

Doğrusal Eğri:

Sargısız Beton;

$$\sigma_c = f_c [1 - Z_u (\varepsilon_c - \varepsilon_{co})] \quad (3.9)$$

$$Z_u = \frac{0.5}{\varepsilon_{50u} - \varepsilon_{co}} \quad (3.10)$$

$$\varepsilon_{50u} = \frac{3 + 0.285 f_c}{142 f_c - 1000} \geq \varepsilon_{co} \quad (3.11)$$

Sargılı Beton;

$$\sigma_c = f_{cc} [1 - Z_c (\varepsilon_c - \varepsilon_{coc})] \geq 0.2 f_c \quad (3.12)$$

$$Z_c = \frac{0.5}{\varepsilon_{50u} + \varepsilon_{50h} - \varepsilon_{coc}} \quad (3.13)$$

$$\varepsilon_{50h} = 0.75 \rho_s \left(\frac{b_k}{s} \right)^{1/2} \quad (3.14)$$

f_c : Sargısız betonun basınç dayanımı.

f_{cc} : Sargılı betonun basınç dayanımı.

ε_{co} : Sargısız betonda maksimum dayanıma karşılık gelen birim kısalma.

ε_{coc} : Sargılı betonda maksimum dayanıma karşılık gelen birim kısalma.

b_k : Çekirdek beton küçük boyutu. (Sargı donatısının dış kısmından dış kısma olan mesafe)

s : Sargı donatısı adım mesafesi

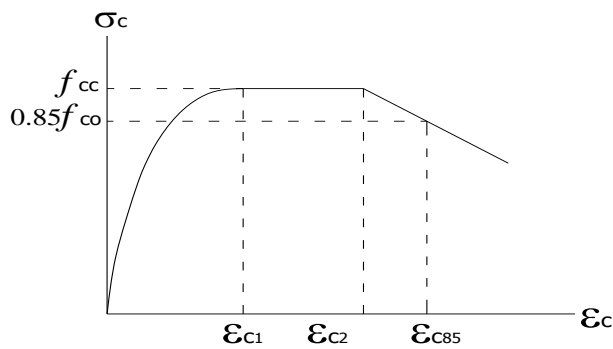
ρ_s : Sargı donatısının hacimsel oranı

Z_u : Sargısız betona ait $\sigma - \varepsilon$ eğrisinin doğrusal bölümünün eğimi

Z_c : Sargılı betona ait $\sigma - \varepsilon$ eğrisinin doğrusal bölümünün eğimi (Ersoy ve Özcebe, 2012)

3.2.3. Sheikh ve Üzümeri beton modeli

Sheikh ve Üzümeri tarafından önerilen sargılı beton modelinde de sargı etkisiyle dayanımın arttığı varsayılmaktadır. Model maksimum gerilme noktasına kadar olan kısımda 2. Dereceden parabol olarak tanımlanmış, gerilme değeri maksimuma ulaştıktan sonra sabit gerilme altında deformasyonun arttığı varsayılmış ve eğrinin iniş kısmı da doğrusal olarak tanımlanmıştır. Sheikh ve Üzümeri modeline ait σ - ϵ eğrileri ve bağıntılar aşağıda verilmiştir.



Şekil 3.5. Sheikh ve Üzümeri sargılı beton modeli (Ersoy ve Özcebe, 1998)

$$\epsilon_{c1} = 8 K_o f_c \times 10^{-6} \quad (3.15)$$

$$f_{cc} = K_o f_c \quad (3.16)$$

$$\epsilon_{c2} = \epsilon_{co} \left[1 + \frac{7.8}{a} \left(1 - 5 \left(\frac{s}{b_k} \right)^2 \right) \frac{\rho_s f_{ywk}}{\sqrt{f_c}} \right] \quad (3.17)$$

$$\epsilon_{c85} = 0.225 \rho_s \sqrt{\frac{b_k}{s}} + \epsilon_{c2} \quad (3.18)$$

$$K_o = 1 + 23 \frac{b_k^2}{N_{oc}} \left[\left(1 - \frac{na^2}{5.5b_k^2} \right) \left(1 - \frac{s}{2b_k} \right)^2 \right] \sqrt{\rho_s f_{ywk}} \quad (3.19)$$

a : İki komşu boyuna donatı arasındaki mesafe.

A_{ck} : Sarılmış beton alanı.

A_{st} : Kolon kesitindeki toplam boyuna donatı oranı.

b_k : Çekirdek beton küçük boyutu.(Sargı donatısının merkezinden merkezine olan mesafe)

f_c : Sargısız betonun basınç dayanımı.

f_{cc} : Sargılı betonun basınç dayanımı.

f_{ywk} : Sarı donatısının akma dayanımı.

n : Kolondaki boyuna donatı sayısı.

ρ_s : Sargı donatısının hacimsel oranı (Ersoy ve Özcebe, 1998)

3.2.4. Mander sargılı ve sargısız beton modeli

Mander tarafından önerilen beton modelinde, sargı etkisiyle birlikte, betonunun maksimum dayanımı ve buna karşılık gelen birim deformasyonun arttığı varsayılmaktadır. Mander beton modeli TDY-2007' deki şekliyle sunulacaktır.

Sargılı beton için;

Sargılı betonun basınç gerilmesi f_c , basınç birim şekil değiştirmesi ε_c 'nin fonksiyonu olarak verilmektedir.

$$f_c = \frac{f_{cc} x r}{r - 1 + x^r} \quad (3.20)$$

Sargılı beton dayanımı f_{cc} ile sargısız beton dayanımı f_{co} arasındaki ilişki Bağntı 3.21'de verilmektedir.

$$f_c = \lambda_c f_{co} \quad ; \quad \lambda_c = 2.254 \sqrt{1 + 7.94 \frac{f_e}{f_{co}} - 2 \frac{f_e}{f_{co}} - 1.254} \quad (3.21)$$

Etkili sargı basıncı f_e , dikdörtgen kesitlerde birbirine dik iki doğrultu için Bağntı 3.22'de verilen değerlerin ortalaması olarak alınabilir.

$$f_{ex} = k_e \rho_x f_{yw} \quad ; \quad f_{ey} = k_e \rho_y f_{yw} \quad (3.22)$$

Bu bağıntılarda f_{yw} enine donatının akma dayanımını, ρ_x ve ρ_y ilgili doğrultulardaki enine donatıların hacimsel oranlarını, k_e ise Bağntı 3.23'de tanımlanan sargılama etkinlik katsayısını göstermektedir.

$$k_e = \left(1 - \frac{\sum a_i^2}{6b_0h_0}\right) \left(1 - \frac{s}{2b_0}\right) \left(1 - \frac{s}{2h_0}\right) \left(1 - \frac{A_s}{b_0h_0}\right)^{-1} \quad (3.23)$$

Burada a_i kesit çevresindeki düşey donatıların eksenleri arasındaki uzaklığı, b_0 ve h_0 göbek betonunu sargılayan etriyelerin eksenleri arasında kalan kesit boyutlarını, s düşey doğrultuda etriyelerin eksenleri arasındaki aralığı, A_s ise boyuna donatı alanını göstermektedir.

Bağıntı 3.20’de verilen normalize edilmiş beton birim şekildeğiştirilmesi x ile r değişkenine ilişkin bağıntılar aşağıda verilmiştir.

$$x = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{cc}} \quad ; \quad \varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co} [1 + 5(\lambda_c - 1)] \quad ; \quad \varepsilon_{cc} \cong 0.002 \quad (3.24)$$

$$xr = \frac{E_c}{E_c - E_{sec}} \quad ; \quad E_c \cong 5000\sqrt{f_{co}} \text{ [MPa]} \quad ; \quad E_{sec} = \frac{f_{cc}}{\varepsilon_{cc}} \quad (3.25)$$

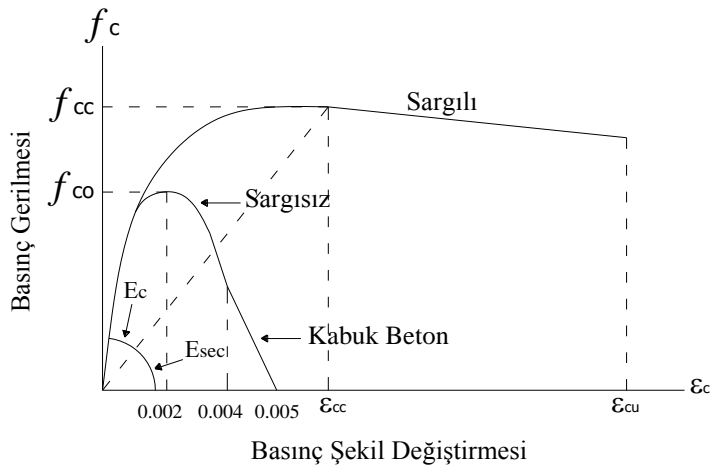
Sargılı betondaki maksimum basınç birim şekildeğiştirilmesi ε_{cu} Bağıntı 3.26’da verilmiştir.

$$\varepsilon_{cu} = 0.004 + \frac{1.4\rho_s f_{yw} \varepsilon_{su}}{f_{cc}} \quad (3.26)$$

Burada ρ_s toplam enine donatının hacimsel oranını, ε_{su} enine donatı çeliğindeki maksimum gerilme altındaki birim uzamasını göstermektedir.

Sargısız beton için;

Sargılı beton için verilen bağıntı 3.22, $\varepsilon_c = 0.004$ ’e kadar olan bölgede sargısız beton içinde geçerlidir. Sargısız betonda etkin sargı basıncı $f_e = 0$ ve buna bağlı olarak $\lambda_c = 1$ olacaktır. $f_{cc} = f_{co}$ ve $\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{co}$ alınacaktır. $\varepsilon_c = 0.005$ ’de $f_c = 0$ olarak tanımlanır. $0.004 < \varepsilon_c \leq 0.005$ tanım aralığında gerilme-birim şekildeğiştirme ilişkisi doğrusaldır.



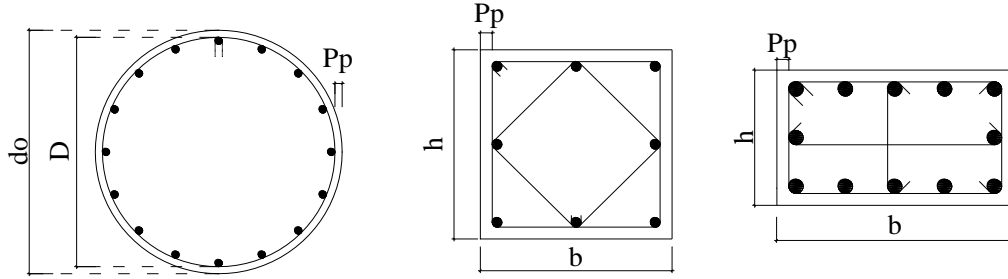
Şekil 3.6. Mander sargılı ve sargısız beton modeli (Mander, 1988)

TDY-2007'de önerilmesi sebebiyle, analizi yapılan tüm kesitler için, sargılı ve sargısız beton modeli olarak Mander beton modeli seçilmiştir.

Betonun çekme dayanımı basınç dayanımına nispeten çok küçüktür. Bundan dolayı taşıma gücü hesaplarında betonun çekme dayanımı ihmal edilir. Moment-eğrilik ilişkisinin belirlenmesinde de betonun çekme dayanımının ihmal edilmesi, sonucu fazla değiştirmez (Ersoy ve Özcebe, 1998). Bu çalışmada uzama bölgesindeki betonun çekme dayanımı ihmal edilmiştir. Bu nedenle betonun çekme dayanımı burada işlenmemiştir.

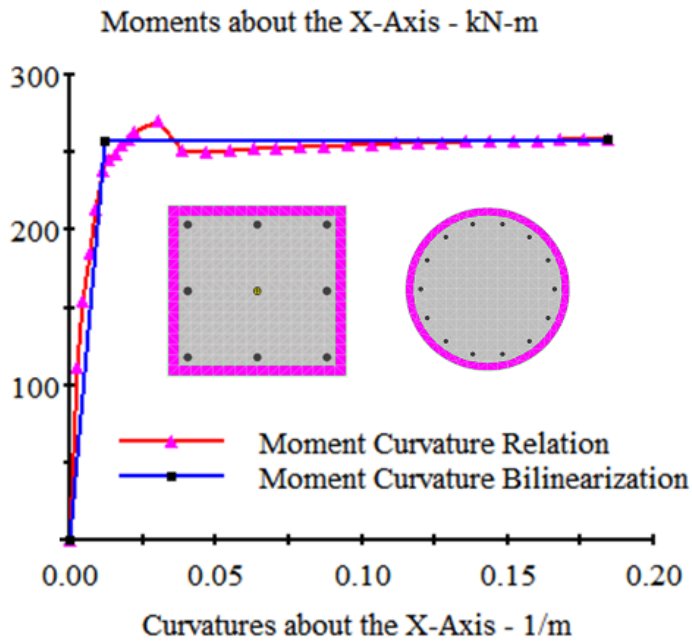
BÖLÜM 4. SAYISAL ÇALIŞMA

Bu çalışmada betonarme kolon kesitlerine ait tasarım parametrelerinin moment-eğrilik ilişkisi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu amaçla dairesel, kare ve dikdörtgen kolon kesit modelleri oluşturulmuş ve moment-eğrilik ilişkileri belirlenmiştir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Dairesel, kare ve dikdörtgen kolon kesit modelleri

Betonarme kolon kesitlerin modelleri oluşturulurken değişken parametreler olarak, beton kalitesi, aksiyel kuvvet düzeyi, boyuna donatı oranı ve enine donatı oranı seçilmiştir. Her bir parametrenin moment eğrilik ilişkisine etkilerini belirlemek amacıyla, birbirinden farklı 400 adet kolon kesit modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan bu kesit modellerinin moment-eğrilik ilişkileri XTRACT sonlu eleman yazılımı ile elde edilmiş ve grafikler halinde sunularak sonuçlar değerlendirilmiştir (Şekil 4.2). Sunulan grafiklerde idealize edilmiş eğriler kullanılmıştır.



Şekil 4.2. XTRACT Betonarme kesitler için moment-eğrilik ilişkisi grafiği

Değişken parametrelerin moment-eğrilik ilişkileri üzerindeki etkileri, sunulan grafiklerin kıyaslanması ile değerlendirilmiştir.

Kesitlerde kullanılan donatı çapları, donatı oranları, kesit boyutları ve kesitlere etkiyen maksimum aksenal kuvvet düzeyi, TS-500 ve TDY-2007 de verilen sınırlamalar dikkate alınarak belirlenmiştir.

Kesitlere etkiyen maksimum aksenal kuvvet aşağıdaki koşulları sağlayacak şekilde belirlenmiştir.

$$N_{dm} \leq 0,5 A_c f_{ck} \quad (\text{TDY-2007}) \quad (4.1)$$

$$N_d \leq 0,6 A_c f_{ck} \quad (\text{TS-500}) \quad (4.2)$$

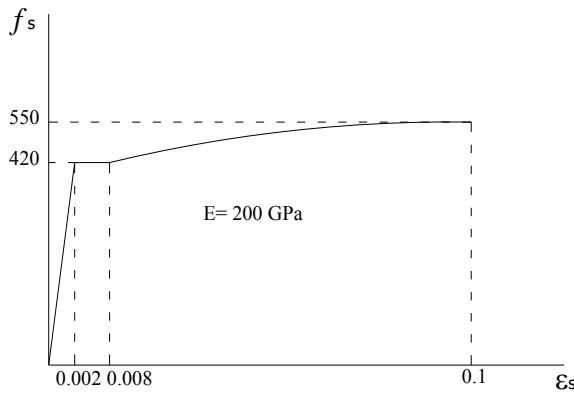
Kesitlerde kullanılan boyuna donatı oranları, aşağıdaki koşulları sağlayacak şekilde belirlenmiştir.

$$\rho_t = \frac{A_{st}}{A_c} \quad (4.3)$$

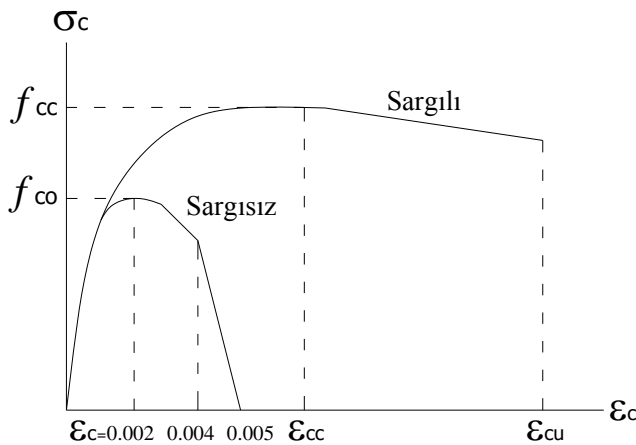
$$\rho_{tmin} \geq 0.01 \quad (4.4)$$

$$\rho_{tmax} \leq 0.04 \quad (4.5)$$

Bu çalışmadaki tüm kesitlerde, donatı çeliği olarak S420 seçilmiştir. Donatı çeliği için, literatürde genel kabul görmüş deney sonuçlarından elde edilmiş ve TDY-2007 Bilgilendirme Eki 7B.2’de verilmiş olan gerilme-birim şekil değiştirme eğrilerinden faydalanılmıştır (Şekil 4.3). Beton sınıfı olarak C25 seçilmiş, fakat beton basınç dayanımının moment-eğrilik ilişkisine etkisinin araştırıldığı örneklerde farklı beton basınç değerleri de dikkate alınmıştır. Betonun yatay donatılarla sarılmış çekirdek bölgesi ve sargısız kabuk kısmı için, TDY-2007 Bilgilendirme Eki 7B.1’ de verilen Mander (1988) beton modeli kullanılmıştır (Şekil 4.4). Kesitlerin tümünde beton ve donatı arasında tam aderans olduğu, kullanılan tüm boyuna ve enine donatıların 420 MPa gerilme değerine ulaşınca aktığı ve 550 MPa gerilme değerine ulaşınca koptuğu varsayılmıştır.



Şekil 4.3. S420 donatı çeliği gerilme-birim şekil değiştirme eğrisi



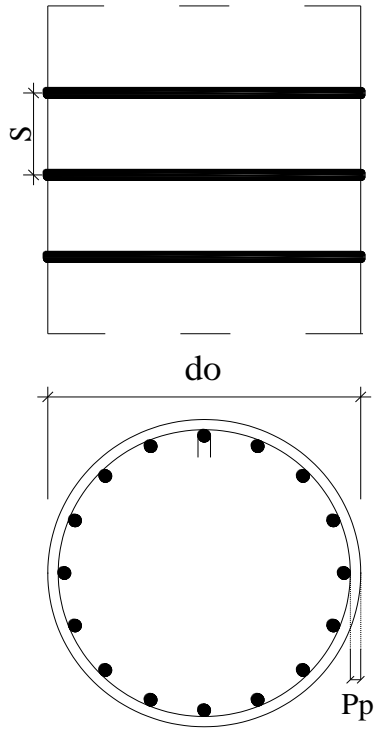
Şekil 4.4. Mander sargılı ve sargısız beton gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri

4.1. Kolon Modelleri

Bu tez çalışmasında, 4 adet daire, 2 adet kare ve 2 adet de dikdörtgen olmak üzere toplam 8 farklı kolon modeli oluşturulmuştur.

4.1.1. Dairesel kolonlar

Çalışmada farklı çap uzunluğuna sahip 4 adet dairesel kolon modeli kullanılmıştır. Dairesel kolonlarda, sargı donatısı olarak düz enine donatı kullanılmıştır (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. Dairesel kolon modeli

Bu kolonlara ait isimlendirmeler, ölçüler, boyuna donatı oranları ve miktarları, enine donatı ölçüsü ve adım mesafesi Tablo 4.1’de verilmiştir. Tablo 4.1’den de görüldüğü gibi boyuna donatı çap aralığı $\phi 14 - \phi 36$ aralığında olmak koşuluyla her bir kolon için 6 farklı çap seçilmiştir.

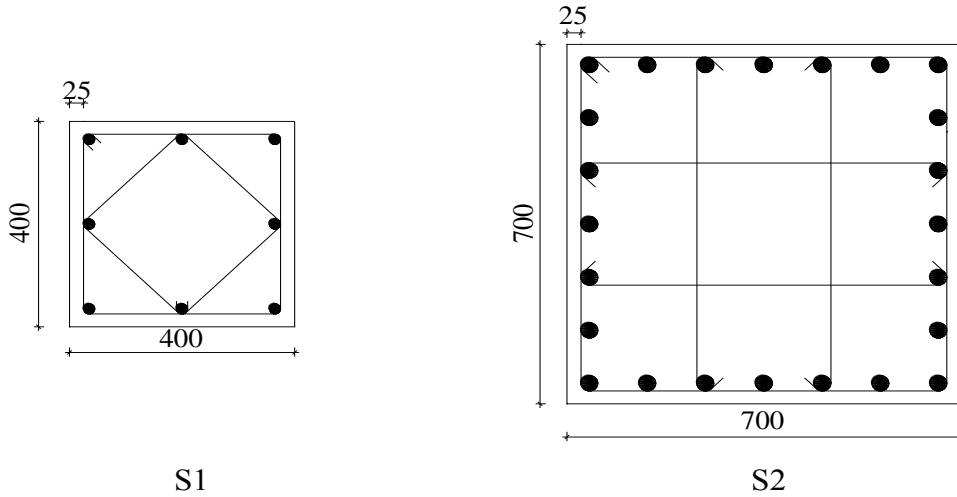
Tablo 4.1. Dairesel kolonlara ait kesit ölçüleri ve donatı miktarları

Kesit No	Brüt Kesit Çapı d_0 (mm)	Paspayı P_p (mm)	Boyuna Donatı Sayısı	Boyuna Donatı Çap Aralığı (mm)	Boyuna Donatı Oranı Aralığı (ϕ) (%)	Enine Donatı Çapı (mm)
CR50	500	25	14	14 - 24	1.098 - 3.226	$\Phi 10/80$
CR100	1000	30	40	20 - 30	1.604 - 3.609	$\Phi 12/60$
CR150	1500	35	60	22 - 32	1.294 - 2.738	$\Phi 14/60$
CR200	2000	40	80	24 - 36	1.155 - 2.599	$\Phi 16/50$

4.1.2. Kare kolonlar

Çalışmada farklı boyutlarda 2 adet kare kolon kesit modeli kullanılmıştır (Şekil 4.6).

Bu kesitlere ait isimlendirmeler ve bilgiler Tablo 4.2’de verilmiştir.



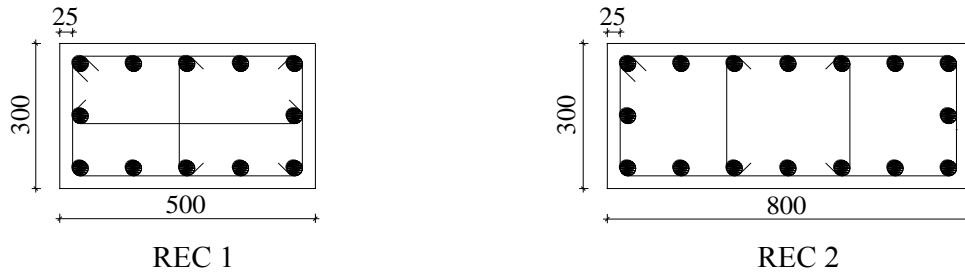
Şekil 4.6. Kare kolon modelleri

Tablo 4.2. Kare Kolonlara Ait Kesit Ölçüleri ve Donatı Miktarları

Kesit No	Kesit Boyutları (mm)		Paspayı P_p (mm)	Boyuna Donatı Sayısı	Boyuna Donatı Çap Aralığı (ϕ) (mm)	Boyuna Donatı Oranı Aralığı (%)	Enine Donatı (mm)
	b	h					
S1	400	400	25	8	16 - 26	1.01 - 2.66	$\phi 8/80$
S2	700	700	25	24	18 - 26	1.25 - 2.60	$\phi 12/100$

4.1.3. Dikdörtgen kolonlar

Çalışmada farklı boyutlarda 2 adet dikdörtgen kolon kesit modeli kullanılmıştır (Şekil 4.7). Bu kesitlere ait isimlendirmeler ve bilgiler Tablo 4.3’de verilmiştir. Dikdörtgen kesit modellerinde, her iki doğrultuda da moment-eğrilik ilişkisi incelenmiştir.



Şekil 4.7. Dikdörtgen kolon modelleri

Tablo 4.3. Dikdörtgen kolonlara ait kesit ölçüleri ve donatı miktarları

Kesit No	Kesit Boyutları (mm)		Paspayı Pp (mm)	Boyuna Donatı Sayısı	Boyuna Donatı Çap Aralığı (ϕ) (mm)	Boyuna Donatı Oranı Aralığı (%)	Enine Donatı (mm)
	b	h					
REC1	500	300	25	12	14 - 24	1.23 - 3.62	ϕ 10/80
REC2	700	300	25	16	14 - 24	1.17 - 3.45	ϕ 10/80

4.2. Boyuna Donatı Oranının ve Eksenel Kuvvetin Moment-Eğrilik İlişkisine Etkisi

Boyuna donatı oranı değişiminin moment-eğrilik ilişkisine olan etkisini incelemek amacıyla her bir kesite ait donatı oranı, TS-500’ de verilen minimum ve maksimum donatı oranı sınırları içerisinde belirlenmiş ve belirlenen bu oranlara uygun donatı seçimi yapılmıştır. Boyuna donatı oranı değişimi, boyuna donatı sayısı sabit tutulup boyuna donatı çapı artırılarak sağlanmıştır. Bunun yanında, tüm kesitlere, TDY-2007’ ye göre taşıyabilecekleri maksimum eksenel kuvvet sınırına kadar rastgele düzeylerde eksenel kuvvet uygulanmıştır. Boyuna donatı oranının ve eksenel kuvvetin moment-eğrilik ilişkisi üzerinde ki etkisi incelenen bu kesitlerde enine donatı çapı, enine donatı adım mesafesi ve beton kalitesi sabit tutulmuştur.

4.2.1. Dairesel kolonlarda boyuna donatı oranı ve eksenel kuvvet değişimi

Dairesel kolonlarda her kesit için 6 farklı boyuna donatı çapı seçilmiştir. Boyuna donatı çapları, donatı oranlarının TS-500’de belirtilen minimum ve maksimum donatı sınırları içerisinde olması sağlanarak belirlenmiştir. Ayrıca Seçilen her kesite TDY-2007’ye göre taşıyabilecekleri maksimum eksenel kuvvet sınırına kadar rastgele düzeylerde 6 farklı eksenel kuvvet uygulanmıştır (Tablo 4.4).

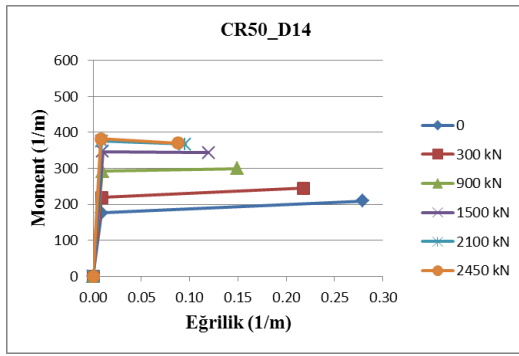
Tablo 4.4. Dairesel kolonlara ait boyuna donatı çapları ve uygulanan eksenel kuvvetler

Kesit No	Boyuna Donatı Çapları (φ) (mm)	Boyuna Donatı Sayısı	Beton Sınıfı	N _{d1}	N _{d2}	N _{d3}	N _{d4}	N _{d5}	N _{d6}	Enine Donatı (mm)
				(kN)						
CR50	14-16-18-20-22-24	14	C25	0	300	900	1500	2100	2450	φ10/80
CR100	20-22-24- 26-28-30	40			2000	4000	6000	8000	9820	φ12/60
CR150	22-24-26-28-30-32	60			5000	10000	15000	20000	22090	φ14/60
CR200	24-26-28-30-32-36	80			8000	16000	24000	32000	39280	φ16/50

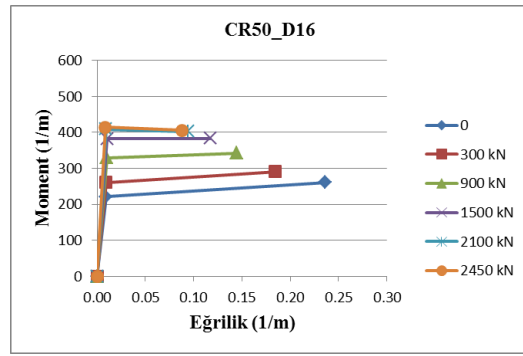
Tablo 4.5. Dairesel kolonlarda farklı boyuna donatı çaplarına karşılık gelen boyuna donatı oranları

CR50	Boyuna Donatı Çapı (mm)	φ14	φ16	φ18	φ20	φ22	φ24
	Boyuna Donatı Oranı (%)	1.098	1.434	1.814	2.240	2.710	3.226
CR100	Boyuna Donatı Çapı (mm)	φ20	φ22	φ24	φ26	φ28	φ30
	Boyuna Donatı Oranı (%)	1.604	1.941	2.310	2.711	3.144	3.609
CR150	Boyuna Donatı Çapı (mm)	φ22	φ24	φ26	φ28	φ30	φ32
	Boyuna Donatı Oranı (%)	1.294	1.540	1.807	2.096	2.406	2.738
CR200	Boyuna Donatı Çapı (mm)	φ24	φ26	φ28	φ30	φ32	φ36
	Boyuna Donatı Oranı (%)	1.155	1.356	1.572	1.805	2.053	2.599

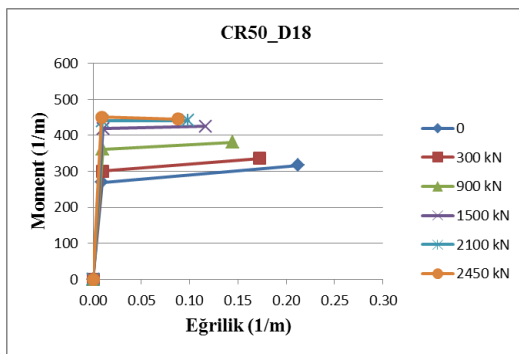
Betonarme dairese kolonların geometrileri sebebiyle her doğrultudaki moment-eğrilik ilişkisi aynı olduğundan sadece tek doğrultudaki moment-eğrilik ilişkisi incelenmiştir. Seçilen boyuna donatılarla ve eksenel kuvvetlerle yapılan analiz sonuçları, grafik halinde sunulmuştur (Şekil 4.8-4.11).



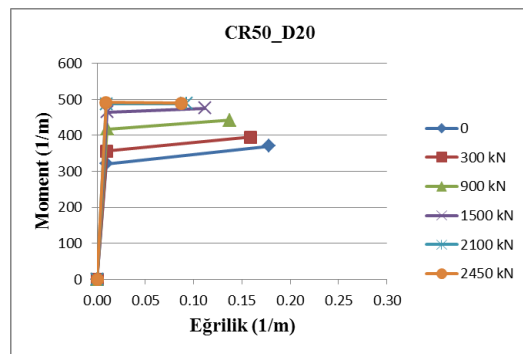
$d_0=500$ mm, $\phi=14$ mm



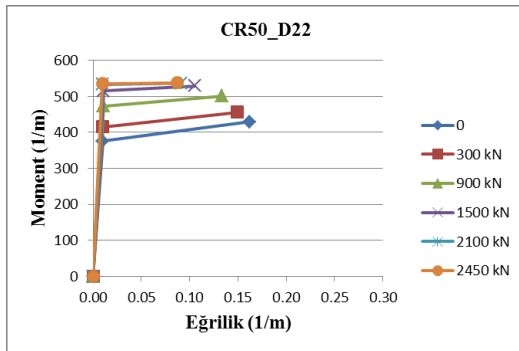
$d_0=500$ mm, $\phi=16$ mm



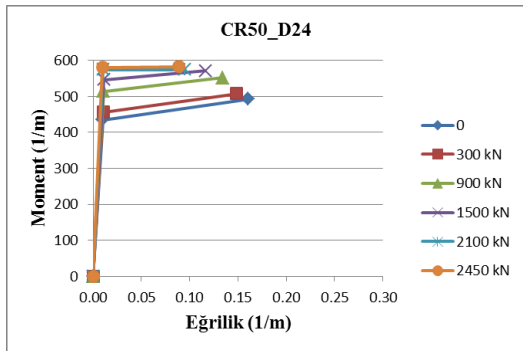
$d_0=500$ mm, $\phi=18$ mm



$d_0=500$ mm, $\phi=20$ mm

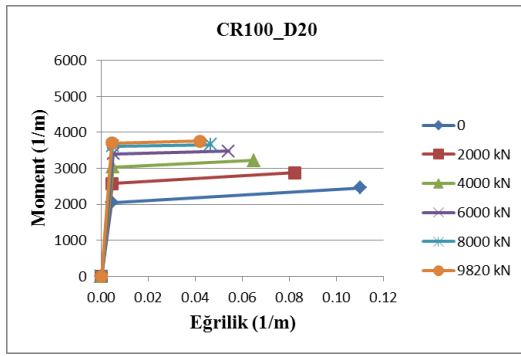


$d_0=500$ mm, $\phi=22$ mm

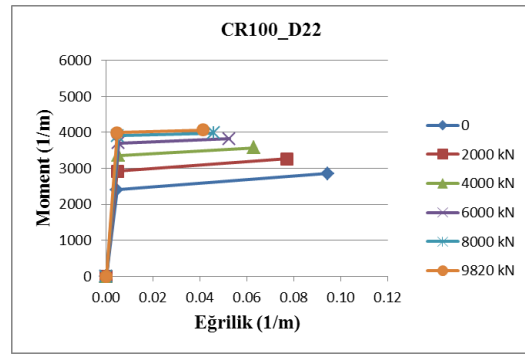


$d_0=500$ mm, $\phi=24$ mm

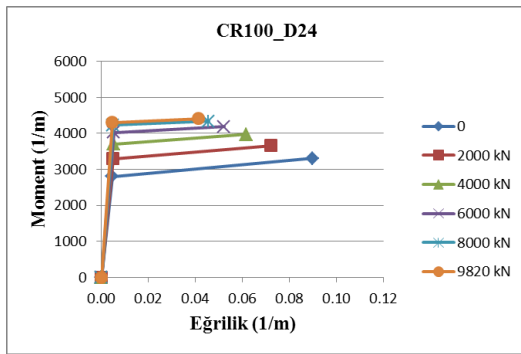
Şekil 4.8. CR50 kolonunda boyuna donatı oranı ve eksenel kuvvet değişiminin moment-eğrilik ilişkisine etkisi



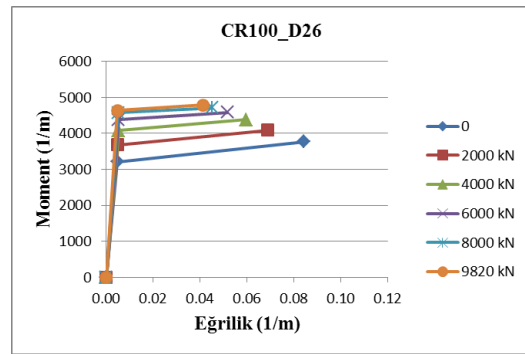
$d_0=1000$ mm, $\phi=20$ mm



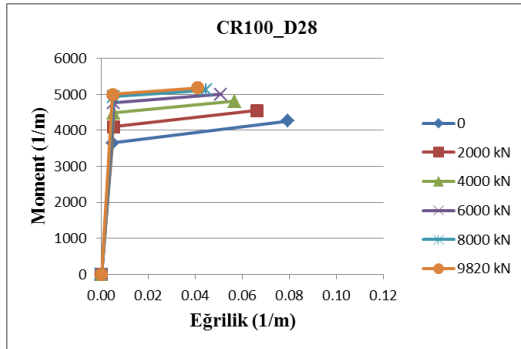
$d_0=1000$ mm, $\phi=22$ mm



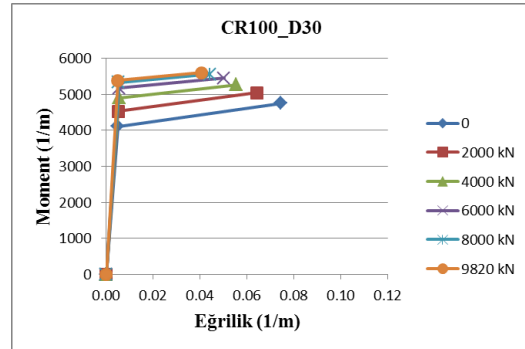
$d_0=1000$ mm, $\phi=24$ mm



$d_0=1000$ mm, $\phi=26$ mm

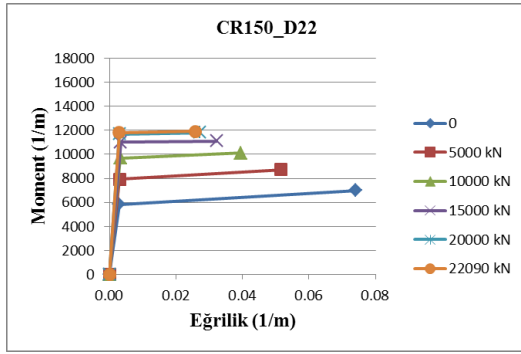


$d_0=1000$ mm, $\phi=28$ mm

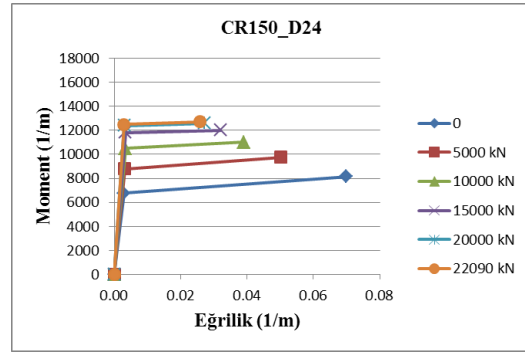


$d_0=1000$ mm, $\phi=30$ mm

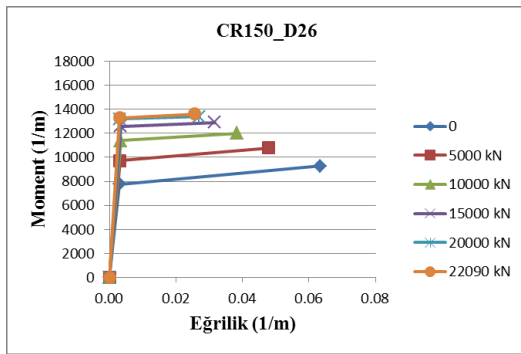
Şekil 4.9. CR100 kolonunda boyuna donatı oranı ve eksenel kuvvet değişiminin moment- eğrilik ilişkisine etkisi



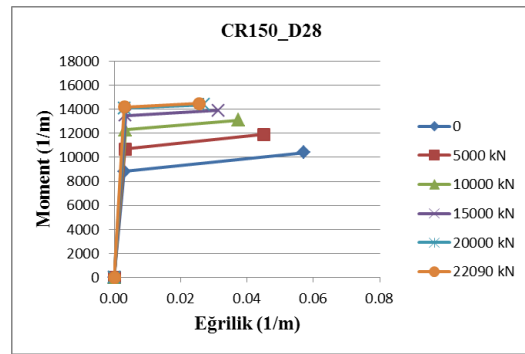
$d_0 = 1500$ mm, $\phi = 22$ mm



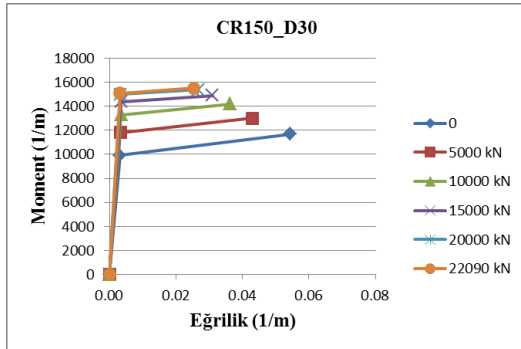
$d_0 = 1500$ mm, $\phi = 24$ mm



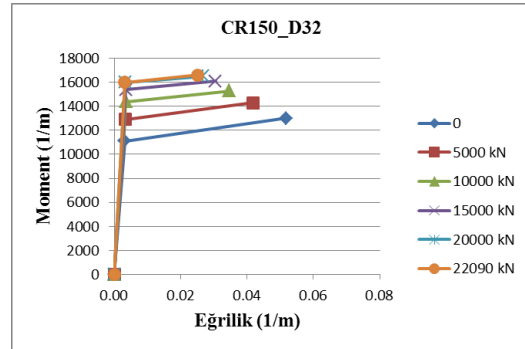
$d_0 = 1500$ mm, $\phi = 26$ mm



$d_0 = 1500$ mm, $\phi = 28$ mm

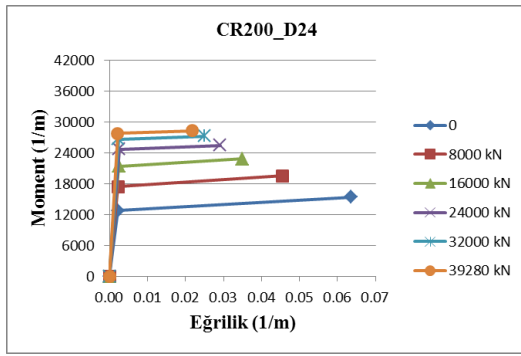


$d_0 = 1500$ mm, $\phi = 30$ mm

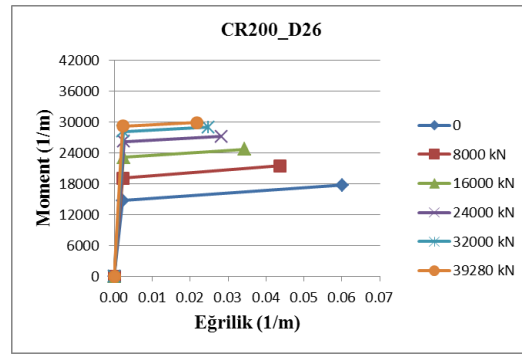


$d_0 = 1500$ mm, $\phi = 32$ mm

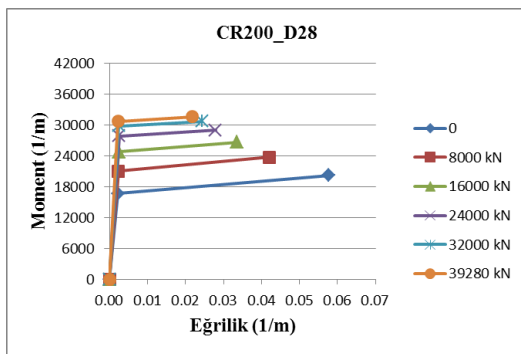
Şekil 4.10. CR150 Kolonunda boyuna donatı oranı ve eksenel kuvvet değişiminin moment- eğrilik ilişkisine etkisi



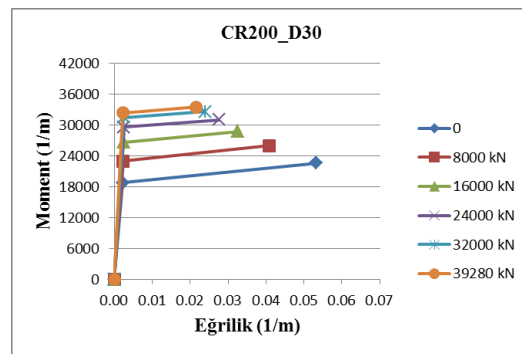
$d_0 = 2000 \text{ mm}$, $\phi = 24 \text{ mm}$



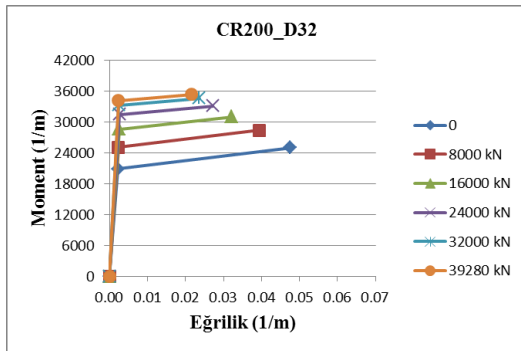
$d_0 = 2000 \text{ mm}$, $\phi = 26 \text{ mm}$



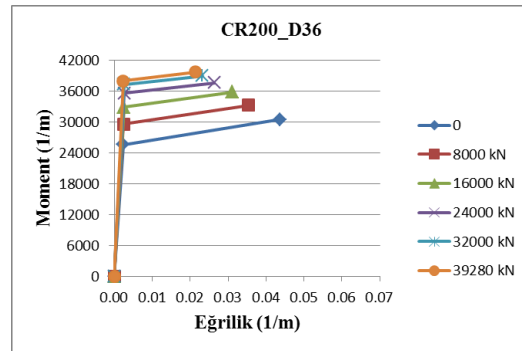
$d_0 = 2000 \text{ mm}$, $\phi = 28 \text{ mm}$



$d_0 = 2000 \text{ mm}$, $\phi = 30 \text{ mm}$



$d_0 = 2000 \text{ mm}$, $\phi = 32 \text{ mm}$



$d_0 = 2000 \text{ mm}$, $\phi = 36 \text{ mm}$

Şekil 4.11. CR200 kolonunda boyuna donatı oranı ve eksenel kuvvet değişiminin moment- eğrilik ilişkisine etkisi

Eksenel kuvvet değişiminin moment-eğrilik ilişkisi üzerindeki etkileri, dairesel kolon modelleri için hesaplanmış ve sonuçlar grafikler halinde sunulmuştur (şekil 4.8–4.11). Bu grafikler dikkatle incelendiğinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

- Eksenel kuvvetin artışıyla birlikte kesitlere ait etkin eğilme rijitliklerinde genel olarak bir artış görölmektedir. Eksenel kuvvetten dolayı etkin eğilme rijitliğinde meydana gelen artış, boyuna donatı oranının düşük değerleri için daha belirgin iken, boyuna donatı oranının yüksek değerleri için etkin eğilme rijitliğinde ki artış oranı daha alt seviyelerdedir. Bu artış, minimum boyuna donatı oranı kullanılarak oluşturulan dairesel kesitlerde %110 civarında iken, maksimum boyuna donatı oranı kullanılarak oluşturulmuş kesitlerde ise %40 civarındadır.

- Eksenel kuvvet artışıyla birlikte kesitlerin eğrilik sünekliğinde, genel olarak bir azalma görölmektedir. Eğrilik sünekliğindeki bu azalma miktarı, boyuna donatı oranının düşük olduğu kesitlerde daha belirgin iken boyuna donatı oranının yükselmesiyle birlikte daha alt seviyelerde olmaktadır. Minimum boyuna donatı oranı kullanılarak oluşturulan kesitlerde eksenel kuvvetin artmasıyla birlikte eğrilik sünekliği %64 civarında azalırken, maksimum boyuna donatı oranı kullanılarak oluşturulmuş kesit modellerinde %48 civarında bir azalma görölmektedir.

- Eksenel kuvvet artışıyla birlikte kesitlerin dayanımlarında artış görölmektedir. Bu artışlar, boyuna donatı oranının düşük değerleri için daha belirginken, boyuna donatı oranının yüksek değerleri için ise dayanımlardaki artış, daha alt seviyelerdedir. Bu artış minimum boyuna donatı oranının kullanıldığı kesitlerde %105 civarında iken, maksimum boyuna donatı oranının kullanıldığı kesitlerde ise %40 civarındadır.

Boyuna donatı oranı değişiminin moment-eğrilik ilişkisi üzerindeki etkileri, dairesel kolon modelleri için hesaplanmış ve sonuçlar grafikler halinde sunulmuştur (Şekil 4.8–4.11). Bu grafikler dikkatle incelendiğinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

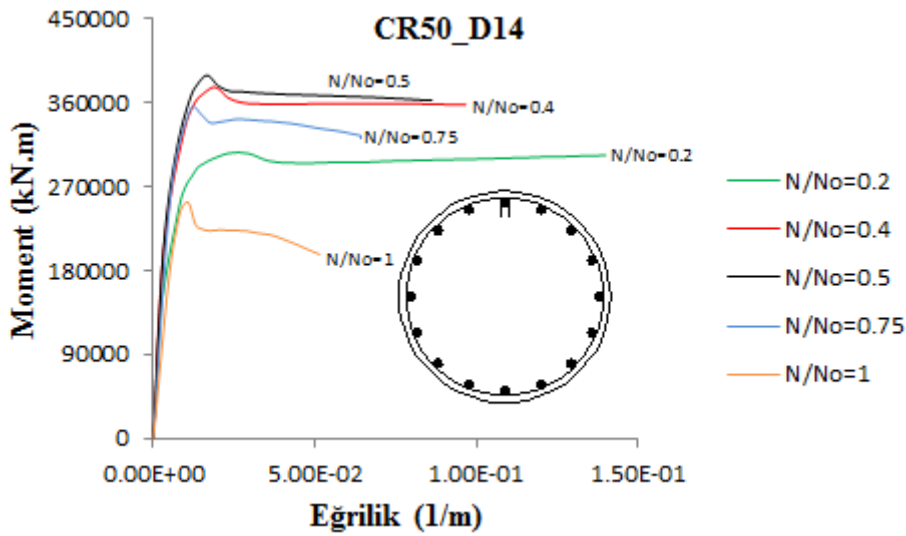
- Boyuna donatı oranı artışıyla birlikte kesitlere ait etkin eğilme rijitliğinde genel olarak bir artış görülmektedir. Etkin eğilme rijitliğindeki bu artış, aksenal kuvvet düzeyinin düşük olduğu kesitlerde aksenal kuvvet düzeyinin yüksek olduğu kesitlere göre daha belirgindir. Boyuna donatı oranı artışıyla birlikte etkin eğilme rijitliğinde gözlemlenen artış, aksenal kuvvet düzeyinin düşük olduğu kesitlerde %90 civarında iken, aksenal kuvvet düzeyinin maksimum tutulduğu kesitlerde %26 civarındadır.

- Boyuna donatı oranı artışıyla birlikte kesitlerin eğrilik sünekliğinde azalma görülmektedir. Bu azalma miktarı aksenal kuvvet düzeyinin düşük olduğu kesitlerde daha belirginken aksenal kuvvet düzeyinin artmasıyla birlikte eğrilik sünekliğinde ki azalma miktarı daha alt seviyelerde olmaktadır. Aksenal kuvvet düzeyinin düşük olduğu kesitlerde, boyuna donatı oranının artmasıyla birlikte eğrilik sünekliği %40 civarında azalırken, aksenal kuvvet düzeyinin yüksek olduğu kesitlerde %13 civarında bir azalma görülmektedir.

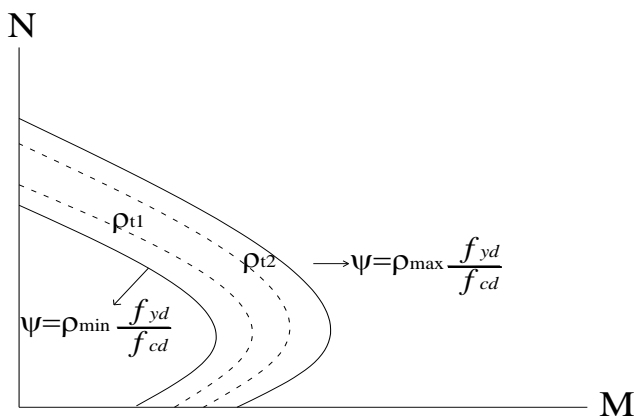
- Boyuna donatı oranı artışıyla birlikte kesitlerin dayanımlarında artış görülmektedir. Dayanımdaki bu artış, aksenal kuvvet düzeyinin düşük olduğu kesitlerde aksenal kuvvet düzeyinin yüksek olduğu kesitlere göre daha belirgindir. Aksenal kuvvet düzeyinin düşük olduğu kesitlerde boyuna donatı oranının artmasıyla birlikte kesit dayanımdaki artış oranı %110 civarında iken, aksenal kuvvet düzeyinin maksimum olduğu kesitlerde ise, artış oranı %43 civarındadır. Ayrıca CR50 kolon modeline ait maksimum aksenal kuvvet düzeyi altındaki grafik eğrileri dikkatli şekilde incelendiğinde;

Boyuna donatı oranının düşük değerleri için dayanımın düşük olduğu görülecektir. Boyuna donatı oranının artışı ile birlikte dayanımdaki düşüş azalmış ve boyuna donatı oranının maksimuma yaklaştığı değerler için dayanım artmıştır. Dayanımdaki bu azalmanın sebebi, aksenal kuvvet düzeyinin belli bir seviyenin üzerinde olmasıdır. Aksenal kuvvet – Moment etkileşim diyagramından da bilindiği gibi, aksenal kuvvetin belli bir düzeyin üzerine çıkmasıyla birlikte kesitte gevrek davranış

oluşmakta ve moment kapasitesinde düşüş meydana gelmektedir (Şekil 4.12). Ancak kesitin dayanımında ki bu azalma oranı, boyuna donatı oranının artması ile birlikte yavaşlamakta ve belli bir donatı oranından sonra kesitin dayanımında artış gözlenmektedir. Şekil 4.13’de boyuna donatı oranının Eksenel kuvvet – Moment etkileşim diyagramını ne şekilde etkilediği gösterilmiştir. Grafikten de görüldüğü gibi boyuna donatı oranı ρ_{t1} ’den ρ_{t2} ’ye artırıldığı zaman, aynı eksenel yüke karşılık gelen moment değerinde artış olmaktadır.



Şekil 4.12. Farklı eksenel yükler altındaki dairesel kolon kesitine ait moment-eğrilik ilişkisi



Şekil 4.13. Boyuna donatı oranının, eksenel kuvvet- moment etkileşim diyagramı üzerindeki etkisi (Celep, 2004;Doğangün, 2007)

4.2.2. Kare kolonlarda boyuna donatı oranı ve eksenel kuvvet değişimi

Kare kolonlarda S1 kesiti için 6, S2 kesiti için ise 5 farklı boyuna donatı çapı seçilmiştir. Boyuna donatı çapları, donatı oranlarının TS-500’de verilen minimum ve maksimum donatı oranı sınırları içerisinde olması sağlanarak belirlenmiştir. Ayrıca seçilen her kesite rastgele olarak 7 farklı eksenel kuvvet uygulanmıştır (Tablo 4.6).

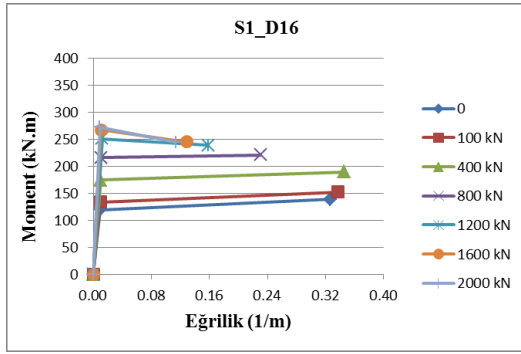
Tablo 4.6. Kare kolonlara ait boyuna donatı çapları ve uygulanan eksenel kuvvetler

Kesit No	Boyuna Donatı Çapları (ϕ) (mm)	Boyuna Donatı Sayısı	Beton Sınıfı	N_{d1}	N_{d2}	N_{d3}	N_{d4}	N_{d5}	N_{d6}	N_{d7}	Enine Donatı (mm)
				(kN)							
S1	16-18-20-22-24-26	8	C25	0	100	400	800	1200	1600	2000	$\phi 8/80$
S2	18-20-22-24- 26	24				1200	2400	3600	4800	6125	$\phi 12/100$

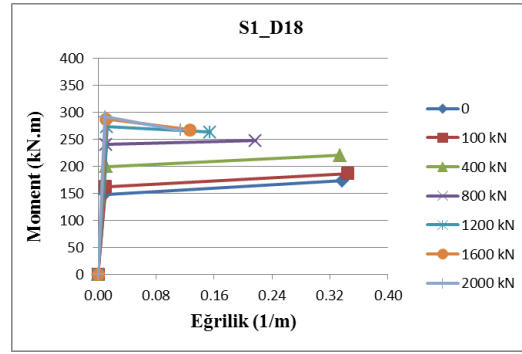
Betonarme kare kolonların iki doğrultudaki moment-eğrilik ilişkisi aynı olduğundan dolayı kare kolonlar yalnızca tek doğrultuda incelenmiştir. Seçilen boyuna donatılarla ve eksenel kuvvetlerle yapılan analiz sonuçları, grafik halinde sunulmuştur (Şekil 4.14-4.15).

Tablo 4.7. Kare kolonlarda farklı boyuna donatı çaplarına karşılık gelen boyuna donatı oranları

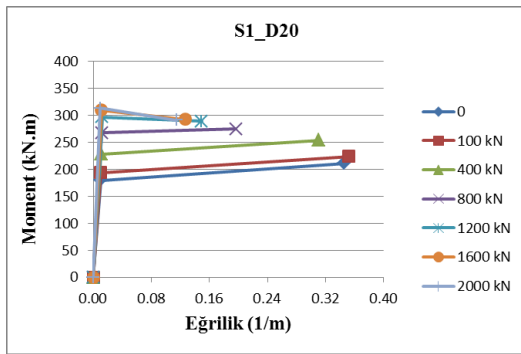
S1	Boyuna Donatı Çapı (mm)	$\phi 16$	$\phi 18$	$\phi 20$	$\phi 22$	$\phi 24$	$\phi 26$
	Boyuna Donatı Oranı (%)	1.006	1.273	1.571	1.901	2.263	2.656
S2	Boyuna Donatı Çapı (mm)	$\phi 18$	$\phi 20$	$\phi 22$	$\phi 24$	$\phi 26$	-
	Boyuna Donatı Oranı (%)	1.247	1.539	1.863	2.217	2.602	-



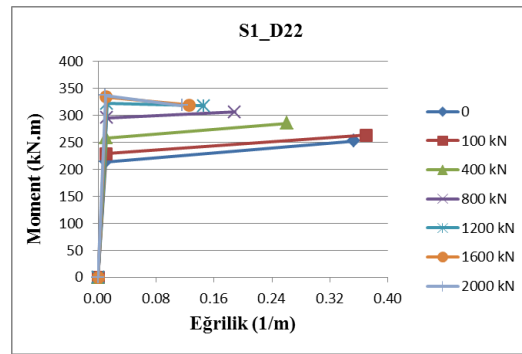
b= 400 mm, h= 400 mm, ϕ = 16 mm



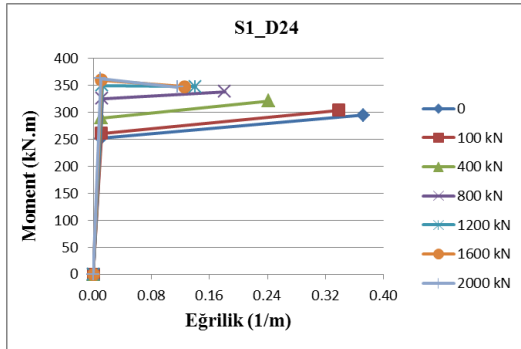
b= 400 mm, h= 400 mm, ϕ = 18 mm



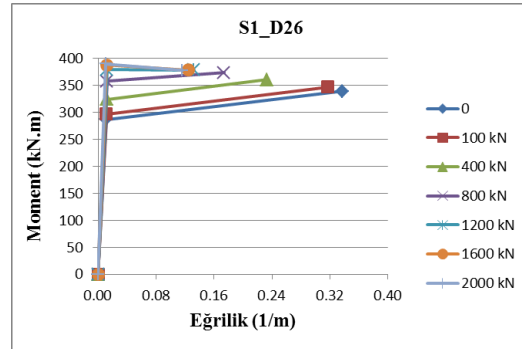
b= 400 mm, h= 400 mm, ϕ = 20 mm



b= 400 mm, h= 400 mm, ϕ = 22 mm

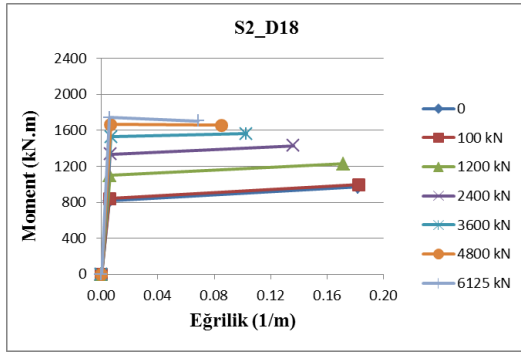


b= 400 mm, h= 400 mm, ϕ = 24 mm

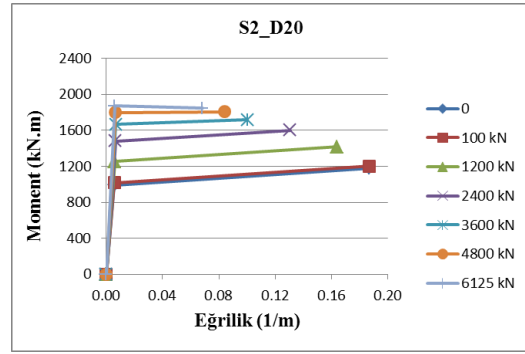


b= 400 mm, h= 400 mm, ϕ = 26 mm

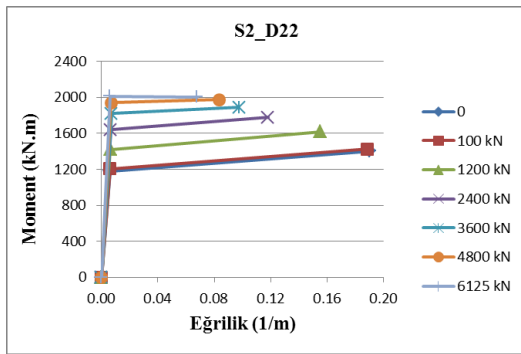
Şekil 4.14. S1 kolonunda boyuna donatı oranı ve eksenel kuvvet değişiminin moment- eğrilik ilişkisine etkisi



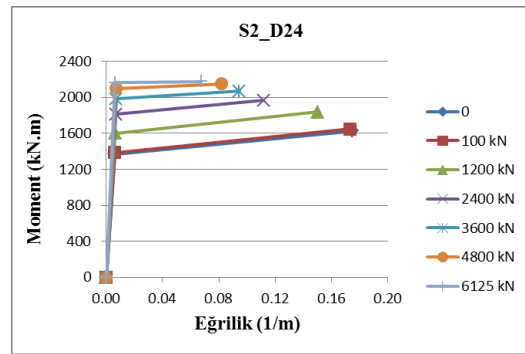
b= 700 mm, h= 700 mm, ϕ = 18 mm



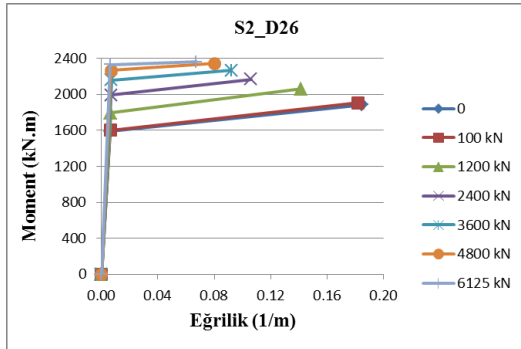
b= 700 mm, h= 700 mm, ϕ = 20 mm



b= 700 mm, h= 700 mm, ϕ = 22 mm



b= 700 mm, h= 700 mm, ϕ = 24 mm



b= 700 mm, h= 700 mm, ϕ = 26 mm

Şekil 4.15. S2 kolonunda boyuna donatı oranı ve eksenel kuvvet değişiminin moment- eğrilik ilişkisine etkisi

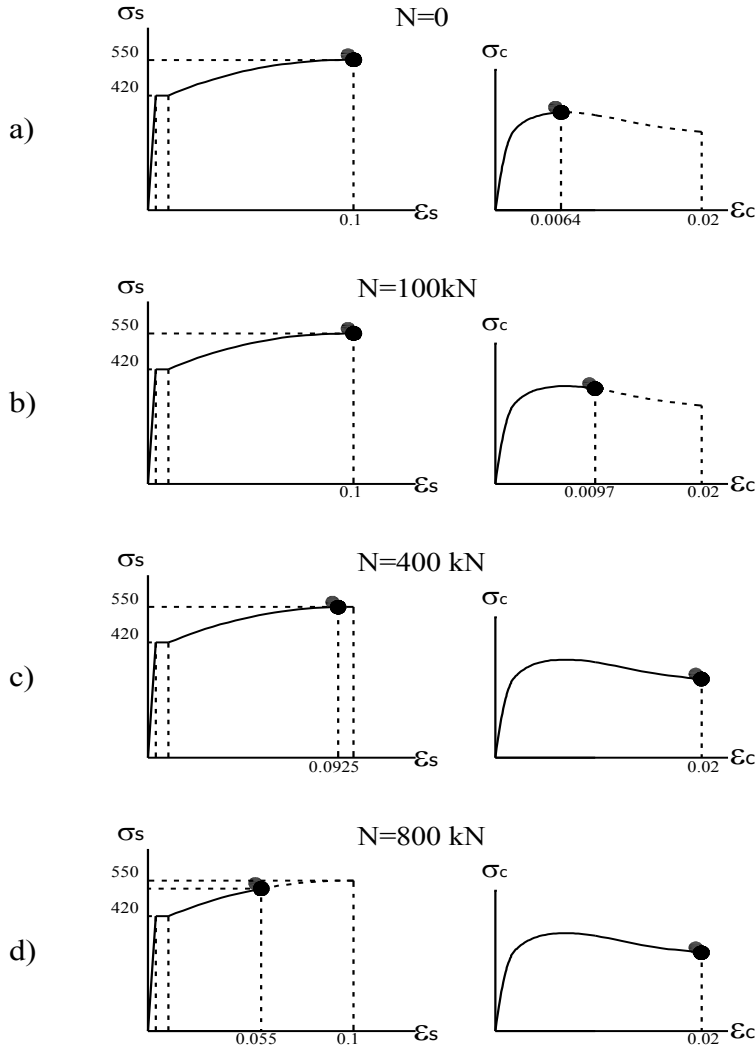
Eksenel kuvvet değişiminin moment-eğrilik ilişkisi üzerindeki etkileri, kare kolon modelleri için hesaplanmış ve sonuçlar grafikler halinde sunulmuştur (şekil 4.14–4.15). Bu grafikler dikkatle incelendiğinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

- Eksenel kuvvetin artışıyla birlikte kesitlere ait etkin eğilme rijitliklerinde genel olarak bir artış görölmektedir. Eksenel kuvvetten dolayı etkin eğilme rijitliğinde meydana gelen artış, boyuna donatı oranının düşük değerleri için daha belirgin iken, boyuna donatı oranının yüksek değerleri için etkin eğilme rijitliğinde ki artış oranı daha alt seviyelerdedir. Bu artış, minimum boyuna donatı oranı kullanılarak oluşturulan dairesel kesitlerde %120 civarında iken, maksimum boyuna donatı oranı kullanılarak oluşturulmuş kesitlerde ise %43 civarındadır.

- Eksenel kuvvet artışıyla birlikte kesitlerin eğrilik sünekliğinde azalma görölmektedir. Bu azalma oranı, kesitte kullanılan maksimum ve minimum boyuna donatı oranları için fazla değişkenlik göstermemiştir. Bu azalma miktarı %65 civarındadır. Ancak S1 kolon modeline ait kesitlerin düşük donatı oranı değerleri için verilen grafiklere bakıldığında, eksenel kuvvetin minimuma yakın düzeylerinde, eksenel kuvvetle birlikte sünekliğin arttığı görölmektedir. Belli bir düzeden sonra ise, eksenel kuvvet artışıyla birlikte süneklik tekrar azalmaya başlamaktadır. Örnek olarak S1_D16 (şekil 4.14) kesitini ele alırsak;

Eksenel kuvvet değerinin sıfır olduğu kesitte, donatıdaki birim uzama, kopma uzamasına ulaştığı anda beton lifindeki birim kısalma betonun maksimum birim kısalma değerinin çok altında kalmıştır (şekil 4.16a). Eksenel kuvvet değerinin 100 kN olduğu kesitte ise, donatıdaki birim uzama kopma uzamasına ulaştığı anda beton lifindeki birim kısalma bir artış gözlenmekle birlikte bu değer betonun maksimum birim kısalma değerinin hala altındadır (şekil 4.16b). Bu değişimden dolayı ikinci kesit birinci kesite oranla daha sünek bir davranış sergilemiştir. Eksenel kuvvet değerinin 400 kN olduğu kesitte ise, donatıdaki birim uzama, kopma uzamasının çok yakın değerlerine ulaştığı anda beton lifindeki birim kısalma, betonun maksimum birim kısalma değerine ulaşmaktadır(şekil 4.16c). Bu değişimden dolayı üçüncü kesit ilk iki kesite oranla en iyi sünek davranışı sergilemiştir. Eksenel kuvvet değerinin 800 kN olduğu kesitte ise, beton lifindeki birim kısalma, betonun maksimum birim kısalma değerine ulaştığı anda donatıdaki birim uzama, donatının

kopma uzamasının çok altındadır (Şekil 4.16d). Bu değişimden dolayı dördüncü kesit üçüncü kesite oranla daha gevrek davranış sergilemiştir. Bu seviyeden itibaren eksenel kuvvet büyüdükçe, beton lifindeki birim kısalma, betonun maksimum birim kısalma değerine ulaşmış ve donatıdaki birim uzama değeri bir önceki değer gerisine düşmüştür. Bundan dolayı, eksenel kuvvet düzeyi daha yüksek olan kesitler, daha gevrek davranış sergilemişlerdir.



Şekil 4.16. S1_D16 kesitine uygulanan farklı düzeyde ki eksenel kuvvetler için donatı ve betonda oluşan maksimum birim deformasyonlar

- Eksenel kuvvet artışıyla birlikte kesitlerin dayanımlarında da artış görülmektedir. Bu artışlar, boyuna donatı oranının düşük değerleri için daha belirginken, boyuna donatı oranının yüksek değerleri için ise dayanımlardaki artış, daha alt seviyelerdedir. Minimum boyuna donatı oranının kullanıldığı kesitlerde eksenel kuvvetin artmasıyla birlikte kesit dayanımdaki artış %120 civarında iken, maksimum boyuna donatı oranının kullanıldığı kesitlerde ise, eksenel kuvvetin artmasıyla birlikte kesit dayanımdaki artış %40'larda kalmıştır.

Boyuna donatı oranı değişiminin moment-eğrilik ilişkisi üzerindeki etkileri, kare kolon modelleri için hesaplanmış ve sonuçlar grafikler halinde sunulmuştur (Şekil 4.14–4.15). Bu grafikler dikkatle incelendiğinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

- Boyuna donatı oranı artışıyla birlikte kesitlere ait etkin eğilme rijitliğinde genel olarak bir artış görülmektedir. Etkin eğilme rijitliğindeki bu artış, eksenel kuvvet düzeyinin düşük olduğu kesitlerde eksenel kuvvet düzeyinin yüksek olduğu kesitlere göre daha belirgindir. Boyuna donatı oranı artışıyla birlikte etkin eğilme rijitliğinde gözlemlenen artış, eksenel kuvvet düzeyinin düşük olduğu kesitlerde %90 civarında iken, eksenel kuvvet düzeyinin maksimum tutulduğu kesitlerde %23 civarındadır.

- Boyuna donatı oranı artışıyla birlikte kesitlerin eğrilik sünekliğinde meydana gelen değişimler ihmal edilebilir düzeyde kalmaktadır.

- Boyuna donatı oranı artışıyla birlikte kesitlerin dayanımlarında artış görülmektedir. Dayanımdaki bu artış, eksenel kuvvet düzeyinin düşük olduğu kesitlerde eksenel kuvvet düzeyinin yüksek olduğu kesitlere göre daha belirgindir. Eksenel kuvvet düzeyinin düşük olduğu kesitlerde boyuna donatı oranının artmasıyla birlikte kesit dayanımdaki artış oranı %118 civarında iken, eksenel kuvvet düzeyinin maksimum olduğu kesitlerde ise, artış oranı %39 civarındadır. Ayrıca donatı oranının minimum ve eksenel kuvvet düzeyinin maksimum olduğu kesitlerin moment-eğrilik grafikleri kendi içerisinde incelendiğinde, donatı akmaya başladıktan sonra dayanımın düştüğü görülmektedir. Eksenel kuvvetin yükselmesi ile kesitin moment kapasitesi azalmış, gevrek davranış sergilemiş ve kırılma şekli de basınç kırılması olmuştur. Boyuna donatı oranı artışı ile de dayanımdaki düşüş miktarı azalmıştır.

4.2.3. Dikdörtgen kolonlarda boyuna donatı oranı ve eksenel kuvvet değişimi

Dikdörtgen kolonlarda her kesit için 6 farklı boyuna donatı çapı seçilmiştir. Boyuna donatı çapları, donatı oranlarının TS-500’de verilen minimum ve maksimum donatı oranı sınırları içerisinde olması sağlanarak belirlenmiştir. Ayrıca seçilen her kesite rastgele olarak 7 farklı eksenel kuvvet uygulanmıştır (Tablo 4.8).

Tablo 4.8. Dikdörtgen kolonlara ait boyuna donatı çapları ve uygulanan eksenel kuvvetler

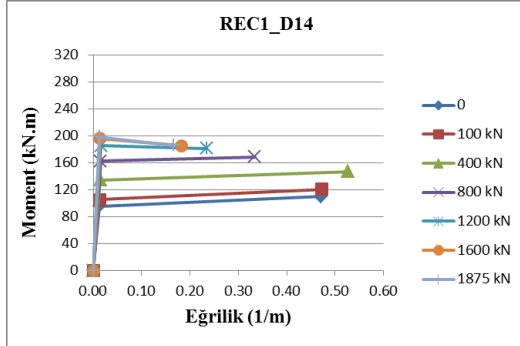
Kesit No	Boyuna Donatı Çapları (ϕ) (mm)	Boyuna Donatı Sayısı	Beton Sınıfı	N_{d1}	N_{d2}	N_{d3}	N_{d4}	N_{d5}	N_{d6}	N_{d7}	Enine Donatı (mm)
				(kN)							
REC1	14-16-18-20-22-24	12	C25	0	100	400	800	1200	1600	1875	ϕ 10/80
REC2	14-16-18-20-22-24	16				500	1000	1500	2000	2625	ϕ 10/80

Tablo 4.9. Dikdörtgen kolonlarda farklı boyuna donatı çaplarına karşılık gelen boyuna donatı oranları

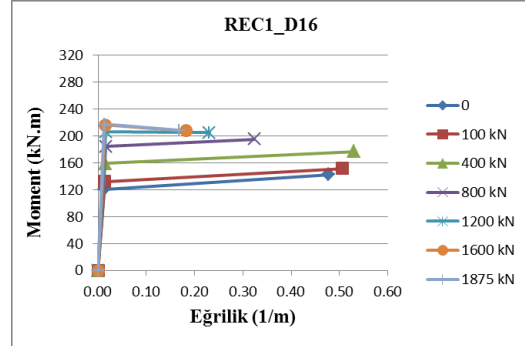
REC1	Boyuna Donatı Çapı (mm)	ϕ 14	ϕ 16	ϕ 18	ϕ 20	ϕ 22	ϕ 24
	Boyuna Donatı Oranı (%)	1.232	1.609	2.037	2.514	3.042	3.621
REC2	Boyuna Donatı Çapı (mm)	ϕ 14	ϕ 16	ϕ 18	ϕ 20	ϕ 22	ϕ 24
	Boyuna Donatı Oranı (%)	1.173	1.533	1.940	2.395	2.897	3.448

Betonarme dikdörtgen kesit modellerinin hem zayıf hem de kuvvetli doğrultusu incelenmiştir. Her iki doğrultu için yapılan analiz sonuçları grafikler halinde sunulmuştur (Şekil 4.17-4.20).

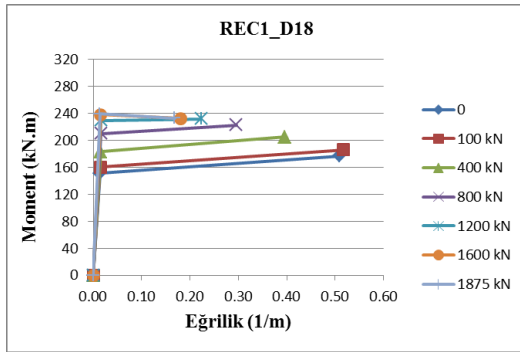
4.2.3.1. Dikdörtgen kolonlarda boyuna donatı oranı ve eksenel kuvvet değişimi (Zayıf doğrultu)



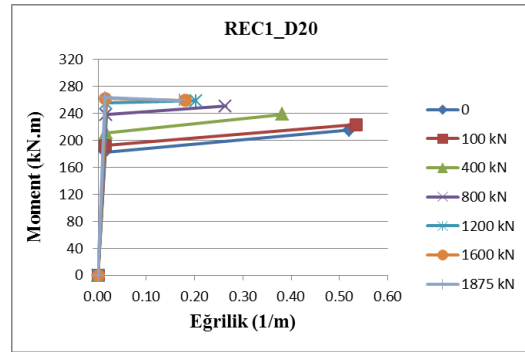
b= 300 mm, h= 500 mm, ϕ = 14 mm



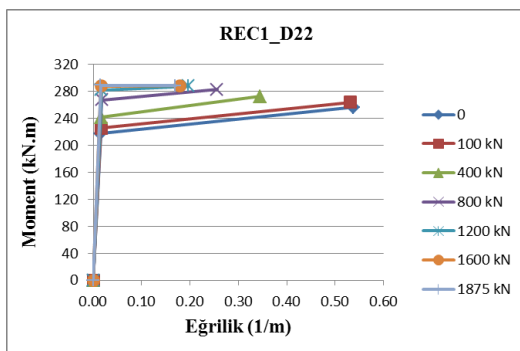
b= 300 mm, h= 500 mm, ϕ = 16 mm



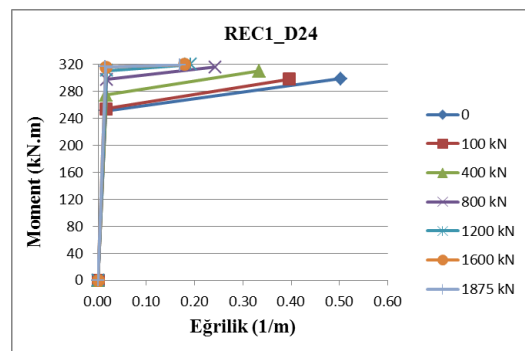
b= 300 mm, h= 500 mm, ϕ = 18 mm



b= 300 mm, h= 500 mm, ϕ = 20 mm

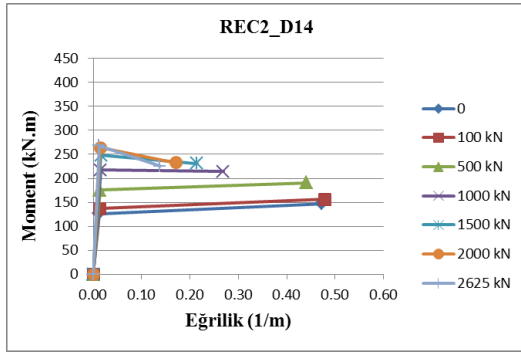


b= 300 mm, h= 500 mm, ϕ = 22 mm

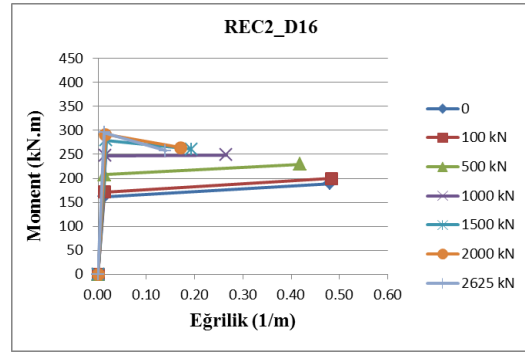


b= 300 mm, h= 500 mm, ϕ = 24 mm

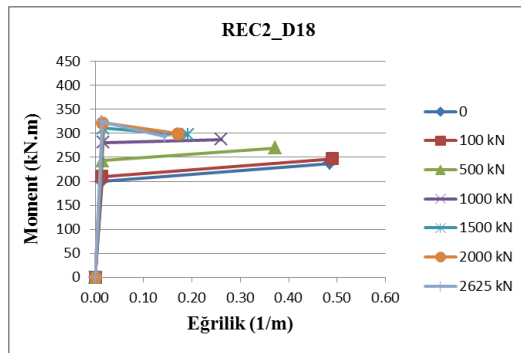
Şekil 4.17. REC1 kolonunda boyuna donatı oranı ve eksenel kuvvet değişiminin moment- eğrilik ilişkisine etkisi (Zayıf doğrultu)



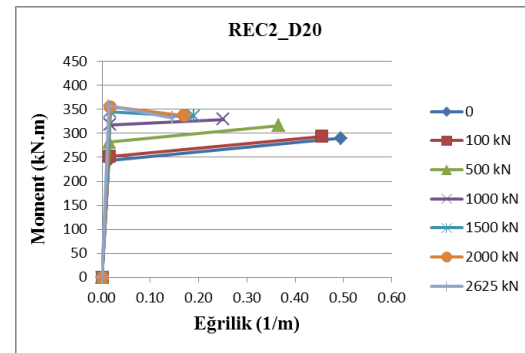
b= 300 mm, h= 700 mm, ϕ = 14 mm



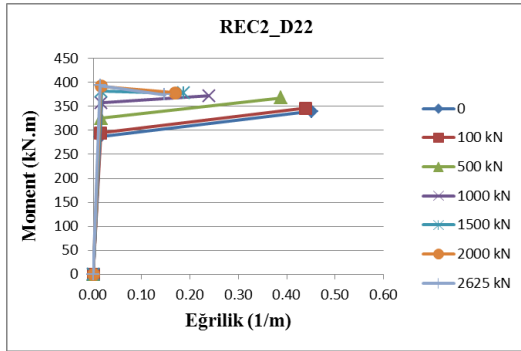
b= 300 mm, h= 700 mm, ϕ = 16 mm



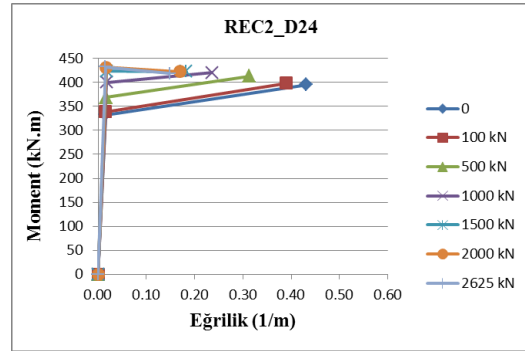
b= 300 mm, h= 700 mm, ϕ = 18 mm



b= 300 mm, h= 700 mm, ϕ = 20 mm



b= 300 mm, h= 700 mm, ϕ = 22 mm



b= 300 mm, h= 700 mm, ϕ = 24 mm

Şekil 4.18. REC2 kolonunda boyuna donatı oranı ve eksenel kuvvet değişiminin moment- eğrilik ilişkisine etkisi (Zayıf doğrultu)

Eksenel kuvvet değişiminin moment-eğrilik ilişkisi üzerindeki etkileri, dikdörtgen kolon modellerinin zayıf doğrultusu için hesaplanmış ve sonuçlar grafikler halinde sunulmuştur (şekil 4.17–4.18). Bu grafikler dikkatle incelendiğinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

- Eksenel kuvvetin artışıyla birlikte kesitlere ait etkin eğilme rijitliklerinde genel olarak bir artış görölmektedir. Eksenel kuvvetten dolayı etkin eğilme rijitliğinde meydana gelen artış, boyuna donatı oranının düşük değerleri için daha belirgin iken, boyuna donatı oranının yüksek değerleri için etkin eğilme rijitliğinde ki artış oranı daha alt seviyelerdedir. Bu artış, minimum boyuna donatı oranı kullanılarak oluşturulan dairesel kesitlerde %112 civarında iken, maksimum boyuna donatı oranı kullanılarak oluşturulmuş kesitlerde ise %31 civarındadır.

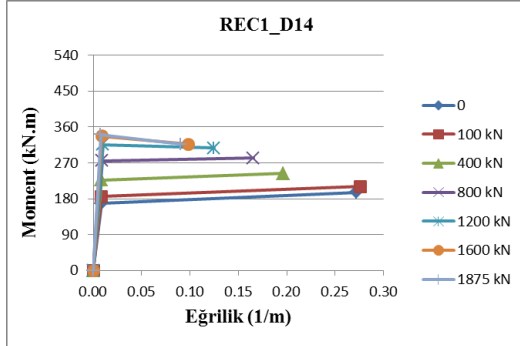
- Eksenel kuvvet artışıyla birlikte kesitlerin eğrilik sünekliliğinde azalma görölmektedir. Bu azalma oranı, kesitte kullanılan maksimum ve minimum boyuna donatı oranları için ayırt edici değişkenlik göstermemiştir. Genel olarak kesitlerde, eksenel kuvvetin artışıyla birlikte eğrilik sünekliliğinde ki azalma miktarı % 66 civarındadır. Ancak REC1 kolonunun minimum donatı oranına sahip kesitlerinde bir düzensizlik söz konusudur. Bu durum S1_D16 (şekil 4.14) kolonu için bahsettiğimiz durum ile alakalıdır. Eksenel kuvvetin düşük düzeylerinde ki artışlarda, boyuna donatıya ait kopma birim uzamasında bir azalma meydana gelmezken, beton lifindeki birim kısalma değerinde artış meydana gelmektedir. Bu durum, eksenel kuvvetin belli düzeyine kadar, eksenel kuvvet ile sünekliliğin doğru orantılı değişmesine sebep olmaktadır.

- Eksenel kuvvet artışıyla birlikte kesitlerin dayanımlarında artış görölmektedir. Bu artışlar, boyuna donatı oranının düşük değerleri için daha belirginken, boyuna donatı oranının yüksek değerleri için ise dayanımlardaki artış, daha alt seviyelerdedir. Bu artış minimum boyuna donatı oranının kullanıldığı kesitlerde %112 civarında iken, maksimum boyuna donatı oranının kullanıldığı kesitlerde ise %28 civarındadır.

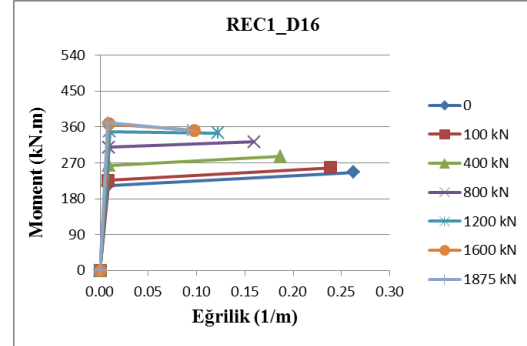
Boyuna donatı oranı değişiminin moment-eğrilik ilişkisi üzerindeki etkileri, dikdörtgen kolon modellerinin zayıf doğrultusu için hesaplanmış ve sonuçlar grafikler halinde sunulmuştur (Şekil 4.17–4.18). Bu grafikler dikkatle incelendiğinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

- Boyuna donatı oranı artışıyla birlikte kesitlere ait etkin eğilme rijitliğinde genel olarak bir artış görülmektedir. Etkin eğilme rijitliğindeki bu artış, aksenal kuvvet düzeyinin düşük olduğu kesitlerde aksenal kuvvet düzeyinin yüksek olduğu kesitlere göre daha belirgindir. Boyuna donatı oranı artışıyla birlikte etkin eğilme rijitliğinde gözlemlenen artış, aksenal kuvvet düzeyinin düşük olduğu kesitlerde %111 civarında iken, aksenal kuvvet düzeyinin maksimum tutulduğu kesitlerde %30 civarındadır.
- Boyuna donatı oranı artışıyla birlikte kesitlerin eğrilik süneklğinde meydana gelen değişimler ihmal edilebilir düzeyde kalmaktadır.
- Boyuna donatı oranı artışıyla birlikte kesitlerin dayanımlarında artış görülmektedir. Dayanımdaki bu artış, aksenal kuvvet düzeyinin düşük olduğu kesitlerde aksenal kuvvet düzeyinin yüksek olduğu kesitlere göre daha belirgindir. Aksenal kuvvet düzeyinin düşük olduğu kesitlerde boyuna donatı oranının artmasıyla birlikte kesit dayanımdaki artış oranı %165 civarında iken, aksenal kuvvet düzeyinin maksimum olduğu kesitlerde ise, artış oranı %60 civarındadır.

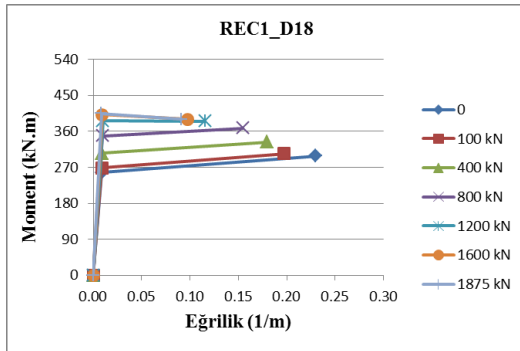
4.2.3.2. Dikdörtgen kolonlarda boyuna donatı oranı ve eksenel kuvvet değişimi (Kuvvetli doğrultu)



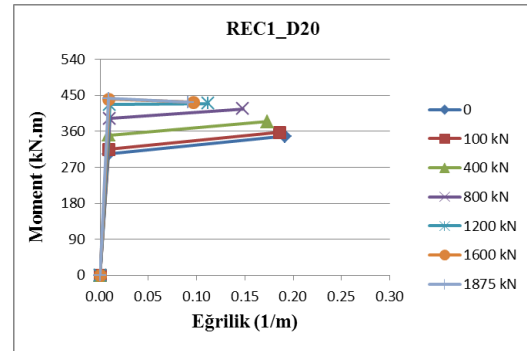
b= 300 mm, h= 500 mm, ϕ = 14 mm



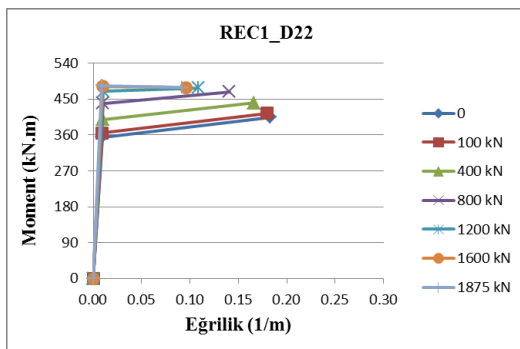
b= 300 mm, h= 500 mm, ϕ = 16 mm



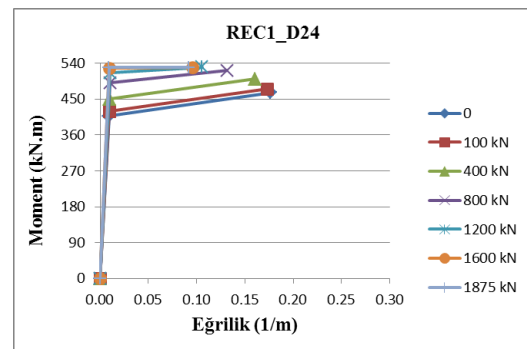
b= 300 mm, h= 500 mm, ϕ = 18 mm



b= 300 mm, h= 500 mm, ϕ = 20 mm

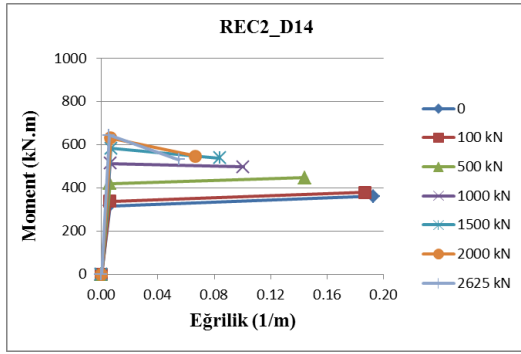


b= 300 mm, h= 500 mm, ϕ = 22 mm

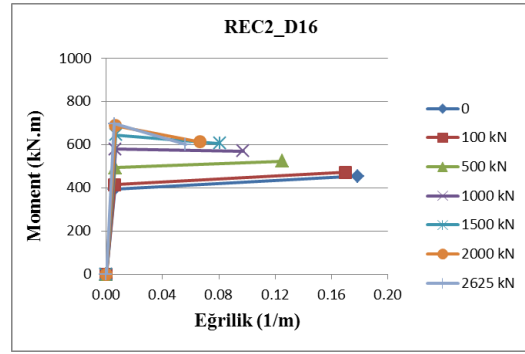


b= 300 mm, h= 500 mm, ϕ = 24 mm

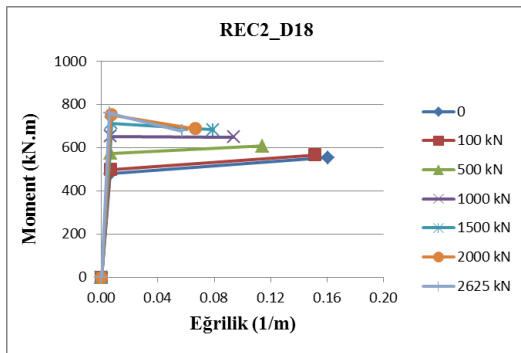
Şekil 4.19. REC1 kolonunda boyuna donatı oranı ve eksenel kuvvet değişiminin moment- eğrilik ilişkisine etkisi (Kuvvetli doğrultu)



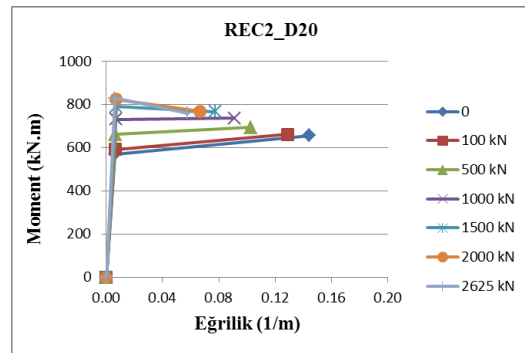
$b = 300 \text{ mm}$, $h = 700 \text{ mm}$, $\phi = 14 \text{ mm}$



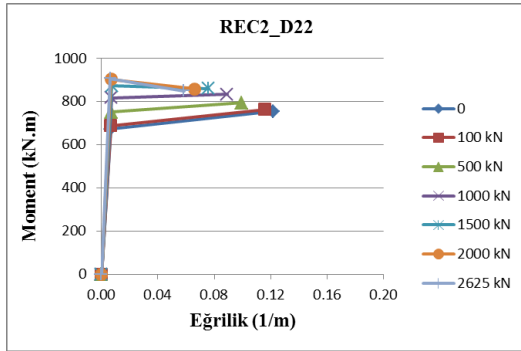
$b = 300 \text{ mm}$, $h = 700 \text{ mm}$, $\phi = 16 \text{ mm}$



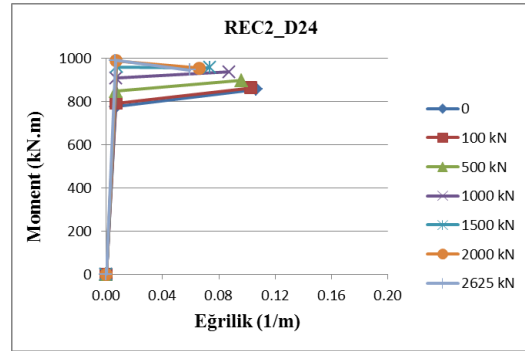
$b = 300 \text{ mm}$, $h = 700 \text{ mm}$, $\phi = 18 \text{ mm}$



$b = 300 \text{ mm}$, $h = 700 \text{ mm}$, $\phi = 20 \text{ mm}$



$b = 300 \text{ mm}$, $h = 700 \text{ mm}$, $\phi = 22 \text{ mm}$



$b = 300 \text{ mm}$, $h = 700 \text{ mm}$, $\phi = 24 \text{ mm}$

Şekil 4.20. REC2 kolonunda boyuna donatı oranı ve eksenel kuvvet değişiminin moment- eğrilik ilişkisine etkisi (Kuvvetli doğrultu)

Eksenel kuvvet değişiminin moment-eğrilik ilişkisi üzerindeki etkileri, dikdörtgen kolon modellerinin kuvvetli doğrultusu için hesaplanmış ve sonuçlar grafikler halinde sunulmuştur (şekil 4.19–4.20). Bu grafikler dikkatle incelendiğinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

- Eksenel kuvvetin artışıyla birlikte kesitlere ait etkin eğilme rijitliklerinde genel olarak bir artış görölmektedir. Eksenel kuvvetten dolayı etkin eğilme rijitliğinde meydana gelen artış, boyuna donatı oranının düşük değerleri için daha belirgin iken, boyuna donatı oranının yüksek değerleri için etkin eğilme rijitliğinde ki artış oranı daha alt seviyelerdedir. Bu artış, minimum boyuna donatı oranı kullanılarak oluşturulan dairesel kesitlerde %122 civarında iken, maksimum boyuna donatı oranı kullanılarak oluşturulmuş kesitlerde ise %33 civarındadır.

- Eksenel kuvvetin artışıyla birlikte kesitlerin eğrilik sünekliğinde azalma görölmektedir. Bu azalma miktarı eksenel kuvvet düzeyinin düşük olduğu kesitlerde daha belirginken eksenel kuvvet düzeyinin artmasıyla birlikte eğrilik sünekliğindeki azalma miktarı daha alt seviyelerde olmaktadır. Eksenel kuvvet düzeyinin düşük olduğu kesitlerde, boyuna donatı oranının artmasıyla birlikte eğrilik sünekliği %67 civarında azalırken, eksenel kuvvet düzeyinin yüksek olduğu kesitlerde %45 civarında bir azalma görölmektedir.

- Eksenel kuvvet artışıyla birlikte kesitlerin dayanımlarında artış görölmektedir. Bu artışlar, boyuna donatı oranının düşük değerleri için daha belirginken, boyuna donatı oranının yüksek değerleri için ise dayanımlardaki artış, daha alt seviyelerdedir. Bu artış minimum boyuna donatı oranının kullanıldığı kesitlerde %103 civarında iken, maksimum boyuna donatı oranının kullanıldığı kesitlerde ise %29 civarındadır.

Boyuna donatı oranı değişiminin moment-eğrilik ilişkisi üzerindeki etkileri, dikdörtgen kolon modellerinin kuvvetli doğrultusu için hesaplanmış ve sonuçlar grafikler halinde sunulmuştur (Şekil 4.19–4.20). Bu grafikler dikkatle incelendiğinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

- Boyuna donatı oranı artışıyla birlikte kesitlere ait etkin eğilme rijitliğinde genel olarak bir artış görülmektedir. Etkin eğilme rijitliğindeki bu artış, aksenal kuvvet düzeyinin düşük olduğu kesitlerde aksenal kuvvet düzeyinin yüksek olduğu kesitlere göre daha belirgindir. Boyuna donatı oranı artışıyla birlikte etkin eğilme rijitliğinde gözlemlenen artış, aksenal kuvvet düzeyinin düşük olduğu kesitlerde %119 civarında iken, aksenal kuvvet düzeyinin maksimum tutulduğu kesitlerde %30 civarındadır.

- Boyuna donatı oranı artışıyla birlikte kesitlerin eğrilik sünekliğinde azalma görülmektedir. Bu azalma miktarı aksenal kuvvet düzeyinin düşük olduğu kesitlerde daha belirginken aksenal kuvvet düzeyinin artmasıyla birlikte eğrilik sünekliğinde ki azalma miktarı daha alt seviyelerde olmaktadır. Aksenal kuvvet düzeyinin düşük olduğu kesitlerde, boyuna donatı oranının artmasıyla birlikte eğrilik sünekliği %46 civarında azalırken, aksenal kuvvet düzeyinin yüksek olduğu kesitlerde %13 civarında bir azalma görülmektedir.

- Boyuna donatı oranı artışıyla birlikte kesitlerin dayanımlarında artış görülmektedir. Dayanımdaki bu artış, aksenal kuvvet düzeyinin düşük olduğu kesitlerde aksenal kuvvet düzeyinin yüksek olduğu kesitlere göre daha belirgindir. Aksenal kuvvet düzeyinin düşük olduğu kesitlerde boyuna donatı oranının artmasıyla birlikte kesit dayanımdaki artış oranı %144 civarında iken, aksenal kuvvet düzeyinin maksimum olduğu kesitlerde ise, artış oranı %55 civarındadır.

4.3. Beton Kalitesinin Moment-Eğrilik İlişkisine Etkisi

Beton kalitesinin moment-eğrilik ilişkisi üzerindeki etkisini incelemek amacıyla oluşturulan kesitlerde, farklı basınç dayanımlarına sahip 8 çeşit beton sınıfı kullanılmıştır. C10, C12, ve C14 beton sınıflarına ait elastisite modülleri, 28 günlük basınç dayanımları kullanılarak TS-500'de belirtilen formüle göre elde edilmiş değerlerdir (4.6). Seçilen diğer beton sınıflarına ait elastisite modülleri için ise TS-500 Çizelge 3.2'de verilen 28 günlük elastisite modüllü değerleri kullanılmıştır (Tablo 4.10). Ayrıca seçilen beton sınıflarına ait beton basınç dayanımları için, TS-500'de verilen basınç dayanım (f_{ck}) değerleri kullanılmıştır (Tablo 4.10). Bu değerler, çapı 150 mm ve yüksekliği 300 mm olan silindirik numunelerin 28 gün sonunda aksel kuvvet uygulanarak kırılmasıyla elde edilen basınç dayanım değerleridir.

$$E_{cj} = 3250\sqrt{f_{ckj}} + 14000 \text{ (MPa)} \quad (4.6)$$

Tablo 4.10. TS-500'e göre beton sınıflarına ait elastisite modülleri ve beton basınç dayanımları

	Beton Sınıfları							
	C10	C12	C14	C16	C18	C20	C25	C30
Elastisite Modülü E_c (GPa)	24	25	26	27	27	28	30	32
f_{ck} (MPa)	10	12	14	16	18	20	25	30

Her kesitteki beton kalitesi değişimi, seçilen 2 farklı donatı çapı için incelenmiştir. Ayrıca her kesite 2 farklı aksel kuvvet uygulanmıştır. Kesitlerde boyuna donatı sayısı, enine donatı çapı ve enine donatı adım mesafesi sabit tutulmuştur.

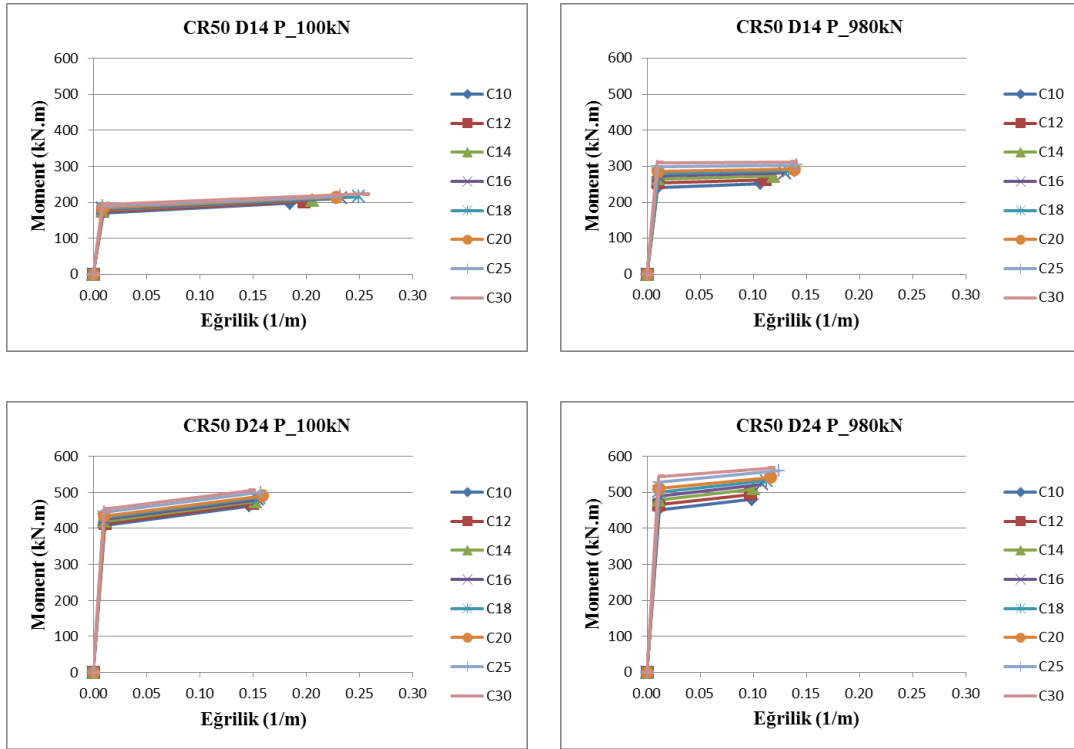
4.3.1. Dairesel kolonlarda beton kalitesi değişimi

Dairesel kolonlarda beton kalitesinin moment-eğrilik ilişkisi üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla yapılan analizlerde 8 farklı beton sınıfı kullanılmıştır. Bu incelemeler her kesite ait 2 farklı boyuna donatı çapı için yapılmıştır. Ayrıca tüm kesitlere, 100 kN ile en düşük beton basınç dayanımına sahip beton sınıfı kullanılarak oluşturulan kesitin, TDY-2007'ye göre taşıyabileceği maksimum eksenel kuvvet olmak üzere, 2 farklı düzeyde eksenel kuvvet uygulanmıştır.

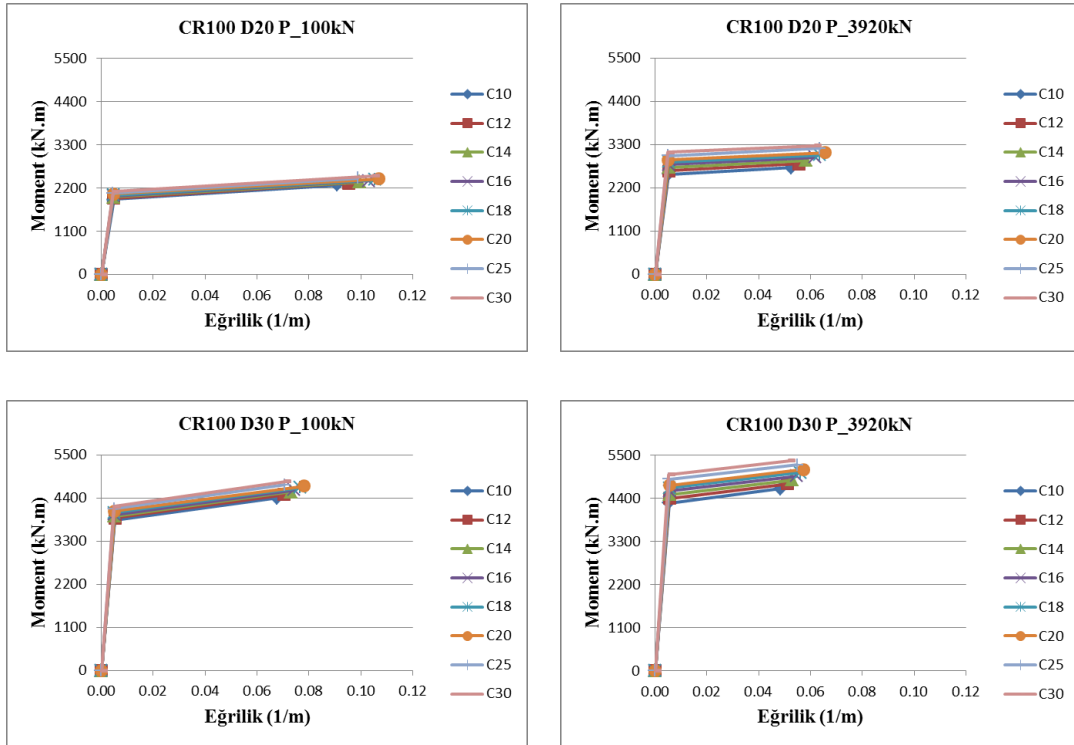
Tablo 4.11. Dairesel kolonlara ait boyuna donatı çapları, beton sınıfları ve uygulanan eksenel kuvvetler

Kesit No	Boyuna Donatı çapları (ϕ) (mm)	Boyuna Donatı Sayısı	Kullanılan Beton Sınıfları	N_{d1}	N_{d2}	Enine Donatı (mm)
				(kN)		
CR50	14-24	14	C10-C12-C14-C16-C18-C20-C25-C30	100	980	ϕ 10/80
CR100	20-30	40			3920	ϕ 12/60
CR150	22-32	60			8830	ϕ 14/60
CR200	24-36	80			15000	ϕ 16/50

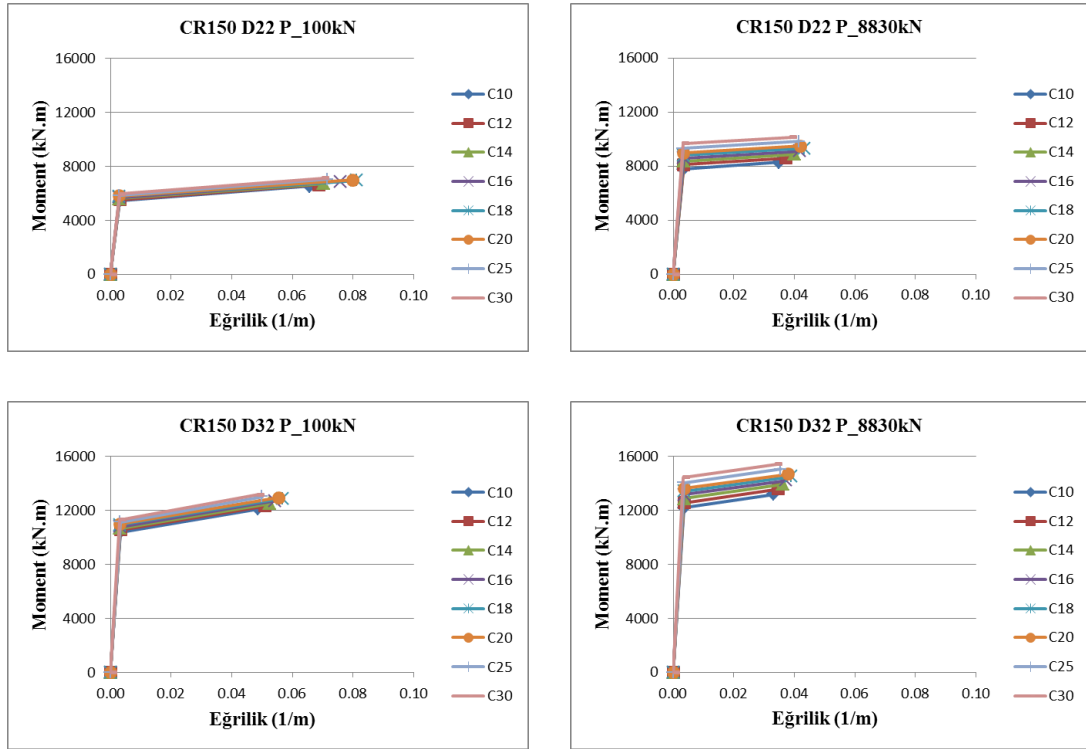
Betonarme dairese kolonların sadece tek doğrultudaki moment-eğrilik ilişkisi incelenmiştir. Farklı beton sınıfı kullanılarak oluşturulan kesitlerin analiz sonuçları grafik halinde sunulmuştur (şekil 4.21-4.24).



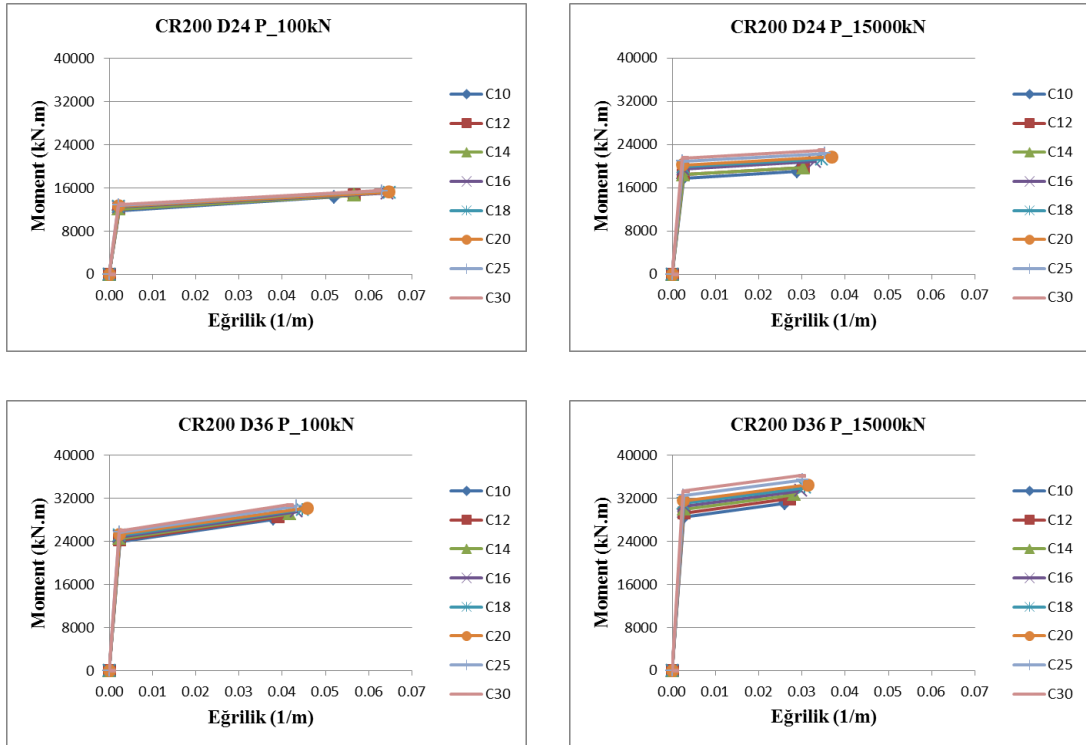
Şekil 4.21. CR50 kolonunda beton kalitesi değişiminin moment-eğrilik ilişkisine etkisi



Şekil 4.22. CR100 kolonunda beton kalitesi değişiminin moment-eğrilik ilişkisine etkisi



Şekil 4.23. CR150 kolonunda beton kalitesi değişiminin moment-eğrilik ilişkisine etkisi



Şekil 4.24. CR200 kolonunda beton kalitesi değişiminin moment-eğrilik ilişkisine etkisi

Beton basınç dayanımı değişiminin moment-eğrilik ilişkisi üzerindeki etkileri, dairesel kolon modelleri için hesaplanmış ve sonuçlar grafikler halinde sunulmuştur (Şekil 4.21–4.24). Bu grafikler dikkatle incelendiğinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

- Beton basınç dayanımının, kesitlerin etkin eğilme rijitliği, sünekliği ve dayanımı üzerindeki etkisi oldukça sınırlı bir düzeyde kalmaktadır. Bununla birlikte beton basınç dayanımının artışı, eksenel kuvvet düzeyinin minimum olduğu kesitlerde süneklik açısından olumlu değişimlere neden olurken, eksenel kuvvet düzeyinin maksimum olduğu kesitlerde kesit dayanımı açısından olumlu değişimlere neden olmaktadır. Fakat bu değişimler, eksenel kuvvet ve boyuna donatının neden olduğu değişimlere oranla ihmal edilebilecek düzeyde kalmaktadır.

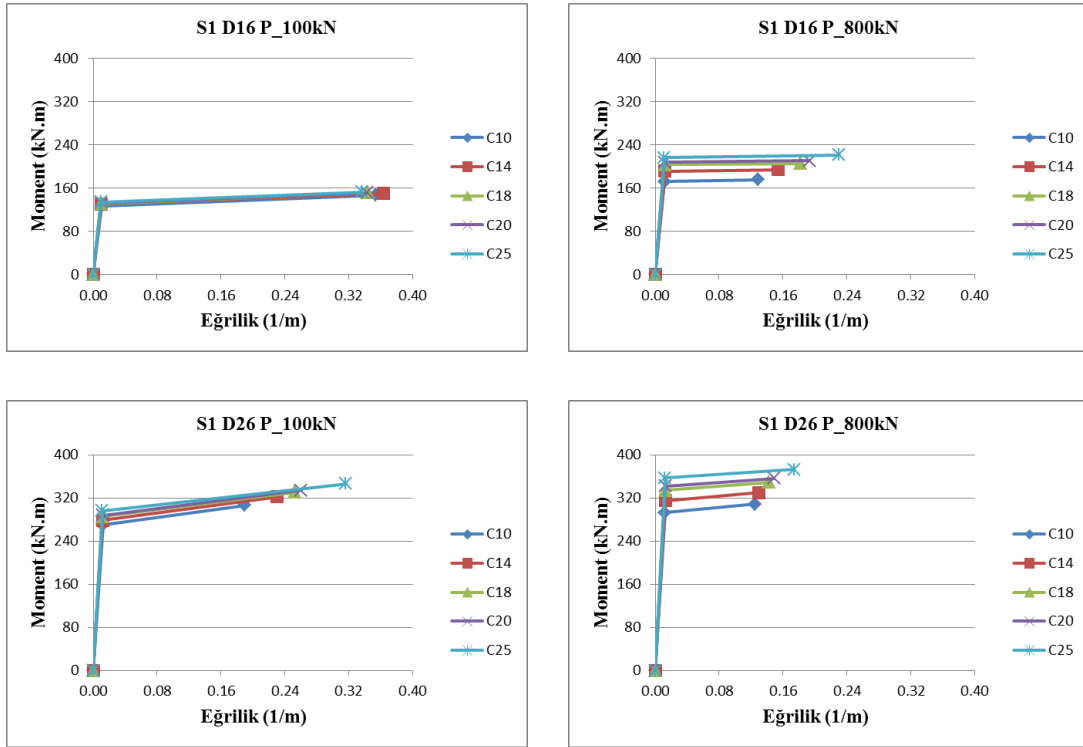
4.3.2. Kare kolonlarda beton kalitesi değişimi

Kare kolonlarda beton kalitesinin moment-eğrilik ilişkisi üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla yapılan analizlerde 5 farklı beton sınıfı kullanılmıştır. Bu incelemeler her kesite ait 2 farklı boyuna donatı çapı için yapılmıştır. Ayrıca tüm kesitlere, 100 kN ile en düşük beton basınç dayanımına sahip beton sınıfı kullanılarak oluşturulan kesitin, TDY-2007'ye göre taşıyabileceği maksimum eksenel kuvvet olmak üzere, 2 farklı düzeyde eksenel kuvvet uygulanmıştır.

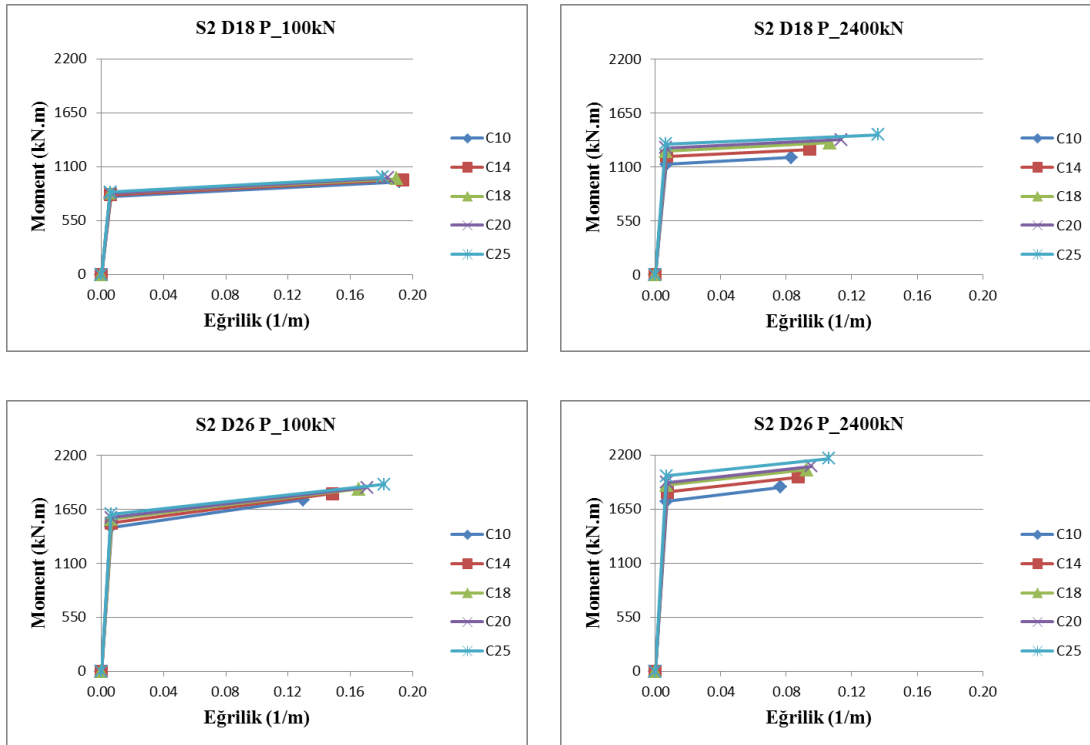
Tablo 4.12. Kare kolonlara ait boyuna donatı çapları, beton sınıfları ve uygulanan eksenel kuvvetler

Kesit No	Boyuna Donatı Çapları (ϕ) (mm)	Boyuna Donatı Sayısı	Kullanılan Beton Sınıfları	N_{d1}	N_{d2}	Enine Donatı (mm)
				(kN)		
S1	16-26	8	C10-C14- C18-C20-C25	100	800	ϕ 8/80
S2	18-26	24			2400	ϕ 12/100

Betonarme kare kolonların sadece tek doğrultudaki moment-eğrilik ilişkisi incelenmiştir. Farklı beton sınıfı kullanılarak oluşturulan kesitlerin analiz sonuçları grafik halinde sunulmuştur (Şekil 4.25-4.26).



Şekil 4.25. S1 kolonunda beton kalitesi değişiminin moment-eğrilik ilişkisine etkisi



Şekil 4.26. S2 kolonunda beton kalitesi değişiminin moment-eğrilik ilişkisine etkisi

Beton basınç dayanımı değişiminin moment-eğrilik ilişkisi üzerindeki etkileri, kare kolon modelleri için hesaplanmış ve sonuçlar grafikler halinde sunulmuştur (Şekil 4.25–4.26). Bu grafikler dikkatle incelendiğinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

- Beton basınç dayanımının artışı, kesitlerin etkin eğilme rijitlikleri ve dayanımlarında sınırlı düzeyde artışa neden olmaktadır. Bu artışlar, eksenel kuvvet düzeyinin yükselmesiyle daha belirgin olsalar bile, eksenel kuvvet ve boyuna donatının neden olduğu artışlara oranla ihmal edilebilecek düzeyde kalmaktadırlar.

- Beton basınç dayanımının, kesitlerin sünekliği üzerinde olumlu etkisi vardır. Bu etki, donatı oranının ve eksenel kuvvet düzeyinin düşük olduğu kesitlerde sınırlı düzeyde kalmıştır. Eksenel kuvvetin ve donatı oranının minimum olduğu kesitlerde, beton basınç dayanımı artışı ile kesitlerin sünekliğinde %5 civarında artış olurken, eksenel kuvvet düzeyi ve boyuna donatı oranının yükselmesiyle birlikte kesitlerin sünekliğinde %63 civarında artış olmaktadır.

4.3.3. Dikdörtgen kolonlarda beton kalitesi değişimi

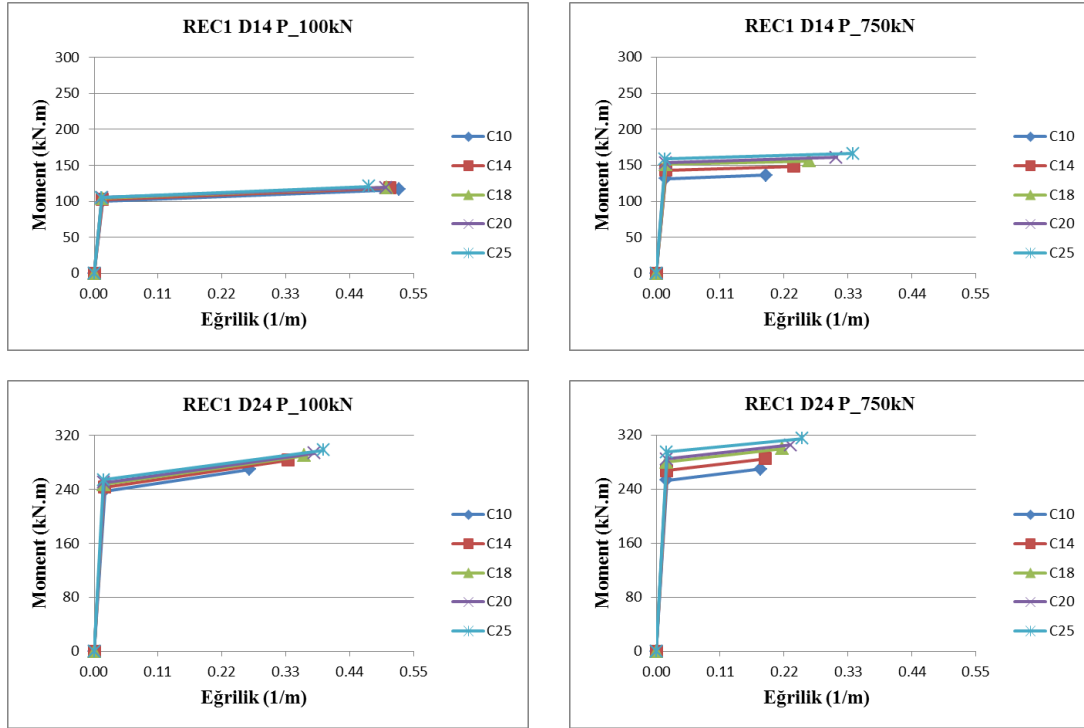
Dikdörtgen kolonlarda beton kalitesinin moment-eğrilik ilişkisi üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla yapılan analizlerde 5 farklı beton sınıfı kullanılmıştır. Bu incelemeler her kesite ait 2 farklı boyuna donatı çapı için yapılmıştır. Ayrıca tüm kesitlere, 100 kN ile en düşük beton basınç dayanımına sahip beton sınıfı kullanılarak oluşturulan kesitin, TDY-2007'ye göre taşıyabileceği maksimum aksenal kuvvet olmak üzere, 2 farklı düzeyde aksenal kuvvet uygulanmıştır.

Tablo 4.13. Dikdörtgen kolonlara ait boyuna donatı çapları, beton sınıfları ve uygulanan aksenal kuvvetler

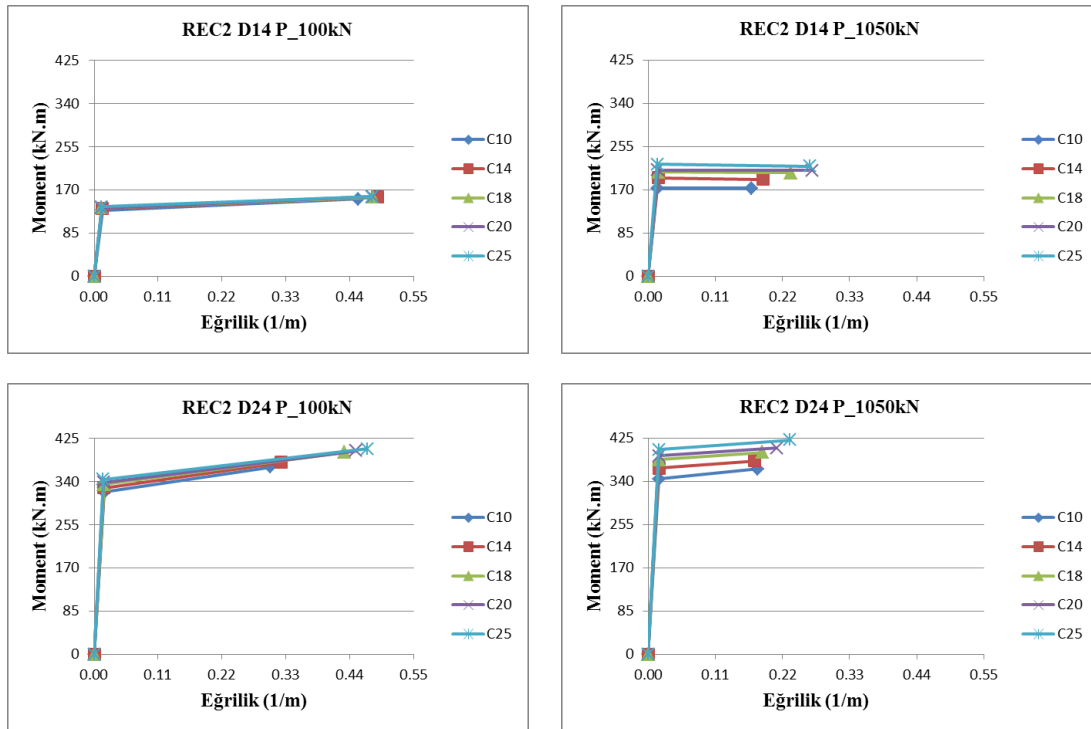
Kesit No	Boyuna Donatı Çapları (ϕ) (mm)	Boyuna Donatı Sayısı	Kullanılan Beton Sınıfları	N_{d1}	N_{d2}	Enine Donatı (mm)
				(kN)		
REC1	14-24	12	C10-C14- C18-C20-C25	100	750	ϕ 10/80
REC2	14-24	16			1050	ϕ 10/80

Betonarme dikdörtgen kolon modellerinin moment-eğrilik ilişkisi hem X hem de Y doğrultusunda incelenmiştir. Farklı beton sınıfı kullanılarak oluşturulan kesitlerin analiz sonuçları grafik halinde sunulmuştur (Şekil 4.27-4.30).

4.3.3.1. Dikdörtgen kolonlarda beton kalitesi değişimi (Zayıf doğrultu)



Şekil 4.27. REC1 kolonunda beton kalitesi değişiminin moment-eğrilik ilişkisine etkisi (Zayıf doğrultu)



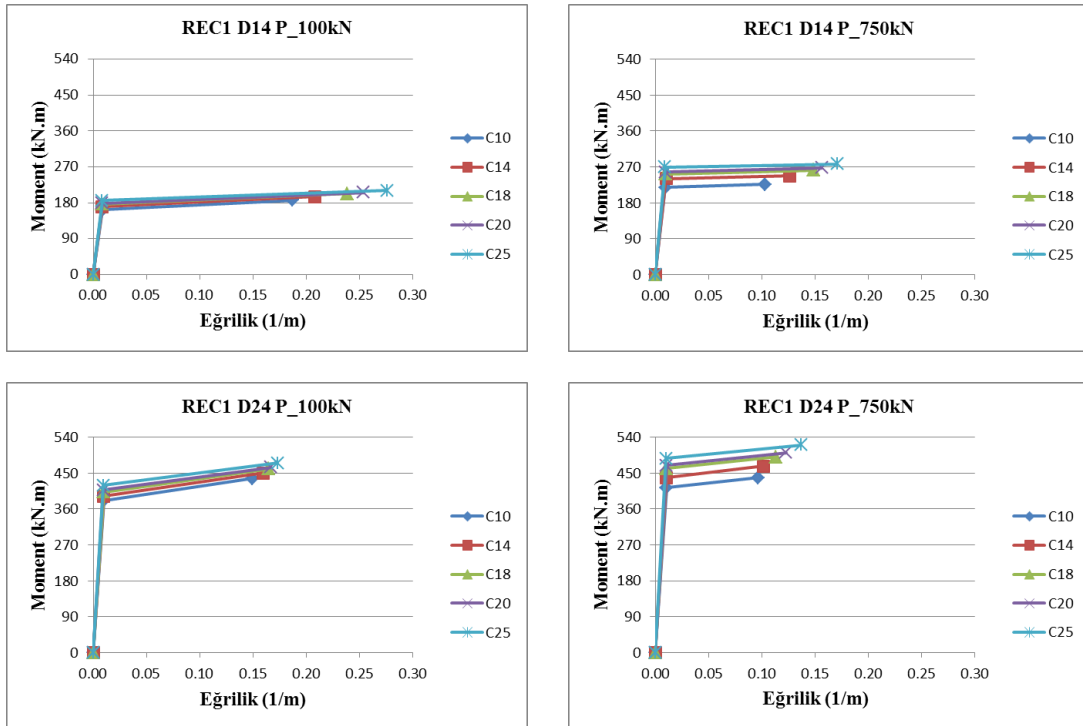
Şekil 4.28. REC2 kolonunda beton kalitesi değişiminin moment-eğrilik ilişkisine etkisi (Zayıf doğrultu)

Beton basınç dayanımı değişiminin moment-eğrilik ilişkisi üzerindeki etkileri, dikdörtgen kolon modellerinin zayıf doğrultuları için hesaplanmış ve sonuçlar grafikler halinde sunulmuştur (Şekil 4.27–4.28). Bu grafikler dikkatle incelendiğinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

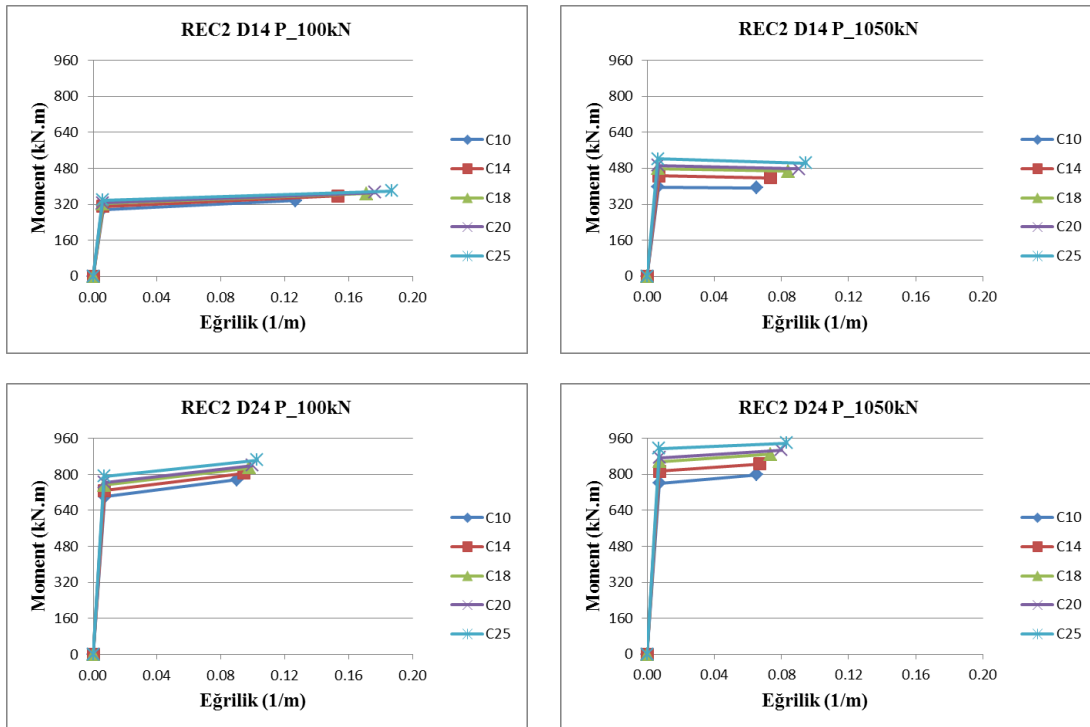
- Beton basınç dayanımının artışı, kesitlerin etkin eğilme rijitlikleri ve dayanımlarında sınırlı düzeyde artışa neden olmaktadır. Bu artışlar, eksenel kuvvet düzeyinin yükselmesiyle daha belirgin olsalar bile, eksenel kuvvet ve boyuna donatının neden olduğu artışlara oranla ihmal edilebilecek düzeyde kalmaktadırlar.

- Beton basınç dayanımının, kesitlerin sünekliği üzerinde olumlu etkisi vardır. Bu etki, donatı oranının ve eksenel kuvvet düzeyinin düşük olduğu kesitlerde sınırlı düzeyde kalmıştır. Eksenel kuvvetin ve donatı oranının minimum olduğu kesitlerde, beton basınç dayanımı artışı ile kesitlerin sünekliğinde %13 civarında artış olurken, eksenel kuvvet düzeyi ve boyuna donatı oranının yükselmesiyle birlikte kesitlerin sünekliğinde %60 civarında artış olmaktadır.

4.3.3.2. Dikdörtgen kolonlarda beton kalitesi değişimi (Kuvvetli doğrultu)



Şekil 4.29. REC1 kolonunda beton kalitesi değişiminin moment-eğrilik ilişkisine etkisi (Kuvvetli doğrultu)



Şekil 4.29. REC2 kolonunda beton kalitesi değişiminin moment-eğrilik ilişkisine etkisi (Kuvvetli doğrultu)

Beton basınç dayanımı değişiminin moment-eğrilik ilişkisi üzerindeki etkileri, dikdörtgen kolon modellerinin kuvvetli doğrultuları için hesaplanmış ve sonuçlar grafikler halinde sunulmuştur (Şekil 4.29–4.30). Bu grafikler dikkatle incelendiğinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

- Beton basınç dayanımının artışı, kesitlerin etkin eğilme rijitlikleri ve dayanımlarında sınırlı düzeyde artışa neden olmaktadır. Bu artışlar, eksenel kuvvet düzeyinin yükselmesiyle daha belirgin olsalar bile, eksenel kuvvet ve boyuna donatının neden olduğu artışlara oranla ihmal edilebilecek düzeyde kalmaktadırlar.

- Beton basınç dayanımının, kesitlerin sünekliği üzerinde olumlu etkisi vardır. Bu etki, dikdörtgen kolonların zayıf doğrultusundaki sonuçların aksine, boyuna donatı oranının ve eksenel kuvvet düzeyinin düşük olduğu kesitlerde yüksek düzeyde iken, boyuna donatı oranının ve eksenel kuvvet düzeyinin maksimum olduğu kesitlerde alt seviyelerde kalmıştır. Eksenel kuvvetin ve donatı oranının minimum olduğu kesitlerde, beton basınç dayanımı artışı ile kesitlerin sünekliğinde %59 civarında artış olurken, eksenel kuvvet düzeyi ve boyuna donatı oranının yükselmesiyle birlikte kesitlerin sünekliğinde %31 civarında artış olmaktadır.

4.4. Enine Donatı Oranının Moment-Eğrilik İlişkisine Etkisi

Enine donatı oranı değişimi, enine donatı çapı artırılıp, enine donatı adım mesafesi sabit tutularak sağlanmıştır. Kolon modellerinde, enine donatı oranı değişiminin moment-eğrilik ilişkisi üzerindeki etkisini incelemek amacıyla kesitlerde çap genişlikleri farklı olan 4 adet enine donatı kullanılmıştır. Her kesitteki enine donatı değişimi, seçilen 2 farklı boyuna donatı çapı için incelenmiştir. Ayrıca her kesite 4 farklı eksenel kuvvet uygulanmıştır. Kesitlerde boyuna donatı sayısı ve beton kalitesi sabit tutulmuştur.

4.4.1. Dairesel kolonlarda enine donatı oranı değişimi

Dairesel kolonlarda enine donatı oranı değişiminin moment-eğrilik ilişkisi üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla her bir kesitte 4 farklı enine donatı çapı kullanılmıştır. Bu incelemeler her kesite ait 2 farklı boyuna donatı çapı için yapılmıştır. Ayrıca seçilen boyuna donatılara ait kesitlere rastgele olarak 4 farklı düzeyde eksenel kuvvet uygulanmıştır. Kesitlere ait bilgiler Tablo 4.14’de gösterilmiştir.

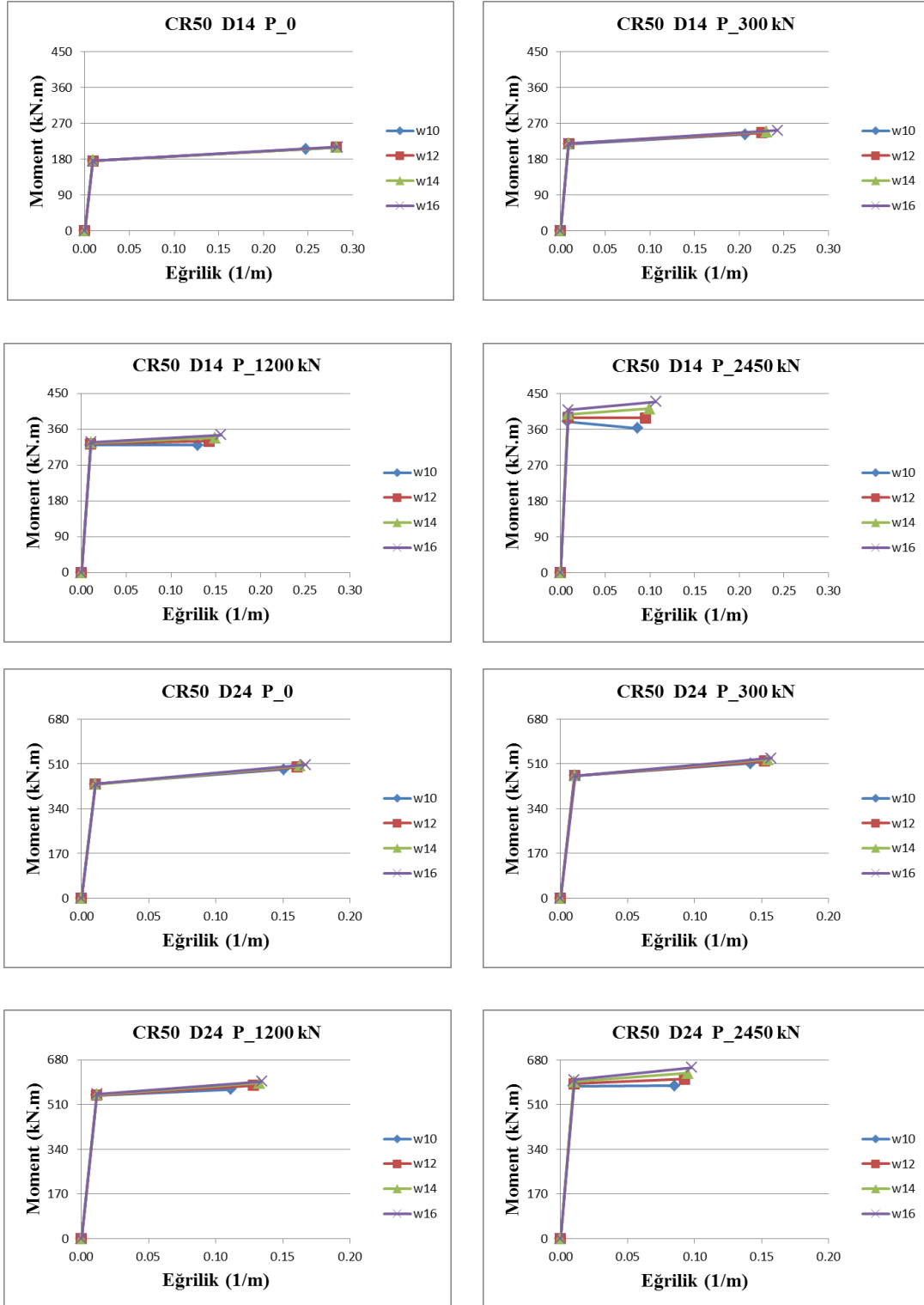
Tablo 4.14. Dairesel kolonlara ait enine ve boyuna donatı çapları ile uygulanan eksenel kuvvetler

Kesit No	Boyuna Donatı Çapları (ϕ) (mm)	Boyuna Donatı Sayısı	Beton Sınıfı	N _{d1}	N _{d2}	N _{d3}	N _{d4}	Enine Donatılar (mm)			
								(kN)			
CR50	14-24	14	C25	0	300	1200	2450	ϕ 10/80	ϕ 12/80	ϕ 14/80	ϕ 16/80
CR100	20-30	40			2000	4000	9820	ϕ 12/60	ϕ 14/60	ϕ 16/60	ϕ 18/60
CR150	22-32	60			5000	10000	22090	ϕ 14/60	ϕ 16/60	ϕ 18/60	ϕ 20/60
CR200	24-36	80			8000	16000	39280	ϕ 16/50	ϕ 18/50	ϕ 20/50	ϕ 22/50

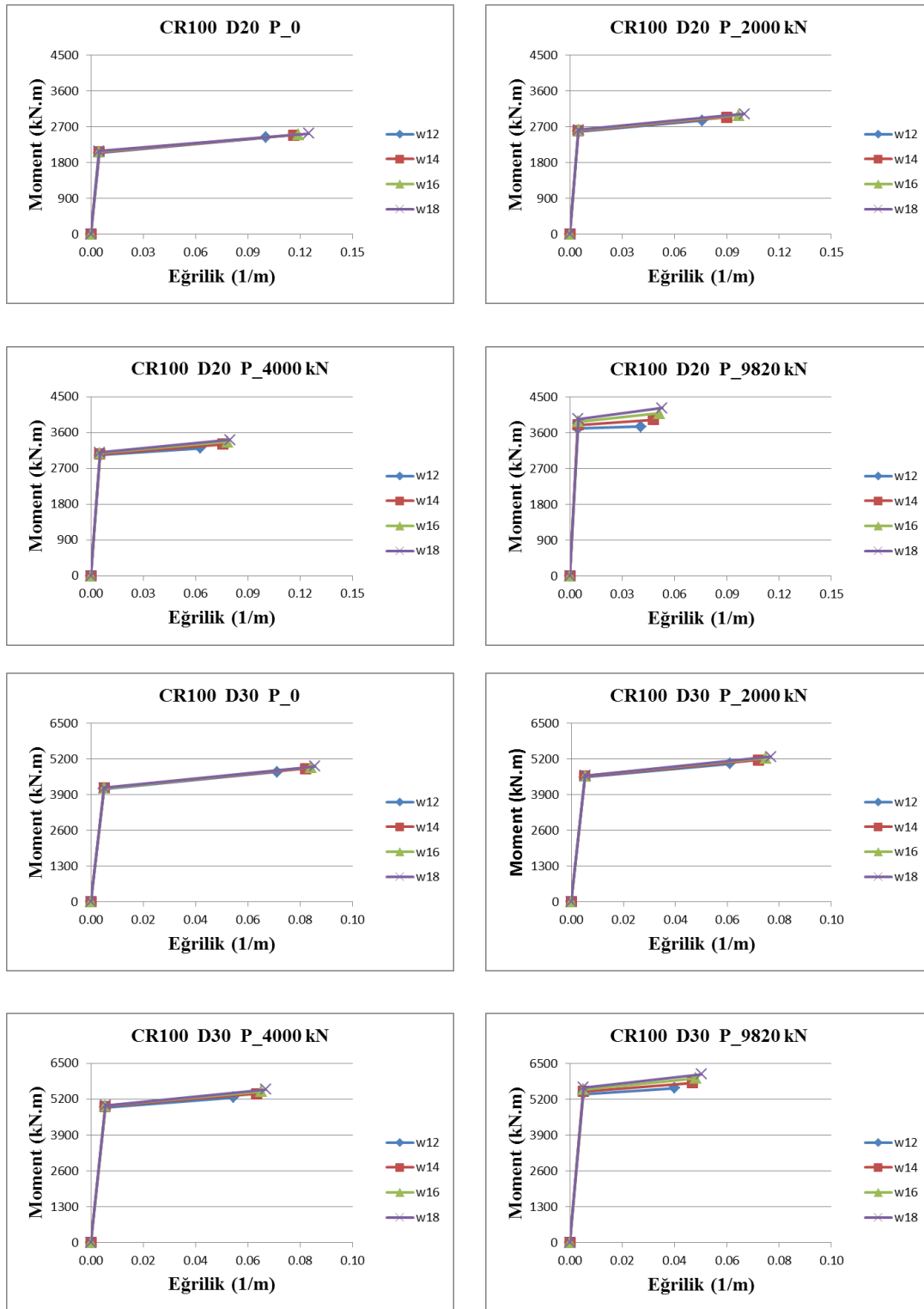
Tablo 4.15. Dairesel kolonlarda farklı enine donatı çaplarına karşılık gelen enine donatı oranları

CR50	Enine Donatı Çapları (mm)	ϕ 10/80	ϕ 12/80	ϕ 14/80	ϕ 16/80
	Enine Donatı Oranları (%)	0.873	1.257	1.710	2.234
CR100	Enine Donatı Çapları (mm)	ϕ 12/60	ϕ 14/60	ϕ 16/60	ϕ 18/60
	Enine Donatı Oranları (%)	0.802	1.092	1.426	1.805
CR150	Enine Donatı Çapları (mm)	ϕ 14/60	ϕ 16/60	ϕ 18/60	ϕ 20/60
	Enine Donatı Oranları (%)	0.718	0.937	1.186	1.465
CR200	Enine Donatı Çapları (mm)	ϕ 16/50	ϕ 18/50	ϕ 20/50	ϕ 22/50
	Enine Donatı Oranları (%)	0.838	1.060	1.309	1.584

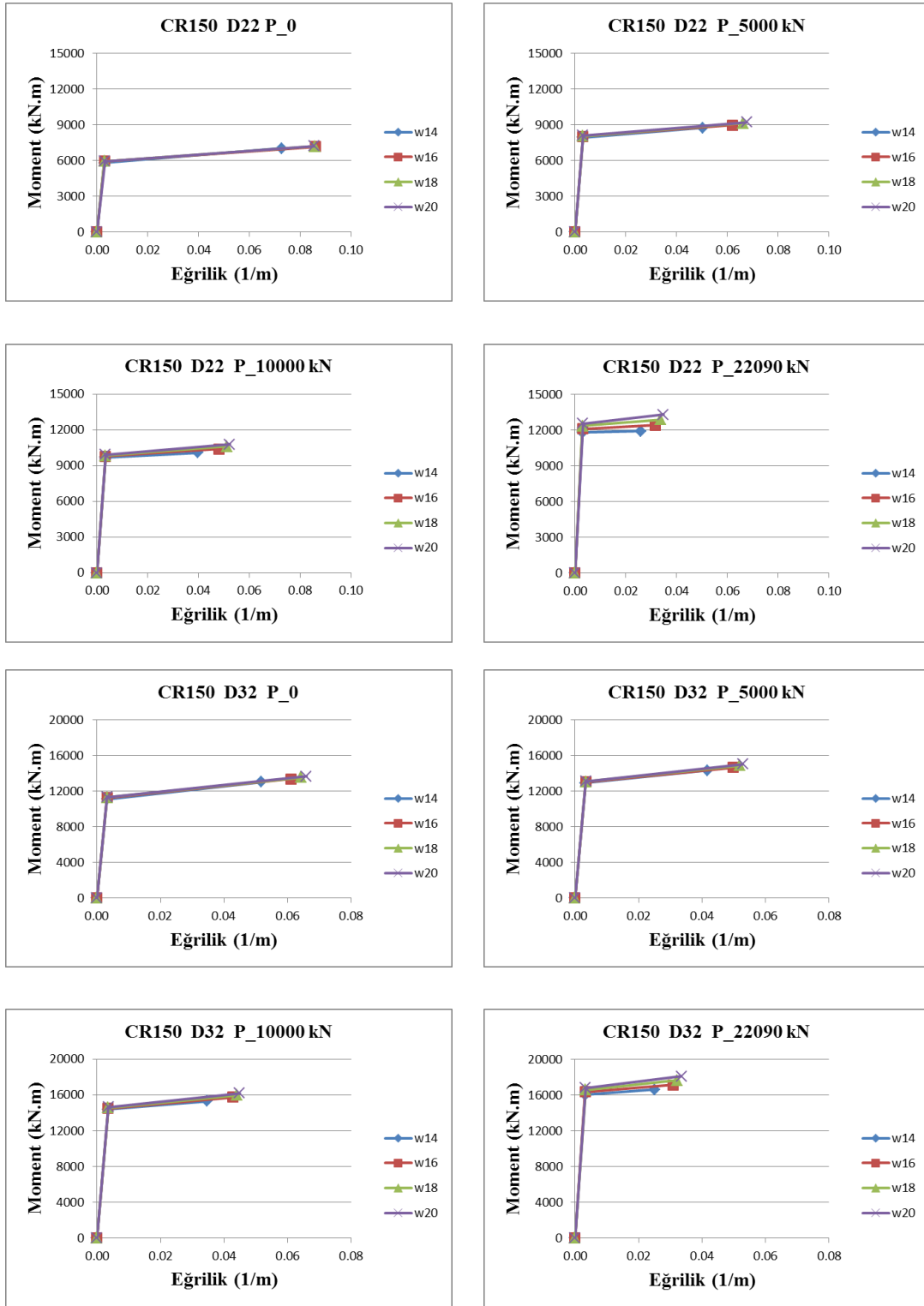
Betonarme dairesel kolonların sadece tek doğrultudaki moment-eğrilik ilişkisi incelenmiştir. Farklı enine donatı çapı kullanılarak oluşturulan dairesel kolon kesitlerine ait analiz sonuçları grafik halinde sunulmuştur (Şekil 4.31-4.34).



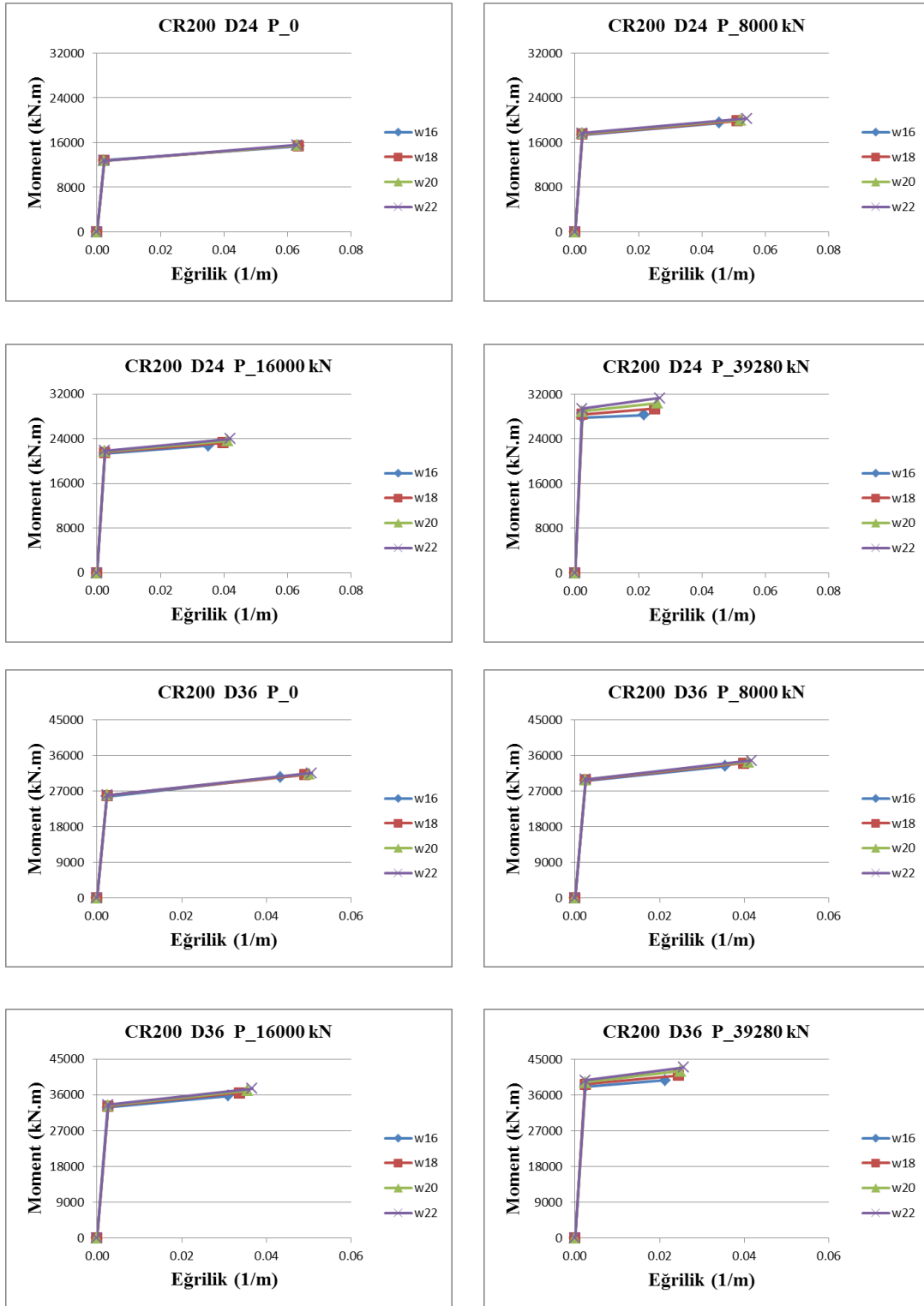
Şekil 4.31. CR50 kolonunda enine donatı oranı değişiminin moment-eğrilik ilişkisine etkisi



Şekil 4.32. CR100 kolonunda enine donatı oranı değişiminin moment-eğrilik ilişkisine etkisi



Şekil 4.33. CR150 kolonunda enine donatı oranı değişiminin moment-eğrilik ilişkisine etkisi



Şekil 4.34. CR200 kolonunda enine donatı oranı değişiminin moment-eğrilik ilişkisine etkisi

Enine donatı oranı değişiminin moment-eğrilik ilişkisi üzerindeki etkileri, dairesel kolon modelleri için hesaplanmış ve sonuçlar grafikler halinde sunulmuştur (Şekil 4.31–4.34). Bu grafikler dikkatle incelendiğinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

- Enine donatı oranının artışı ile kesitlerde donatının aktığı andaki dayanım ve buna karşılık gelen eğrilik değeri pek değişmemekte ve böylelikle kesitlerin etkin eğilme rijitliği üzerinde kayda değer bir etki görülmemektedir.

- Enine donatı oranı artışıyla birlikte kesitlerin maksimum plastik şekil değiştirme kapasiteleri artmakta ve böylelikle süneklikleri de artmaktadır. Enine donatı artışıyla birlikte kesitlerin sünekliklerinde %33 civarında artış meydana gelmektedir.

- Eksenel kuvvet düzeyinin düşük olduğu kesitlerde, enine donatı oranı artışıyla birlikte kesitlerin dayanımlarında ayırt edici bir değişiklik görülmezken, eksenel kuvvet düzeyi yükseldikçe, kesitlerin dayanımında artış görülmektedir. Eksenel kuvvet artışı ile kesit daha fazla genişlemek isteyecektir. Sargı donatısı ise kesitin serbestçe genişlemesini engelleyecek ve çekirdek betona pasif basınç uygulayacaktır (Ersoy ve Özcebe, 1998). Bu sebepten dolayı, eksenel kuvvetin maksimum olduğu kesitlerde, genişleme isteği daha fazla olmuş ve buna karşı sargı donatısından kaynaklı yanal basınç daha fazla etkisini göstermiştir. Böylelikle dayanım artışı daha belirgin hale gelmiştir.

4.4.2. Kare kolonlarda enine donatı oranı değişimi

Kare kolonlarda enine donatı oranı değişiminin moment-eğrilik ilişkisi üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla her bir kesitte 2 farklı enine donatı çapı kullanılmıştır. Bu incelemeler her kesite ait 2 farklı boyuna donatı çapı için yapılmıştır. Ayrıca seçilen boyuna donatılara ait kesitlere rastgele olarak 4 farklı düzeyde aksenal kuvvet uygulanmıştır. Kesitlere ait bilgiler Tablo 4.16’da gösterilmiştir.

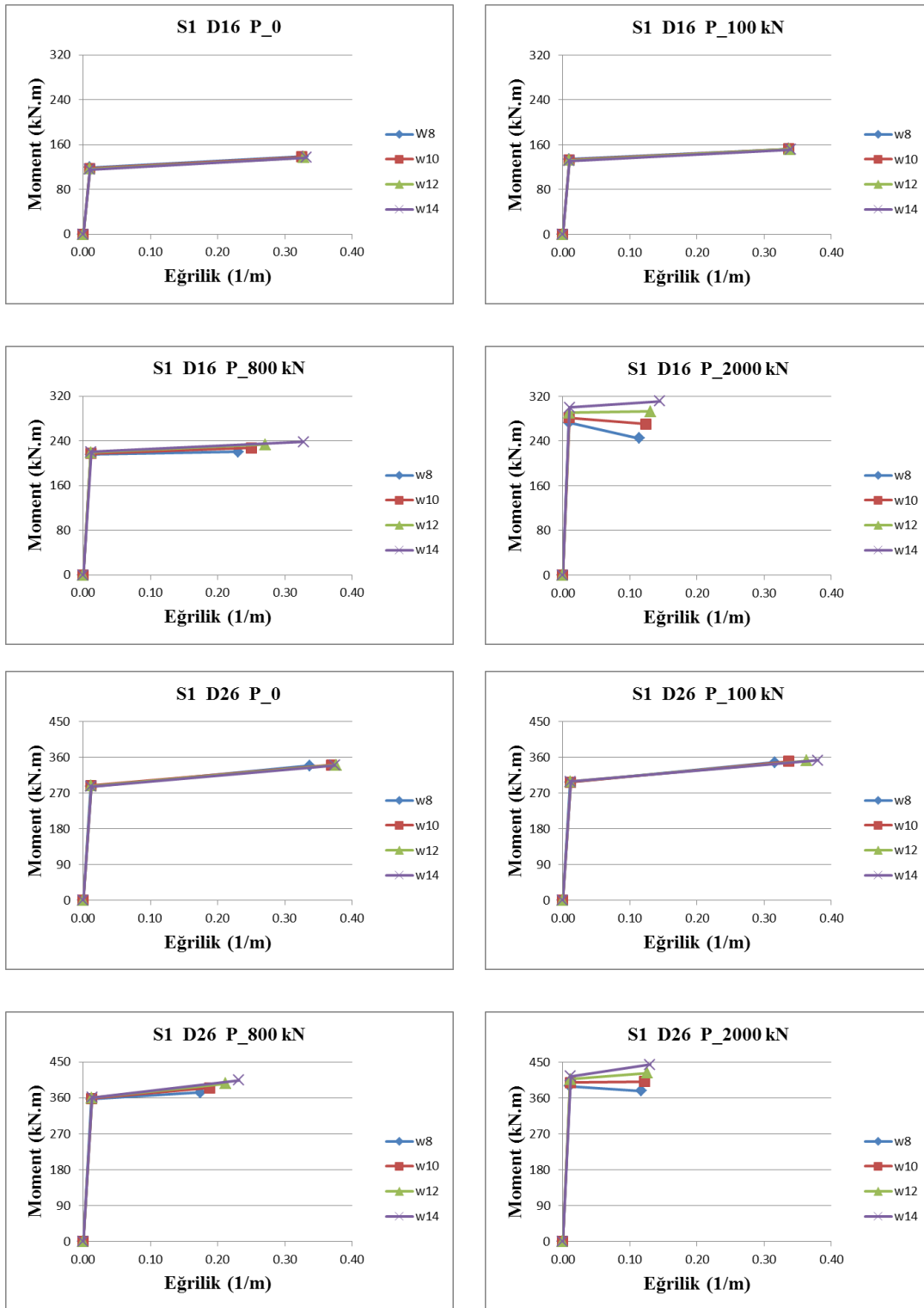
Tablo 4.16. Kare kolonlara ait enine ve boyuna donatı çapları ile uygulanan aksenal kuvvetler

Kesit No	Boyuna Donatı Çapları (ϕ) (mm)	Boyuna Donatı Sayısı	Beton Sınıfı	N_{d1}	N_{d2}	N_{d3}	N_{d4}	Enine Donatı Çapları (mm)			
				(kN)							
S1	16-26	8	C25	0	100	800	2000	$\phi 8/80$	$\phi 10/80$	$\phi 12/80$	$\phi 14/80$
S2	18-26	24			100	2400	6125	$\phi 12/80$	$\phi 14/80$	$\phi 16/80$	$\phi 18/80$

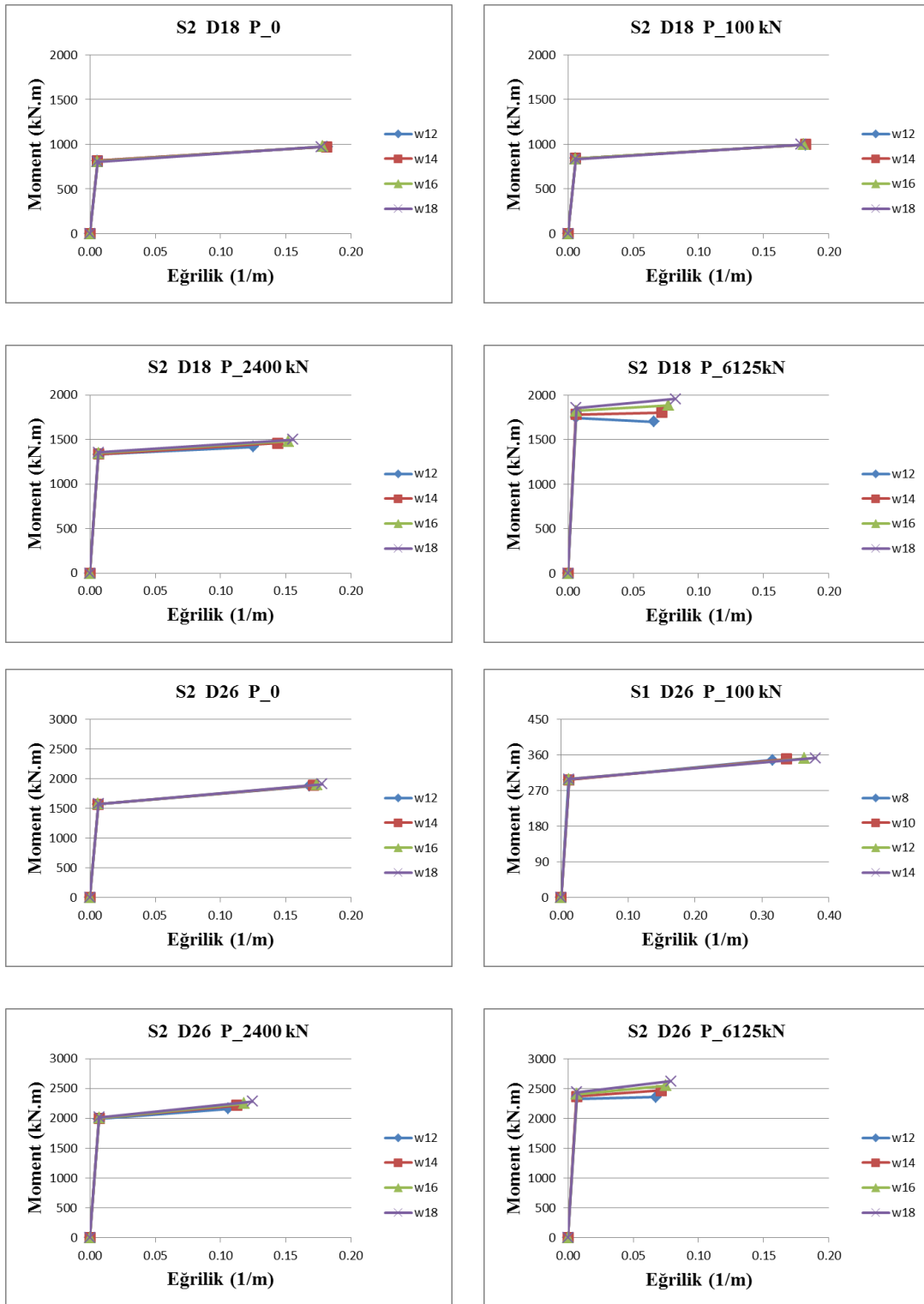
Tablo 4.17. Kare kolonlarda farklı enine donatı çaplarına karşılık gelen enine donatı oranları

S1	Enine Donatı Çapları (mm)	$\phi 8/80$	$\phi 10/80$	$\phi 12/80$	$\phi 14/80$
	Enine Donatı Oranları (%)	0.539	0.842	1.212	1.649
S2	Enine Donatı Çapları (mm)	$\phi 12/80$	$\phi 14/80$	$\phi 16/80$	$\phi 18/80$
	Enine Donatı Oranları (%)	0.696	0.947	1.237	1.560

Betonarme kare kolonların sadece tek doğrultudaki moment-eğrilik ilişkisi incelenmiştir. Farklı enine donatı çapı kullanılarak oluşturulan kare kolon kesitlerine ait analiz sonuçları grafik halinde sunulmuştur (Şekil 4.35-4.36).



Şekil 4.35. S1 kolonunda enine donatı oranı değişiminin moment-eğrilik ilişkisine etkisi



Şekil 4.36. S2 kolonunda enine donatı oranı değişiminin moment-eğrilik ilişkisine etkisi

Enine donatı oranı değişiminin moment-eğrilik ilişkisi üzerindeki etkileri, kare kolon modeller için hesaplanmış ve sonuçlar grafikler halinde sunulmuştur (şekil 4.35–4.36). Bu grafikler dikkatle incelendiğinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

- Enine donatı oranının artışı ile kesitlerde donatının aktığı andaki dayanım ve buna karşılık gelen eğrilik değeri pek değişmemekte ve böylelikle kesitlerin etkin eğilme rijitliği üzerinde kayda değer bir etki görülmemektedir.

- Enine donatı oranı artışıyla birlikte kare kesitlerin sünekliklerinde de artışlar meydana gelmektedir. Bu artış, boyuna donatı oranı ve eksenel kuvvet düzeyinin yüksek olduğu kesitlerde daha belirgin olmaktadır. Enine donatı artışıyla birlikte kesitlerin sünekliklerinde %36 civarında artış meydana gelmektedir.

- Eksenel kuvvet düzeyinin düşük olduğu kesitlerde, enine donatı oranı artışıyla birlikte kesitlerin dayanımlarında ayırt edici bir değişiklik görülmeyen, eksenel kuvvet düzeyi yükseldikçe, kesitlerin dayanımında belirgin bir artış görülmektedir.

4.4.3. Dikdörtgen kolonlarda enine donatı oranı değişimi

Dikdörtgen kolonlarda enine donatı oranı değişiminin moment-eğrilik ilişkisi üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla her bir kesitte 2 farklı enine donatı çapı kullanılmıştır. Bu incelemeler her kesite ait 2 farklı boyuna donatı çapı için yapılmıştır. Ayrıca seçilen boyuna donatılara ait kesitlere rastgele olarak 4 farklı düzeyde aksenal kuvvet uygulanmıştır. Kesitlere ait bilgiler Tablo 4.18'de gösterilmiştir.

Tablo 4.18. Dikdörtgen kolonlara ait enine ve boyuna donatı çapları ile uygulanan aksenal kuvvetler

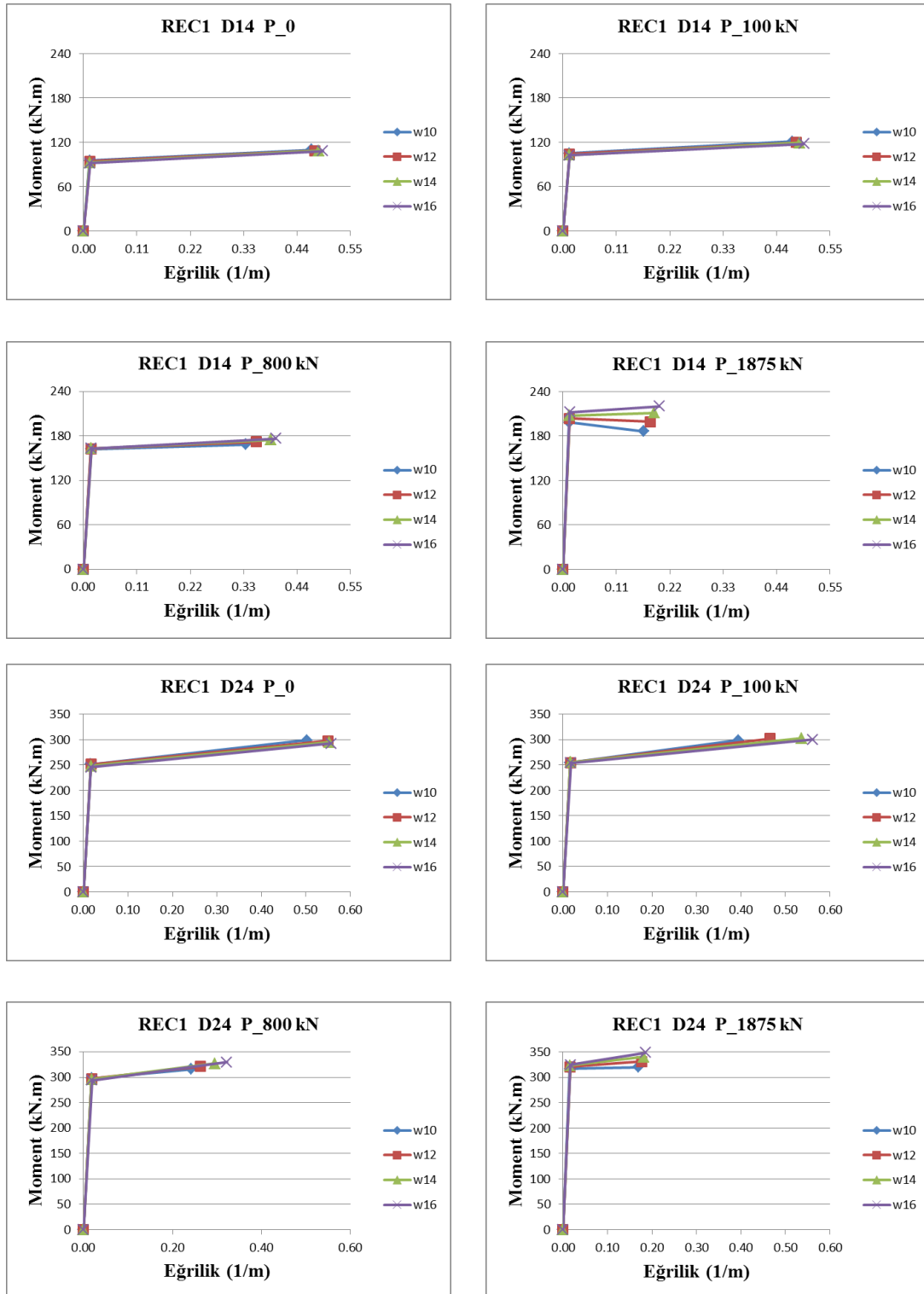
Kesit No	Boyuna Donatı Çapları (φ) (mm)	Boyuna Donatı Sayısı	Beton Sınıfı	N _{d1}	N _{d2}	N _{d3}	N _{d4}	Enine Donatılar (mm)			
				(kN)				φ10/80	φ12/80	φ14/80	φ16/80
REC1	14-24	12	C25	0	100	800	1875	φ10/80	φ12/80	φ14/80	φ16/80
REC2	14-24	16			100	1500	2625	φ10/80	φ12/80	φ14/80	φ16/80

Tablo 4.19. Dikdörtgen kolonlarda farklı enine donatı çaplarına karşılık gelen enine donatı oranları

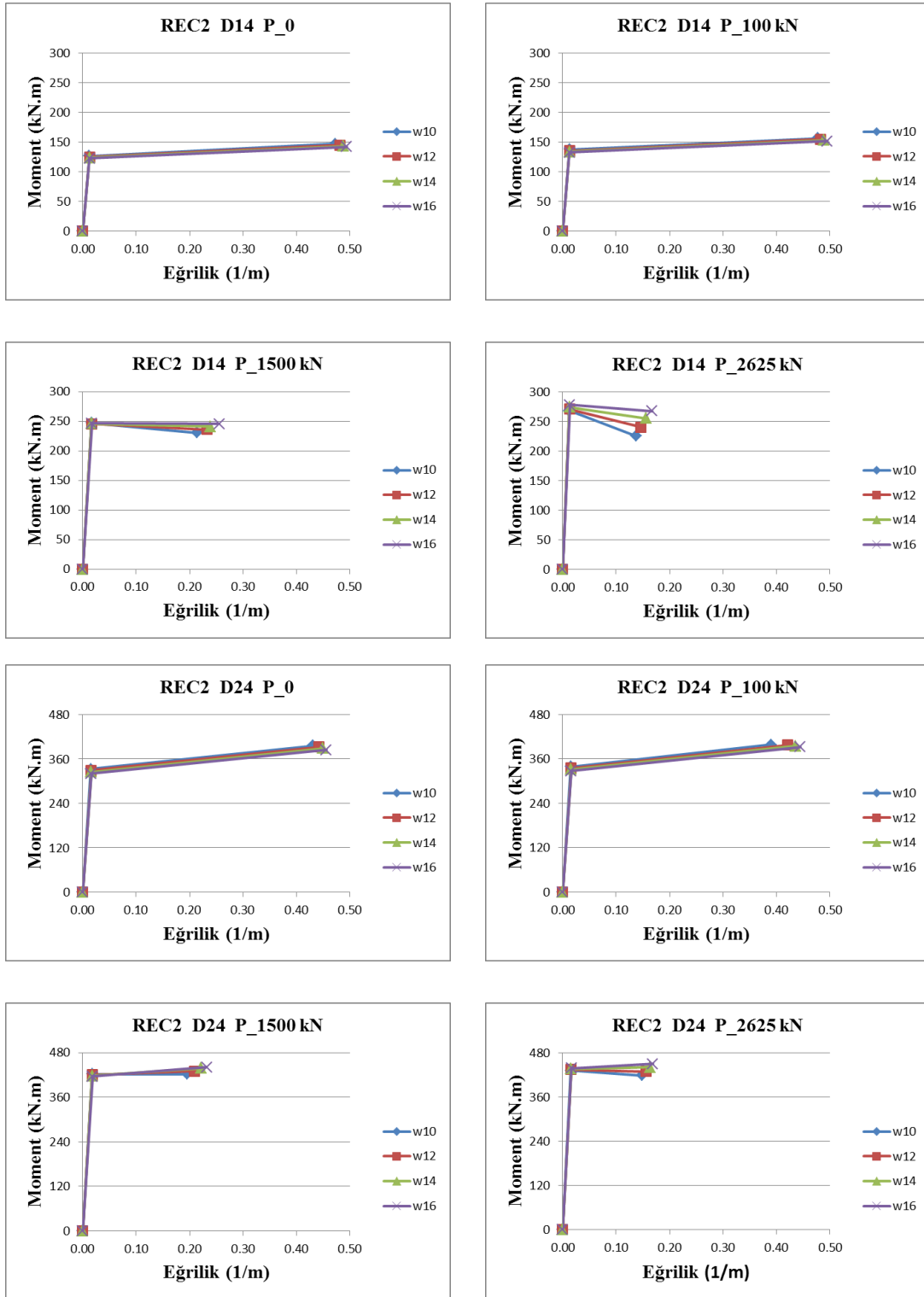
Kesit No	Enine Donatı Çapları (mm)		φ10/80	φ12/80	φ14/80	φ16/80
	REC1	Zayıf Doğrultu	Enine Donatı Oranları (%)	1.178	1.696	2.309
Kuvvetli Doğrultu		Enine Donatı Oranları (%)	0.655	0.943	1.283	1.676
REC2	Enine Donatı Çapları (mm)		φ10/80	φ12/80	φ14/80	φ16/80
	Zayıf Doğrultu	Enine Donatı Oranları (%)	0.785	1.131	1.539	2.011
	Kuvvetli Doğrultu	Enine Donatı Oranları (%)	0.604	0.870	1.184	1.547

Betonarme dikdörtgen kolon modellerinin moment-eğrilik ilişkisi hem zayıf hem de kuvvetli doğrultuları için incelenmiştir. Farklı enine donatı çapı kullanılarak oluşturulan dikdörtgen kolon kesitlerine ait analiz sonuçları grafik halinde sunulmuştur (Şekil 4.37-4.40).

4.4.3.1. Dikdörtgen kolonlarda enine donatı oranı değişimi (Zayıf doğrultu)



Şekil 4.37. REC1 kolonunda enine donatı oranı değişiminin moment-eğrilik ilişkisine etkisi (Zayıf doğrultu)



Şekil 4.38. REC2 kolonunda enine donatı oranı değişiminin moment-eğrilik ilişkisine etkisi (Zayıf doğrultu)

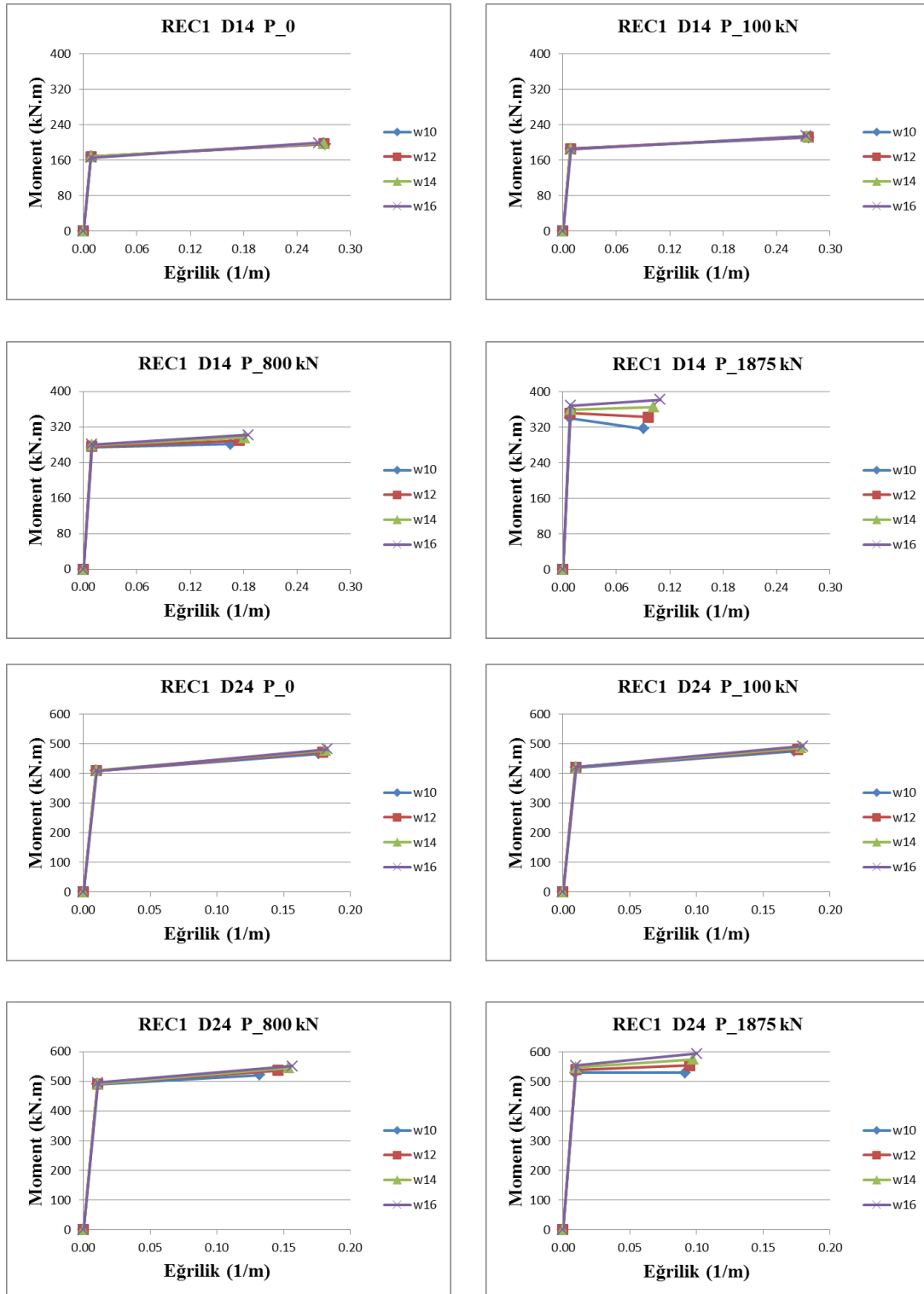
Enine donatı oranı değişiminin moment-eğrilik ilişkisi üzerindeki etkileri, dikdörtgen kolon modellerinin zayıf doğrultuları için hesaplanmış ve sonuçlar grafikler halinde sunulmuştur (şekil 4.37–4.38). Bu grafikler dikkatle incelendiğinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

- Enine donatı oranının artışı ile kesitlerde donatının aktığı andaki dayanım ve buna karşılık gelen eğrilik değeri pek değişmemekte ve böylelikle kesitlerin etkin eğilme rijitliği üzerinde kayda değer bir etki görülmemektedir.

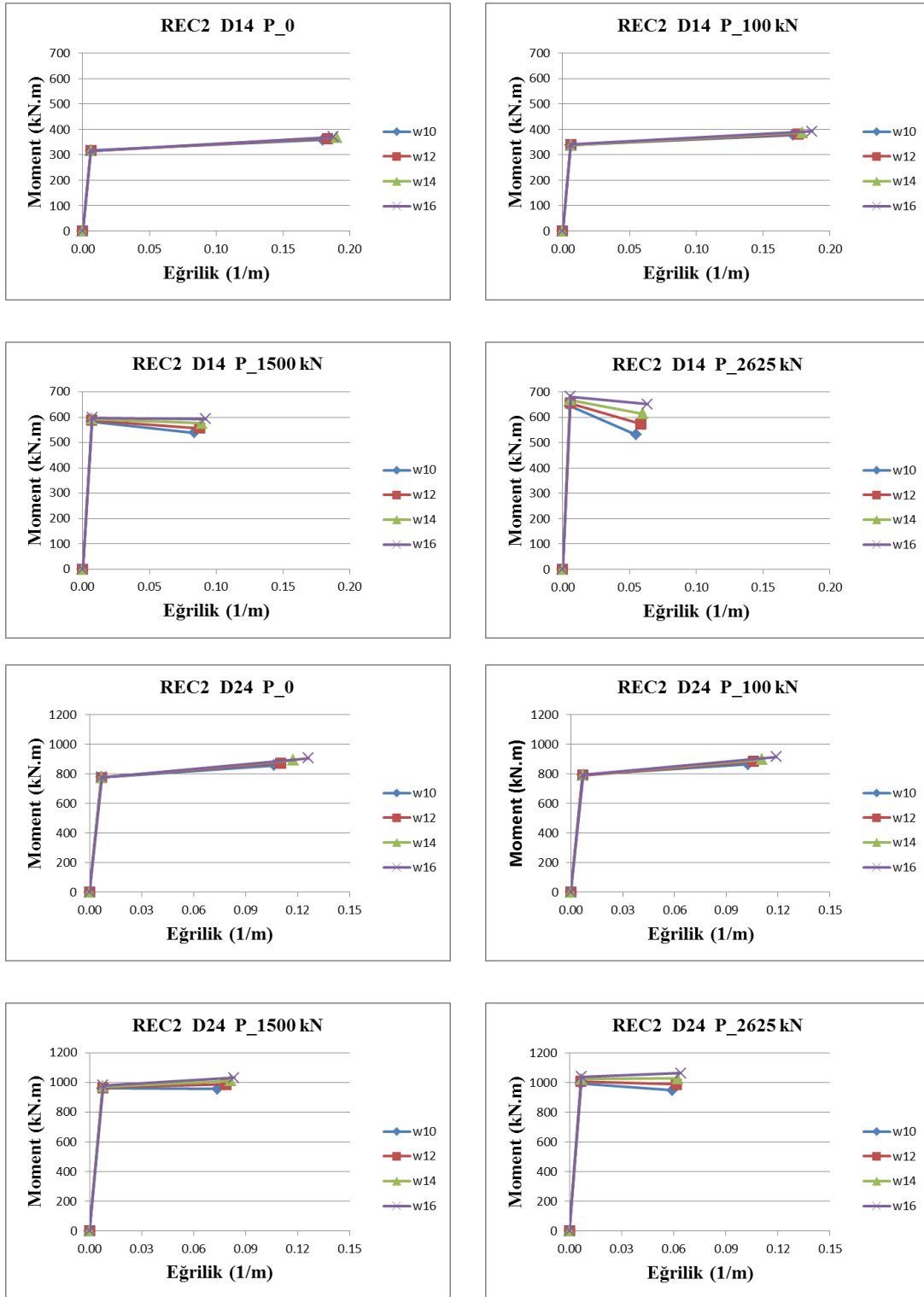
- Enine donatı oranı artışıyla birlikte, dikdörtgen kesitlerin zayıf doğrultularındaki süneklikleri de artmaktadır. Bu artış, boyuna donatı oranı ve eksenel kuvvet düzeyinin yüksek olduğu kesitlerde daha belirgin olmaktadır. Enine donatı artışıyla birlikte kesitlerin sünekliklerinde %33 civarında artış meydana gelmektedir.

- Eksenel kuvvet düzeyinin düşük olduğu kesitlerde, enine donatı oranı artışıyla birlikte kesitlerin dayanımlarında ayırt edici bir değişiklik görülmeyenken, eksenel kuvvet düzeyi yükseldikçe, kesitlerin dayanımında belirgin bir artış görülmektedir.

4.4.3.2. Dikdörtgen kolonlarda enine donatı oranı değişimi (Kuvvetli doğrultu)



Şekil 4.39. REC1 kolonunda enine donatı oranı değişiminin moment-eğrilik ilişkisine etkisi (Kuvvetli doğrultu)



Şekil 4.40. REC2 kolonunda enine donatı oranı değişiminin moment-eğrilik ilişkisine etkisi (Kuvvetli doğrultu)

Enine donatı oranı değişiminin moment-eğrilik ilişkisi üzerindeki etkileri, dikdörtgen kolon modellerinin kuvvetli doğrultuları için hesaplanmış ve sonuçlar grafikler halinde sunulmuştur (şekil 4.39–4.40). Bu grafikler dikkatle incelendiğinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

- Enine donatı oranının artışı ile kesitlerde donatının aktığı andaki dayanım ve buna karşılık gelen eğrilik değeri pek değişmemekte ve böylelikle kesitlerin etkin eğilme rijitliği üzerinde kayda değer bir etki görülmemektedir.

- Enine donatı oranı artışıyla birlikte, dikdörtgen kesitlerin kuvvetli doğrultularındaki süneklikleri de artmaktadır. Bu artış boyuna donatı oranı ve eksenel kuvvet düzeyinin yüksek olduğu kesitlerde daha belirgin olmaktadır. Enine donatı artışıyla birlikte kesitlerin sünekliklerinde %16 civarında artış meydana gelmektedir.

- Eksenel kuvvet düzeyinin düşük olduğu kesitlerde, enine donatı oranı artışıyla birlikte kesitlerin dayanımlarında ayırt edici bir değişiklik görülmeyenken, eksenel kuvvet düzeyi yükseldikçe, kesitlerin dayanımında belirgin bir artış görülmektedir.

BÖLÜM 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada kolon tasarım parametrelerinin, kolon davranışı üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla, üç farklı geometride 400 farklı kolon modeli oluşturulmuş ve bunlara ait kesitlerin moment-eğrilik ilişkileri grafik halinde sunulmuştur. Değişken parametrelerin, kolonların davranışı üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi, etkin eğilme rijitliği, eğrilik sünekliği ve kesit dayanımı üzerinden yapılmıştır.

Analiz sonuçları değerlendirildiğinde aşağıdaki sonuç ve önerilere varılmıştır;

- Eksenel kuvvet etkisi:

Eksenel kuvvetin, eksenel kuvvet-moment etkileşim diyagramındaki dengeli kırılma durumuna kadar olan artışıyla birlikte, kesitlerin etkin eğilme rijitliklerinde ve dayanımlarında artış meydana gelmektedir. Dengeli kırılmaya karşılık gelen eksenel kuvvet değerinin aşılmasıyla birlikte, kesitlerin, hem etkin eğilme rijitliklerinde hem de dayanımlarında düşüş meydana gelmektedir. Ayrıca eksenel kuvvet artışıyla birlikte kesitlerin sünekliğinde azalma meydana gelmektedir. Bu etkiler, kesitlerdeki kullanılan boyuna donatı oranının düşük değerleri için daha belirgin olmaktadır. Ayrıca farklı eksenel kuvvet düzeylerinin kesitler üzerindeki etkileri, kesit geometrilerine göre farklılık göstermemektedir.

- Boyuna donatı oranı etkisi:

Boyuna donatı artışı ile birlikte kesitlere ait etkin eğilme rijitliği ve dayanımı artmaktadır. Bu etkiler, kesitlere tesir eden eksenel kuvvet düzeyinin düşük değerleri için daha belirgin olmaktadır. Boyuna donatı oranı değişiminin kesitlerin sünekliği üzerindeki etkisi, kesitlerin geometrik özelliklerine göre farklılık göstermektedir. Boyuna donatı oranının artışı, eksenel kuvvet düzeyi düşük dairesel ve dikdörtgen

kesitlerin kuvvetli doğrultularına ait süneklikleri üzerinde olumsuz etkiye sahiptir. Ancak aksenal kuvvet düzeyi yüksek kesitler sünekliği üzerinde, boyuna donatı değişiminin etkisi ihmal edilebilir düzeydedir. Ayrıca boyuna donatı oranı değişiminin, kare ve dikdörtgen kesitlerin zayıf doğrultularına ait süneklikleri üzerindeki etkileri ihmal edilebilecek düzeydedir.

- Beton kalitesi etkisi:

Beton kalitesi değişiminin kesitler üzerindeki etkisi, kesitlerin geometrik özelliklerine göre farklılık göstermektedir. Beton basınç dayanımı artışı ile birlikte kesitlerin etkin eğilme rijitliği ve dayanımındaki değişimler tüm kesitler için ihmal edilebilecek düzeydedir. Ancak süneklik açısından bakıldığında, dairesel kolonların süneklik değeri beton basınç dayanımı artışı ile ihmal edilebilecek düzeyde değişim gösterirken, kare ve dikdörtgen kolonların süneklik değerlerinde %65'e kadar artış meydana gelmiştir.

- Enine donatı oranı etkisi:

Enine donatı oranı artışı ile birlikte kesitlere ait etkin eğilme rijitliğinde ayırt edici bir değişim görülmemektedir. Süneklik açısından bakıldığında ise, enine donatı oranı artışıyla birlikte, kesitlere ait sünekliklerde artışlar görülmektedir. Ayrıca boyuna donatı oranının maksimuma yakın olduğu kesitlerde, enine donatı artışı ile birlikte kesitlerin dayanımlarında da artışlar gözlenmektedir.

İleride yapılacak çalışmalarda; İki, üç veya dört yüzünden mantolanmış olan betonarme kolonların moment eğrilik ilişkileri incelenmeli ve manto ile güçlendirilen betonarme kolon davranışındaki iyileştirilmeler irdelenmelidir.

Ayrıca yapılan analitik çalışmanın sonuçlarına göre, boyuna donatı oranının, çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitliği üzerinde etkili olduğu anlaşılmaktadır. Ancak TDY-2007'de hesap edilen çatlamış kesite ait etkin eğilme rijitliklerinde boyuna donatı oranının etkisi dikkate alınmamaktadır. Boyuna donatı oranının ve aksenal kuvvetinde dikkate alındığı yeni bir formülasyon geliştirilmelidir.

KAYNAKLAR

CANBAY, E., ERSOY, U., ÖZCEBE, G., SUCUOĞLU, H., WASTI, S. T., Binalar İçin Deprem Mühendisliği Temel İlkeler. 1. dü. Ankara: Bizim Büro, 2008.

CELEP, Z., KUMBASAR, N., Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı. 3. dü. İstanbul: Beta Dağıtım, 2004.

CİHANLI, E., ARSLAN, G., Yüksek Beton Dayanımlı Sargısız Betonarme Kiriş Kesitlerinde Eğrilik Sünekliği. Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, pp. 139-150, 2009.

DBYBHY, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik. s.l.:Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 2007.

DEMİR, A., ÇAĞLAR, N., Dairesel Betonarme Kolonlarda Çatlamış Kesite Ait Etkin Eğilme Rijitliklerinin İrdelenmesi. Sakarya, ISITES2013, 2013.

DOĞANGÜN, A., Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı. 3. dü. İstanbul: Birsen Yayınevi, 2007.

ERSOY, U., ÖZCEBE, G., Sarılmış Betonarme Kesitlerde Moment-Eğrilik İlişkisi Analitik Bir İrdeme. İMO Teknik Dergi, pp. 1799-1827, 1998.

ERSOY, U., ÖZCEBE, G., Betonarme. 3. dü. İstanbul: Evrim Yayınevi, 2012.

KALTAKÇI, M. Y., KORKMAZ, H. H., KORKMAZ, S. Z., Basit Eğilme Etkisindeki Betonarme Elemanların Moment-Eğrilik Ve Tasarım Değişkenleri Üzerine Analitik Bir İnceleme. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 7(1), pp. 71-80, 2001.

KİRACI, S., ERDEM, R. T., BAĞCI, M., Betonarme Bir Elemanda Eğrilik Sünekliğinin İncelenmesi. C.B.Ü. Fen Bilimleri Dergisi, pp. 141-154, 2010.

KOLGU, S., PEKER, K., Betonarme Kesit Davranışında Eksenel Yük, Malzeme Modeli ve Sargı Donatısı Oranının Etkisi. İstanbul, Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 2003.

MANDER, J. B., PRIESTLEY, M. J. N., PARK, R., Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete. Journal of Structural Engineering, 144(8), pp. 1804-1826, 1988.

ÖZMEN, H. B., İNEL, M., BİLGİN, H., Sargılı Beton Davranışının Betonarme Eleman ve Sistem Davranışına Etkisi. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 22(2), pp. 375-383, 2007.

SAYIN, B., YILDIZLAR, B., ÖZYAZGAN, C., Fiber Takviyeli Polimer (FRP) Uygulanan Betonarme Kirişlerde Moment-Eğrilik İlişkisi. Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, 6(2), pp. 42-56, 2010.

TS500, Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları. Ankara: Türk Sandartları Enstitüsü, 2000.

XTRACT v.3.0. Cross-sectional X structural analysis of components, Imbsen Software Systems, 9912 Business Park Drive, Suite 130 Sacramento, CA 95827.

YUVA, Y., BAKIRCI, A. E., B.A. Kirişlerin Sünek Davranışı ve Eğilme Taşıma Gücüne Etki Eden Faktörlerin İrdelenmesi. Ankara, Dördüncü Ulusal Deprem Mühendisliği Sempozyumu, 1997.

ÖZGEÇMİŞ

Abdulhalim Akkaya, 12.10.1988 de Sakarya' da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Adapazarı'nda tamamladı. 2006 yılında Sakarya Figen Sakallıoğlu Anadolu Lisesinden mezun oldu. 2006 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünü 2011 yılında bitirdi. 2011 yılında Sakarya Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Yapı bilim dalında yüksek lisans eğitimine başladı. Şu anda Sakarya Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümünde, Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır.