

# FARKLI KESİT GEOMETRİLERİNE SAHİP BETONARME KOLONLARIN DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

\*<sup>1</sup>Naci Çağlar, <sup>2</sup>Abdulhalim Akkaya, <sup>1</sup>Aydın Demir, <sup>1</sup>Hakan Öztürk  
\*<sup>1</sup>Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, Sakarya Üniversitesi, Türkiye  
<sup>2</sup>Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, Sakarya Üniversitesi, Türkiye

## Özet:

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

Betonarme kolon davranışının kavranabilmesi, kesit davranışının iyi bilinmesi ile mümkündür. Kesit davranışı ise, en sağlıklı biçimde moment-eğrilik ilişkisi üzerinden elde edilir.

Bu çalışmada, eşit kesit alanına ve farklı kesit geometrisine sahip betonarme kolon modellerinin davranışı ve bu davranışa eksenel kuvvetin, boyuna donatı oranının, enine donatı oranının ve beton basınç dayanımının etkisi analitik olarak incelenmiştir. Kolonların davranışları, malzemelerin doğrusal olmayan davranışı göz önüne alınarak moment-eğrilik ilişkisi üzerinden elde edilmiştir. Bu amaçla daire, kare ve dikdörtgen kesitli kolon modelleri oluşturulmuştur. Oluşturulan modellere ait moment-eğrilik ilişkileri XTRACT programı ile elde edilmiş ve grafik halinde sunulmuştur. İncelenen parametrelerin kolon davranışına etkileri, etkin eğilme rijitliği, eğrilik sünekliği ve kesit dayanımı açısından değerlendirilmiştir.

## INVESTIGATION OF RC COLUMN BEHAVIOUR HAVING DIFFERENT GEOMETRY

## Abstract:

**Anahtar kelimeler:** 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 study, 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. The behavior of RC columns is observed via moment-curvature relationship by taking into account the nonlinear properties of materials constituting members. For this purpose several RC column sections having different geometry are proposed and moment-curvature relationships of them are obtained by using XTRACT program. 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.

## 1. Giriş

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 malzemedan oluşmaktadır. Bu iki malzemedan betonun davranışı gevrek, çeliğin davranışı ise sünekler. Beton doğrusal-elastik olmayan davranış sergilerken, donatı çeliğinin elasto-plastik davrandığı, yani akma gerilmesine ulaşınca kadar doğrusal elastik, akma gerilmesini aştıktan sonra ise plastik davranış sergilediği kabul edilir. Bu iki malzemenin birleşiminden meydana gelen betonarme malzemesinin davranışı ise nonlineer olup hem betonun, hem de çeliğin mekanik özelliklerinden etkilenmektedir (Ersoy ve Özcebe, 2012).

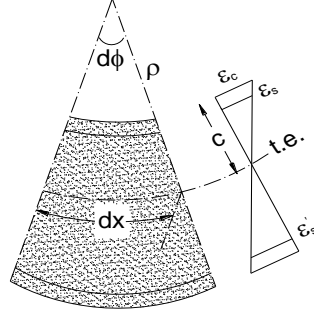
Betonarme yapı elemanlarının davranışını, elemana ait kesit davranışı belirlemektedir. Kesit davranışı, kesitte kullanılan malzeme, kesitin geometrisi ve kesite etki eden yüklemelere bağlıdır. Eğilme etkisi altında ki bir kesitin davranışı ise en sağlıklı biçimde moment eğrilik ilişkisinden belirlenebilir.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

Bu çalışmada, eşit en kesit alanına sahip dairesel, kare ve dikdörtgen betonarme kolon kesit modelleri belirlenmiş ve bu modellerin davranışına boyuna donatı oranının, aksenal kuvvet düzeyinin ve enine donatı oranının etkisi araştırılmıştır. Kolon modellerinin davranışları, moment-eğrilik ilişkileri üzerinden incelenmiştir. Moment-eğrilik ilişkileri ise malzemelerin doğrusal olmayan davranışlarının göz önüne alındığı XTRACT v3.0.9 programı ile elde edilmiş ve grafik halinde sunulmuştur. İncelenen parametrelerin davranışa etkileri, etkin eğilme rijitliği, eğrilik sünekliği ve kesit dayanımı üzerinden değerlendirilmiştir.

## 2. Moment-Eğrilik

Betonarme yapı elemanlarının davranışının anlaşılabilmesi için kesit davranışının iyi bilinmesi gerekir. 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).

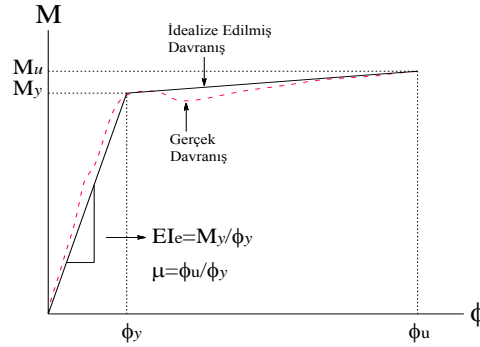
Eğilme etkisi altındaki bir kesitte meydana gelen birim dönme açısı eğrilik olarak adlandırılır. Bir elastik eğri üzerindeki iki nokta arasındaki açının, bu iki nokta arasındaki uzunluğa bölünmesi ile elde edilir. Figure 1'de eğilme etkisi altındaki bir kesite ait deformasyon şekli gösterilmiştir. Bağlantı 1'de ise, eğriliğin matematiksel tanımı yapılmıştır.



Şekil 1. Eğilme ve aksenal yük altında deforme olmuş eleman parçası (Çağlar vd., 2013)

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

Betonarmeyi oluşturan donatı çeliği ve beton malzemesi farklı davranış özelliklerine sahiptir. Donatı çeliğinin davranışının elasto-plastik olduğu ve çekme ile basınç gerilmeleri altındaki davranışının özdeş olduğu varsayılır. Beton ise doğrusal olmayan bir davranışa sahip olup çekme ve basınç gerilmeleri altında farklı deformasyon özelliklerine 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. İdealize edilmiş moment-eğrilik ilişkisi (Akkaya, 2014)

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( $\phi_u$ ), çekme donatısının aktığı anda kesitte oluşan eğriliğe( $\phi_y$ ) oranıdır.

$$\mu = \frac{\phi_u}{\phi_y} \quad (2)$$

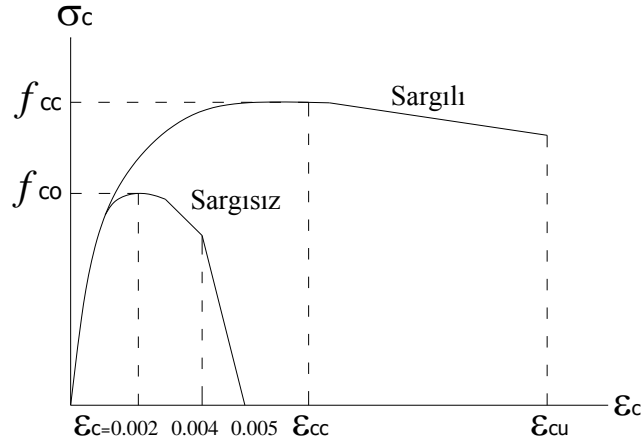
Sunulan bilineer eğrideki ilk doğrunun eğimi, çatlama kesite ait etkin eğilme rijitliğine( $EI_e$ ) karşılık gelmektedir.

$$EI_e = \frac{M_y}{\phi_y} \quad (3)$$

### 3. Malzeme Modelleri

#### 3.1. Sargılı ve sargısız beton için tercih edilen model

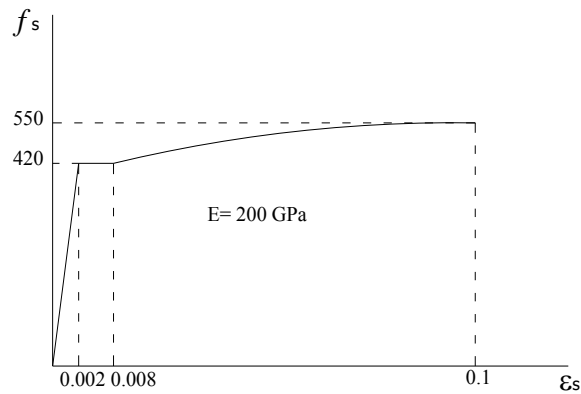
Beton sınıfı olarak C25 seçilmiştir. Betonun yatay donatılarla sarılmış çekirdek bölgesi ve sargısız kabuk kısmı için, TDY-2007 Bilgilendirme Eki 7B.1' de verilen Mander (1988) beton modeli kullanılmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. Mander sargılı ve sargısız beton gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri ( TDY-2007 )

#### 3.2. Donatı çeliği için tercih edilen model

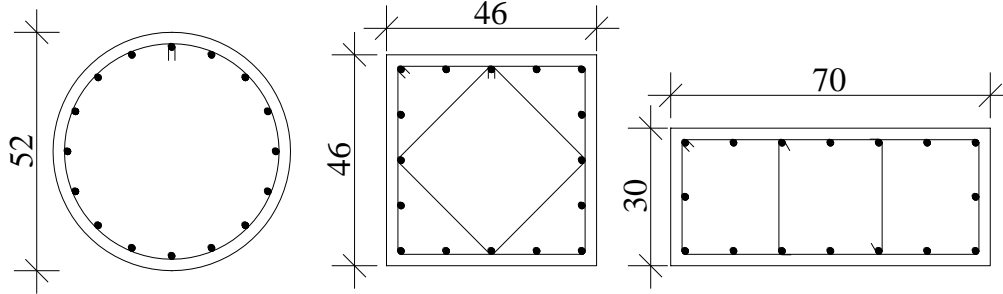
Bu çalışmadaki tüm kesit modelleri için, donatı çeliği olarak S420 seçilmiştir. Donatı çeliği davranış modeli için, TDY-2007 Bilgilendirme Eki 7B.2' de verilmiş olan gerilme-birim şekil değiştirme eğrilerinden faydalanılmıştır (Şekil 4).



Şekil 4. S420 donatı çeliği gerilme-birim şekil değiştirme eğrisi ( TDY-2007 )

#### 4. Sayısal Çalışma

Bu çalışmada, betonarme kolon kesitlerine ait tasarım parametrelerinin, kolon davranışı üzerindeki etkileri incelenmek amacıyla, yaklaşık olarak eşit en kesit alanına sahip dairesel, kare ve dikdörtgen kolon modelleri oluşturulmuştur. Oluşturulan bu modellerin moment-eğrilik ilişkisi XTRACT sonlu elemanlar programıyla elde edilmiştir.



Şekil 5. Kolon modellerine ait kesitler

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

Kesitlere etkiyen maksimum aksinel kuvvet aşağıdaki koşulları sağlayacak şekilde belirlenmiştir.

$$N_{dm} \leq 0,5 A_c f_{ck} \quad (\text{TDY-2007}) \quad (4)$$

$$N_d \leq 0,6 A_c f_{ck} \quad (\text{TS-500}) \quad (5)$$

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

$$\rho_t = \frac{A_{st}}{A_c} \quad (6)$$

$$\rho_{tmin} \geq 0.01 \quad (7)$$

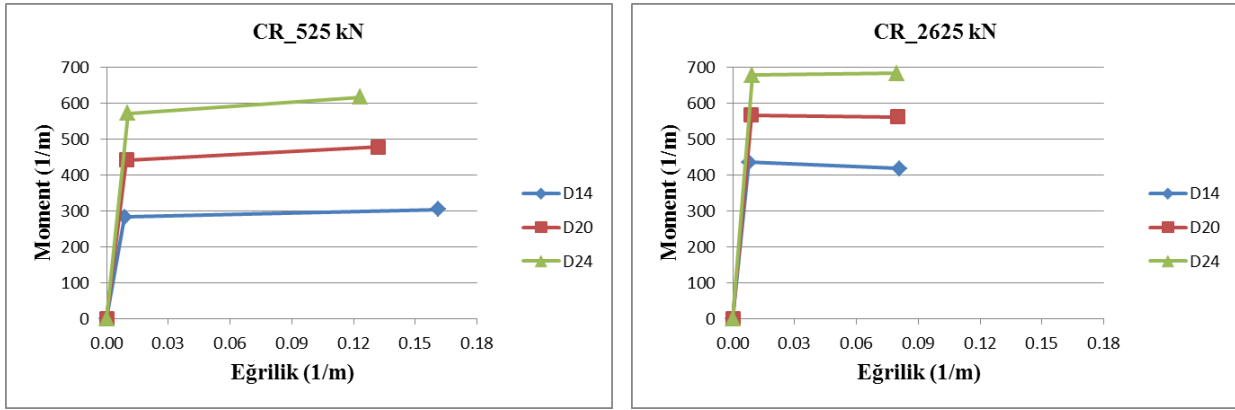
$$\rho_{tmax} \leq 0.04 \quad (8)$$

Tablo 1. Kolon modellerine ait kesit özellikleri

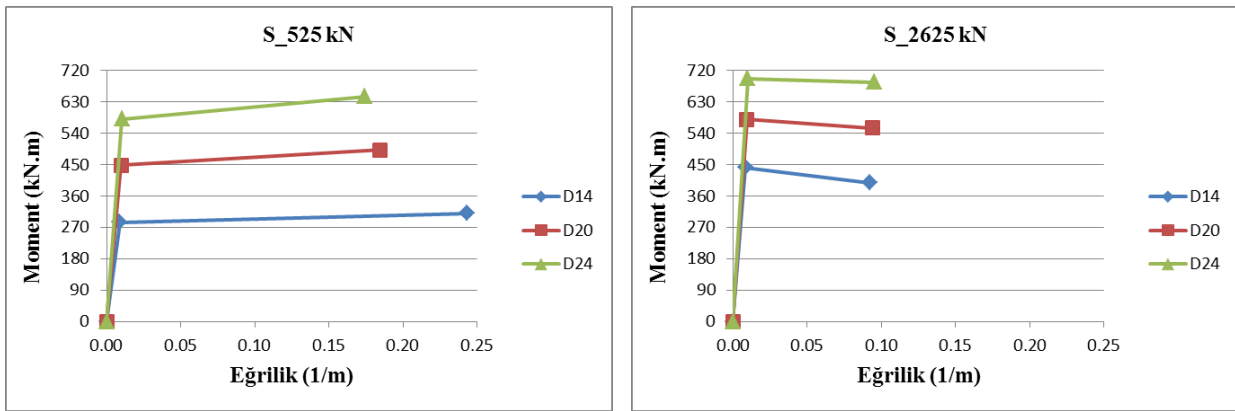
Kesit No	Kesit Boyutları (mm)			En Kesit Alanı (cm <sup>2</sup> )	Paspayı Pp (mm)	Boyuna Donatı Sayısı	Boyuna Donatı Çap Aralığı (φ) (mm)	Boyuna Donatı Oranı Aralığı (%)	Enine Donatı Çap Aralığı (mm)	Beton Basınç Dayanımı F <sub>ck</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	Eksenel Kuvvet Aralığı (kN)
	d <sub>0</sub>	b	h								
CR	520	-	-	2124	25	16	14-24	1.160 – 3.408	φ10/80-φ14/80	25	525-2625
S	-	460	460	2116	25	16	14-24	1.165 – 3.422	φ10/80-φ14/80	25	525-2625
REC	-	700	300	2100	25	16	14-24	1.173 – 3.448	φ10/80-φ14/80	25	525-2625

#### 4.1 Boyuna donatı oranı değişimi

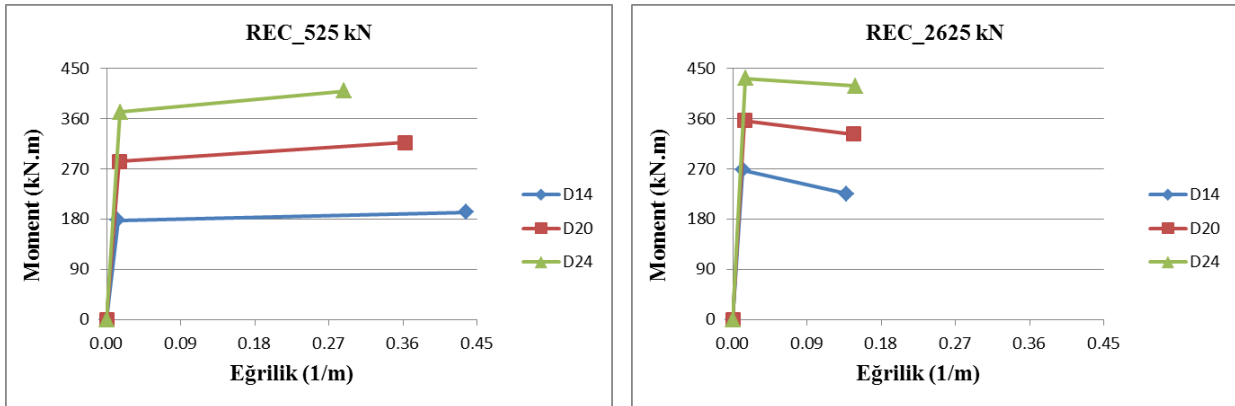
Boyuna donatı oranının kesit davranışı üzerindeki etkisini incelemek amacıyla, her bir model 3 farklı boyuna donatı çapı ile tasarlanmıştır (φ14, φ20, φ24). Tasarlanan bu modeller iki farklı aksinel kuvvet etkisi altında incelenmiştir. Sonuçlar grafik halinde sunulmuştur.



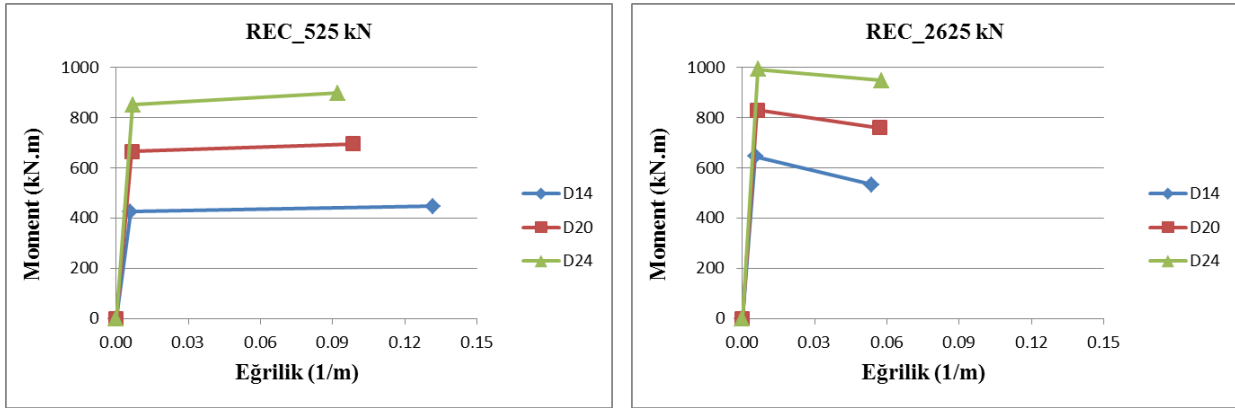
Şekil 6. Dairesel kolonlarda boyuna donatı değişimi



Şekil 7. Kare kolonlarda boyuna donatı değişimi



Şekil 8. Dikdörtgen kolonlarda boyuna donatı değişimi (Zayıf Doğrultu)

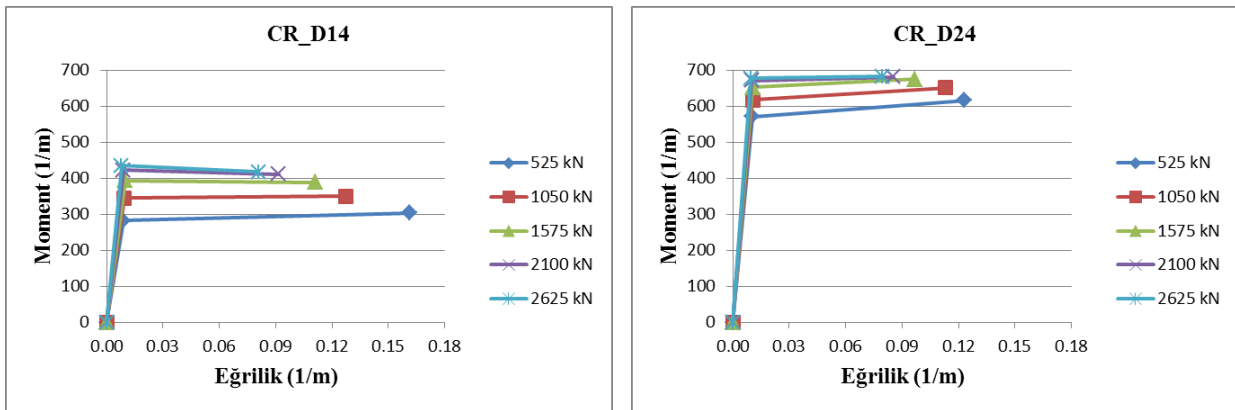


Şekil 9. Dikdörtgen kolonlarda boyuna donatı değişimi (Kuvvetli Doğrultu)

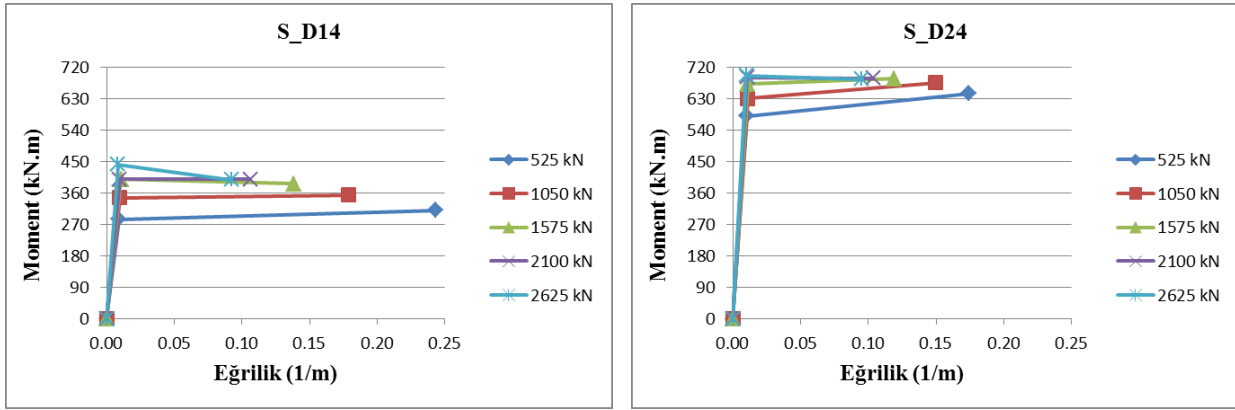
Grafikler incelendiğinde, aksenal kuvvetin düşük olduğu kesitlerde, boyuna donatı oranı artışıyla birlikte kesitlerin etkin eğilme rijitlikleri ve dayanımlarının arttığı, sünekliğin ise azaldığı görülmektedir. Aksenal kuvvetin hakim olduğu kesitlerde ise, boyuna donatı oranı artışı ile kesitlerin etkin eğilme rijitlikleri ve dayanımlarındaki artış belirginken, süneklik açısından değişimler, ihmal edilebilecek düzeydedir. Ancak kare ve dikdörtgen kesitlerin grafikleri dikkatli incelendiğinde süneklik değerinde artış meydana geldiği görülecektir. Ayrıca dikdörtgen kesitlerde zayıf doğrultu, kuvvetli doğrultuya göre daha sünek davranmıştır.

#### 4.2 Aksenal kuvvet değişimi

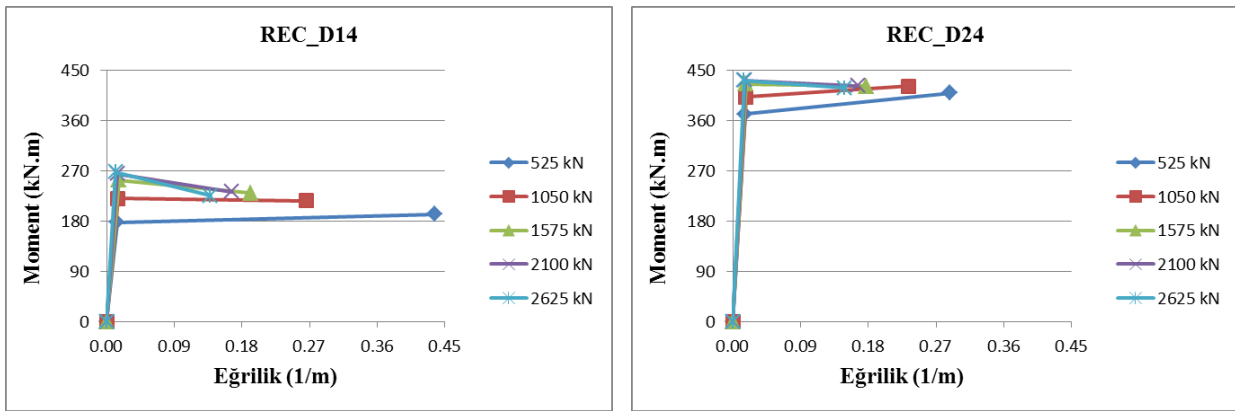
Aksenal kuvvet düzeyinin kesit davranışı üzerindeki etkisini incelemek amacıyla, modeller 5 farklı aksenal kuvvet altında tasarlanmıştır (525, 1050, 1575, 2100, 2625 kN). Ayrıca kesitler iki farklı boyuna donatı seçilerek değerlendirilmiştir ( $\phi 14$ ,  $\phi 24$ ). Sonuçlar grafik halinde sunulmuştur.



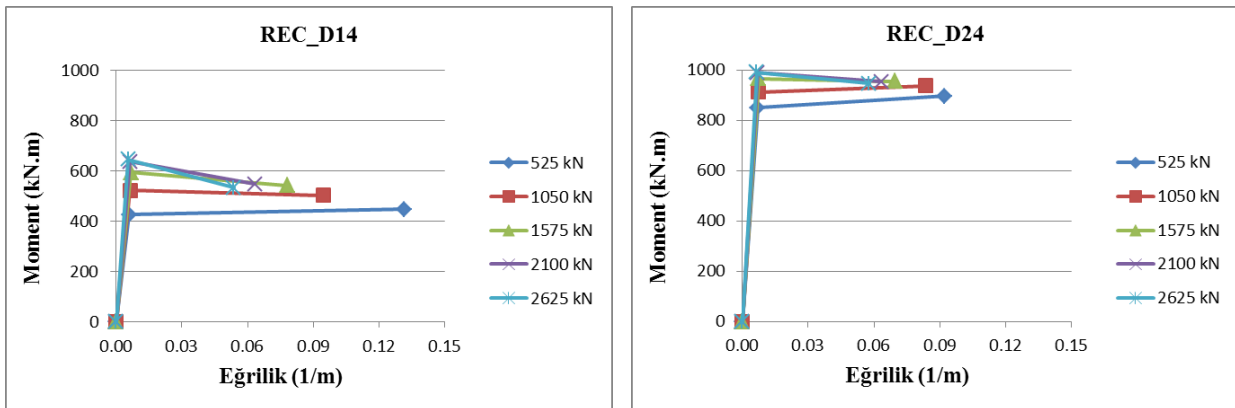
Şekil 10. Dairesel kolonlarda aksenal kuvvet değişimi



Şekil 11. Kare kolonlarda aksel kuvvet değişimi



Şekil 12. Dikdörtgen kolonlarda aksel kuvvet değişimi (Zayıf Doğrultu)



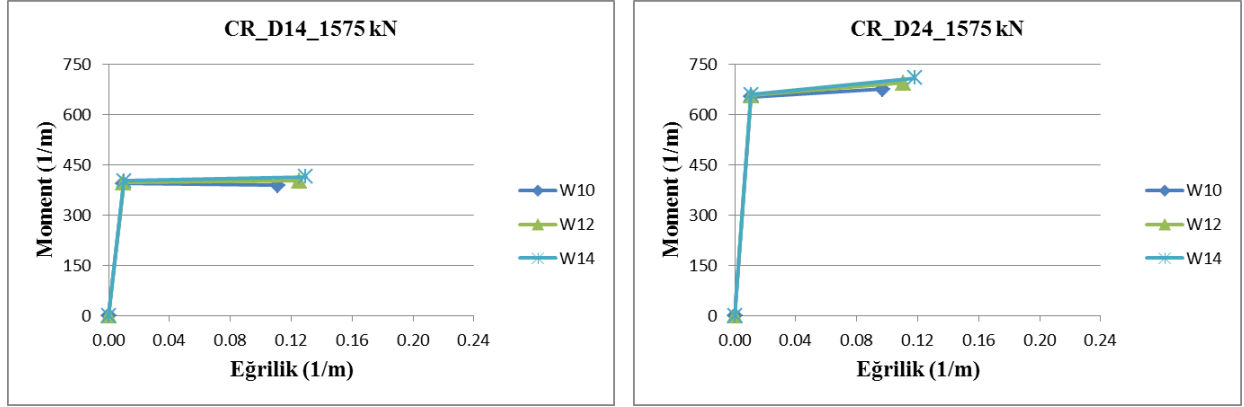
Şekil 13. Dikdörtgen kolonlarda aksel kuvvet değişimi (Kuvvetli Doğrultu)

Boyuna donatı oranının düşük ve yüksek olduğu kesitler için verilen grafikler incelendiğinde, aksel kuvvet artışıyla birlikte kesitlerin elastik bölgedeki dayanımlarında ve etkin eğilme rijitliklerinde artış meydana geldiği, ancak plastik bölgedeki dayanımlarında ve süneklik kapasitelerinde önemli derecede azalma meydana geldiği görülmektedir.

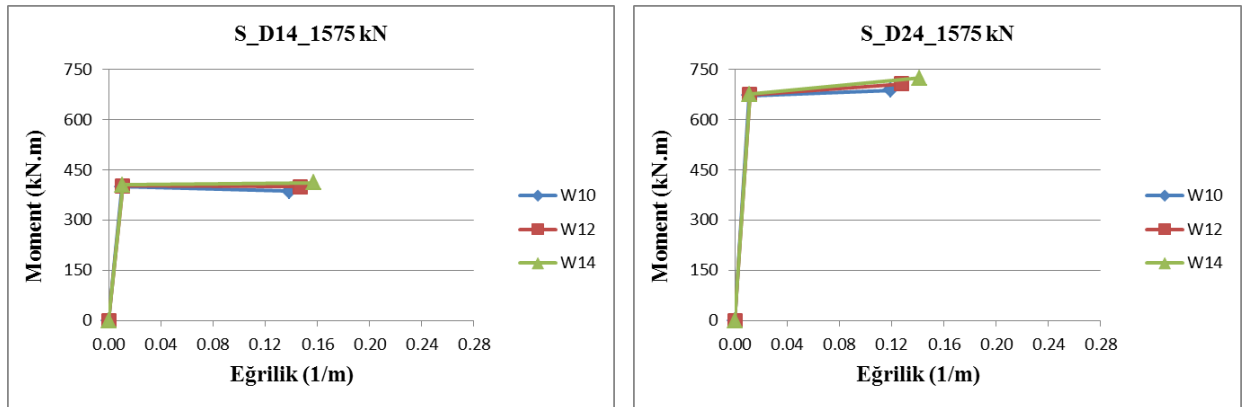


### 4.3 Enine donatı oranı değişimi

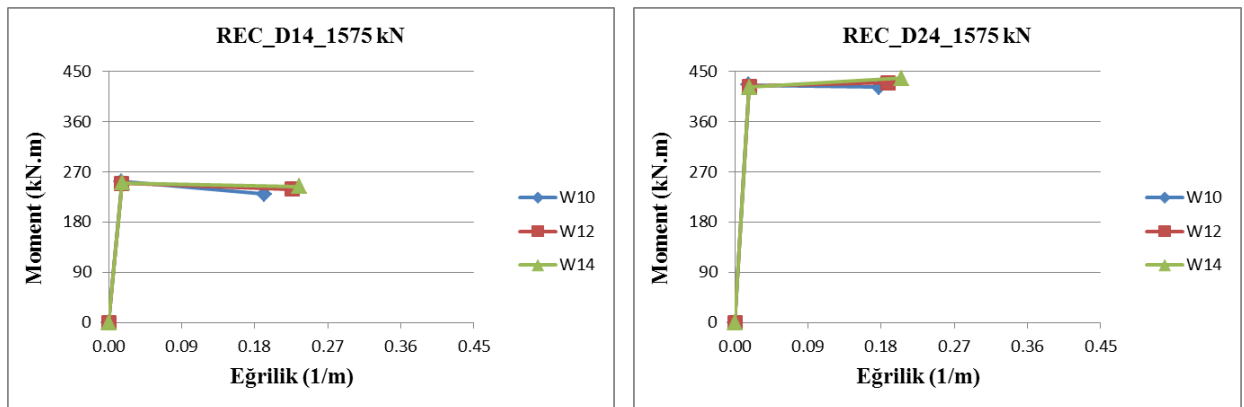
Enine donatı oranının kesit davranışı üzerindeki etkisini incelemek amacıyla, modeller için 3 farklı enine donatı çapı seçilmiştir. Enine donatı adım aralığı sabit tutulmuştur. Her bir kesit 1575 kN eksenel kuvvet altında tasarlanmıştır. Ayrıca kesitler iki farklı boyuna donatı seçilerek değerlendirilmiştir ( $\phi 14$ ,  $\phi 24$ ). Sonuçlar grafik halinde sunulmuştur.



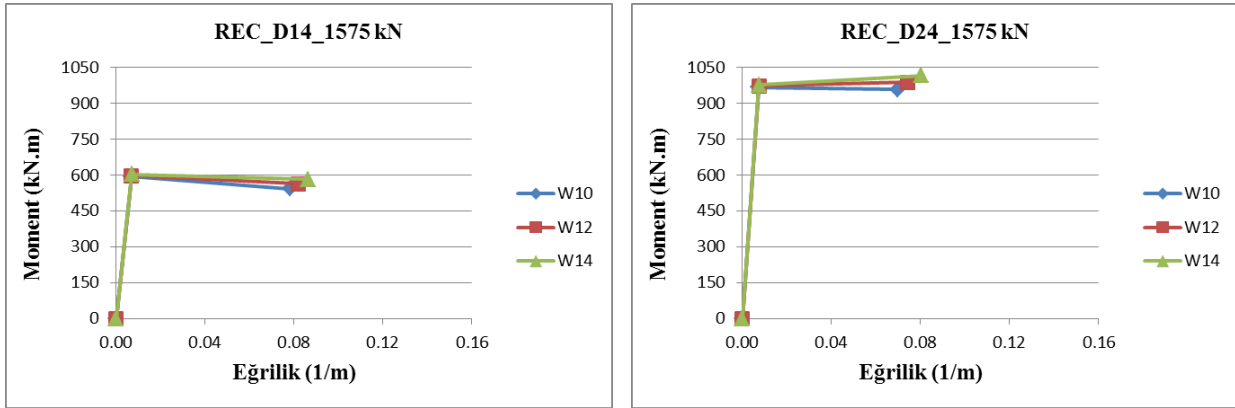
Şekil 14. Dairesel kolonlarda enine donatı değişimi



Şekil 15. Kare kolonlarda enine donatı değişimi



Şekil 16. Dikdörtgen kolonlarda enine donatı değişimi (Zayıf Doğrultu)



Şekil 17. Dikdörtgen kolonlarda enine donatı değişimi (Kuvvetli Doğrultu)

Her iki boyuna donatı oranı için verilen grafikler incelendiğinde, enine donatı oranı artışının, kesitin etkin eğilme rijitliği ve kesitin elastik bölgedeki dayanımı üzerinde ihmal edilebilecek düzeyde etki oluşturduğu görülürken, kesitin plastik bölgedeki dayanımını ve kesit sünekliğini olumlu yönde etkilediği görülmektedir.

## 5. Sonuç

Bu çalışmada kolon tasarım parametrelerinin, kolon davranışı üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla, eşit en kesit alanına sahip dairesel, kare ve dikdörtgenden oluşan kolon modelleri oluşturulmuş ve bunlara ait kesitlerin moment-eğrilik ilişkileri grafik halinde sunulmuştur.

Analiz sonuçları değerlendirildiğinde aşağıdaki sonuç ve önerilere varılmıştır;

-Boyuna donatı oranı etkisinin araştırıldığı kesitlerde:

Eksenel kuvvetin düşük olduğu kesitlerde, boyuna donatı oranı artışıyla birlikte kesitlere ait dayanım ve etkin eğilme rijitliklerinde gözle görülür bir artış meydana gelirken kesit sünekliklerinde ise azalma meydana gelmiştir. Eksenel kuvvetin yüksek düzeyde olduğu kesitlerde boyuna donatı artışı, kesitlerin dayanımları ve etkin eğilme rijitliklerini olumlu yönde etkilerken, kesit sünekliklerini ise ihmal edilebilecek düzeyde etkilemiştir.

-Eksenel kuvvet etkisinin araştırıldığı kesitlerde:

Eksenel kuvvet artışıyla birlikte kesitlerin elastik bölgedeki dayanımlarında ve etkin eğilme rijitliklerinde artış meydana gelirken, plastik bölgedeki dayanımlarında ve süneklik kapasitelerinde önemli derecede azalma meydana gelmiştir. Eksenel kuvvetin davranış üzerindeki etkisi boyuna donatı oranının düşük olduğu kesitlerde daha belirgin gözükmemektedir.

-Enine donatı oranı etkisinin araştırıldığı kesitlerde:

Enine donatı oranı artışıyla birlikte, kesitlerin plastik bölgedeki dayanımlarında ve kesit sünekliklerinde gözle görülür artışlar meydana gelirken, kesitlerin etkin eğilme rijitlikleri ve elastik bölgedeki dayanımlarında ihmal edilebilecek düzeyde değişimler meydana gelmiştir.

Genel olarak incelenen parametrelerin etkisi, kesit geometrilerine göre değişiklik göstermezken, kesitteki diğer parametrelerin etkinlik düzeyine göre değişiklik gösterebilmektedir. Bundan dolayı herhangi bir tasarım parametresinin kesit davranışı üzerindeki etkisi incelenirken, diğer parametrelerinde farklı düzeylerde ki durumları da göz önünde bulundurulmalıdır. Aksi takdirde öngörülerimiz ve yorumlarımız yetersiz ve eksik kalacaktır.

### ***Kaynaklar:***

- [1] CANBAY, E., ERSOY, U., ÖZCEBE, G., SUCUOĞLU, H., WASTI, S. T., Binalar İçin Deprem Mühendisliği Temel İlkeler. 1. dü. Ankara: Bizim Büro, 2008.
- [2] ERSOY, U., ÖZCEBE, G., Betonarme. 3. dü. İstanbul: Evrim Yayınevi, 2012.
- [3] DEMİR, A., ÇAĞLAR, N., Dairesel Betonarme Kolonlarda Çatlamış Kesite Ait Etkin Eğilme Rijitliklerinin İrdelenmesi. Sakarya, ISITES2013, 2013.
- [4] AKKAYA, A., Betonarme Kolon Davranışının Moment Eğrilik İlişkisi İle Parametrik Olarak İncelenmesi. Sakarya: SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 2014
- TS500, Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları. Ankara: Türk Sandartları Enstitüsü, 2000.
- [5] DBYBHY, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik. s.l.:Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 2007.
- [6] TS500, Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları. Ankara: Türk Sandartları Enstitüsü, 2000.
- [7] XTRACT v.3.0. Cross-sectional X structural analysis of components, Imbsen Software Systems, 9912 Business Park Drive, Suite 130 Sacramento, CA 95827.