

FRET ÖZELLİKLERİNİN FRETİLİ KOLON DAVRANIŞINA ETKİLERİ

Mehmet Baran

Kırkkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kırkkale, Türkiye
Telefon: +90 (318) 357 42 42 / 1254
e-posta : mbaran@kku.edu.tr

Özet— Bu çalışmada, fret özelliklerinin bileşik eğilme ve eksenel yük altındaki fretli kolonların davranışına etkileri incelenmiştir. Çalışmanın amacı Türk [1] ve Amerikan Beton Enstitüsü'nün Yönetmeliklerinde [2] önerilen iki adet denklemden birine göre hazırlanan deney elemanlarını test etmek ve sonuçları ayrıntılı açıklamak olduğundan altı adet fretli kolon elemanı bileşik eğilme ve eksenel yük altında test edilmiştir [3, 4, 5]. Deney elemanlarının değişken parametreleri toplam beton alanının çekirdek beton alanına oranı ve fretin akma dayanımıdır. Yönetmelikte verilen ve eksenel yüklenmiş kolon davranışını esas alan denklemlere göre hazırlanan kolon numunelerinin deneysel moment-eğrilikleri ve sonuçları irdelenmiş, ayrıca analitik olarak elde edilmiş eğrilikler ile de karşılaştırılmıştır.

Anahtar Sözcükler — Fretli Kolon, Bileşik Eğilme ve Eksenel Yük, Moment-Eğrilik, Fret Akma Dayanımı

Abstract— In this study, effects of spiral steel characteristics on the behaviour of spiral columns under combined bending and axial load were investigated. Since the object of this study was to test spiral columns designed according to the two equations given in the Turkish [1] and American Concrete Institute's Codes [2] and to report the results comprehensively, six spiral column specimens were tested under combined bending and axial load [3, 4]. The variable parameters used in this study were the ratio of the gross concrete area to the confined core area and the yield strength of the spiral steel. Experimental Moment-Curvature graphs and test results of the columns designed according to the current Code equations, based on the axially loaded column behavior, were investigated, and additionally compared with the graphs obtained from the analytical studies.

Index Terms— Spiral Column, Combined Bending and Axial Load, Moment-Curvature, Yield of Spiral Steel

I. GİRİŞ

Sargılı betonun mekaniği ile ilgili kuramsal ve deneysel çalışmaların başlangıcı 1900'lere kadar uzanmaktadır. O zamandan bugüne, sargılı beton mekaniğine yüzlerce araştırmacının büyük katkıları olmuştur. Öte yandan, bazı

konularda hala tartışılmaya açık ve sonuçlandırılmayı beklemektedirler.

Betonarme kolonlarda sargı donatısı olarak dairesel etriye, dikdörtgenel etriye, kanca ve dairesel fret kullanımı sıkça karşılaşılan durumlardır. Sargı donatısı betonarme kolonda kesme donatısı olarak kullanılır, çekirdek betonu sargılayarak sünekliğinin ve dayanım artışı sağlar ve de ileri eğrilik safhalarında boyuna donatının burkulmasını engeller. Tipik yapılarda, dikdörtgen kolonların yapımı, dairesel kolonlardan daha kolay olduğundan, dikdörtgenel etriye kullanımı yaygındır. Fakat, dairesel kolonların sismik ve rüzgar yükleri altındaki davranışları, onları köprü ayağı olarak inşa edilmelerinde vazgeçilmez yapmaktadır. Tipik yapılarda, kolon-kiriş birleşim bölgelerinde detaylandırma zorlukları olmaktadır.

Normal ve yüksek dayanımlı fretli kolonlarla ilgili yaptıkları çalışmalarda Dash ve Ahmad [5], beton basınç dayanımı, kolon boyuna donatısı bulunması, dairesel kesitin çapı, sargı donatısı miktarı ve yükleme hızı gibi birçok değişkeni kapsayan bir gerilme-birim deformasyon modeli önermişlerdir. Priestley, Park ve Potangaroa [6], yüksek eksenel yük seviyelerinde, kolonun sargılanmış uzunluğunun artırılması gerektiğini bildirmişlerdir. Deney sonuçlarına göre, sargı donatısının hacimsel oranını veren Kaliforniya Yapı Mühendisleri Birliği / Amerikan Beton Enstitüsü denklemleri düşük eksenel yük seviyelerinde fazla, eksenel yük seviyesi 0.5fckAck seviyesinden yüksek değerler içinse biraz yetersiz sonuçlar vermektedir. Yeni Zelanda yönetmeliğinde yer alan ve en az fret hacim oranını veren denklemlerde, kolon eksenel yük seviyesi hesaba katılmaktadır. Martinez, Nilson ve Slate [7], hafif betonlu kolonların fret donatısının, normal kolonlarınkine göre %60 daha az etkili olduğu sonucuna varmışlardır. Yazarlara göre eğer fret hacimsel oranı, kabuk betonun çatlayıp dökülmesinden dolayı oluşan eksenel yük kapasitesindeki azalmanın, sargı etkisinden dolayı oluşan eksenel yük kapasitesindeki artışa eşitlenmesi ilkesi ile hesaplanırsa, hafif betonlu kolonlardaki fret hacimsel oranının normal betonlu kolonlardaki oranın 2.7 katı olması gerekmektedir. Cusson ve Paultre [8] yüksek dayanımlı kolonların gerilme-birim deformasyon eğrilerindeki tepe ve kırılma noktalarına denk gelen deformasyon değerlerinin fret

hacimsel oranı ile orantılı olarak arttığını, fakat bu değerlerin düşük dayanımlı kolon değerlerine göre çok düşük mertebelerde olduklarını belirtmişlerdir. Yazarlar ayrıca, Amerikan Beton Enstitüsü Yönetmeliğinde yer alan fretli kolon hacimsel oranını hesaplayan denklemlerin hafif betonlu kolonlara uygulanmaması gerektiğini savunmuşlardır. Ahmad ve Shah [9] çalışmalarında, hafif betonlu kolonlardaki sargı donatısının dayanım ve sargılama açısından normal betonlu kolonlardakine göre daha az etkili olmaktadır.

Mander, Priestley ve Park [10], yüksek dayanımlı sargı donatısındaki muhtemel erken kırılma ve bu sebeple sargı etkisindeki azalmanın mevcut sünekliğin düşmesine yol açabileceğine dikkat çekmişlerdir. Zahn, Park ve Priestley [11] çalışmalarında hacmi yönetmeliğe göre hesaplanan, düşük dayanımlı fret donatısı yerine yüksek dayanımlı donatı kullanıldığında nihai beton deformasyon değerindeki düşüşe dikkat çekmişlerdir. Bu davranışın da yüksek dayanımdan ötürü azalmış fret miktarının, çekirdek betondaki deformasyon enerjisini daha az emdiğinden kaynaklandığını belirtmişlerdir. Sheikh ve Toklucu [12] çalışmalarında, betonda maksimum gerilme olduğu anda spiral donatısının aktığı sonucuna ulaşmışlardır. Cusson ve Paultre [13] etriye donatısının akma dayanımındaki artışın yeterli miktarda dayanım ve sertlikle sadece yeterli şekilde sargılanmış kolonlarda sonuçlandığı noktasına dikkat çekmişlerdir.

Samra, Nidal ve Madi [14] Amerikan Beton Enstitüsü yönetmeliğinde yer alan fret hacimsel oranını hesaplayan denkleme, eksantriklik/kolon çapı oranının fonksiyonu olan değişkene bağlı bir katsayı eklemeyi önermişlerdir. Fretli kolonları için, yönetmelikteki denklemden elde edilen sonuç bu katsayı ile çarpılmaktadır. Yazarlar ayrıca, mevcut yönetmelik denklemlerinden elde edilen sargı donatısı miktarı, yüksek eksantrisite değerleri için düşük, eksenel yüklü kolonlar içinse yüksek kalmaktadır.

Yürürlükte olan yönetmeliklerde [1, 2] minimum fret oranını veren denklem, eksenel basınç altındaki kolonun ikinci tepe noktasındaki dayanımın birinci tepe noktasındaki dayanıma eşit olmasına dayanmaktadır.

Bilindiği üzere sargı donatısı sargılama etkisiyle kolonun hem kapasitesini hem de sünekliğini artırır. Eksenel yükler altında Poisson etkisiyle kolonun çekirdek betonunda oluşan yanıl deformasyon sargı donatısının sargılama etkisiyle sınırlanır ve bu sayede kolonun hem kapasitesi hem de sünekliği artar. Fretli kolonlarda, Poisson etkisiyle oluşan yanıl deformasyonu sınırlayan yanıl basınç radyal yönde düzenli dağıldığından, çözüm için "ince cidarlı silindir analojisi" kullanılabilir.

Yönetmeliklerde [1, 2] fretli kolonlar için fret hacimsel oranını veren denklem aşağıdaki gibidir;

$$\rho_s = 0.45 \frac{f_{ck}}{f_{ywk}} \left(\frac{A_c}{A_{ck}} - 1 \right) \quad (1)$$

Bu denklemde (Ac/Ack) oranı 1'e ulaştığında, hacim oranı sifıra yaklaşır ki, bu da denklemin fiziksel olayı açıklamaktan uzak olması anlamına gelir. Mesela, Ac/Ack oranı 1.0 olduğunda, Denklem 1 kabullenilemeyecek bir sonuç olan

$\rho_s=0$ ile sonuçlanmaktadır. Bu sebeple yönetmeliklerde, ρ_s 'e bir alt sınır getiren ikinci bir denklem sunulmaktadır:

$$\rho_s = 0.12 \frac{f_{ck}}{f_{ywk}} \quad (2)$$

Denklem 2, eksenel yüklü kolon elemanlarıyla yapılan deneyleri esas alan deneysel bir denklemdir. Yönetmeliklerdeki hacimsel fret oranının (Denklem 1 veya Denklem 2) daha yüksek verildiği denklemin kullanılması gerekmektedir:

- Ac/Ack değeri is 1.0 ile 1.27 arasında Denklem 2,
- Ac/Ack değeri 1.27'den büyük ise Denklem 1 kullanılmaktadır.

Bu çalışmanın deneysel kısmında altı adet fretli kolon yönetmelik denklemlerine göre hazırlanıp bileşik eğilme ve eksenel yük altında test edilmiştir. Deney elemanları üzerine uygulanan eksenel yük seviyesi yaklaşık Türk Deprem Yönetmeliğinde [1] izin verilen en yüksek miktar kadar olmuştur (i.e. $N \approx 0.5A_c f_{ck}$). Deney parametreleri tüm beton alanının çekirdek beton alanına oranı, Ac/Ack ve sargı donatısının akma dayanımı, f_{ywk} 'dir.

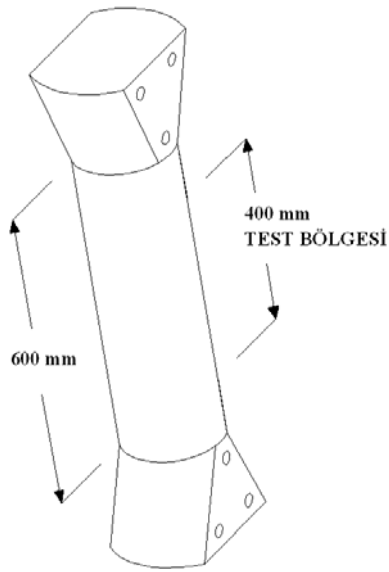
II. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

A. Deney Elemanları

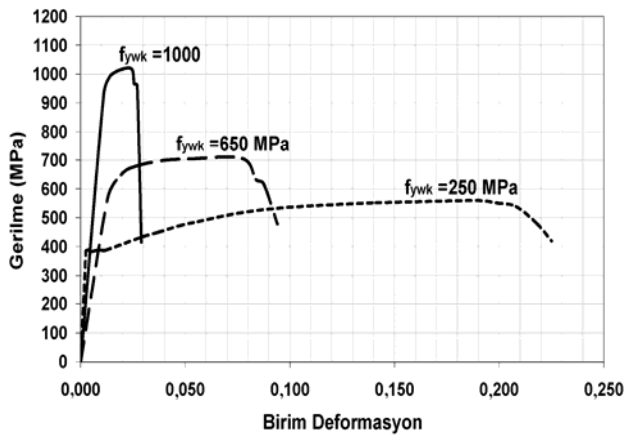
Deney elemanlarının yükseklikleri 1000 mm'dir. Deney elemanının ortasındaki 400 mm test bölgesi olarak kabul edilmiş ve bütün deformasyon ölçümleri bu bölgede yapılmıştır. Deney elemanlarında test bölgesinin çapı 200 mm'dir. Deney elemanının üç boyutlu görünütüsü Şekil 1'de verilmektedir.

B. Malzeme

Deney elemanlarının beton basınç dayanımları 20 MPa olarak hedeflenmiş, fret hacimsel oranları hedef dayanım değeri üzerinden hesaplanmıştır. Fret donatısı olarak üç farklı donatı tipi kullanılmıştır. Fret olarak kullanılan donatıların gerilme-birim deformasyon grafikleri Şekil 2'de verilmektedir. Bütün kolonlarda boyuna donatının yerleşimi ve oranı aynı tutulmuş ve aynı boyuna donatıdan kullanılmıştır. Deney elemanlarının tasarım detayları ve özellikleri Tablo 1'de verilmektedir.



Şekil 1. Deney elemanının üç boyutlu görüntüsü



Şekil 2. Fret Donatılarının Gerilme-Birim Deformasyon Grafikleri

Bütün kolonlarda boyuna donatının yerleşimi ve oranı aynı tutulmuş ve aynı boyuna donatıdan kullanılmıştır.

C. Deney Düzeni

Deneyler ODTÜ Yapı Mekaniği Laboratuvarında, çelik bir çerçeve altında gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneğinin ayrıntıları Şekil 3' de verilmiştir. Deney elemanları, biri altta diğeri üstte deney düzeneğinde iki adet mafsal üzerine oturtulmuştur. Altta mafsal sisteminin üzerine yerleştirilen çelik bir plakanın üzerine deney elemanları bağlanmıştır. Üstteki mafsal sisteminin üzerine yerleştirilen çelik plaka da 1000 kN'luk yükölçerlerin oturacağı sağlam bir zemin oluşturmuştur.

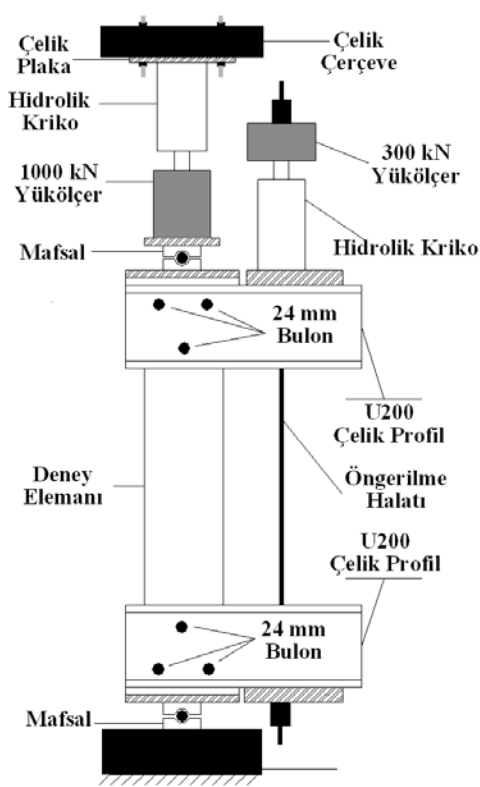
TABLE I
DENEY ELEMANLARININ* TASARIM DETAYLARI VE
ÖZELLİKLERİ

Kolon	FK1	FK2	FK3	FK4	FK5	FK6
A_c/A_{ck}	1,10	1,10	1,10	1,29	1,29	1,29
D_g (mm)	200	200	200	200	200	200
D (mm)	191	191	191	176	176	176
ρ_s 'in hesaplandığı denklem	2	2	2	1	1	1
ρ_s (%) [$\times 10^{-3}$]	9,1	3,8	2,5	10,0	4,1	2,7
Boyuna donatı çapı (mm)	10	10	10	10	10	10
Sargı donatısı çapı (mm)	4,0	4,0	2,5	4,0	4,0	2,5
Sargı donatısı gen. (s) (mm)	29	70	42	29	70	41
f_c (Hedeflenen) (MPa)	20	20	20	20	20	20
f_{ck} (MPa)	22,1	23,8	24,2	23,3	21,9	22,9
f_y (MPa)	410	386	386	410	386	386
f_{su} (MPa)	574	560	560	574	560	560
f_{ywk} (MPa)	250	650	1000	250	650	1000

* Boyuna donatı olarak altı adet $\phi 10$ çubuk kullanılmıştır.

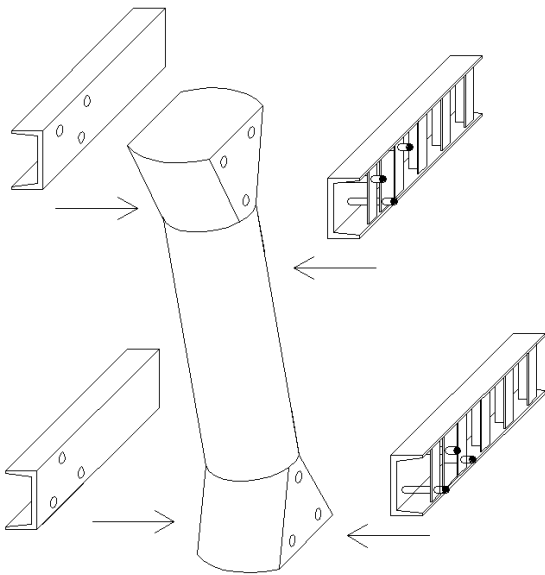
Eğilme etkisini deney elemanına uygulayabilmek için laboratuvarında özel bir düzenek imal edilmiştir. İki adet üstte iki adet altta olmak üzere toplam dört adet U200 çelik profil deney elemanının alt ve üst başlıklarına 24 mm'lik çelik bulonlar kullanılarak sabitlenmişlerdir. Bu yüzden deney elemanları, alt ve üst kısımlarının iki yüzünde üçgenel ve düz alanlar oluşacak şekilde üretilmişlerdir. Biri altta diğeri üstte elemana sabitlenen çelik profillere yatay şekilde gelecek iki adet çelik plaka yerleştirilmiştir. Üstteki plaka hidrolik krika ve yük hücreğine sağlam bir zemin oluşturmuştur. Deney elemanının üzerine eğilme yükü, çelik profiller, plakalar, öngerilme halatı ve hidrolik krika yardımıyla uygulanmıştır. Eğilme etkisini uygulamak için imal edilen düzenek Şekil 4' de gösterilmiştir.

Deney elemanlarının yanal ötelenmeleri üç adet LVDT ile, bileşik eğilme altındaki kolonda oluşan eğilmeler elektronik komparatörlerle ölçülmüşlerdir. Yük ölçümleri iki adet yükölçer ile gerçekleştirilmiştir. Eksenel yükü ölçmek için kullanılan yükölçerlerin kapasitesi 1000 kN, eğilme etkisi verecek yükü ölçmek için kullanılan yükölçerlerin kapasitesi 300 kN' dur. Deney elemanları bileşik eğilme ve eksenel yük altında test edildikleri için yük uygulamaları iki adet hidrolik krika ile yapılmıştır. Hidrolik krikolardan birisi deney elemanın üzerine sabit eksenel yükü uygularken diğeri de eğilme etkisi için yükü uygulamıştır. LVDT ve yükölçerlerin yerleştirilmesi Şekil 5' de gösterilmiştir. Elektronik olarak yapılan tüm ölçümler bir bilgisayarda depolanmış ve deneyin gelişimi monitörde oluşturulan moment-eğrilik grafiği izlenerek yönlendirilmiştir.

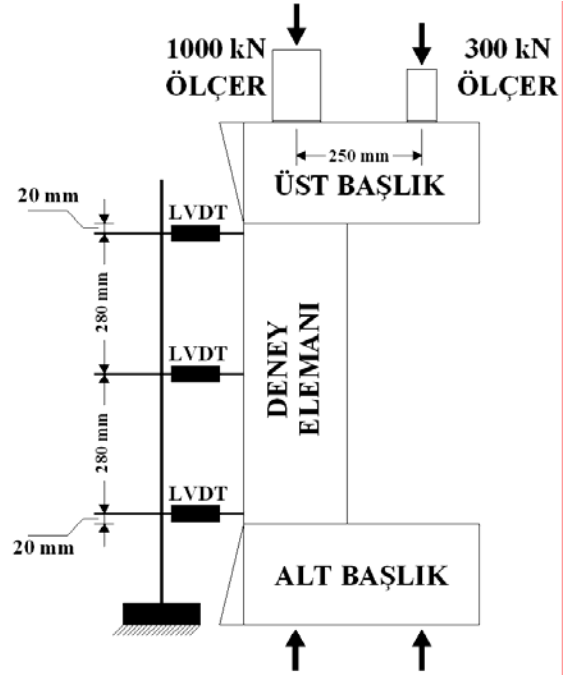


Şekil 3. Deney düzeneği

Deney esnasında eleman üzerine uygulanan toplam yük sabit tutulmaya çalışılmışsa da eğilme etkisini verecek yükün önce artan sonra da azalan olması yüzünden, bu mümkün olmamıştır. Toplam yükün büyük bölümünün oluşturduğu aksel yük deney esnasında sabit tutulmuştur. Toplam yükteki değişim deney verilerinin analizi esnasında göz önünde bulundurulmuştur.



Şekil 4. Eğilme etkisi için hazırlanan düzenek



Şekil 5. LVDT ve yükölçerlerin yerleştirilmesi

III. DENEY SONUÇLARI

A. Genel

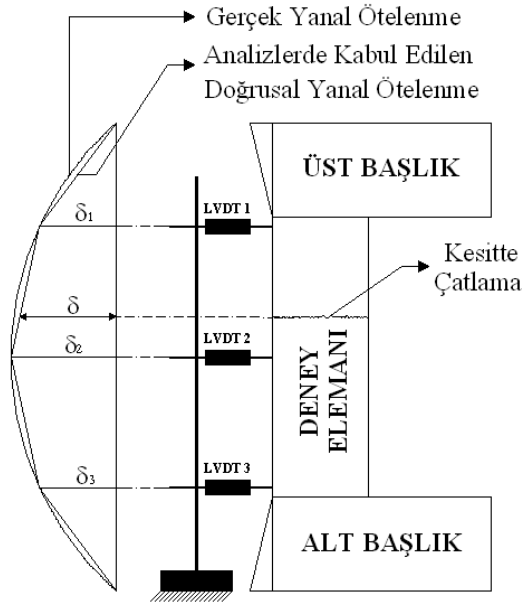
Elemanların deney esnasında taşıdıkları toplam moment değerleri bulunurken ikinci derece momentler de hesaba katılmışlardır. Şekil 6'da gösterildiği üzere, fretli kolon test bölgesi içinde yar alan ve en fazla zorlanıp çatlamasının olduğu kesitteki yanal ötelenme, LVDT okumaları arasında lineer interpolasyon yapılarak bulunan yanal ötelenme değerine eşit kabul edilmiş ve deney analizlerinde ikinci derece momentin moment kolu uzunluğu olarak alınmıştır.

Deneyel momentler aşağıda verildiği şekilde hesaplanmıştır;

$$\text{Toplam Moment} = N x \delta + P x (e + \delta) \quad (3)$$

burada,

- N : Uygulanan aksel yük,
- P : Uygulanan eğilme etkisini verecek yük,
- e : P'nin kolon kesitinin merkezinden uzaklığı (bütün kolonlar için 250 mm)
- δ : Çatlamasının olduğu kesitin yanal ötelenmesi (lineer enterpolasyonla)



$\delta_1, \delta_2, \delta_3 =$ LVDT 1, LVDT2, LVDT3
ötelenme değeri
 $\delta =$ Kabul edilen ötelenme
değeri

Şekil 6. Deneysel Elemanın Yanıl Ötelenmesi

B. Deneysel Sonuçlarının Karşılaştırılması

Bileşik eğilme ve eksenel yük altındaki kolonların sünekliklerinin karşılaştırılabilmesi için değişik kriterler belirlenebilir. İki temel karşılaştırma;

- Daha önceden belirlenmiş bir eğrilik değeriinde moment değeri karşılaştırılması,
- Daha önceden belirlenmiş bir moment taşıma kapasitesindeki eğrilik değeri karşılaştırılması şeklinde yapılabilir.

Fakat, her iki karşılaştırma şekli de bu çalışmanın kapsamını tam ifade edemeyebilir. Bu sebepten dolayı, her iki maddedeki karşılaştırma şeklinde de elemanların moment-eğrilik davranışları bir bütün olarak dikkate alınacaktır.

Birinci yöntem için, kolon sünekliği karşılaştırma indisi aşağıdaki şekilde tanımlanabilir:

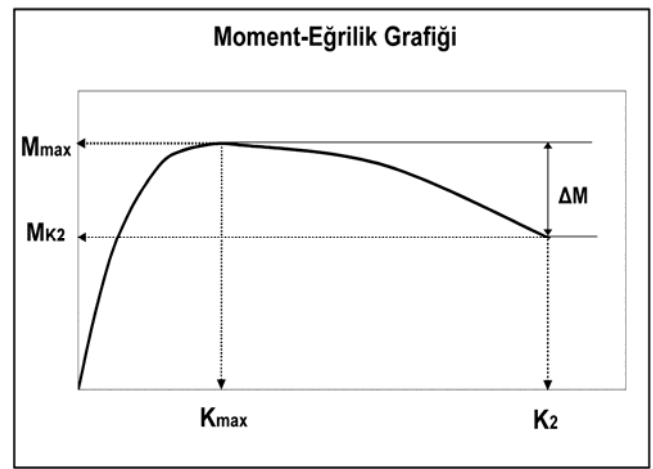
$$\mu_K = \frac{K_2}{K_{max}} \quad (4)$$

Bu tanım gereği μ_K , fretli kolonun test esnasında ulaştığı en yüksek eğrilik değerinin, maksimum moment taşıma kapasitesine denk gelen eğrilik değerine oranını vermektedir.

İkinci yöntem için, kolon sünekliği karşılaştırma indisi aşağıdaki gibi tanımlanabilir:

$$\mu = \frac{M_{K2}}{M_{max}} \quad (5)$$

Bu tanım gereği μ , fretli kolonun iki ayrı eğrilik değerlerindeki moment taşıma kapasitelerinin oranını vermekte ve değerinin 1.0 olması kolonun moment kapasitesinde hiçbir azalma olmaması anlamına gelmektedir. Tepe noktasından sonraki kısımların eğimlerinin karşılaştırılması esasına dayanan süneklik karşılaştırılması yöntemi Şekil 7’de gösterilmektedir. Burada M_{max} kolonun moment taşıma kapasitesini, K_{max} bu moment değeriinde kolonun eğrilik değerini vermektedir. K_2 deney elemanının test esnasında ulaştığı en büyük eğrilik değeri ve M_{K2} ise bu eğrilikteki moment taşıma kapasitesidir. Sonuçlar Tablo 2’de özetlenmektedir.



Şekil 7. Tipik bir moment-eğrilik grafiği

Bütün deney elemanlarının beton basınç dayanımı deneylerin gerçekleştirildiği günlerde hedeflenen değeri (20 MPa) aşmıştır. Kolonların fret hacimsel oranı hedeflenen beton basınç dayanımına (20 MPa) göre hesaplanmış olduğundan kolonlarda daha fazla sargı donatısı olması gerekmektedir. Bu durum Tablo 3’de özetlenmektedir.

Deneysel elemanlarının deneysel moment-eğrilik karşılaştırmaları Şekil 8 ve Şekil 9’da verilmektedir. Grafikler ve Tablo 2’ de verilen kolon süneklik karşılaştırma indisleri μ ve μ_K ’nın değerleri incelendiğinde, kolonun test esnasında ulaşılabildiği maksimum eğrilik değeri, kolon fret donatısının sünekliği ile doğrudan ilişkili olduğu rahatça gözlemlenmektedir. Başka bir deyişle, kolon fret donatısı ne kadar sünek ise, kolonun test esnasında ulaşabildiği eğrilik değeri de yüksek olmaktadır. Akma dayanımı 250 MPa olan (kopmada birim deformasyon değeri 0.22) sünek fret donatılı deney elemanları test esnasında yaklaşık 0.33 rad/m eğrilik değerine ulaşırken, 650 MPa akma dayanımlı (kopmada birim deformasyon değeri 0.10) fretli deney elemanları yaklaşık 0.30 rad/m eğrilik değerine, 1000 MPa akma dayanımlı (kopmada birim deformasyon değeri 0.03) fretli deney elemanları yaklaşık 0.25 rad/m eğrilik değerine ulaşabilmişlerdir. Bu durum kolon süneklik indisi μ_K ’nın Tablo 2’de verilen

değerlerinden de anlaşılabilir. Akma dayanımı düşük sünek fretli kolon için μ_K değeri yüksek iken akma dayanımı yüksek gevrek fretli kolon için μ_K değeri düşük çıkmıştır. FK2, FK3 ve FK6 elemanlarının testleri, fret donatılarında kopma meydana geldiği için sonlandırılmışlardır. Bu durum, 1000 MPa akma dayanımına sahip fretli elemanlar için beklenen bir durum olarak değerlendirilebilir, çünkü bu fret çekme testlerinde gevrek bir davranış sergilemiştir. FK5 elemanının testinde fret donatısında kopma olmamışken FK2 elemanının fret donatısında kopma olmuştur. Bu durumun, FK2 elemanının ulaştığı daha yüksek eğrilik değeriyle ilişkilendirilebilir. FK5 elemanının deney sonrası görüntüleri Şekil 10'da verilmiştir. Sünek bir davranış sergileyen 250 MPa akma dayanımlı frette sahip deney elemanları FK1 ve FK4 testlerinde daha yüksek eğrilik değerlerine ulaştığı halde, fret donatılarında kopma olmamıştır.

TABLO II
DENEY ELEMANLARININ SÜNEKLİK KARŞILAŞTIRMALARI

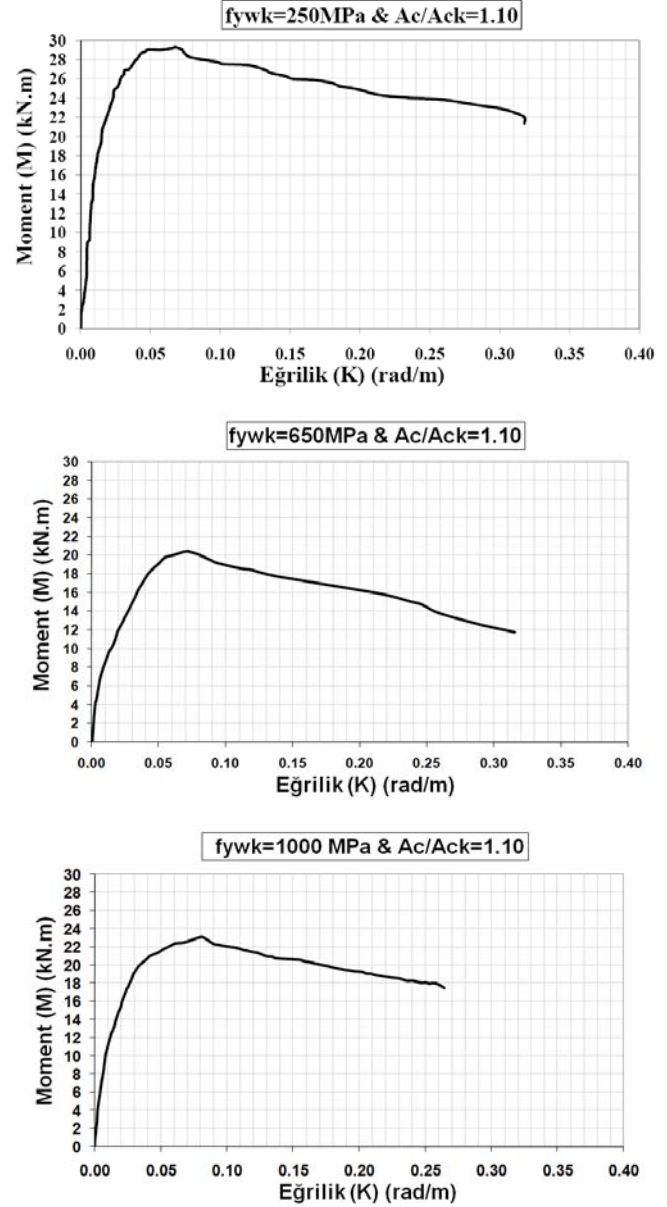
Eleman	$\frac{A_c}{A_{ck}}$	f_{yw}	$M_{maks.}$ (kN.m)	$K_{maks.}$ (rad/m)	K_2 (rad/m)	M_{K2} (kN.m)	μ_K	μ
FK1	1.10	250	29.2	0.068	0.317	22.1	4.66	0.76
FK2	1.10	650	20.4	0.073	0.315	11.8	4.32	0.58
FK3	1.10	1000	23.1	0.080	0.265	17.5	3.31	0.76
FK4	1.29	250	25.4	0.067	0.353	18.4	5.27	0.72
FK5	1.29	650	18.5	0.081	0.300	10.6	3.70	0.57
FK6	1.29	1000	21.2	0.075	0.250	18.0	3.33	0.85

TABLO III
BETON BASINÇ DAYANIMINDAKİ SAPMANIN ETKİLERİ

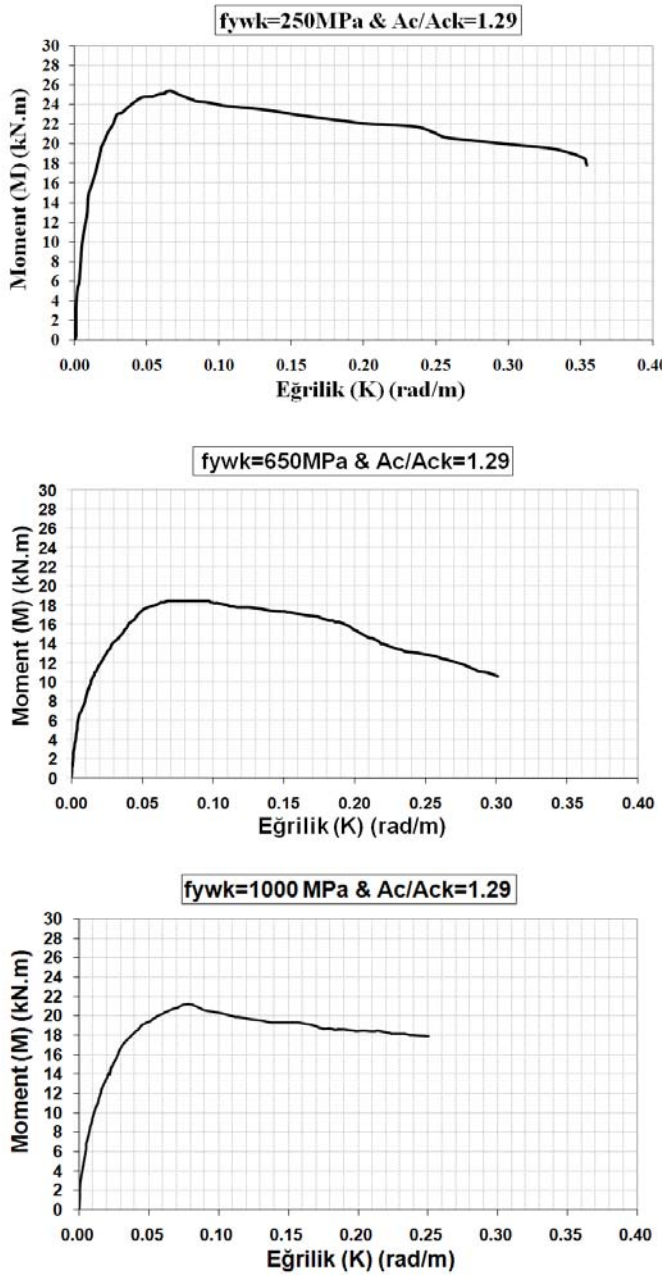
Deney Elemanı	FK1	FK2	FK3	FK4	FK5	FK6
Hedef f_c (MPa)	20	20	20	20	20	20
Gerçek f_c (MPa)	22.1	23.8	24.2	23.3	21.9	22.9
Gerekli ρ_s (Gerçek f_c ye göre)	0.0103	0.00441	0.00294	0.0119	0.00441	0.00307
Sağlanan ρ_s	0.0091	0.00377	0.00247	0.0100	0.00410	0.00269
Gerekli ρ_s 'ten sapma (%)	11.7	14.5	16.0	16.0	7.0	12.4
Gerekli Maksimum Eksenel Yük (kN)	349	374	380	365	344	360
Deneydeki Maks. Toplam Eksenel Yük (kN)	347	321	366	343	321	344
Eksenel Yükteki Sapma (%)	0.6	14.2	3.7	6.0	6.7	4.4

Akma dayanımları 250 ve 1000 MPa olan sünek ve gevrek davranış sergilemiş fretli kolonların testlerde ulaştıkları en yüksek eğrilik değerlerindeki momentler, maksimum değerlerine oranla yaklaşık %20 düşerken, bu değer 650 MPa'lık fretli kolonlar için yaklaşık %40 olmuştur. Tablo

1'de verilen deney elemanlarının özellikleri incelenecek olursa, fret aralıkları 650 MPa akma dayanımlı frette sahip kolonlarda en fazla çıkmıştır (fret aralığı ≈ 70 mm). Diğer elemanlar için sağlanan değerlere göre daha fazla olan bu aralık değeri kolonun moment taşıma kapasitesinde daha fazla bir düşüşe sebep olmuştur.



Şekil 8. Deneysel moment-eğrilik grafikleri ($A_c/A_{ck}=1.10$) (FK1-FK2-FK3)



Şekil 9. Deneysel moment-eğrilik grafikleri (Ac/Ack=1.29) (FK4-FK5-FK6)



Şekil 10. FK5 Kolonunun deney sonrası görüntüleri (Specimen FK5 after the test)

IV. SONUÇ

Gerçekleştirilen altı adet fretli kolon deneylerinden şu sonuçlara varılmıştır;

- Fret miktarı, fret aralığı fretli kolonların sünekliğini etkilemektedir. Fretli kolonlarda sünek bir davranış elde edebilmek için, fret aralığı ile ilgili limitler olmalıdır. Çünkü fret aralığı azaldığında süneklik artmaktadır.
- Deneylerde kullanılan fretin çekme testlerinde ulaşabildiği maksimum uzama değeri azaldığında deney elemanının ulaşabildiği maksimum eğrilik de azalmaktadır. Fretin uzama özelliği deney elemanının davranışını etkilemektedir.
- Deneylerin ileri safhalarında, deney elemanlarının kabuk betonlarında yerel çatlama, ezilme ve dökülmeler olmuştur. Bu durum, aksel yüklenmiş kolon davranışını esas alarak fret hacimsel oranını veren yönetmelik denklemlerinin doğruluğunun sınanması gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır.
- Yönetmelik denklemlerine göre, fretin akma dayanımı yükseldikçe kullanılması gereken fret hacimsel oranı azalmaktadır. Yüksek dayanımlı fretin yüksek dayanımlı betonla kullanılması gerekmektedir.

V. KAYNAKLAR

- [1] Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 2007, [in Turkish].
- [2] ACI Committee 318, "Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-02) and Commentary (318R-02)," American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan, 2002, 443 pp.
- [3] Baran, M., "An Experimental Investigation on the Minimum Confinement Requirement of Spiral Columns", M.Sc. Thesis, Department of Civil Engineering, Middle East Technical University, Ankara, 1999.
- [4] Dinçer, S., "A Study on the Minimum Confinement in Spiral Columns," M.Sc. Thesis, Department of Civil Engineering, Middle East Technical University, Ankara, 1999.
- [5] Baran, M., Dinçer, S., "Fretli Kolonlarla İlgili Deneysel Bir Çalışma", **Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi**, Cilt 26, No.2, 389-399, 2011.
- [6] El Dash, K.M., and Ahmad, S.H., "A Model for Stress-Strain Relationship of Spirally Confined Normal and High-Strength Concrete Columns," **Magazine of Concrete Research**, 47, No 171, June 1995, pp. 177-184.
- [7] Priestley, M.J.N., Park, R., and Potangaroa, R.T., "Ductility of Spirally-Confined Concrete Columns," **Journal of the Structural Division, ASCE**, January 1981, pp. 181- 202.
- [8] Martinez, S., Nilson, A., and Slate, F. "Spirally Reinforced High-Strength Concrete Columns," **ACI Journal**, September-October 1984, pp. 431-442.
- [9] Cusson, D., and Paultre, P., "Stress-Strain Model for Confined High-Strength Concrete," **Journal of Structural Engineering, ASCE**, 121 (3) 1995, pp. 468-477.
- [10] Ahmad, S.H., and Shah, S.P., "Stress-Strain Curves of Concrete Confined by Spiral Reinforcement," **ACI Journal**, November-December 1982, pp. 484-490.
- [11] Mander, J.B., Priestley, M.J.N., and Park, R., "Observed Stress-Strain Behaviour of Confined Concrete," **Journal of Structural Engineering, ASCE**, 114 (8) 1988, pp. 1827-1849.
- [12] Zahn, F.A., Park, R. and Priestley, M.J.N., "The Use of Grade 380 Steel for Transverse Confining Reinforcement in Columns," Bulletin of the

- New Zealand National Society for Earthquake Engineering, Vol. 20, No.2, June 1987, pp. 99-115.
- [13] Sheikh, S.A. ve Toklucu, M.T., "Reinforced Concrete Columns Confined by Circular Spirals and Hoops," **ACI Structural Journal**, 542-552, Eylül-Ekim 1993.
- [14] Cusson, D. ve Paultre, P., "Stress-Strain Model for Confined High-Strength Concrete," **Journal of Structural Engineering**, ASCE, Cilt 121, No 3, 468-477, 1995.
- [15] Samra, R., Nidal, D. A. A. ve Madi, U.R., "Transverse Steel Content in Spiral Concrete Columns Subjected To Eccentric Loading," **ACI Structural Journal**, 1-7, Temmuz-Ağustos 1996.
- [16] Özkaya, C., "An Analytical Study on Minimum Confinement in Spiral Columns", Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Müh. Bölümü, ODTÜ, Ankara, 2005.
- [17] Saatcioglu, M. ve Razvi, S. R., "Strength and Ductility of Confined Concrete", **Journal of Structural Engineering**, ASCE, Cilt 118, No 6, 1590-1607, 1992.

Semboller

A_e	: Fretli kolon kesitinin toplam beton alanı
A_{ek}	: Fretli kolonun çekirdek beton alanı
D	: Fretli kolonun çekirdek betonunun çapı
D_g	: Fretli kolon kesitinin çapı
f_{ek}	: Betonun karakteristik silindirik basınç dayanımı
f_{su}	: Kolon boyuna donatısının karakteristik alma dayanımı
f_{ywk}	: Enine donatının (fret) karakteristik akma dayanımı
$K_{maks.}$: Kolonun maksimum moment taşıma kapasitesindeki eğrilik değeri
K_2	: Kolonun test esnasında ulaştığı en yüksek eğrilik değeri
M_{K2}	: Kolonun önceden belirlenmiş K_2 eğrilik değerindeki moment taşıma kapasitesi
$M_{maks.}$: Kolonun maksimum moment taşıma değeri
P	: Eğilme etkisini verecek yük
N_d	: Kolon üstüne uygulanan toplam yük
δ	: Çatlamanın olduğu kesitin yanal ötelenmesi (lineer enterpolasyonla)
δ_1	: LVDT1 seviyesindeki kolon yanal ötelenme değeri
δ_2	: LVDT2 seviyesindeki kolon yanal ötelenme değeri
δ_3	: LVDT3 seviyesindeki kolon yanal ötelenme değeri
μ	: Kolon süneklik karşılaştırma indisi
μ_K	: Kolon süneklik karşılaştırma indisi
ρ_s	: Fret hacimsel oranı