

MANTOLAMA YÖNTEMİNİN DİKDÖRTGEN KESİTLİ BETONARME KOLONLARDA UYGULANILABİLİRLİĞİ

Bengi AYKAÇ ve Hüsnü CAN

İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Maltepe 06570, Ankara
baykac@gazi.edu.tr, husnucan@gazi.edu.tr

(Geliş/Received: 15.06.2007; Kabul/Accepted:26.11.2007)

ÖZET

Bugüne kadar kare ve daire kesitli betonarme kolonlarda mantolama yönteminin başarısını incelemek amacıyla pek çok araştırma yapılmıştır. Bunlardan farklı olarak bu çalışmada dikdörtgen kesitli elemanlar için mantolama yönteminin uygulanabilirliği araştırılmıştır. Bu deneysel çalışmada beş adet dikdörtgen kesitli betonarme kolon hazırlanmış ve bunlar üzerinde dokuz adet deneysel araştırma yapılmıştır. Ayrıca bunlara referans olması amacıyla da, bir adet monolitik (bir döküm) deney elemanı hazırlanmış ve test edilmiştir. Deney elemanlarına yüksüz ortamda onarım, güçlendirme ve yeniden onarım işlemleri uygulanmış ve konsantrik yükler altında test edilmişlerdir. Çalışmada; dayanım, rijitlik, süneklik gibi davranışı belirleyici değişkenler incelenmiştir ve mantolama yönteminin dikdörtgen kesitli kolonların da onarım ve güçlendirilmesinde başarıyla uygulanabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Betonarme kolon, mantolama, onarım, güçlendirme

THE APPLICABILITY OF THE JACKETING METHOD IN REINFORCED CONCRETE COLUMNS OF RECTANGULAR GEOMETRY

ABSTRACT

Numerous research studies have been conducted in order to determine the success of the jacketing method in columns of square and circular geometry. The distinction of the current study from the existing studies is the investigation of the applicability of the jacketing method for columns of rectangular geometry. In this experimental study, five rectangular reinforced concrete column specimens were prepared and nine experiments were conducted on these specimens. Besides, one monolithic (cast at once) reference specimen was produced and tested. Repair, strengthening and revival processes were performed on the specimens and tested under concentric loads. Parameters, such as strength, rigidity, and ductility were examined using the results obtained from these tests. Strength, rigidity, and ductility were examined and it concluded that the jacketing method can be applied for repair, strengthening, and re-repair of rectangular columns according to the results obtained from this experimental study.

Keywords: Reinforced concrete column, jacketing, repair, strengthening

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Çeşitli nedenler dolayısıyla yetersizliği anlaşılmış (yetersiz sistem tasarımı, donatı düzenleme kusurları, işçilik hataları, düşük dayanımlı beton kullanımı, yetersiz malzeme kullanımı gibi) betonarme kolonların rehabilitasyonunda kullanılan en yaygın yöntemlerden biri mantolama tekniğidir. Bu yöntemde; mevcut kolonun çevresine ilave boyuna donatı ve sargı donatısı konularak betonarme bir kabuk

oluşturmak suretiyle kolon kesiti büyütülür. Böylece kolonun eksenel, eğilme ve de kayma rijitliği artırılarak bu yüklere karşı yeterli güvenlikte olması sağlanmış olur. Önemli kısmı deprem kuşağında yer alan ülkemizde, yapıların depreme karşı güçlendirilmesi ya da onarılmasında bu yöntem oldukça sık kullanılmaktadır. Bu nedenle de, bugüne kadar yöntemin uygulanabilirliği ve değişkenliği yönünden pek çok araştırma yapılmış olduğu görülmektedir, [1-15]. Yapılan araştırmalarda, ele alınan kolon

kesitlerinin kare veya daire kesitli olduğu dikkat çekmiş, dikdörtgen kolonlarla ilgili yapılmış araştırmaya pek fazla rastlanmamıştır. Bu sebepten dolayı, dikdörtgen kesitlerin araştırıldığı, bu deneysel çalışma yapılmıştır, [11].

Kesit düzeyinde yapılan bu çalışmada onarılmış, güçlendirilmiş ve yeniden onarılmış kolonların davranış ve dayanımına ait deney sonuçları monolitik referans elemanın davranış ve dayanımları ile karşılaştırılmıştır. Deneyler sonucunda elde edilen verilerle yük-birim deformasyon eğrileri çizilmiş, bu eğriler üzerinde dayanım, rijitlik, süneklik ve enerji tüketimi gibi davranışı belirleyici değişkenler hakkında yorum yapılmıştır.

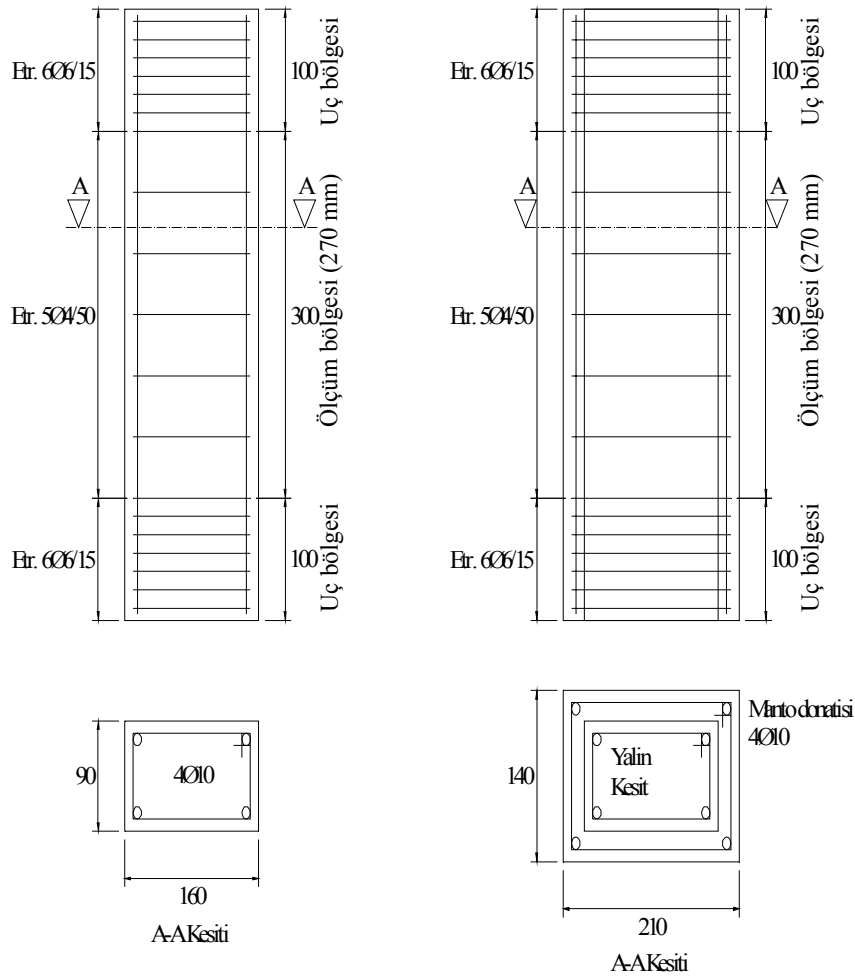
2. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL WORK)

2.1 Deneysel Elemanlar (Test Specimens)

Araştırmada güçlendirilecek kolonu temsilen 90 mm x 160 mm kesitli bir kolon (yalın kolon) ele alınmış ve bu kolon, yeni kesit boyutları 140 mm x 210 mm olacak şekilde mantolanarak büyütülmüştür. Bu doğrultuda kolon kesiti yaklaşık olarak iki katına

çıkartılmıştır. Mantolama yapılmadan önce uzun kenarın kısa kenara oranı $h/b \cong 1.8$ iken, mantolama yapıldıktan sonra bu oran 1.5 olarak değişmiştir. Çalışmada ele alınan kolonların tamamında bu oran sabit tutulmuştur. Ayrıca, Manto ve yalın kısmın boyuna ve enine donatı oranları çalışma boyunca eşit olacak şekilde sabit tutulmuştur. Elemanlar kesit düzeyinde inceleneneceğinden kolon boylarının 500 mm olması kararlaştırılmıştır. Çalışmada uygulamadaki güçlüklerden dolayı (eleman kesitinin küçük olması yüzünden) manto boyuna donatısı yalın kolonun boyuna donatısına herhangi bir şekilde kaynaklanmamıştır. Elemanlarda mantolama işlemi, kolonlarda yük yok iken yapılmış ve elemanlar konsantrik yükler altında denenmişlerdir. Çalışmada beş deney elemanı kullanılarak dokuz deney yapılmıştır. Onarılabilecek veya yeniden onarılabilecek elemanlarda yalın kolona sırasıyla orta ve ağır düzeyde hasar verilmiş, daha sonra manto uygulamasına geçilmiştir. Güçlendirme elemanlarında ise manto, hasarsız yalın kolona uygulanmıştır.

Bütün kolonların hem yalın hem de manto kısmında $4 \phi 10$ boyuna donatı kullanılmıştır. Aynı şekilde bütün



a) Yalın kolon

b) Mantolanmış ve monolitik kolon

Şekil 1. Deneysel elemanların boyut ve donatıları (Dimensions and reinforcements of test specimens)

deney elemanlarının ölçüm bölgesinde $\phi 4/50$ mm lik etriye kullanılırken, ölçüm bölgesi dışındaki bölgelerde ezilme olmaması için eleman uç bölgelerinde $\phi 6/15$ mm'lik etriyeler kullanılmıştır (Şekil 1). Ayrıca deney elemanlarının hasar görmesi istenen ölçüm bölgesinin uzunluğu ise 270 mm olarak tutulmuştur.

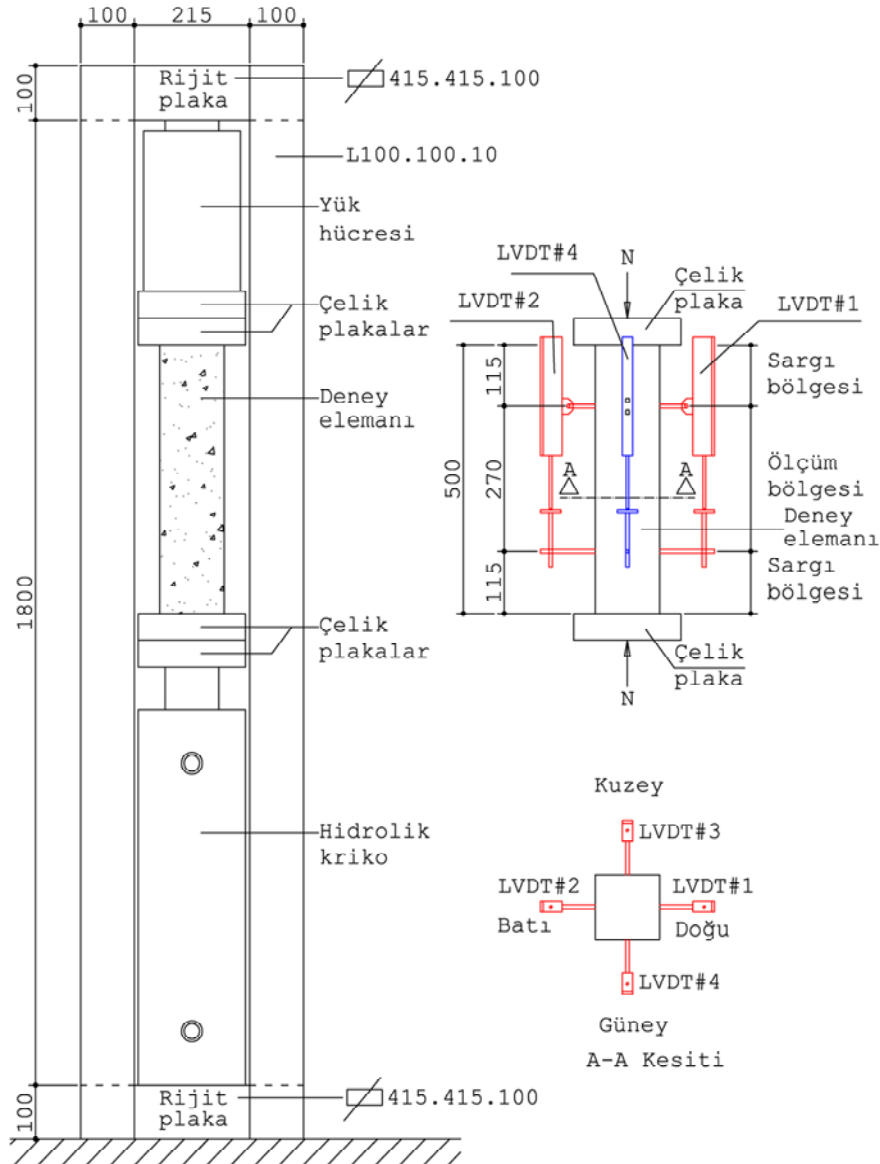
Deney elemanlarının özellikleri aşağıda kısaca tanımlanmıştır;

- Yalın kolon (B4): Mevcut kolonu temsil etmesi amacıyla hazırlanmıştır. Bu kolondan B4, B4-1, B4-2, B4-3 isimleri verilen dört adet üretilmiştir.
- Güçlendirilmiş Deney Elemanı (S4): Hasarsız olan mevcut kolonun dış yüzü pürüzlendirilmiş ve içinde mevcut kolondaki kadar enine ve boyuna donatı bulunan yeni bir betonarme katman eklenerek mantolama yapılmıştır.

- Onarılmış Deney Elemanı (R4): Yalın elemanlardan ikincisinde (B4-2) meydana gelen büyük ölçüde ezilmekten dolayı sadece iki adet deney elemanına (B4-1 ve B4-3) hasar verildikten sonra mantolama uygulanmıştır. Onarım yapılan deney elemanlarına da R4-1 ve R4-3 isimleri verilmiştir.

- Yeniden Onarılmış Deney Elemanı (RR4): Onarılmış deney elemanlarına ağır hasar verildikten sonra, yeniden onarım uygulaması amaçlanmışsa da, R4-1 deney elemanında burkulmuş olan boyuna donatılar düzeltilemediği için, yeniden onarım işlemi sadece R4-3 deney elemanına uygulanabilmiş ve ona da RR4-3 deney elemanı adı verilmiştir.

- Monolitik Deney Elemanı (M4): Mantolanmış elemanlara referans olması için hazırlanmıştır.



Şekil 2. Yük ve ölçüm düzeni (Load and measurement setup)

2.2 Malzeme Dayanımları (Material Strengths)

2.2.1 Beton (Concrete)

Test edilecek bütün deney elemanlarında aynı beton dayanımının tutturulması hedeflenmişse de, bütün beton karışım oranlarının ve kür özelliklerinin aynı olmasına rağmen, beton yaşlarındaki farklılıklardan dolayı elemanların hemen hemen tamamında farklı beton dayanımları elde edilmiştir. Fakat elemanların farklı beton dayanımlarıyla kıyaslanması doğru olmayacağından, bütün dayanımlar (en çok elde edilen değere göre) ortak bir değere çekilerek ($f_c=20$ MPa) normalize edilmişlerdir. Yapılan bütün değerlendirmeler bu yeni değere göre değiştirilmiştir. Değerlendirmelerin tümü normalize edilmiş sonuçlara göre yapılmıştır.

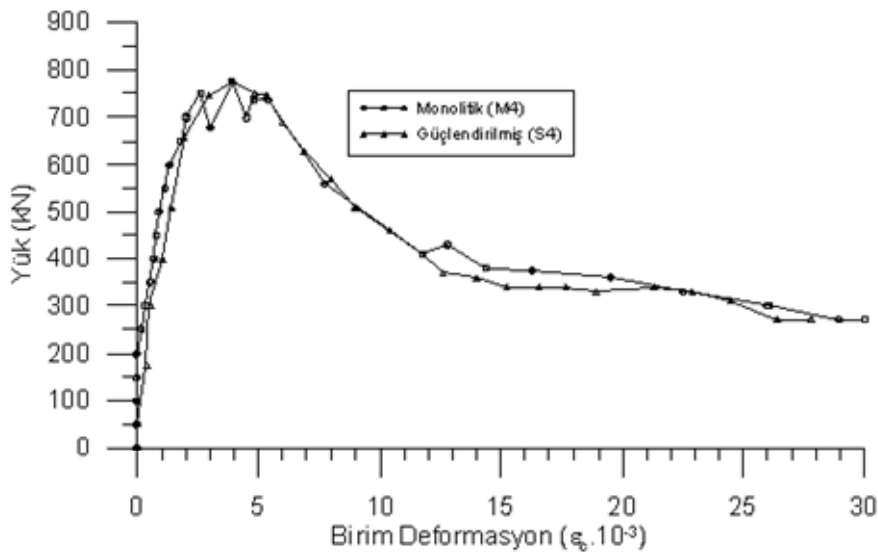
2.2.2 Donatı (Reinforcement)

Deney elemanlarında kullanılan donatı çeliğinden yeterli sayıda örnek alınıp test edildikten sonra kullanılan enine donatıların ortalama akma dayanımı $f_y=406$ MPa iken boyuna donatıların akma dayanımlarının da $f_y=387$ MPa olduğu ölçülmüştür.

3. DENEY DÜZENİ (TEST SETUP)

3.1 Yükleme Düzeni (Load Setup)

Deney elemanları Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Yapı Mekaniği Laboratuvarında bulunan kapalı bir çelik çerçevenin içerisinde test edilmişlerdir. Bu çelik çerçevenin alt ve üst uçlarında iki adet rijit kütük ve bu kütüğü köşelerden birbirlerine bağlayan dört adet L profilden oluşmuştur. Deney elemanlarına 2000 kN kapasiteli bir hidrolik krikolo ile yük uygulanmıştır. Yükün şiddeti ise yine 2000 kN kapasiteli bir yük ölçer (load-cell) aracılığıyla ölçülmüştür (Şekil 2).



Şekil 3. Güçlendirilmiş (S4) ve monolitik (M4) deney elemanlarının yük-birim deformasyon eğrilerinin karşılaştırılması (The comparison of load-strain curves between strengthened (S4) and monolithic (M4) test specimens)

3.2 Ölçüm Düzeni (Measurement Setup)

Deney elemanlarındaki deplasmanları ölçmek için elektronik deplasman ölçerler (LVDT'ler) kullanılmıştır. Bunların kullanımıyla deney sonucunda daha hassas ve sağlıklı değerlendirme yapmak mümkün olmuştur. Deney elemanlarının her bir yüzüne ve ölçüm bölgesi içerisinde olmak üzere döküm sırasında bırakılan çelik saplamalara dört adet LVDT bağlanmıştır (Şekil 2).

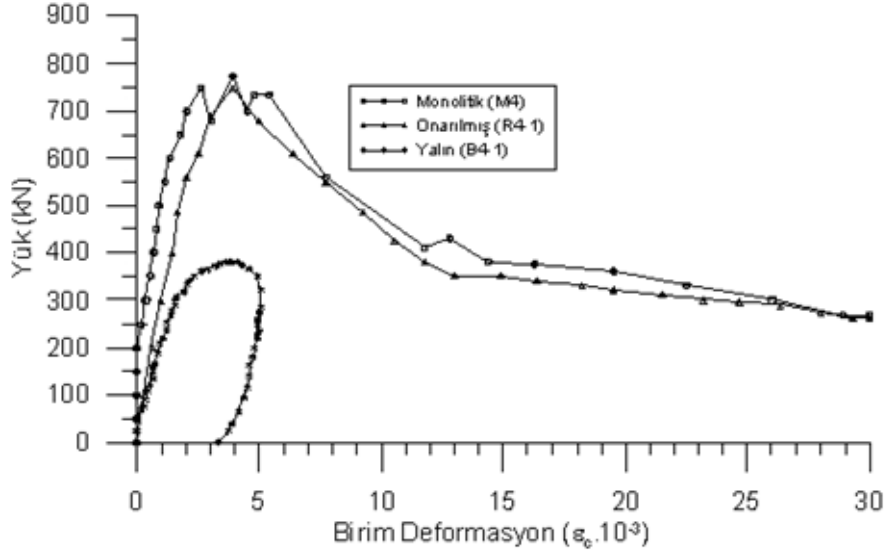
4. DENEY SONUÇLARI (TEST RESULTS)

Deney sırasında elemanlara yük verildikten sonra her bir yüzde meydana gelen deplasmanlar LVDT'ler ile okunmuştur. Okunan değerlerin ortalaması alınarak, her bir elemana ait yük-birim deformasyon eğrilerine göre; deney elemanlarının dayanım, dayanım azalması, enerji tüketme kapasitesi, süneklik ve rijitlikleri hakkında değerlendirme yapılmıştır. Yöntemin başarısının tespitinde de öncelikle güçlendirilmiş, onarılmış ve yeniden onarılmış elemanlar bir döküm (monolitik) elemanla karşılaştırılmıştır (Şekil 3, Şekil 4, Şekil 5, Şekil 6).

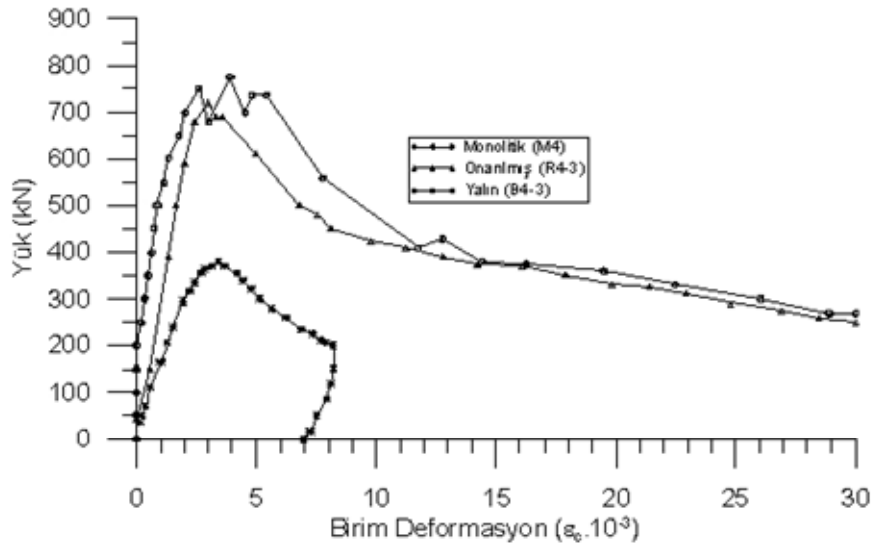
a) Dayanım ve dayanım azalması (Strength and strength decrement)

Deney elemanlarının eksenel yük dayanımları (No) ve bunların monolitik eleman dayanımlarına oranı Tablo 1'de verilmiştir. Bunların sonucunda,

- Eksenel yükler altında gerçekleştirilen mantolama neticesinde eleman dayanımlarında oldukça etkin bir artış sağlandığı görülmüştür.
- Yalın ve monolitik elemanların eksenel yük kapasiteleri analitik olarak hesaplandıktan sonra, bu değerlerin deneysel dayanımlara olan oranları incelendiğinde uyumun iyi olduğu ve



Şekil 4. Onarılmış (R4-1), monolitik (M4) ve yalın (B4-1) deney elemanlarının yük-birim deformasyon eğrilerinin karşılaştırılması (The comparison of load-strain curves between repaired (R4-1), monolithic (M4) and bare (B4-1) test specimens)



Şekil 5. Onarılmış (R4-3), monolitik (M4) ve yalın (B4-3) deney elemanlarının yük-birim deformasyon eğrilerinin karşılaştırılması (The comparison of load-strain curves between repaired (R4-3), monolithic (M4) and bare (B4-3) test specimens)

standart sapmanın yaklaşık \pm %5 civarında olduğu gözlenmiştir (Tablo 2).

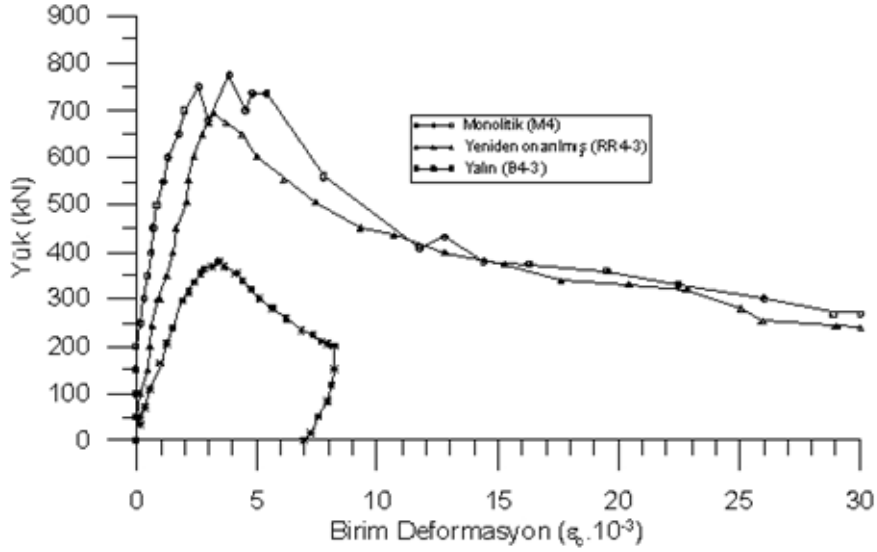
- Monolitik, güçlendirilmiş, onarılmış ve yeniden onarılmış elemanların yük-birim deformasyon eğrilerinin kuyruk bölümünün sonunda ($\epsilon_c=0.03$) görülen dayanım azalması yaklaşık olarak %60 civarındadır.

b) Eksenel rijitlik değişimleri (Variation of longitudinal rigidity)

Deney elemanlarına ait yük-birim deformasyon eğrilerinin çıkış kollarının eğiminden elemanlara ait eksenel rijitlikler elde edilmiştir. Bunların monolitik

deney elemanın rijitliklerine oranları Tablo 1' de verilmiştir. Bu çizelgenin incelenmesinden;

- Hasar verilmeden mantolanarak güçlendirilmiş olan S4 deney elemanının monolitik eleman rijitliğinin %89'una ulaştığı görülmüştür.
- Hasar verildikten sonra mantolanmış deney elemanlarının (R4-1 ve R4-3) eksenel rijitliğinin monolitik deney elemanının rijitliğine oranı sırasıyla %61 ve %68 olduğu görülmüştür.
- Ağır hasar sonucu yeniden onarılmış olan RR4-3 elemanında ise monolitik eleman rijitliğinin ancak %56'sına ulaşılabilmektedir.



Şekil 6. Yeniden onarılmış (RR4-3), monolitik (M4) ve yalın (B4-3) deney elemanlarının yük-birim deformasyon eğrilerinin karşılaştırılması (The comparison of load-strain curves between repaired (RR4-3), monolithic (M4) and bare (B4-3) test specimens)

c) Enerji Tüketimi (Energy Consumption)

Deney elemanlarına ait yük-birim deformasyon eğrilerinin altında kalan alanlardan elemanların enerji tüketme kapasiteleri bulunmuştur. Bunlara genel olarak bakıldığında deney elemanlarının enerji tüketme kapasitelerinin monolitik elemanından daha az olduğu görülmüştür. Fakat aradaki farkın çok az olduğu, bu yüzden de, elemanların enerji tüketme kapasitesi bakımından yeterli olduğu düşünülmektedir.

d) Süneklik (Ductility)

Deney elemanlarının yük-birim deformasyon eğrilerinin alçalma kolu üzerinde, maksimum dayanımın %85'ine düştüğü andaki birim deformasyonun akma anındaki birim deformasyona oranı hesaplanarak, süneklik değerleri elde edilmiştir. Bu değerler de diğer parametrelerde olduğu gibi, monolitik deney elemanının süneklik değeri ile

kıyaslanarak yorumlanmıştır. Buna göre en büyük sünekliği, hasar görmeden mantolanmış yani güçlendirilmiş deney elemanı olan, S4 deney elemanının gösterdiği görülmüştür. Bununla beraber, hasar verildikten sonra mantolanmış yani onarılmış deney elemanı olan R4-3'ün, monolitik deney elemanının yarısı kadar süneklik göstermesine karşı, bu elemanın yeniden onarılması ile elde edilen RR4-3 elemanının çok daha sünek bir davranış sergilediği görülmüştür. Genel olarak deney elemanlarının yeterince sünek davranmadıkları gözlenmiştir. Bunun nedeni olarak, yöntemin başarısızlığını göstermek yanlış olur. Çünkü, konsantrik yüke maruz betonarme kolonların sünek bir davranış sergileyemeyeceği zaten bilinen bir davranıştır.

5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu deneysel çalışmada mantolanarak onarılmış veya güçlendirilmiş dikdörtgen kesitli (mantodan önce $h/b \approx 1.8$, mantodan sonra $h/b \approx 1.5$) kolonların

Tablo 1. Deney elemanlarının kesit, donatı ve dayanım artışlarının karşılaştırılması (Comparison of sections, reinforcements and strength increase of specimens)

	Monolitik M4	Güçlendirme S4	Onarım R4-1	Onarım R4-3	Yeniden onarım RR4-3
Kesit Artışı λ_{Ac}	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Donatı Artışı λ_p	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Dayanım Artışı λ_N	-----	-----	1,96	1,85	1,79
λ_N / λ_{Ac}	-----	-----	0,98	0,93	0,9
M4'e Göre, Rijitlik Oranı	1,00	0,89	0,61	0,68	0,56
M4'e Göre, Süneklik Oranı	1,00	0,83	0,61	0,50	0,59
M4'e Göre, Dayanım Oranı	1,00	1,01	0,96	0,93	0,90

Tablo 2. Deneysel sonuçlar ile analitik hesapların karşılaştırılması (Comparison of test results and analitic calculations)

Deneysel Elemanı	B4-1	B4-2	B4-3	M4	S4	R4-1	R4-3	RR4-3
$N_{deney}/N_{analitik}$	1,05	1,03	1,07	1,06	1,07	1,01	0,98	0,95

monotonik eksenel yükler altındaki davranışları araştırılmıştır. Tüm elemanlara mantolama işlemi yüksüz durumda iken yapılmıştır. Ayrıca onarım ve yeniden onarım durumlarında hasarlı eleman üzerinde oluşmuş olan deformasyonlar alındıktan sonra manto uygulanmıştır. Sınırlı sayıda deneyden oluşan bu çalışmada aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır;

- Bu çalışmada test edilmiş olan dikdörtgen kesitli kolonlardan elde edilen sonuçların, geçmişte kare kesitli kolonlar üzerine yapılmış benzer çalışmalardan elde edilen sonuçlarla benzer davranış gösterdiği görülmüştür.
- %100 kesit ve donatı artışı olmasına rağmen ancak güçlendirilmiş elemanın monolitik eleman dayanımına ulaştığı görülmüştür. Bunun dışında onarılmış elemanların %95'ine, yeniden onarılmış elemanların da monolitik eleman dayanımının %90'ına ulaştığı gözlenmiştir.
- Tüm elemanların eksenel rijitliğinin monolitik eleman rijitliğinden düşük olduğu, bunlar içerisinde en yüksek eksenel rijitliği güçlendirilmiş deney elemanının gösterdiği görülmüştür.
- Monolitik dahil bütün deney elemanları, eksenel yüklü betonarme kolon davranışları nedeniyle, düşük süneklik göstermişlerdir.
- Tüm deney elemanlarının monolitik deney elemanına yakın bir enerji tüketimi sergiledikleri görülmüştür.

SEMBOLLER (SYMBOLS)

b	Kesitin kısa kenarı
f_c	Beton dayanımı
f_y	Donatı dayanımı
h	Kesitin uzun kenarı
\emptyset	Donatı çapı (mm)
ϵ_c	Yük-birim deformasyon eğrisinde eksenel yüke karşı gelen birim deformasyon

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Kahn, L.F., 'Strengthening of Existing RC Columns for Earthquake Resistance', **Proceedings of the 7th World Conference on Earthquake Engineering**, İstanbul, September 8-13, pp. 327-334, 1980.
2. Chronopoulos, P., 'Response of Repaired/Strengthened RC columns Under cyclic Actions,' **Proceedings of the 8th European Conference on Earthquake Engineering**, V.5, lisbon, 1986.
3. Aksan, B., 'Jacketed Coloumn Behaviour Under Axial Load Alone', M.Sc. Thesis in Civil Engineering, **Middle East Technical University**, Ankara, 1988.
4. Suleiman, R., 'Repair and Strengthening of Reinforced Concrete Columns', Ph.D. Thesis in Civil Engineering, **Middle East Technical University**, Ankara, 1991.
5. Yumak, Y., 'Effects of Bar Development Methods on Jacketed Coloumn Behaviour', M.Sc.Thesis in Civil Engineering, **Middle East Technical University**, Ankara, 1990.
6. Can, H., 'Betonarme Kolonların Komşu İki Yüzünden Manto ile Onarımı ve Güçlendirilmesi', **TMMOB Teknik Dergi**, Cilt 6, Sayı 1, 1995.
7. Can, H., 'İki, Üç ve Dört Yüzünden Mantolanmış kolonların Eksenel Yük Altındaki Davranışı', **TMMOB Teknik Dergi**, Cilt 6, Sayı 1, 1995.
8. Demirel, Y., Can, H., Tankut, T., 'Onarılmış Betonarme Kolon davranışı ve Dayanımı', **TÜBİTAK**, İnşaat Teknolojileri Araştırma Grubu, Proje No. INTAG 512, Ankara, 1995.
9. Cısdık, M., 'Fretli Manto ile Onarılmış/Güçlendirilmiş Betonarme Kolonların (Spiralli ve Dairesel Etriye) Eksenel Yük Altında Davranışı', Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi**, Ankara, 1998.
10. Ünsal, F., 'Betonarme Kolonların (Kare ve Fretli) Eksenel Yük altında Fretli Manto ile Onarımı ve Güçlendirilmesi', Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi**, Ankara, 1998.
11. Büyükkuşoğlu, Z., 'Mantolama Yöntemi ile Güçlendirilmiş/Onarılmış /Diriltilmiş Dikdörtgen Kesitli Betonarme Kolonların Eksenel Yük Altındaki Davranışı', Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi**, Ankara, 1999.
12. Taylor, A.W., and Stone, W.C., Jacket Thickness Requirements for Seismic Retrofitting of Circular Bridge Columns, **Proceedings NSF Symposium on Bridge Strengthening and Rehabilitation**, Des Moines, Iowa, April 5-6, 1993.
13. Nanni, Antonio, Norris, Michael S., **FRP Jacketed Concrete Under Flexure- Compression, Construction and Building Materials**, Volume 9, Issue 5, Pages 273-281, 1995.
14. Ramirez, J.L.; 1996, Ten Concrete Column Repair Methods, **Construction and Building Materials**, Volume 10, Issue 3, Pages 195-202, 1996.
15. Fukuyama, K., Higashibata, Y., Miyauchi, Y., **Studies on Repair and Strengthening Methods of Damaged Reinforced Concrete Columns, Cement and Concrete Composites**, Volume 22, Issue 1, Pages 81-88, 2000.