

PROJE ÖZET BİLGİ FORMU

Proje Kodu: 105M006
Proje Başlığı: MEVCUT YAPILARIN FRP İLE GÜÇLENDİRİLMESİ
Proje Yürütücüsü ve Yardımcı Araştırmacılar: Prof. Dr. Güney Özcebe, Doç. Dr. Barış Binici, Doç. Dr. Uğurhan Akyüz
Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi: Orta Doğu Teknik Üniversitesi, İnönü Bulvarı, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Mekaniği Laboratuvarı, 06531, Ankara.
Destekleyen Kuruluş(ların) Adı ve Adresi: TÜBİTAK dışında destekleyen kuruluş bulunmamaktadır.
Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri: 16 Mayıs 2005- 16 Ağustos 2006
Öz (en çok 70 kelime) Ülkemizde bugün yapı mühendisliğinde karşılaşılan en önemli sorunlardan biri de hasar görmemiş ve kullanılmakta olan çok sayıda zayıf binanın depreme dayanıklı hale getirilmesi için güçlendirilmesidir. Sistem iyileştirmelerinin yanısıra eleman bazında iyileştirme yapılması da çoğu zaman gerekmektedir. Bu elemanlardan düşey yük taşımaya yardımcı olan kolonlar en önemli yapı elemanlarıdır. Bu araştırma projesi lifli polimerler (FRP) kullanarak kolonların nasıl takviye edileceğini ve deformasyon kapasitelerinin nasıl artırılacağını gösteren geniş bir çalışma kapsamında gerçekleştirilmiştir.
Anahtar Kelimeler: lifli polimer, kolon, deformasyon kapasitesi
Projeden Kaynaklanan Yayınlar: 1) Ozcan, O., Ozcebe, G., ve Binici, B. "Improving Strength and Ductility of Reinforced Concrete Columns Using Carbon Fiber Reinforced Polymers." Ninth Canadian Conference on Earthquake Engineering, Ottawa, Ontario, Canada, 26-29 June 2007.
Bilim Dalı: 911
Doçentlik B. Dalı Kodu: 1.144



**TÜRKİYE BİLİMSEL VE
TEKNİK ARAŞTIRMA KURUMU**

**THE SCIENTIFIC AND TECHNICAL
RESEARCH COUNCIL OF TURKEY**

**MEVCUT YAPILARIN FRP İLE
GÜÇLENDİRİLMESİ**

105M006

**Mühendislik Araştırma Gurubu
Engineering Research Grant Group**

MEVCUT YAPILARIN FRP İLE GÜÇLENDİRİLMESİ

PROJE NO: 105M006

PROF. DR. GÜNEY ÖZCEBE
DOÇ. DR. BARIŞ BİNİCİ
DOÇ. DR. UĞURHAN AKYÜZ

ARALIK 2006
ANKARA

ÖNSÖZ

Ülkemizde bugün yapı mühendisliğinde karşılaşılan en önemli sorunlardan biri de hasar görmemiş ve kullanılmakta olan çok sayıda zayıf binanın depreme dayanıklı hale getirilmesi için güçlendirilmesidir. Sistem iyileştirmelerinin yanı sıra eleman bazında iyileştirme yapılması da çoğu zaman gerekmektedir. Bu elemanlardan düşey yük taşımaya yardımcı olan kolonlar en önemli yapı elemanlarındandır. Bu araştırma projesi lifli polimerler (FRP) kullanarak kolonların nasıl takviye edileceğini ve deformasyon kapasitelerinin nasıl artırılacağını gösteren geniş bir çalışma kapsamında gerçekleştirilmiştir.

Bu projede yürütülen çalışmaların tümü 105M006 proje numarası altında TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir. Araştırmacılar bu desteğe teşekkür etmektedir.

İÇİNDEKİLER

Tablolar Listesi	5
Şekiller Listesi	6
Özet	7
Abstract	8
1. Giriş ve Amaçlar	9
2. Yöntem	9
2.1 Deney Numuneleri	10
2.2 Malzemeler	10
2.3 Cfrp Uygulaması	11
2.4 Deney Programı	12
2.5 Deney Sonuçları	12
2.5.1 Referans Numunesi, S-L-0-00	14
2.5.2 Güçlendirilmiş Numuneler, S-L-1-00, S-L-1-34	14
2.5.3 Güçlendirilmiş Numuneler, S-L-2-00, S-L-2-32	15
2.6 Sonuçların İrdelenmesi	17
2.6.1 Cfrp Katmanlarının Etkisi	17
2.6.2 Eksenel Yük Altında Güçlendirme Etkisi	17
2.6.3 Düz Donatının Etkisi	17
2.7 Sonuçlar	19
Referanslar	20

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 1. Numune detayları	11
Tablo 2. Deney sonuçları	14

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Test düzeneği ve numune detayları.	10
Şekil 2. CFRP Uygulaması.	11
Şekil 3. Numunelerin yük – yerdeğiştirme davranışları.	13
Şekil 4. Normalize edilmiş kolon kesme kuvveti vs. yerdeğiştirme düzeyi zarf eğrileri.	15
Şekil 5. Normalize edilmiş kolon moment-eğrilik zarf eğrileri.	16
Şekil 6. Deney sonu kolonlar	16
Şekil 7. Numunelerin plastik mafsal bölgesindeki dönme bileşenleri	18

ÖZET

Enine donatısı yetersiz betonarme kolonlar büyük bir depremde oluşan sismik enerjiyi harcayacak süneklığe sahip değillerdir. Burada anlatılan çalışmada dayanımı düşük, düz donatılı ve sünek olmayan dikdörtgen betonarme kolonların CFRP kullanılarak güçlendirilmesini incelenmiştir. Enine donatısı yetersiz bina kolonlarını temsil eden 5 numune test edilmiştir. Her numune, sabit eksenel yük altında (eksenel yük taşıma kapasitesinin yaklaşık %35' i) ve yanal tersinir yerdeğıştirmeleri altında test edilmiştir. İncelenen başlıca parametreler, sarılan CFRP tabaka sayısı ve güçlendirme sırasında kolon üzerinde bulunan eksenel yükün varlığıdır. Referans numunesinde güç tükenmesi başlangıcındaki nihai ötelenme oranı %2.5 olarak gözlenmiş ve yerdeğıştimelerin yaklaşık olarak %40'ının donatının sıyırılmasından kaynaklandığı görülmüştür. Bunun yanında, kolonların plastik mafsallık bölgesini 2 kat CFRP sarma durumunda CFRP' de yırtılma %7 ötelenme seviyesinde gözlenmiştir. Burada, yerdeğıştirmelerin yaklaşık %80' i donatı sıyırılmasından kaynaklanmıştır. Alınan sonuçlar, CFRP sarılmış düz donatılı yetersiz kolonların nervürlü donatılı olanlara göre güç tükenmesi olmaksızın daha yüksek yerdeğıştirme seviyelerine çıkabildiğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: lifli polimer, kolon, deformasyon kapasitesi

ABSTRACT

Reinforced concrete columns lacking sufficient transverse reinforcing steel do not possess the necessary ductility to dissipate seismic energy during a major earthquake. The study reported herein investigates the use of carbon fiber-reinforced polymer (CFRP) wrapping as a method of retrofitting of non-ductile rectangular reinforced concrete columns with low strength concrete ($f_c' \approx 15 \text{ MPa}$) and plain bars. Five specimens representative of transverse steel deficient columns (10 mm diameter bars having 0.6h spacing with 90 degree hooks at the ends) in existing buildings were tested. The specimens consisted of 350 mm x 350 mm x 2000 mm dimensions with a stiff column stub of 1350 x 500 x 400 mm in size. Each specimen was tested under lateral cyclic displacement excursions under constant axial load (35% of axial load carrying capacity) to simulate the seismic demand. The main parameters under investigation were the number of layers of CFRP wrap and presence of the axial load on the column during strengthening. It was observed that ultimate drift ratio at the onset of strength degradation was about 2.5% for the as built column and about 40% of the deformations were due to bar slip. On the other hand, upon CFRP wrapping with two layers ultimate drift ratio was about 7% at CFRP rupture. Interestingly about 80% of the deformation was due to bar slip. This shows that upon CFRP retrofit deficient columns with plain bars can withstand against larger deformation demands without strength degradation compared to those with deformed bars. Therefore, great care must be taken when calculating the deformations (either for assessment or rehabilitation) due to bar slip when plain bars are used.

Keywords: fiber reinforced polymer, column, strengthening

1. GİRİŞ VE AMAÇLAR

Türkiye’ de meydana gelen depremler (Kocaeli 1999, Düzce 1999, Bingöl 2003), yetersiz enine donatıdan kaynaklanan yetersiz kapasite ve süneklığe sahip kolonların binalarda ağır hasara sebep olduğunu göstermiştir. Bu nedenle, Türkiye’ de düşük dayanıma sahip (beton basınç dayanımı yaklaşık 10 – 15 MPa) düz donatılı ve yetersiz enine donatılı betonarme kolonların davranışının belirlenmesi gerekmektedir. Ayrıca, hızlı güçlendirme metotlarının tespit edilmesi ve mühendislerin kullanımına sunulması gerekmektedir.

Güçlendirme ve onarım metotları üzerinde daha önce yapılan çalışmalar, betonarme kolonların sismik davranışının iyileştirilmesinde CFRP güçlendirme yöntemlerinin geleneksel çelik mantolama yöntemleri kadar etkili olduğunu göstermiştir. (Seible et. al. 1997, Sheikh ve Yau 2000, Iacobucci et. al. 2003). Bu çalışmalarda yapılan tüm testler, uygun olarak dizayn edilmiş sürekli CFRP katmanlarının, koda uygun enine donatı ile dizayn edilmiş kolonların yerdeğiştirme kapasitesini yakaladığı veya aştığı görülmüştür. Test sonuçları CFRP ile güçlendirilmiş kolonların deformasyon ve enerji yutma kapasitelerinin tüm kolon kesitinin sargılanması ve erken donatı burkulmasının önlenmesi sonucunda önemli olarak arttığını göstermiştir. Sonuç olarak, kolonların güçlendirme ve onarımı için CFRP kullanılması etkili bir yöntem olarak belirlenmiştir. Buna karşın, daha önceki çalışmalarda test edilmiş hiçbir kolon Türkiye’ deki tipik yetersizlikleri ve yapı tecrübesini temsil edememektedir (düz donatı, 90 derece kanca, düşük beton dayanımı). Bu nedenlerden dolayı, yeni bir deneysel program yürütülmekte olup bu deneylerin ilk aşama sonuçları burada belirtilmiştir. Bu deneysel programın başlıca hedefleri: 1) düşük dayanımlı, düz donatılı ve yetersiz enine donatılı betonarme kolonların olası plastik mafsallık bölgesine sarılan CFRP’nin etkisini araştırmak, 2) güçlendirme işlemi sürecinde aksel yükün varlığının etkisini ve CFRP katman sayısının etkisini araştırmaktır.

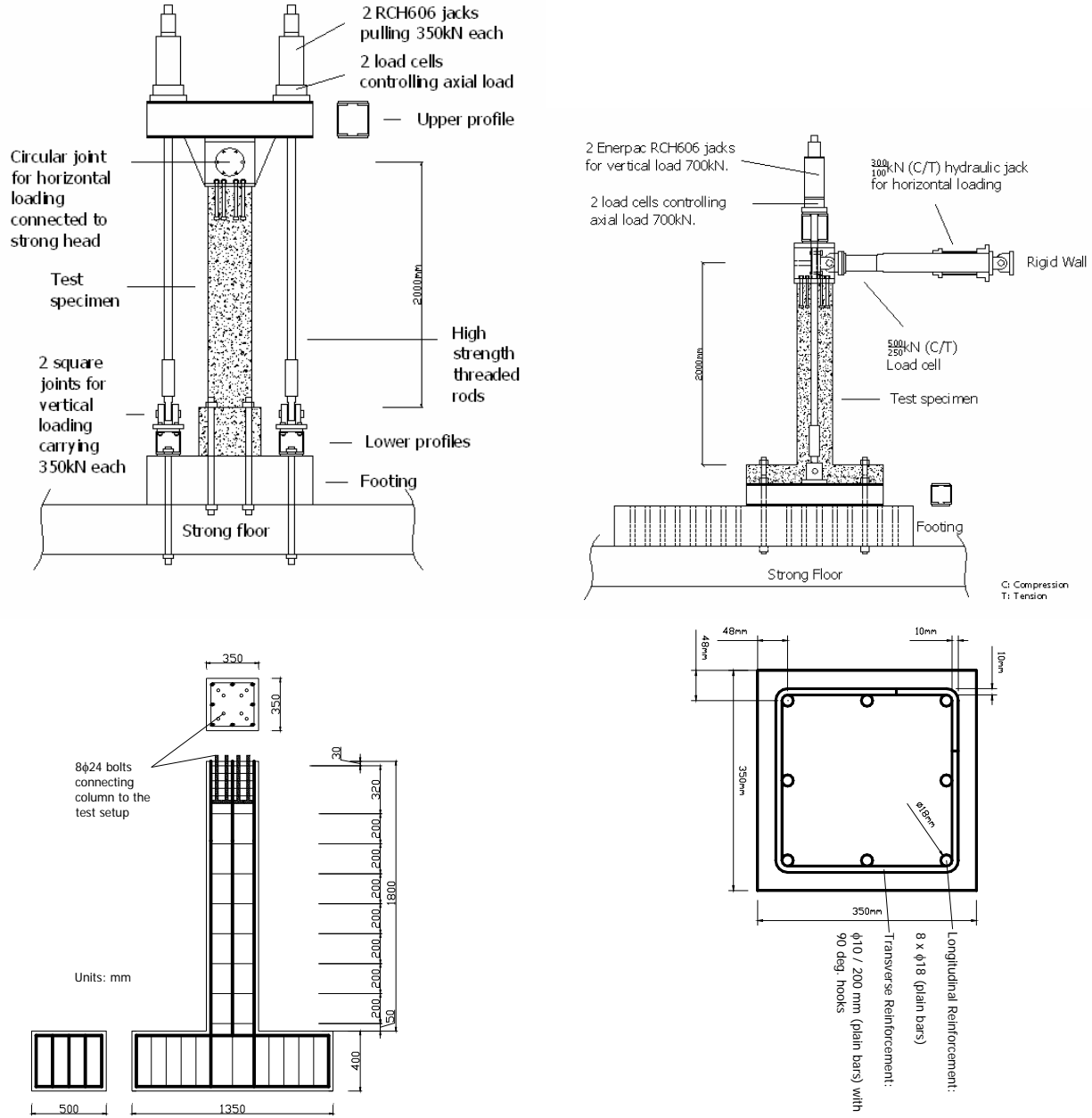
2. YÖNTEM

2.1 Deney Numuneleri

Deney numuneleri 1350 x 500 x 400 mm’lik kolon temeline bağlı 350 x 350 x 2000 mm boyutunda olan kolonlardır. Numune detayları Şekil 1’ de gösterilmiştir. Numunelerin kolon ve temelleri hakiki döküm koşullarını temsil etmek için aynı anda dik olarak dökülmüştür. Türkiye’ deki genel yetersiz detaylandırmayı temsil etmek için, boyuna donatı 8 adet 18 mm çaplı düz donatıdan oluşmakta ($\rho_l = 1.66\%$) ve enine donatı 90 derece kancalı, 10 mm çaplı ve 200 mm aralıklı yerleştirilmiş düz donatıdan oluşmaktadır. Deney numunelerinin detayları Tablo 1’ de gösterilmiştir.

2.2 Malzemeler

Her bir numune betoniye ile 3 karışım olarak dökülmüştür. 28 günlük dayanım 15 MPa olacak şekilde portland çimentosu ve en fazla 15 mm boyutlu agregası kullanılmıştır. Numuneler dik olarak dökülmüş ve test bölgesinde segregasyonu önlemek için dalıcı vibratör kullanılmıştır. Tablo 1’ de numune dayanımları gösterilmiştir. Numuneleri oluşturmak için kullanılan düz donatılar 293 MPa akma gerilmesine, 420 MPa kopma gerilmesine sahiptir. Temel donatısı test bölgesi haricinde hasarı önlemek amacıyla, altta ve üstte 4 adet 16 mm çapında nervürlü boyuna donatıdan ve 8 mm çapında enine donatıdan oluşmaktadır.



Şekil 1. Test düzeneği ve numune detayları.

Tablo 1. Numune detayları

Numune	Numune Özellikleri				Boyuna Donatı Oranı (%)	Eksenel yük düzeyi, P/P ₀ *** (%)	CFRP Uygulaması	
	f _c ' (MPa)	f _y (MPa)	Donatı				No	Güçlendirme
			Boyuna	Enine				
S-L-0-00	14.0					34	0	Reference
S-L-1-00	19.4					27	1	NL*
S-L-1-34	14.0	293	8 x 18mm (düz donatı)	D=10mm/200m (düz donatı)	1.66	34	1	UL**
S-L-2-00	11.4					39	2	NL
S-L-2-32	15.6					32	2	UL

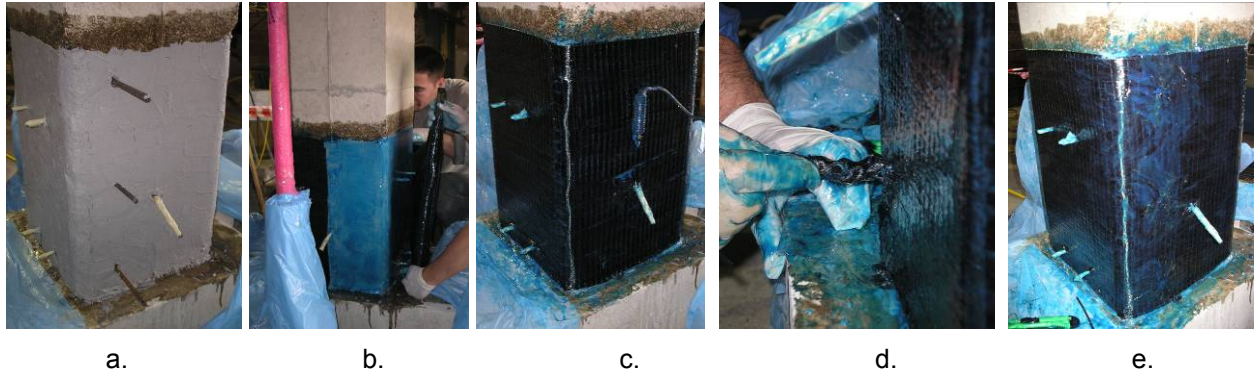
* NL: Güçlendirme eksenel yük altında yapılmıştır

** UL: Güçlendirme eksenel yük altında yapılmamıştır

*** P₀ = 0.85 f_c' A_g + A_s f_y

2.3 CFRP Uygulaması

Numuneler karbon fiber sarma sistemi ile güçlendirilmiştir. CFRP katmanları üreticiden alınan bilgilere göre 0.165 mm kalınlıkta, 230000 MPa elastisite modülüne sahip ve 0.015 kopma uzamasına sahiptir. Uygulamanın ilk aşamasında, kolon köşeleri 30 mm yarıçap elde edecek şekilde yuvarlanmıştır. Yuvarlama işleminin sonrasında fırça ile yüzeye astar uygulanmıştır. Bu aşamadan sonra, olası plastik mafsallık bölgesine (500 mm) epoksi bazlı montaj pastası uygulanmıştır ve en son işlem olarak CFRP katmanı kolon dibinden 15 mm yukarıdan olmak üzere 500 mm'lik boya sarılmıştır. 3 adet CFRP ankrajı 50, 250, 450mm yüksekliklerde bulunmaktadır. Bu ankrajlar kolon içine 80 mm sokulmuş ve ankrajın artık 50 mm'lik kısmı CFRP katmanına yapıştırılmıştır. (Şekil 2). Ankrajlar test süresince CFRP katmanlarının bindirme bölgesinde ayrılmasını önlemek için kullanılmıştır. Güçlendirilmiş numuneler 1 hafta sonra teste hazır duruma gelmiştir.



Şekil 2. CFRP Uygulaması: a. Köşelerin yuvarlanması ve astar uygulaması, b. CFRP sarılması, c. CFRP sarılma sonrası, d. Ankraj sokulması, e. Ankrajlı CFRP sarılı kolon

2.4 Deney Programı

Değişik yerdeğiştirme düzeylerinde gerekli bilginin alınması için numunelere ölçüm aletleri bağlanmıştır. Yatay yerdeğiştirmelerin ölçümü için LVDT' ler kullanılmıştır. Kritik bölgelerdeki dönmeler 8 adet deplasman ölçer yardımı ile ölçülmüştür. Çelikteki uzamaları ölçmek için 8 adet birim-uzama ölçer boyuna donatı üzerine yerleştirilmiştir. Uygulanan yatay ve düşey yükler yük hücreleriyle ölçülmüştür. Tüm numunelere mafsallaşan bölgedeki kritik kesite ve kolon temel yüzeyine göre dönmeleri ölçmek için çeşitli aletler bağlanmıştır. İki okuma arasındaki fark kolonun temel bölgesindeki donatının sıyrılmasından kaynaklanan ortalama dönme olarak kabul edilmiştir. Kolon temelinde ana temele göre olası bir hareket ek olarak 2 komparatör ile ölçülmüştür. Kolonlar 4 kayıcı mafsal ile yükleme düzlemine yerleştirilmiştir. Test düzeneği ile ilgili detaylar ve ölçüm aletlerinin yerleri Şekil 1' de gösterilmiştir.

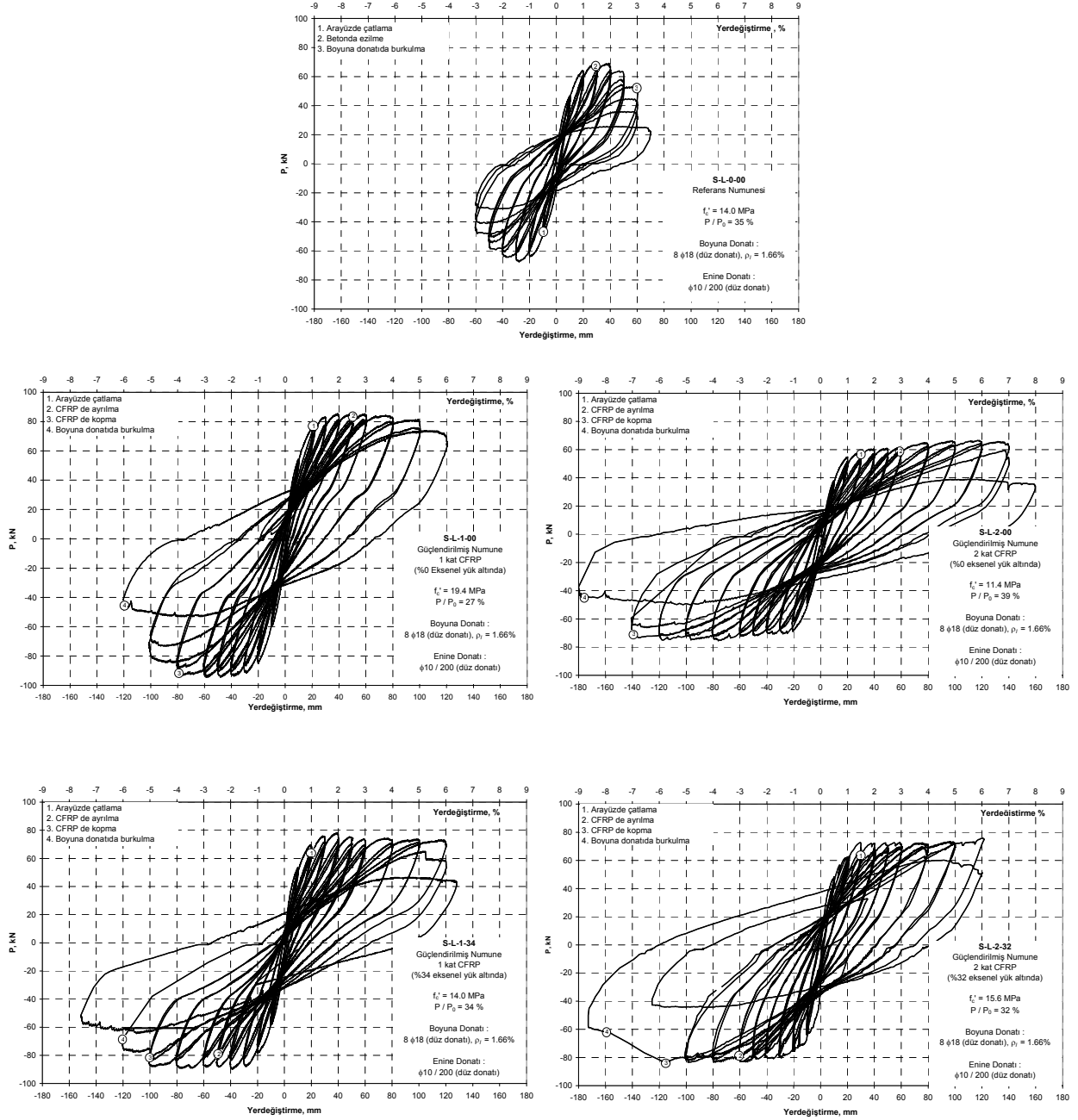
Numuneler sismik kuvvetleri temsil etmek amacıyla sabit aksenal yük altında ve tekrarlı yanal yerdeğiştirme yükleri altında test edilmiştir. Yatay yükleme başlamadan önce aksenal yük verilmiştir. Aksenal yük altında test edilen numunelerde aksenal yük altında CFRP sarıldıktan sonra epoksinin uygun bir şekilde kürünün yapılması için 1 hafta boyunca yük tutulmuştur. Bu aşamadan sonra, kolon yatay tekrarlı yerdeğiştirme yükleri altında test edilmiştir. Yerdeğiştirme oranı %3 düzeyine kadar %0.5 arttırılarak uygulanmış (her bir düzey için 3 tekrar) ve %3 sonrasında %1 arttırılarak 2 tekrarla uygulanmıştır.

2.5 Deney Sonuçları

Her bir numunenin davranışı yatay yük – kolon uç yerdeğiştirmesi (P - Δ) ve moment – eğrilik (M - K) olarak elde edilmiştir. Yanal yerdeğiştirme okumaları yatay yükün uygulandığı kolon ucundaki LVDT'lerden alınmıştır. Eğrilik kolon dibinden 50 ve 350 mm uzaklıktaki deplasman-ölçer okumaları kullanılarak hesaplanmıştır. Kolon dibinden 50 mm uzaklıktan alınan okumalar donatının sıyrılmasından kaynaklanan yerdeğiştirmelerin hesabında kullanılmıştır. Numunelerin P- Δ ve M-K davranışları ve kolon dibi çatlaması, CFRP katmanının ayrılması ve CFRP yırtılması gibi test sürecindeki önemli olaylar Şekil 3' te gösterilen grafikler üzerinde işaretlenmiştir. Numunelerin karşılaştırılması amacıyla, yatay yükler standart kesit analizinde donatının ilk akmasına karşılık gelen akma değerlerine bölünerek normalizasyon yapılmıştır. (moment için M_y , kuvvet için P_y).

Tüm numuneler kolon dibindeki plastic mafsallaşma sonucunda benzer göçme şekline maruz kalmıştır. Yanal yerdeğiştirme yüklerinin ilk tekrarlarında eğilme çatlakları gözlemlenmiştir. Yerdeğiştirme düzeyleri arttıkça eğilme çatlakları daha fazla açılmış ve iki kolon yüzünde birleşmiştir. Bu aşamadan sonra, kolon temel arayüzü %1 yerdeğiştirme oranında çatlamış ve arayüz çatlaklarının genişlemesiyle donatının sıyrılmasından kaynaklanan dönmeler artmıştır. Boyuna donatının akması %1 yerdeğiştirme düzeyine

gerçekleşmiştir. Plastik mafsalın gözlemlenen yüksekliği kolon kesitinin yüksekliğiyle aynıdır. Güçlendirilmiş numuneler CFRP katmanının ayrılmasının devamında CFRP' nin ani patlamasıyla göçmüştür. Deney sonuçları Tablo 2' de özetlenmiştir. Numunelerin normalize edilmiş tekrarlı ve zarf yük – yerdeğiştirme ve moment – eğrilik davranışları (plastik mafsal bölesi için) Şekil 4 ve 5'te gösterilmiştir.



Şekil 3. Numunelerin yük – yerdeğiştirme davranışları.

Tablo 2. Deney sonuçları.

Numune	Akma			Nihai		M_u/M_y	Arayüz çatlamaşı $u, (%)$	CFRP		%20 Kapasite Düşüşü $u_u, (%)$
	P_y	M_y	K_y	P_u	M_u			Ayrılma	Kopma	
	(kN)	(kNm)	(rad/km)	(kN)	(kNm)			$u, (%)$	$u, (%)$	
S-L-0-00	61.8	123.6	10.85	67.4	134.8	1.09	0.5	1.50 (ezilme)		2.5
S-L-1-00	71.7	143.4	11.94	85.5	171.0	1.19	1.0	2.5	4.0	6.0
S-L-1-34	61.8	123.6	10.85	75.2	150.4	1.22	1.0	2.5	5.0	6.0
S-L-2-00	53.3	106.6	9.86	67.2	134.4	1.26	1.5	3.0	7.0	8.0
S-L-2-32	66.9	133.8	11.94	83.6	167.2	1.25	1.5	3.0	6.0	8.0

* u : Kat ötelemesi

2.5.1 Referans Numunesi, S-L-0-00

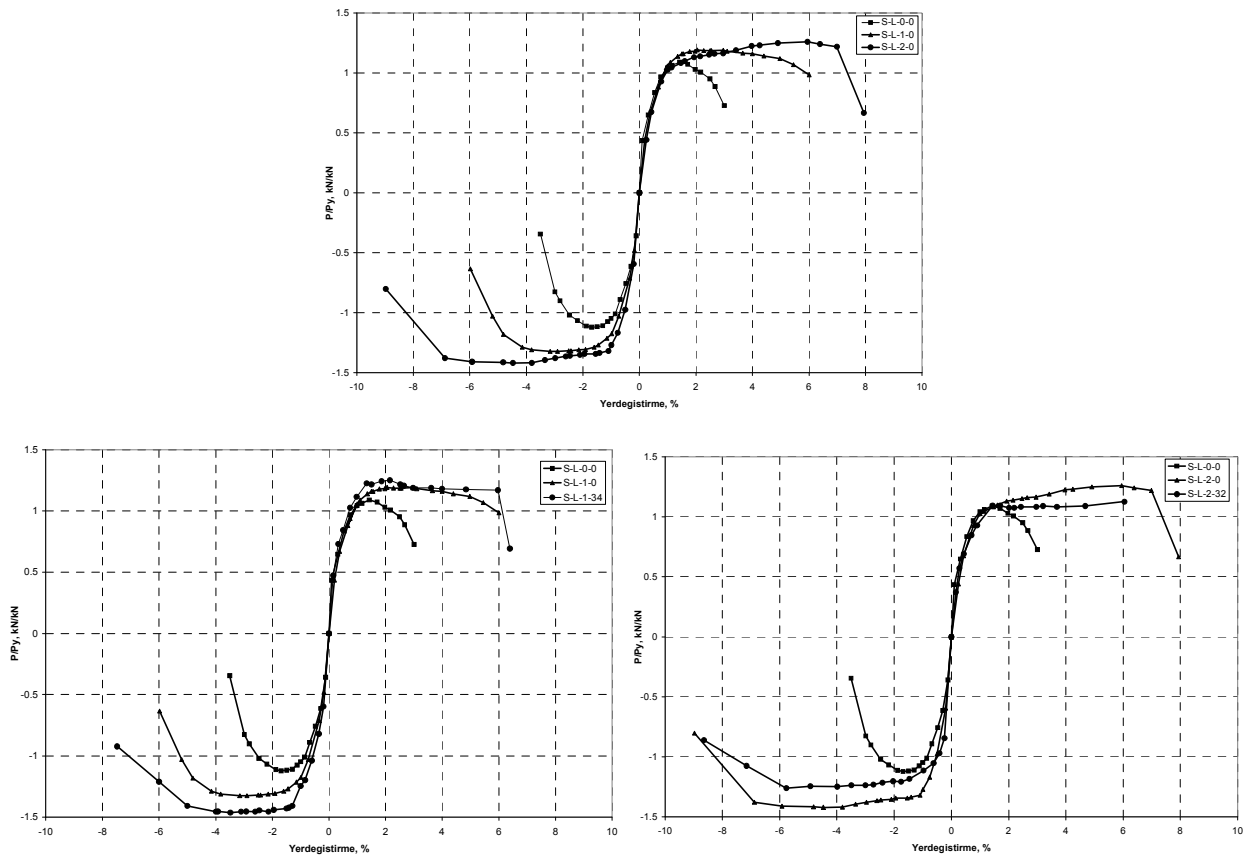
Referans numunesinde, kolon iki yüzünde de 200 mm'den 1000 mm'ye kadar paralel olarak dağılmış eğilme çatlakları oluşmuştur. Kolon – temel arayüzü %0.5 yerdeğiştirme düzeyinde çatlamaşı, artan tekrarlı yükler kolonda inelastik yerdeğiştirmelere neden olmuştur. Arayüz çatlaklarının genişlemesiyle donatının sıyrılması da artmıştır. Yatay yük kapasitesi %1.5 yerdeğiştirme düzeyinde kolon dibindeki beton ezilmesinin sonucu olarak azalmaya başlamıştır. Boyuna donatı %2.5 yerdeğiştirme düzeyinde gerçekleşmiş ve yatay yük kapasitesi belirli bir şekilde azalmıştır. (Azami değerin %80' inin altına).

2.5.2 Güçlendirilmiş Numuneler, S-L-1-00, S-L-1-34

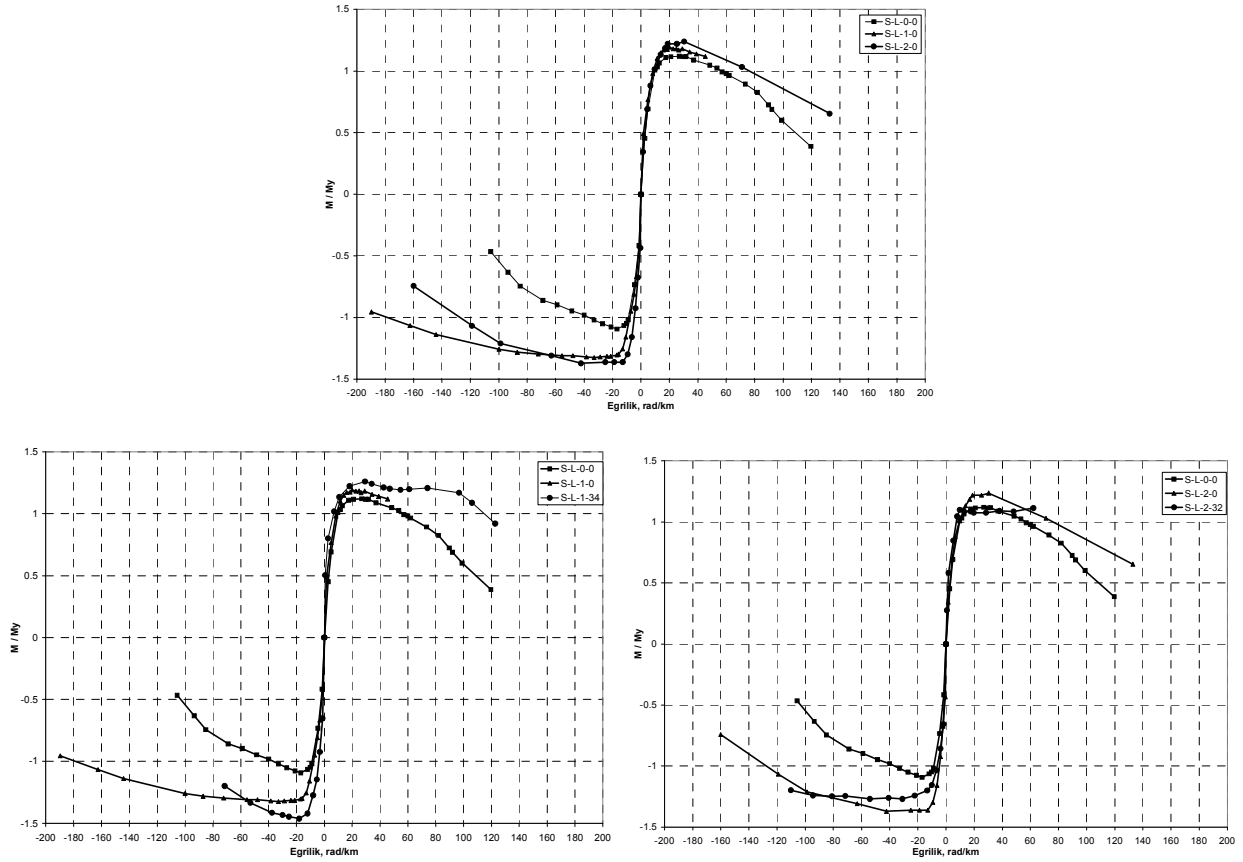
Güçlendirilmiş kolon S-L-1-00, 1 kat CFRP ile sarılmıştır. Eğilme çatlakları yatay yüklemenin ilk düzeylerinde CFRP sarılma bölgesinin üzerinde 650, 1000 mm arasında oluşmuştur. Bu çatlaklar referans numunesindeki çatlaklardan daha sık olarak meydana gelmiştir. Devam eden yük tekrarlarında eğilme çatlakları CFRP sarma bölgesi üzerinde genişlemiş ve arayüz %1 yerdeğiştirme düzeyinde çatlamaşı. Yatay yük sabit kalarak, arayüz çatlaklarının genişlemesiyle kolon daha büyük yerdeğiştirme yapabilmıştır. %2.5 yerdeğiştirme düzeyinde CFRP üzerinde kolon dibinden 350 mm yukarıda çatlaklar gözlemlenmiştir ve CFRP diğer yüzünde çekme – basınç tekrarlarının sonucu olarak CFRP' de ayrılma meydana gelmiştir. CFRP' nin sargı etkisi sonucunda kolon donatısında burkulma önlenmiş ve kolon temel arayüzündeki donatıda sıyrılmada artış görülmüştür. CFRP' deki ilk yırtılma %4 yer değiştirme düzeyinde meydana gelmiş olup yatay yük kapasitesi azalmaya başlamıştır. Azalma davranışı %5 yerdeğiştirme düzeyine kadar devam edip CFRP' de ani patlama ile yatay yük seviyesi de düşmüştür. Diğer numune olan S-L-1-34, benzer davranış göstermiştir. Arayüzün çatlakları ve CFRP' de ayrılmanın gözlemlendiği yerdeğiştirme düzeyleri iki kolon için de aynıdır. CFRP' de yırtılmanın gerçekleştiği yerdeğiştirme düzeyi S-L-1-00' dan daha yüksektir fakat bu kolonun nihai yerdeğiştirmesini etkilememiştir. Her iki numune de %6 yerdeğiştirme düzeyinde yatay yük kapasitesinin %80' ine düşmüştür.

2.5.3 Güçlendirilmiş Numuneler, S-L-2-00, S-L-2-32

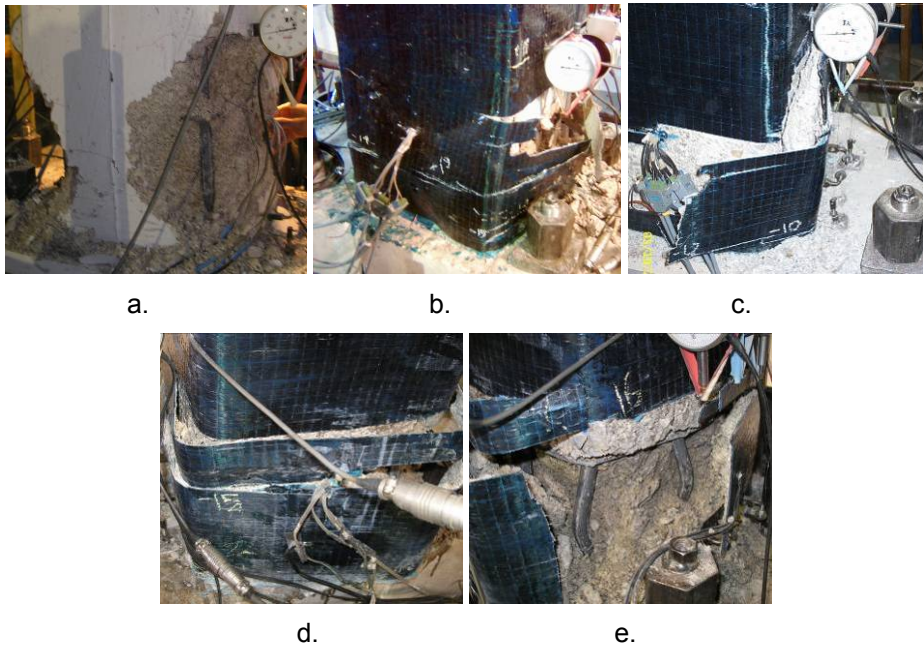
2 kat CFRP sarılmış olan kolon S-L-2-00, S-L-2-32 ile benzer davranışı sergilemiştir. İlk yük tekrarlarında 500 mm den 1000 mm'ye kadar paralel eğilme çatlakları oluşmuştur. İki numune için de kolon temel arayüzünde çatlama ve CFRP'de ayrılma sırasıyla %1.5 ve %3 yerdeğiştirme düzeylerinde oluşmuştur. Numuneye 2 kat CFRP sarılması yerdeğiştirme kapasitesini 1 kat sarılı numunelerin yaklaşık olarak 2 katına çıkarmıştır. S-L-2-32 numunesi benzer çatlak yerleriyle çok benzer bir davranış göstermiştir. CFRP' de kopma S-L-2-00 ve S-L-2-32 için sırasıyla %7 ve %6 yerdeğiştirme düzeylerine gerçekleşmiştir. %20 kapasite düşüşü her iki numune için de %8 yerdeğiştirme düzeyine olmuştur.



Şekil 4. Normalize edilmiş kolon kesme kuvveti vs. yerdeğiştirme düzeyi zarf eğrileri.



Şekil 5. Normalize edilmiş kolon moment-eğrilik zarf eğrileri.



Şekil 6. Deney sonu kolonlar. a. S-L-0-00, b. S-L-1-00, c. S-L-1-34, d. S-L-2-00, e. S-L-2-32.

2.6 Sonuçların İrdelenmesi

2.6.1 CFRP katmanlarının etkisi

Dikdörtgen kolonların 1 veya 2 kat CFRP ile sarılarak güçlendirilmesi deney numunelerinin sismik davranışını belirli ölçüde arttırmıştır (süneklik ve enerji tüketme kapasitesi). Yapılan deneyler kolon etrafına sarılan CFRP katmanlarının sayısındaki artışın kolonlarda yerdeğiştirme sünekliğini arttırdığını göstermiştir. Buna karşılık, referans numunesine göre göz ardı edilebilir kapasite artışı gözlenmiş olup (%10 - %15) CFRP uygulamasının kapasite artışından çok süneklik artışına imkan verdiği anlaşılmıştır. %20 kapasite düşüşünde yerdeğiştirme sünekliğindeki artış kullanılan CFRP miktarı ile orantılı değildir. 1 kat CFRP sarılması S-L-1-34 numunesinin nihai yerdeğiştirme düzeyini referans numunesine göre 2.4 kat arttırmıştır. Bu oran S-L-2-32 için 3.2 civarındadır. Sonuç olarak, CFRP miktarını iki katına çıkarmak yerdeğiştirme kapasitesindeki artışı iki katına çıkarmamıştır. Benzer sonuçlar S-L-1-00 ve S-L-2-00 için de geçerlidir.

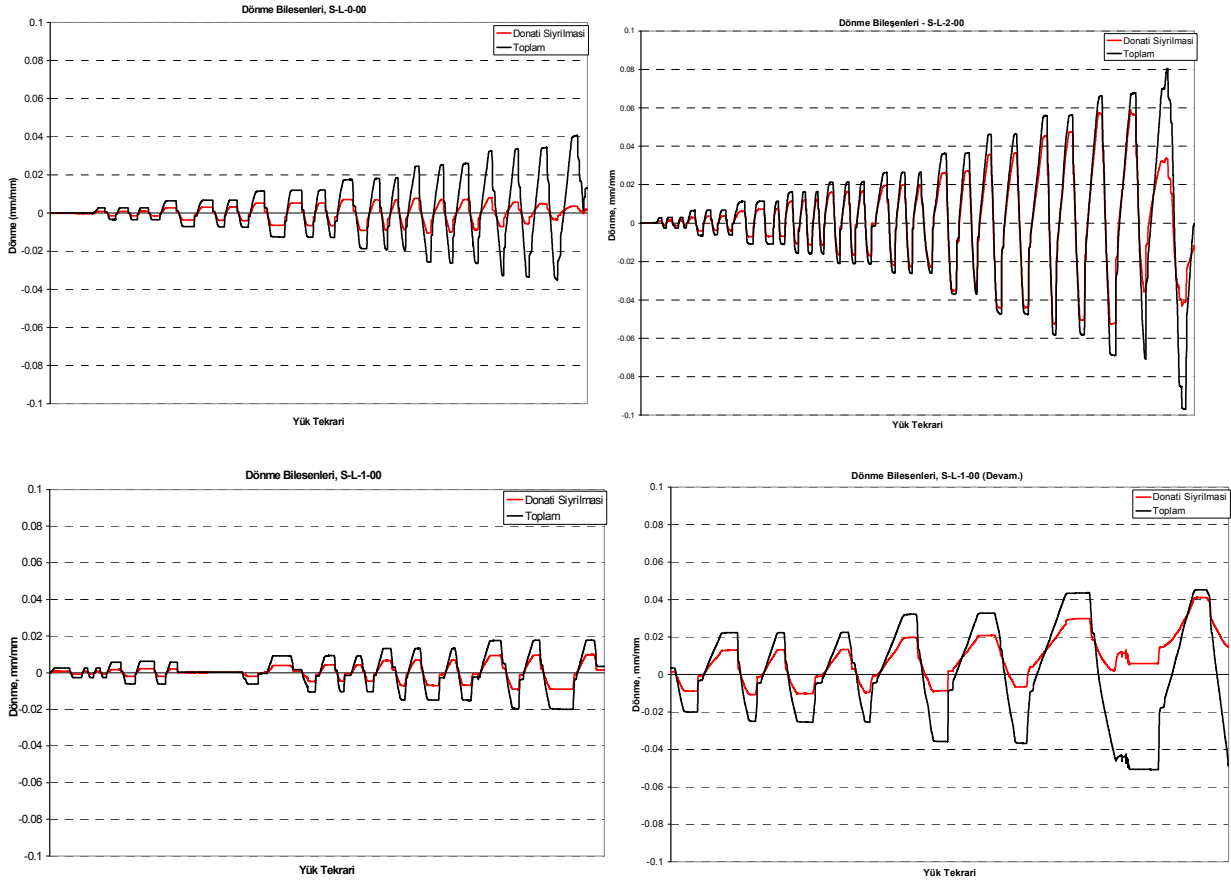
2.6.2 Eksenel yük altında güçlendirme etkisi

Eksenel yük altında güçlendirme işleminin etkisi iki set olan 1 kat ve 2 kat sarılı numunelerin karşılaştırılması ile belirlenmiştir. S-L-1-00 ve S-L-1-34 numuneleri benzer yerdeğiştirme düzeylerine ulaşmıştır. S-L-1-00 numunesindeki eksenel yük S-L-1-34 numunesinden, beton dayanımındaki beklenmeyen değişim nedeniyle, düşüktür. CFRP sarma sırasında eksenel yükün nihai yerdeğiştirme düzeyi üzerindeki etkisi göz ardı edilebilir düzeydedir. Eksenel yük düzeyleri iki numune için aynı olsa bile S-L-1-34 numunesinden S-L-1-00 numunesinin davranışını beklemek yeterince gerçekçidir. Aynı davranış S-L-2-00 ve S-L-2-32 için de beklenebilir. CFRP sarılması sırasında eksenel yükün etkisi tekrar göz ardı edilebilir öneme sahiptir. İki numune için eksenel yükteki değişim %20 düzeyinde olması S-L-2-00 numunesinin daha iyi performans göstermesi olarak yorumlanabilir. Buna karşılık, yerdeğiştirme düzeyleri yapısal kararlılıkta beklenen yerdeğiştirme düzeylerinin çok üstünde bir düzeyde olan %8 büyüklüğünde olduğu sürece, güçlendirmede %35 civarındaki eksenel yüklerin varlığının yerdeğiştirme kapasitesi üzerinde etki etmediği kabul edilebilir.

2.6.3 Düz donatının etkisi

Düz donatının etkisi kolonun alt 50 mm'sinde oluşan dönmelerin karşılaştırılmasıyla incelenebilir. (Şekil 7). Referans numunesi S-L-0-00' da donatı sıyrılmasından kaynaklanan dönme nihai dönmenin %40'ına kadar ulaşmaktadır. 1 kat CFRP sarılması (S-L-1-00), plastik mafsallık bölgesinde donatı sıyrılmasından kaynaklanan dönmeyi toplam dönmenin %65' ine kadar çıkarmıştır. S-L-2-00' da 1 kat CFRP eklenmesi bu dönmeleri Şekil 7'de de görüldüğü gibi %80 düzeyine çıkarmıştır. Numuneler CFRP katmanlarının sargı

etkisinden dolayı donatının burkulmasını engelleyerek ve yanal yük kapasitesini sabitlemesine yardım ederek kapasite düşüşü olmaksızın daha yüksek yerdeğiştirme düzeylerine dayanabilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda, düz donatılı kolonların nervürlü donatılı kolonlara göre daha yüksek donatı sıyrılması sonucu büyük yerdeğiştirmelere sahip olmasından dolayı daha yüksek yerdeğiştirme düzeylerine dayanabildiği ortaya çıkmıştır. Bu nedenle, düz donatılı yetersiz kolonların sismik değerlendirmesinde ve güçlendirme dizaynında donatı sıyrılmasını hesaba katmak önem taşımaktadır.



Şekil 7. Numunelerin plastik mafsallarda döne bileşenleri.

2.7 Sonuçlar

Beş kolon numunesinin sabit eksenel yük ve sismik kuvvetleri temsil eden yanal tekrarlı yerdeğıştirme yükleri altında test edilmesi sonucunda bulunan sonuçlar bu çalışmada açıklanmıştır. Her bir numune tipik bir bina kolonunu temsil etmek üzere aynı anda dik dökülen 350 x 350 x 2000 mm bir kolon ve 1350 x 500 x 400 mm'lik bir temele sahiptir. 2 numune 1 kat CFRP ile ve 2 numune de 2 kat CFRP ile sarılarak güçlendirilmiştir. Kalan numune referans numunesi olarak adlandırılmış olup yetersiz enine donatılı ve düşük dayanımlı bir kolonu temsil etmektedir. CFRP sargı etkisi, güçlendirmede eksenel yük etkisi ve düz donatı üzerinde çalışılmıştır. Bu çalışmadan aşağıdaki sonuçlar çıkartılmıştır.

1. Kolonların plastik mafsalsal bölgesini CFRP katmanları kullanarak sargılamak yetersiz kolonların sismik davranışını belirgin bir şekilde iyileştirmiştir. Yanal yük kapasitesindeki göz ardı edilebilir (%10 - %15) artışa rağmen nihai yerdeğıştirmelerde ve süneklikte belirgin artış elde edilmiştir. Kolon etrafına sarılan CFRP katmanlarının sayısındaki artış kolonun sismik davranışını iyileştirmiş (yerdeğıştirme kapasitesi) ve bu iyileştirme CFRP' nin sargılamasındaki artışla orantılı değildir.
2. Kolonların kritik bölgesini eksenel kapasitenin %35 düzeyinde bir eksenel yük altında sarmak kolon davranışında belirgin bir etkiye sahip değildir. Bu eksenel yük düzeyi altında güçlendirilmiş kolonlar eksenel yük altında güçlendirilmemiş kolonlar ile benzer davranış göstermiştir. Deneysel sonuçlar bu eksenel yük düzeyinde oluşan yanal uzamaların güçlendirilmiş kolonların davranışı üzerinde belirgin bir etkisi olmadığını ortaya çıkarmıştır. Buna karşın, bu sonucu destekleyen daha yüksek eksenel yük altında deneyler yapılması gerekmektedir.
3. Düz donatının kullanılması donatı sıyırılmasından kaynaklanan yerdeğıştirmelerin toplam yerdeğıştirmelerdeki payını arttırmaktadır. Referans numunesi için, bu pay en fazla %40 civarındadır fakat güçlendirilmiş numuneler için donatı sıyırılmasından kaynaklanan yerdeğıştirme payı %65' ten %80' e kadar çıkmaktadır. Sonuç olarak, yetersiz betonarme kolonların incelenmesinde ve güçlendirilmesinde donatı sıyırılmasından kaynaklanan yerdeğıştirmelere dikkat edilmesi gerekmektedir.

Yukarıda detaylı olarak anlatılan deney programından elde edilen sonuçlara göre donatı sıyırılması ve düz donatı etkisinin hesaba alınması gerekmektedir. 2006 yılı içinde yürürlüğe giren Depren Bölgeleri Hakkında Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmeliğın 7.Bölümü'nde verilen şartnamede de bu konunun vurgulanması ve belirlenmesi gerekmektedir. Buna ek olarak düz donatılı ve düşük beton dayanımına sahip kolonlarda deformasyon kapasitesinin artırılmasında FRP tasarımın nasıl gerçekleştirileceğı ilerde

araştırılması gereken konulardandır. Laboratuvarımızda yürütülen çalışmalar tamamlandığında bu belirsizliklere aydınlık getirileceğine inanılmaktadır.

Referanslar

Seible, F., Priestley, M. J. N., Hegemier, G. A., Innamorato, D., 1997. Seismic Retrofitting of RC Columns with Continuous Carbon Fiber Jackets, *Journal of Composites for Construction*, May, 52-62.

Sheikh, S. A., Yau, G., 2002. Seismic Behavior of Concrete Columns Confined with Steel and Fiber-Reinforced Polymers, *ACI Structural Journal*, 99-S8, 72-80.

Iacobucci, R. D., Sheikh, S. A., Bayrak, O., 2003. Retrofit of Square Concrete Columns with Carbon-Fiber-Reinforced-Polymer for Seismic Resistance, *ACI Structural Journal*, 100-S81, 785-793.