

Yetersiz Betonarme Kolonlar için Lifli Polimer Güçlendirme Tasarım Kurallarının İrdelenmesi

Okan ÖZCAN*
Barış BİNİCİ**
Güney ÖZCEBE***

ÖZ

Yetersiz betonarme kolonların potansiyel plastik mafsallı bölgelerinde lifli polimer (LP) sargılama ile deformasyon kapasitelerinin artırılması son yıllarda oldukça popüler hale gelmiş bir güçlendirme tekniğidir. Ülkemizde 2007 yılında yürürlüğe giren Deprem Yönetmeliği'nin (TDY07) 7'nci bölümünde konuya ilişkin hükümler yer almaktadır. Bu çalışma, sabit aksenal yük ve artan tersinir yanal yerdeğiştirme istemleri altında ODTÜ'de test edilmiş toplam 10 adet ve literatürden derlenen 18 adet kolon deneyi sonuçları ışığında TDY07'nin tasarım yaklaşımının irdelenmesini amaçlamaktadır. Yapılan incelemeler sonrasında, TDY07'de yer alan LP sargılanmış kolon performans limitlerinin oldukça güvenli tarafta kaldığı ve ekonomik olmayan tasarımlara yol açtığı tespit edilmiştir. Güvenli olmasının yanında daha basit ve ekonomik LP tasarımlarının gerçekleştirilebilmesi için biri mevcut yönetmelik yöntemleri ile uyumlu diğeri ise kolon uç ötelenme oranı tabanlı iki ayrı tasarım metodu geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kolonlar, eğilme davranışı, LP sargılama, Türk Deprem Yönetmeliği

ABSTRACT

Investigation of FRP Strengthening Design Rules for Insufficient RC Columns

Increasing the deformation capacities of code-incompliant RC columns by wrapping their potential plastic hinge regions with fiber-reinforced polymer (FRP) has become a rather popular strengthening technique in recent years. FRP design guidelines are included in the 7th chapter of the Turkish Earthquake Code (TEC-07) that became effective in 2007. This study intends to scrutinize the design approach of TEC-07 in light of the test results of 10 columns tested under axial load and cyclic displacement excursions at METU and the test results of 18 columns gathered from literature. After careful investigations, it was clearly seen that in TEC-07, the FRP wrapped column performance limits were overconservative and led to uneconomical designs. Two different design methods were developed among

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 10.08.2009 günü ulaşmıştır.
- 31 Aralık 2010 gününe kadar tartışmaya açıktır.

* Akdeniz Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Antalya - ozcanok@gmail.com

** Orta Doğu Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara - binici@metu.edu.tr

*** Orta Doğu Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara - ozcebe@metu.edu.tr

which one of them is compatible with the current code procedure and the other one is based on inter-storey drifts in order to obtain simpler and more economical FRP design in addition to its accuracy.

Keywords: Columns, flexural behavior, CFRP confinement, Turkish Earthquake Code

1. GİRİŞ

Lifli polimer (LP) malzemelerin betonarme kolonlarda güçlendirme ve onarım amaçlı kullanımı son yıllarda oldukça yaygınlaşmış olup bu yöntemin binalarda ve köprü ayaklarında kullanılabilir pratik bir yöntem olduğu birçok araştırmacı tarafından gösterilmiştir [1-10]. Deprem etkisi altındaki kolonlarda LP sargılama, kolon yanal rijitlik ve yanal yük kapasitesinde fazla bir artış olmadan yer değiştirme istemlerini karşılayabilme imkanı verebilmektedir. Bu nedenle, ülkemizdeki sargı yetersizliğine sahip betonarme kolonların plastik mafsallı bölgelerinin güçlendirilmesinde LP sargılamanın kullanılabilir olduğu oldukça etkin bir yöntem olabileceği açıktır. Sismik performans açısından yetersiz binalarda genellikle toptan güçlendirme metotları uygulanmakla birlikte, LP sargılama metodu ile sargı yetersizliği bulunan kolonların deformasyon kapasitelerinin artırılması bir o kadar ekonomik ve kolay uygulanabilen alternatif bir güçlendirme yöntemidir. Bu amaçla, 2007 yılında yürürlüğe giren TDY07'nin [11] 7E.3 başlığı altında kolonların sünekliğinin artırılması için LP tasarım metodu sunulmuştur. LP sargılama ile ulaşılabilecek en büyük beton birim kısalma değerinin sağlanan yanal basınçla orantılı olarak artacağı öngörülmüştür. Aşağıda belirtilen denklemler (Denklem 1-4) yönetmeliğe göre LP sargılı beton için beton dayanım ve ezilme birim kısalması hesabına imkan vermektedir.

$$f_{cc} = f_{cm} \left(1 + \left(\frac{f_l}{f_{cm}} \right) \right) \geq 1.2 f_{cm} \quad (1)$$

$$\varepsilon_{cc} = 0.002 \left(1 + 15 \left(\frac{f_l}{f_{cm}} \right)^{0.75} \right) \quad (2)$$

$$f_l = \frac{\kappa_a \rho_f \varepsilon_f E_f}{2} \quad (3)$$

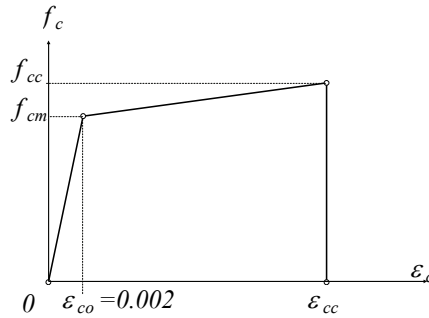
$$\kappa_a = 1 - \frac{(h - 2r)^2 + (b - 2r)^2}{3bh} \quad (4)$$

Burada, kullanılan parametreler ϕ , f_l , κ_a , ρ_f , ε_f , E_f , f_{cm} sırasıyla LP yanal basınç oranını, yanal basınç miktarını, şekil etkinlik katsayısını, LP hacimsel oranını, LP tasarım kopma birim uzamasını, LP elastisite modülünü ve sargısız beton basınç dayanımını göstermektedir. ε_f değeri 0.004 veya üretici tarafından önerilen kopma birim uzamasının yarısından büyük olamaz. TDY07'ye göre LP sargılama sonrasında aksenal basınç dayanım

artışının %20'den az olduğu durumlarda kolon süneklik artışının da göz önünde bulundurulmaması gerekmektedir. Doğrusal elastik yöntem kullanılarak yapılan analizlerde LP ile güçlendirilmiş bir kesitin sargılı kabul edilebilmesi için Denklem 2 ile belirtilen ezilme birim kısalma değerinin 0.018'i geçmesi gerekmektedir. Doğrusal elastik olmayan yöntemler kullanıldığında ise, yanal basınç etkisi altındaki LP sargılı beton davranışının iki doğrulu gerilme şekil değiştirme ilişkisi ile modellenerek hasar sınırlarının belirlenmesi gerektiği belirtilmiştir (Şekil 1). Bu çalışma, TDY07'ye göre LP sargılaması ile kolonlarda süneklik artırılmasına ilişkin tasarım kurallarını deneysel ve analitik çalışmalar ışığında yeniden gözden geçirerek geliştirmeyi hedeflemektedir. Çalışmanın çıkış noktaları TDY07'de belirtilen LP sargı tasarım kurallarına ilişkin aşağıdaki gözlemlerdir:

- 1) Denklem 2'de sunulan LP sargılı beton birim kısalma limiti, yalnızca aksenal basınç altındaki LP kolon deney sonuçları [12, 13] kullanılarak önerildiği için gerçekçi kolon istemlerini dikkate almayabilir.
- 2) LP sargılanmış kolonlar için birim kısalma limitlerine bağlı olarak tahmin edilen performans seviyelerinin deney sonuçları ile karşılaştırılarak yapılacak tasarımın ekonomik ve güvenli olduğunun gösterilmesi gerekmektedir.
- 3) Mevcut yönetmelik yönteminde, kesit analizleri için kesinliği belli olmayan ve süneklik artırımı için mutlak %20 kapasite artımı talep eden gerilme-birim şekil değiştirme ilişkisi önerilmektedir. Bu yaklaşımın yerine basitleştirilmiş standart betonarme kesit davranış modelleri kullanan ve kolonlar için ana sismik performans parametrelerini içine alan yaklaşımlara ihtiyaç duyulmaktadır.

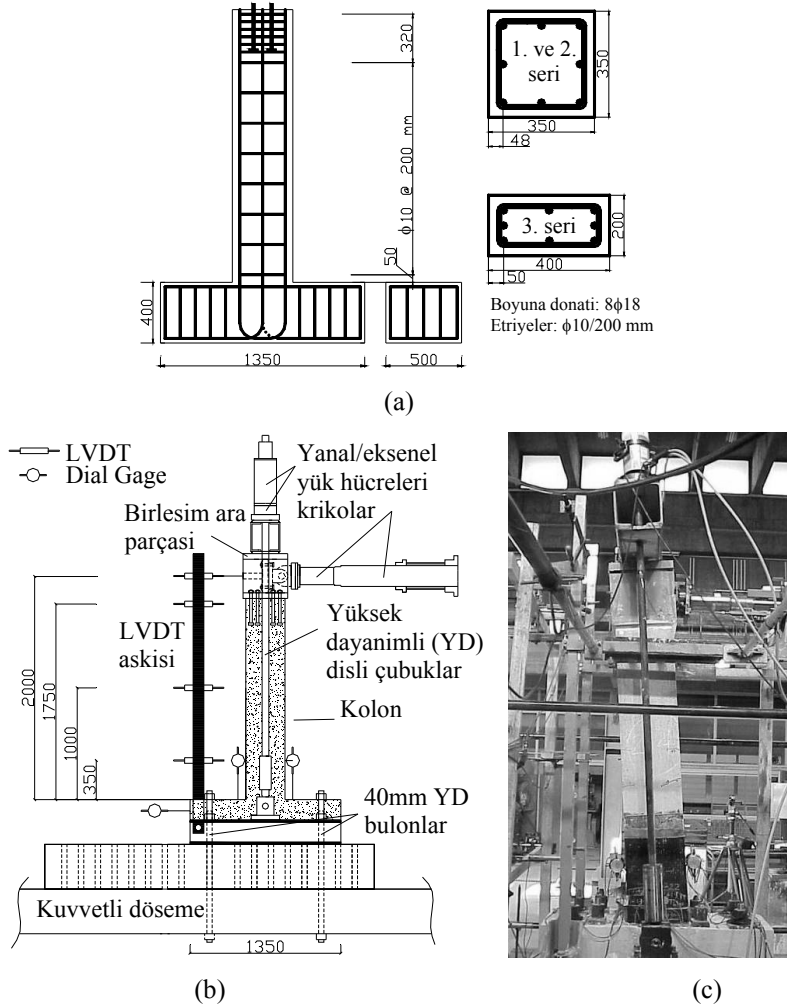
Yukarıda sunulan ilgili yönetmelik eksikliklerini gidermeye yönelik deneysel ve analitik bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Öncelikle ODTÜ'de yapılmış olan kolon test sonuçları kısaca özetlenmiş ve eleman performansları TDY07'de belirtilen LP tasarım yöntemi kullanılarak tahmin edilmiştir. Sonrasında, yapılan deneyler ve oluşturulan LP sargılı kolon veritabanı kullanılarak iki ayrı tasarım yöntemi önerilmiştir. Birinci yöntemde kolon uç ötelenme oranının (kolon ötelenme oranı) belirlenmesine dayalı bir yaklaşım sunulmaktadır. İkinci yöntemde ise, yönetmelik ile uyumlu birim kısalma limitlerini kullanılmıştır. Ayrıca, bu çalışmada ulaşılan deneysel ve analitik sonuçlara dayanılarak yönetmeliğin ileride yürürlüğe girecek güncellemeleri için iyileştirme önerilerinde bulunulmuştur.



Şekil 1. Yönetmelikte belirtilen LP sargılı beton modeli

2. ODTÜ DENEYLERİ

Deneyisel çalışma, ülkemizdeki yetersiz betonarme kolonları (sıklaştırmazsız etriyeler, 90-derece kıvrımlı kancalar ve düşük basınç dayanımlı beton) temsil eden tam ölçüğe yakın boyutlara sahip kolon modelleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada, 3 adet referans ve 10 adet LP sargılı eğilme kolonu denenmiş olup, deneylerde LP sargı miktarı, eksenel yük ve boyuna donatı oranı parametrelerinin kolon sismik davranışı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Deney elemanlarının özellikleri Tablo 1’de gösterilmiştir. Yapılan deneylerde tüm kolonlar sabit eksenel yük ve artan tersinir yanıl yerdeğiştirme çevrimleri altında test edilmiştir. Burada, üç seriden oluşan kolon testlerinde her bir seriye ait bir adet LP sargılanmamış referans kolonu bulunmaktadır. Kolonlar için kullanılmış olan donatı özellikleri ve deney düzeneği Şekil 2’ de gösterildiği gibidir.



Şekil 2. (a) Deney elemanlarının özellikleri ve (b), (c) deney düzeneği

Tablo 1. Deney elemanlarının özellikleri

Seri No	Eleman adı	<i>b</i>	<i>h</i>	<i>L</i>	<i>r</i>	<i>f_{cm}</i>	<i>A_s</i>	<i>κ_a</i>	<i>ρ</i>	<i>n</i> *	<i>φ</i>	<i>KÖ_u</i>
		mm	mm	mm	mm	MPa	mm ²		%	%		%
	S-L-0-00	350	350	2000	-	14.0	2035.8	-	1.66	35	-	2.6
	S-L-1-00	350	350	2000	30	19.4	2035.8	0.542	1.66	27	0.091	4.9
Seri 1	S-L-1-34	350	350	2000	30	14.0	2035.8	0.542	1.66	34	0.126	5.1
	S-L-2-00	350	350	2000	30	11.4	2035.8	0.542	1.66	40	0.309	6.3
	S-L-2-32	350	350	2000	30	15.6	2035.8	0.542	1.66	32	0.226	6.0
	S-H-0-00	350	350	2000	-	20.0	3041.1	-	2.48	27	-	3.3
Seri 2	S-H-1-00	350	350	2000	30	20.0	3041.1	0.542	2.48	27	0.088	4.1
	S-HC-1-00	350	350	2000	10	22.0	3041.1	0.407	2.48	27	0.066	3.6
	R-NC-0-00	200	400	2000	-	12.0	2035.8	-	2.54	35	-	1.8
	R-HC-1-16P	200	400	2000	30	10.0	2035.8	0.755	2.54	35	0.322	6.1
Seri 3	R-MC-1-8P	200	400	2000	30	10.5	2035.8	0.437	2.54	35	0.178	3.7
	R-MC-1-NP	200	400	2000	30	9.0	2035.8	0.437	2.54	35	0.207	3.9
	R-MC-1-16P	200	400	2000	30	15.0	2035.8	0.755	2.54	35	0.215	4.0

$$*n = \frac{N_{uygulanan}}{N_0} = \frac{N_{uygulanan}}{0.85f_c'bh + A_s f_{sy}}$$

Burada; κ_a , ρ , n ve ϕ parametreleri sırasıyla kesit şekil etkinlik katsayısı, boyuna donatı oranı, eksenel yük oranı ve LP yanal basınç oranını göstermektedir (Denklemler 1-4). $KÖ_u$ ise kolon yanal dayanımının, kapasite değerinin %80'ine düştüğü kolon ötelenme oranını belirtmektedir.

Tablo 1'de gösterilmiş olan ilk seri deney numuneleri için, LP sargı miktarı ve beton basınç dayanımı ana değişken olarak kullanılmıştır. Sonraki üç kolon numunesi ise, boyuna donatı oranının ve köşe yuvarlama yarıçapının kolon davranışına etkisini görmek amacıyla kullanılmıştır. Kalan beş numune için gözlemlenen değişkenler, kolon boyut oranı ve LP sargı miktarı olarak belirlenmiştir. Deneylerin Yatay yük (P) – Yanal yerdeğiştirme (Δ) eğrileriyle, deney sırasında gözlemlenen kolon-temel arayüz çatlaması, LP ayrışması, LP kopması ve boyuna donatı burkulması gibi önemli olaylar grafik üzerinde gösterilmiştir (Şekil 3-5). Deney sonuçlarına ilişkin tüm detaylı gözlemler daha önce yapılmış olan çalışmalarda ayrıntılı olarak belirtildiği için burada tekrarlanmamıştır [1, 14-16]. Deneylerde, artan LP sargı miktarının kolonların yerdeğiştirme kapasitelerini önemli derecede iyileştirdiği ve sonuç olarak kolonların süneklik düzeylerinde önemli artışlar sağladığı belirlenmiştir. Tablo 1'de LP sargı oranı (ϕ) olarak gösterilmiş değişken Denklem 3'te belirtilen yanal sargı miktarının (f_i) beton basınç dayanımına (f_{cm}) oranıdır. Ölçülen kolon uç deplasmanları kolon boyuna bölünerek kolon uç ötelenme ($KÖ$) değerleri veya kısaca kolon ötelenme oranı değerleri elde edilebilir. Kolon ötelenme kapasitesi ($KÖ_u$) ise,

%20 dayanım azalmasına karşılık gelen kolon uç deplasmanının kolon boyuna bölünmesi ile bulunmuştur. Şekil 6'da görüldüğü gibi, artan LP sargı oranı değişik boyuna donatı oranları için kolon ötelenme kapasitelerinde ($K\ddot{O}_u$) artışa neden olmaktadır. $K\ddot{O}_u$, kolon yanal dayanımının, kapasite değerinin %20 düştüğü kolon ötelenme oranını belirtmektedir. Ayrıca, boyuna donatı oranının %1.6'dan %2.5 seviyesine yükselmesi ile kolon ötelenme kapasitelerinde gözlemlenen artış miktarı azalmaktadır. Tablo 1'deki yanal yerdeğiştirme oranları incelenirse, artan aksel yük ve boyuna donatı oranıyla kolon sismik performansının kötüleştiği görülebilir. Deney sonuçlarından anlaşıldığı üzere, bu üç ana parametrenin (ϕ : LP yanal basınç oranı, n : aksel yük oranı, ρ : boyuna donatı oranı) eğilme kolonlarının deformasyon yapabilme yeteneğine büyük etkisi olduğu görülmektedir.

3. TDY07'YE GÖRE DEĞERLENDİRME

Yapılan değerlendirmelerde, yönetmelikte belirtilen LP sargılı beton için iki doğrulu gerilme – birim kısalma modeli kullanılmıştır. Kolonların akma eğrilik (K_y) ve bu eğriliğe karşı gelen moment değerleri (M_y), LP sargılı beton ve yönetmelikte belirtilen çelik modelleri kullanılarak yapılan kesit analizi ile hesaplanmıştır. Bulunan sonuçlar Tablo 2'de sunulmuştur. Akma yerdeğiştirmesi (Δ_y) ve buna karşılık gelen yatay yük değeri (F_y), akma eğriliğinin kolon dibinde olduğu ve tüm kolon boyunca eğriliğin lineer yayıldığı varsayılarak saptanmıştır. Yapılan hesaplamalarda, akma eğrilik değeri için akma momentinin çatlamış beton rijitliğine olan oranı kullanılmıştır (M_y/EI_{cr}). Tablo 2'deki EI_{cr} değeri, yönetmelikte belirtilen çatlamış beton rijitlik değeri olup, deneylerdeki aksel yük oranının %10 ila %40 arasında olması sebebiyle 0.4EI ve 0.8EI değerleri arasında oranlanarak bulunmuştur. En büyük yerdeğiştirme (Δ_u) ve bu yerdeğiştirmeye karşılık gelen yanal kuvvet (P_u) değerlerinin hesabında, Denklem 2'de belirtilen ε_{cc} birim kısalma değeri göz önünde bulundurularak en büyük eğrilik değeri (K_u) hesaplanmıştır. Bulunan bu eğrilik değeri, yönetmelikte belirtilen plastik mafsallık yüksekliğince ($0.5h$) sabit yayılı olarak kabul edilmiştir. Ayrıca, plastik moment bölgesi dışında kalan bölgede eğrilik dağılımı doğrusal varsayılmış ve bu dağılım hesaplarında göz önünde bulundurulmuştur (Şekil 7). Yapılan hesaplarda, eğrilikler kolon boyunca integre edilerek Denklem 5'te gösterildiği gibi akma ve olası en büyük yerdeğiştirme değerleri saptanmıştır.

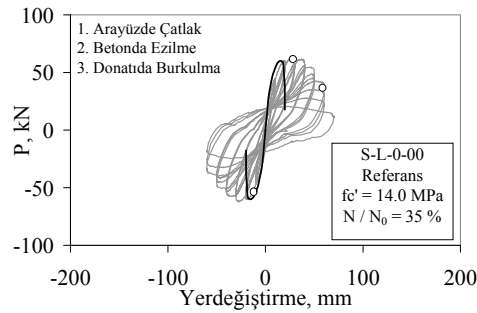
$$\Delta_u = \Delta_y + \Delta_p = \frac{\kappa_y L^2}{3} + (\kappa_u - \kappa_y) L_p \left(L - \frac{L_p}{2} \right) \quad (5)$$

Yapılan analizlerde, LP sargılı kolonlar için iki doğrulu Yatay yük (P) – Yerdeğiştirme (Δ) grafikleri elde edilmiş olup deneysel verilerle karşılaştırılmıştır (Şekil 3-5). Burada, referans kolonları için (S-L-0-00, S-H-0-00 ve R-NC-0-00) yukarıda anlatılan analizler yerine yönetmelikte belirtilen sargılanmamış beton ve çelik modeli kullanılmıştır. Bu çalışmada, LP sargılı beton esas inceleme konusu olduğu için sargılanmamış beton ile ilgili sonuçlar Tablo 2'de gösterilmemiştir.

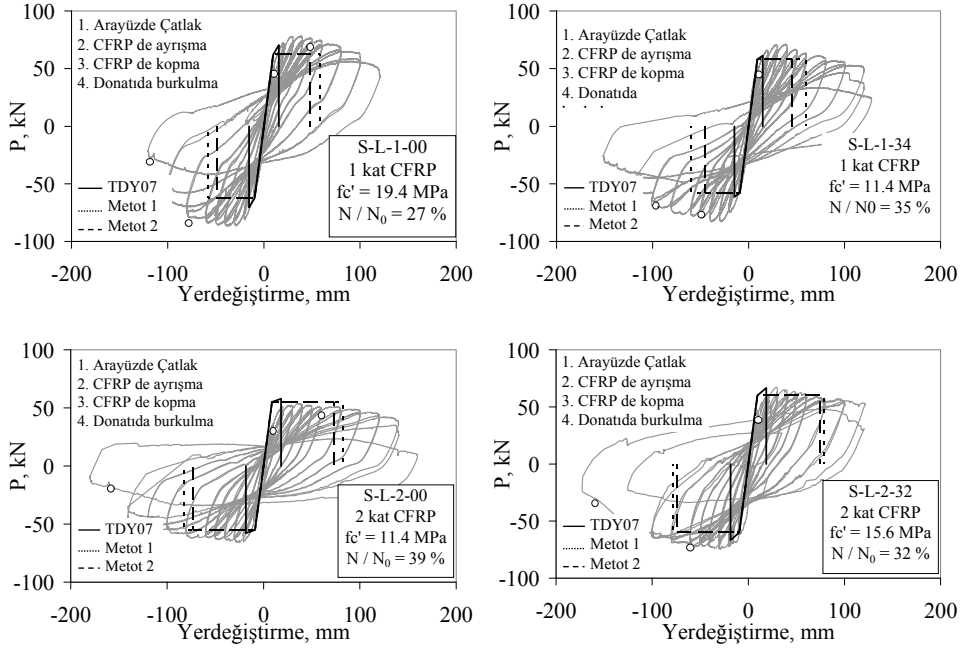
Tablo 2. Deney numunelerine ait analitik sonuçlar

Eleman Adı	K_y	M_y	M_y/EI_{cr}	K_u	M_u	Δ_y	P_y	Δ_u	P_u
	rad/km	kNm	rad/km	rad/km	kNm	mm	kN	mm	kN
S-L-1-00	9.79	124.61	7.24	24.65	140.94	9.65	62.31	15.48	70.47
S-L-1-34	11.59	116.10	6.86	23.38	122.62	9.14	58.05	14.67	61.31
S-L-2-00	13.07	110.26	6.58	34.82	115.74	8.77	55.13	18.23	57.87
S-L-2-32	10.83	120.22	7.06	34.22	133.24	9.42	60.11	18.51	66.62
S-H-1-00	9.86	151.92	8.67	23.54	169.13	11.56	75.96	16.54	84.57
S-HC-1-00	9.48	153.92	8.38	21.35	173.14	11.17	76.96	15.51	86.57
R-HC-1-16P	10.78	96.57	7.81	31.55	101.13	10.41	48.29	18.36	50.57
R-MC-1-8P	10.81	97.21	7.67	22.36	100.53	10.23	48.61	15.14	50.27
R-MC-1-NP	11.14	92.23	7.86	23.79	95.00	10.48	46.12	15.81	47.50
R-MC-1-16P	10.04	113.88	7.52	26.12	121.14	10.02	56.94	16.25	60.57

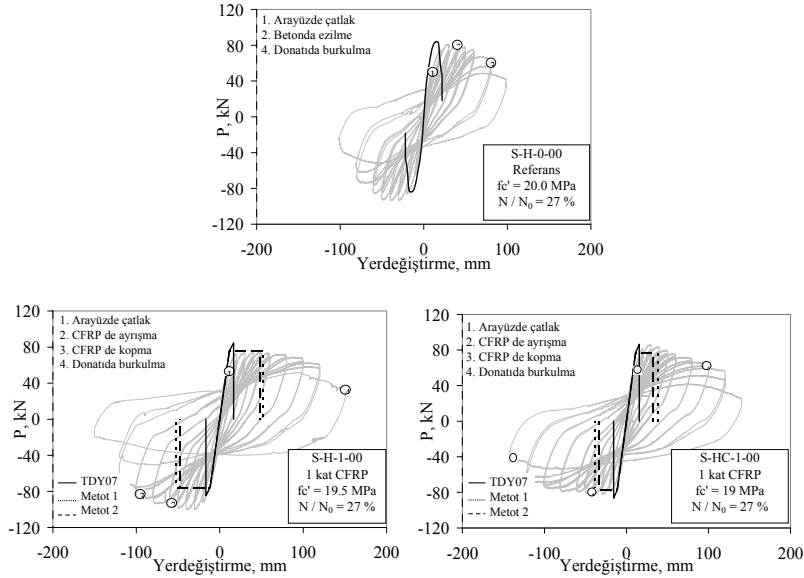
Deney sonuçları yönetmelikte belirtilen tasarım yöntemi sonuçları ile karşılaştırıldığında, LP sargılı kolonlar için hesaplanan kolon ötelenme kapasitesi ($K\bar{O}_u$), %1 (20 mm) değerini aşmazken, deneysel veriler kolonların, Tablo 1’de görüldüğü gibi bu değer en az iki katı kolon ötelenme değerlerine rahalıkla ulaştığını göstermektedir. Eğilme altındaki bir kolon için tepe deplasmanını oluşturan bileşenler; elastik eğilme, plastik dönme, kayma ve donatı sıyrılması sebebiyle deplasmanlar olarak sıralanabilir. TDY07’de tepe deplasmanının sadece elastik eğilme ve plastik dönme kaynaklı olabileceği düşünüldüğünden diğer etmenler göz ardı edilmektedir. Ayrıca, plastik mafsal boyu olarak öngörülen $0.5h$ değeri deney sonuçlarına göre oldukça güvenli tarafta yer almaktadır [1,3]. Yönetmelikte belirtilen LP sargısına ait en büyük birim uzama değerinin en fazla üretici tarafından verilen değerinin yarısı veya 0.004 olarak ele alınması da aynı şekilde aşırı güvenli bir tasarıma neden olmaktadır.



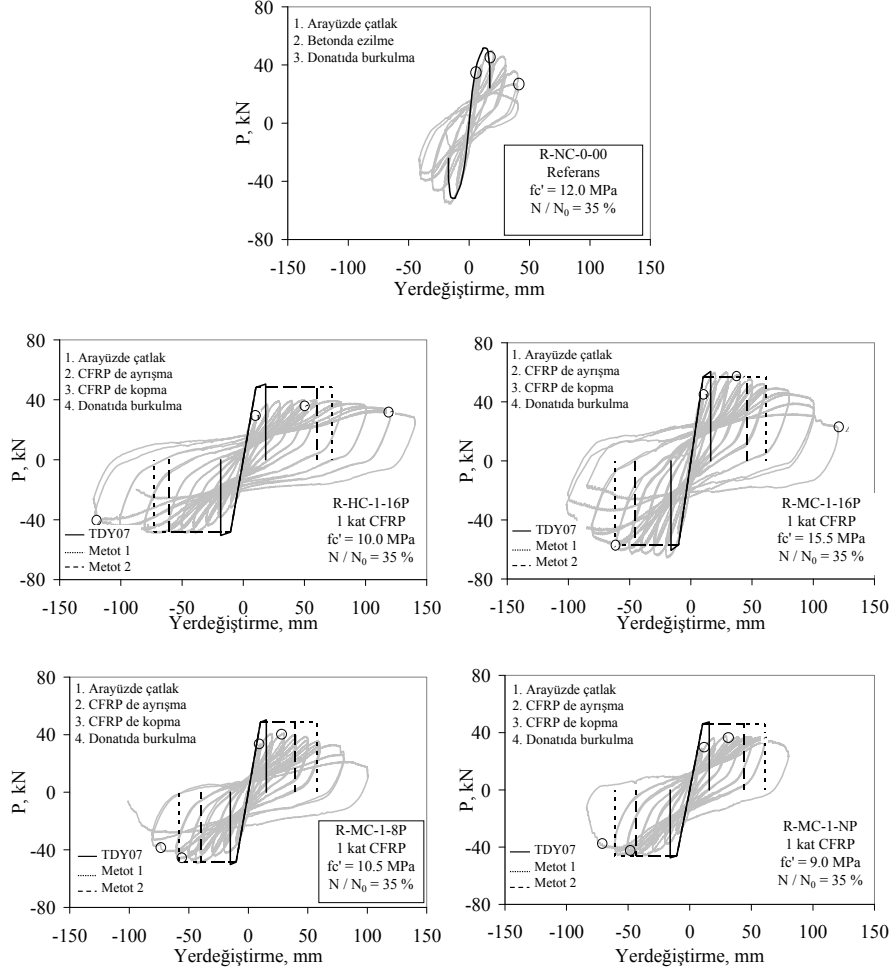
Şekil 3. Birinci seri kolonlar için deney karşılaştırma grafikleri



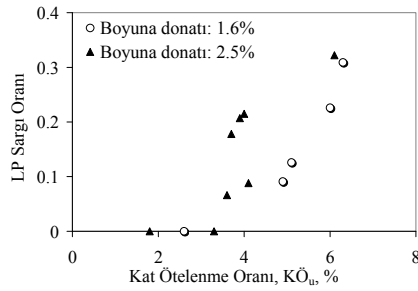
Şekil 3. (devamı) Birinci seri kolonlar için deney karşılaştırma grafikleri



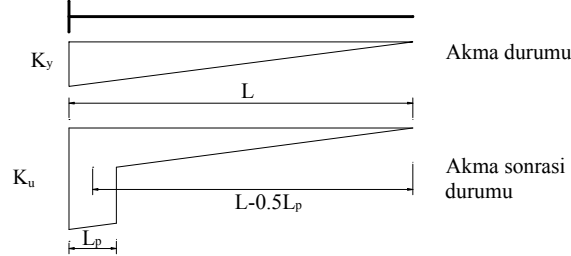
Şekil 4. İkinci seri kolonlar için deney karşılaştırma grafikleri



Şekil 5. Üçüncü seri kolonlar için deney karşılaştırma grafikleri



Şekil 6. Farklı donatı oranları için LP sargı oranı – Kolon ötelenme kapasitesi ilişkisi



Şekil 7. Kolon akma ve taşıma gücü limit durumundaki eğrilik dağılımları

4. ÖNERİLEN TASARIM METOTLARI

4.1. Metot 1: Kolon Ötelenme Oranı Tabanlı Tasarım

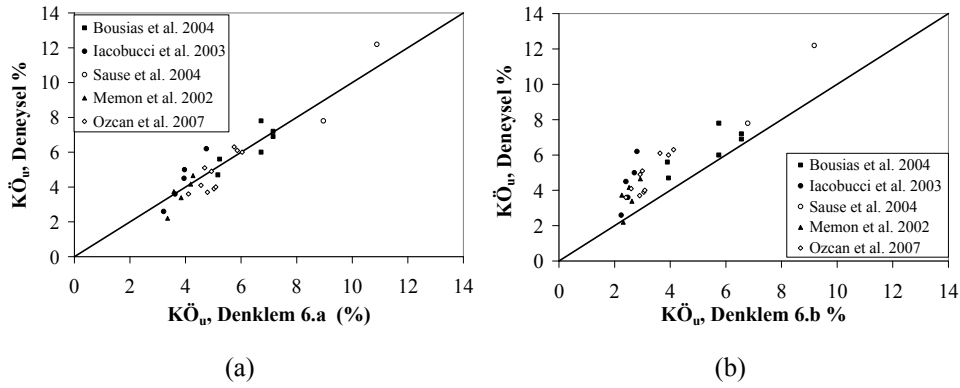
Burada, daha önceki çalışmalarda test edilmiş 18 adet eğilme davranışı gösteren LP sargılı kolon numunesi deney veritabanına eklenerek LP yanal basınç oranı (ϕ), aksenal yük oranı (n) ve boyuna donatı oranı (ρ) parametrelerine bağlı olarak kolon ötelenme oranı tabanlı basitleştirilmiş bir tasarım yöntemi geliştirilmiştir. Bu üç parametre ile, doğrusal olmayan regresyon analiz yöntemi kullanılarak kolon ötelenme kapasiteleri ($K\ddot{O}_u$) tahmin edilmeye çalışılmıştır. Analizlerde, kolon ötelenme kapasitesi olarak, deneysel kolon yanal dayanımının kapasite değerinin %80'ine düştüğü ana karşılık gelen ölçülmüş yanal yerdeğiştirme miktarının kolon boyuna bölünmesi ile elde edilen değer temel alınmıştır. Regresyon analizi sonucunda elde edilen ve Denklem 6a ile verilen üstel fonksiyon, deneysel verilerle en iyi uyumu sağlamıştır (Şekil 8a). Bu denklem tüm veritabanındaki deneylerin ortalama değerini verdiği için tasarım açısından yeterli güvenliği sağlayamamaktadır. Bu nedenle tasarımda güvenle kullanılacak bir yaklaşım geliştirilmesi gereği hissedilmiştir. Veritabanındaki tüm veriler kullanılarak yapılan bir seri analiz sonucunda, tüm deneysel verileri güvenli bir şekilde tahmin edebilen ve ekonomik olarak kabul edilebilir sınırlar içerisinde sonuç veren Denklem 6b elde edilmiştir.

$$K\ddot{O}_u = 2.47 + 50 \frac{\phi^{0.64}}{n^{1.29} \rho^{0.35}} \quad (6a)$$

$$K\ddot{O}_u = 2 + 4.5 \frac{\phi}{n\rho} \quad (6b)$$

Burada ϕ , n ve ρ değerleri % olarak tanımlanmaktadır. Bu denklem kullanılarak elde edilen analitik kolon ötelenme oranlarının deneysel verilerle karşılaştırılması Şekil 8b'de verilmektedir. Bu şekilden görüleceği üzere, Denklem 6b ile verilen bağıntının kolonların LP tasarımı için her şartta güvenli sonuç verebilecek bir tasarım aracı olduğu açıktır. Şekil 8'deki verilerin nümerik karşılaştırması Tablo 3a ve Tablo 3b'de ayrı ayrı verilmektedir. Bu tablolardan görüleceği gibi Denklem 6a ile elde edilen sonuçların deneysel verilerden sapması $\pm\%30$ mertebesinde olurken, Denklem 6b ile elde edilen sonuçlar sürekli olarak

deneysel verilerin altında kalarak güvenli yönde olmaktadır. Hesaplardaki güvenlik payı kimi zaman %70'e kadar ulaşırken, yalnızca Memon ve diğerlerinin (2002) yaptığı bir deneyde %5 oranında güvensiz sonuç vermiştir. Metot 1 kullanılarak elde edilmiş tasarım Yanal yük – Yerdeğiştirme zarflarının deneysel çevrimler ile karşılaştırılması Şekil 3-5'te gösterilmiştir. Bu grafiklerden de açıkça görüldüğü gibi, kullanılan kolon ötelenme oranı tabanlı yeni tasarım metodu LP sargı etkisini güvenli ve ayrıca tasarımda da kolaylıkla kullanılabilir bir şekilde temsil etmektedir. Grafiklerden de görüldüğü üzere, LP sargılı kolonlar için, Metot 1'de tahmin edilen kolon ötelenme kapasiteleri ($KÖ_u$) deneylerde kolonların üç kararlı çevrim yapabildiği en son yerdeğiştirme değerine yaklaşık olarak denk gelmektedir. Bu sonuçlar, önerilen yöntemin üç ana parametreyi hesaba alan ve kolon sismik performansını daha iyi bir şekilde tahmin edebilen bir tasarım yöntemi olduğuna işaret etmektedir. TDY07'de belirtilen LP tasarım yönteminin karmaşıklığı önerilen kolon ötelenme oranı tabanlı tasarım yöntemi ile basitleştirilmiş olup, LP sargılı kolona ait üç ana parametre ile kolonun kolon ötelenme kapasitesi güvenilir bir şekilde belirlenebilmektedir.



Şekil 8. Metot 1: (a) En iyi korelasyon ve (b) tasarım denkleminin deneysel karşılaştırması

4.2. Metot 2: Birim Kısılma Tabanlı Tasarım

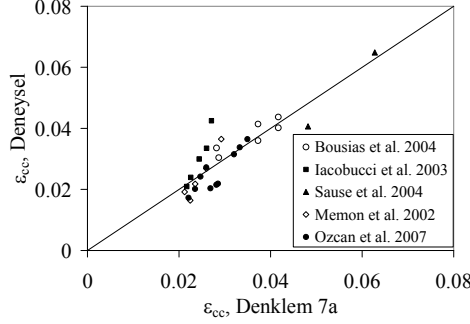
Önerilen ikinci metotta, LP sargılı beton kesitin üst basınç lifinde oluşan en büyük birim kısılma değeri, deneylerle uyumlu kolon ötelenme oranına uygun olarak kalibre edilmiştir. Bu yöntemde de Metot 1'deki üç ana parametre ve daha önce bahsedilen 28 kolonluk LP sargılanmış kolon veritabanı kullanılmıştır. Öncelikle, veritabanındaki tüm kolonlardaki moment akma değerleri (M_y) dikdörtgen beton basınç bloğu ve elastoplastik çelik modeli kullanılarak standart kesit hesabı ile saptanmıştır. Daha sonra kolonların akma momenti, çatlamış beton rijitliği değerine bölünüp akma eğriliği (K_y) elde edilmiştir. Tüm kolonlara ait deneysel kolon ötelenme oranları yanal yerdeğiştirmelere dönüştürülmüş (Δ_u), ve kolonun akma eğriliğinden elde edilen akma yerdeğiştirme değerleri (Δ_y) Denklem 5 kullanılarak hesaplanmıştır. Plastik mafsal boyu kolon uzun boyutu (h) olarak varsayılmıştır. Bu varsayımın TDY07'de verilen $0.5h$ kabulüne göre daha gerçekçi olduğu yapılan deneysel çalışmada ve literatürdeki çeşitli deneylerde gözlemlenmiştir [14-16]. Bu aşamadan sonra, deneysel olarak belirlenen en büyük yerdeğiştirmeler ile uyumlu en büyük

eğrilik değerleri (K_u) Denklem 5 kullanılarak saptanmıştır. Veritabanında bulunan tüm kolonlar için en büyük eğriliğe karşılık gelen sargılı betonun ezilme birim kısalma değerleri, ε_{cc} , dikdörtgen gerilme bloğu ve elastoplastik çelik modeli kullanılarak hesaplanmıştır (Tablo 4a, b). Bulunan kısalma değerleri, LP yanal basınç oranı (ϕ), eksenel yük oranı (n) ve boyuna donatı oranı (ρ) parametreleri kullanılarak doğrusal olmayan regresyon analizi ile en iyi uyumu sağlayan bir denkleme dönüştürülmüştür (Denklem 7a). Burada, deneysel en büyük yanal yerdeğiştirmeleri veren beton ezilme birim kısalma değerleri, yönetmeliğe bağlı kalarak ε_{cc} şeklinde sunulmaktadır. Denklem 7a tüm veritabanındaki deneylerin ortalama değerini verdiği için, tasarım açısından yeterli güvenliği sağlayamamaktadır. Bu nedenle, tüm deneysel verileri güvenli bir şekilde tahmin edebilen, ekonomik olarak kabul edilebilir sınırlar içerisinde sonuç veren ve sargısız durumda ezilme birim şekil değiştirmenin 0.004 değerine ulaşma şartını sağlayan Denklem 7b elde edilmiştir. Tablo 4a, b’de belirtilen $\varepsilon_{cc,\rho}$ değerleri, tasarım birim kısalma değerlerini belirtmektedir.

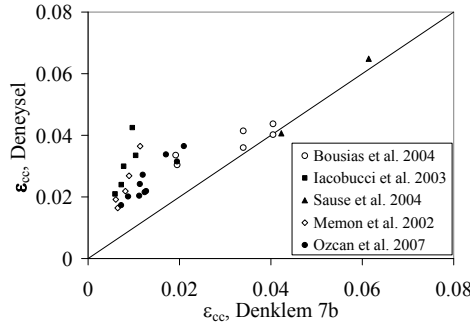
$$\varepsilon_{cc} = 0.019 + 0.418 \frac{\phi}{\sqrt{n\rho}} \quad (7a)$$

$$\varepsilon_{cc} = 0.004 + 3.6 \frac{\phi}{n\rho} \quad (7b)$$

Burada ϕ değeri birimsiz n ve ρ değerleri ise % olarak tanımlanmaktadır. Bu tasarım yöntemi, artan LP sargı etkisi ve dolaylı olarak artan ($\phi/n\rho$) oranı ile daha güvenli ve ekonomik tasarım yapılacağını öngörmektedir. Şekil 9a ve b’de, veritabanındaki deneysel çalışma sonuçlarına göre elde edilen birim kısalma değerleri ve tasarım denkleminin karşılaştırması sunulmaktadır. Metot 2 kullanılarak elde edilen Yanal yük – Yerdeğiştirme zarflarının deneysel sonuçlarla karşılaştırılması Şekil 3-5’te gösterilmiştir. Buradan da görüldüğü gibi Metot 2, LP sargılanmış kolon davranışını beton ve çelik için kullanılan basitleştirilmiş modeller ile Metot 1’e göre bir miktar daha güvenli olarak tahmin etmektedir. Ancak mevcut yönetmelik hükümleri ile karşılaştırıldığında oldukça ekonomik tasarımlara imkan vermektedir. Kullanılan ikinci metot ile, yönetmelikte belirtilen beton ve çelik modelleri basite indirgenmiş olup, dikdörtgen gerilme bloğu ve elastoplastik çelik modeli ile daha basit ve kullanışlı tasarım imkanı sağlanmaktadır. Önerilen bu metot deneysel verilerle karşılaştırıldığında, Metot 1’de gözlemlendiği gibi kolonların kararlı üç çevrim yapabildiği en büyük yerdeğiştirme değerinde kolon yanal kapasitesi oldukça küçülmektedir. Ayrıca, Metot 1’de de başarıyla uygulandığı gibi, LP tasarımında sadece LP sargı yanal basınç değişkenine bağlı kalınmamış olup, LP yanal basınç oranı, eksenel yük oranı ve boyuna donatı oranı olarak üç parametre LP sargılı kolon sismik performansını belirlemede kullanılmıştır. Böylece, LP sargılı kolonların tasarımı için kolon ötelenme performansının belirlenmesinde, tasarım yöntemi basitleştirilmiş olup aynı zamanda ekonomik ve güvenli tasarım olanağı sağlanmıştır.



(a)



(b)

Şekil 9. Metot 2: (a) En iyi korelasyon ve (b) tasarım denklemlerinin deneysel verilerle karşılaştırılması

4.3. Yönetmelik için Tavsiyeler

TDY07'de, LP sargılanmış kolonların elastik olmayan davranışının belirlenmesinde, beton ve çelik için olağan davranışın tahminine olanak vermeyen karmaşık malzeme modelleri kullanılmaktadır. Ayrıca, bu modeller kullanılarak elde edilen eğrilik dağılımının integre edilmesi sonucu bulunan kolon yanıl yerdeğiştirmeleri aşırı güvenli tarafta kalmaktadır. Yapılan çalışma neticesinde, LP sargılanmış kolonlar için öngörülen kolon ötelenme oranı ve birim kısalma tabanlı iki ayrı tasarım yöntemi ışığında, daha güvenli ve ekonomik tasarımların elde edilebileceği gösterilmiştir. Kolon ötelenme oranına dayanan tasarım daha pratik iken, mevcut yönetmelik hükümleriyle uyumlu Metot 2 ise daha detaylı analiz gerektirmektedir. Her iki yöntem için de, LP sargılanmış kolonların kolon ötelenme oranı veya kolonun kolon ötelenme istemine göre gerekli LP sargı miktarı belirlenebilir. Ayrıca, iki yöntemde de LP yanıl basınç oranı (ϕ), aksenal yük oranı (n) ve boyuna donatı oranı (ρ) değişkenleri kolon performansını belirleyen en önemli etmenlerdir. Kolon ötelenme oranı tabanlı tasarımda, Denklem 6b kullanılarak kolon ötelenme istemine göre gerekli LP sargı miktarı veya LP sargılı kolonun kolon ötelenme kapasitesi tahmin edilebilir. İkinci metot için ise, kesit analizi yapılmasına gereksinim duyulduğundan, dikdörtgen gerilme bloğu ve

elastoplastik çelik modeli kullanılmasının, akma ve moment kapasitelerinin eşit alınmasının kabul edilebilir basitleştirmeler olacağı belirlenmiştir. Yazarlar, yanal yerdeğıştirmelerin hesabında plastik mafsal boyunun, literatürdeki deney sonuçları ile uyumlu olacak şekilde, eğilme yönündeki kesit boyutuna eşit olarak alınması gerektiğini düşünmektedirler. Doğal olarak, bu boyut dairesel kesitlerde kesit çapı ve kare kesitlerde kesit yüksekliği olurken, dikdörtgen kesitli kolonlarda kesitin uzun boyutu olarak seçilmelidir. LP sargılı beton için Denklem 7b kullanılarak LP tasarımı gerçekleştirilebilir. Mevcut yönetmelikte hasar sınırlarını belirleyebilmek için için birim kısalma değerlerinin limitlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada öne sürülen iki metot için de göçme sınırı (GÖ) olarak kolon ötelenme kapasitesi ($KÖ_u$), güvenlik sınırı (GV) olarak bu değerin %75'i ve minimum hasar sınırı (MN) olarak ise kolonda akma yerdeğıştirmesine karşı gelen geçiş noktası kullanılabilir.

Ek'te sunulan tasarım örneğinin, önerilen tasarım metotlarının sayısal uygulamasına ışık tutacağı düşünülmektedir. Örnek tasarımda da görüldüğü üzere, mevcut TDY07 hükümleri ile yapılan LP tasarımının ekonomik olmaması nedeniyle, bu alternatif güçlendirme yönteminin uygulanamaması sonucunu doğurmaktadır. Buna karşın, deneylerle geçerliliği kanıtlanmış önerilen tasarım yöntemleri ile ekonomik ve gerçekleştirilebilir LP güçlendirmeleri mümkündür.

5. SONUÇLAR

TDY07'de belirtilen LP sargılama ile kolonların güçlendirilme yöntemi, 28 adet LP sargılı eğilme kolonunu içeren bir veritabanı kullanılarak değerlendirilmiştir. Veritabanındaki kolon verilerinin 18'i literatürden derlenmiş, diğer 10 adedi ise bu çalışma kapsamında ODTÜ'de yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilmiştir.

Yapılan çalışmada, öncelikle yönetmelikteki tasarım yöntemi ODTÜ'de yapılmış olan deneyler ile karşılaştırılmış ve deprem yönetmeliğinin LP sargılama uygulamalarında aşırı güvenli tarafta kaldığı belirlenmiştir. Bu durum doğal olarak LP sargılama için ağır bir cezalandırmayı beraberinde getirmektedir. Mevcut yönetmelik hükümleri, kolon LP uygulama maliyetini gereksiz yere arttırmakta ve LP ile kolon güçlendirme yöntemini uygulanamaz hale getirmektedir. Çalışmanın bu saptamayı takip eden aşamalarında, literatürden toplanan diğer verilerle birlikte oluşturulan veritabanı kullanılmış olup, iki yeni tasarım yöntemi geliştirilmiştir. Kolon ötelenme oranını esas alan ilk yöntemde, deneysel kolon ötelenme oranları üç parametreye bağlanmış ve geliştirilen bu yöntem LP sargılı kolon tasarımında doğrudan bir çözüme olanak sağlamıştır. Mevcut yönetmelik yaklaşımına uyumlu beton birim kısalma tabanlı ikinci metotta ise, kolon ötelenme oranları kesit analizi sonrasında plastik mafsal oluşumu varsayımına dayanarak elastik ve plastik eğrilikler integre edilerek hesaplanmıştır. Burada, LP sargılı kolonların tasarımında, dikdörtgen gerilme bloğu ve elastoplastik çelik modeli basitlikleri nedeniyle esas alınmıştır. Her iki metodun da, kolonların LP sargı tasarımında kullanılacak yöntemler olduğu ve mevcut yönetmeliğe göre daha ekonomik ve güvenilir tasarım koşullarını sağladığı ortaya konmuştur.

Tablo 3a. Metot 1 için literatüre ait sonuçlar

Araştırma	b mm	h mm	L mm	r mm	f _{cm} MPa	A _s mm ²	f _y MPa	E _r MPa	ε _{tu}	f _j mm	κ _s	ρ	n	φ	Denklem 6a		Denklem 6b		
															KÖ _u %	KÖ _u / KÖ _{u,p} %	KÖ _u %	KÖ _u / KÖ _{u,p} %	
Bousias et al. [2]	250	500	1600	30	18.1	1017.9	559.5	230000	0.015	0.26	0.387	0.81	34	0.115	5.6	5.23	1.07	3.90	1.44
	250	500	1600	30	16.7	1017.9	559.5	230000	0.015	0.26	0.387	0.81	36	0.125	4.7	5.16	0.91	3.94	1.19
al. [2]	500	250	1600	30	17.9	1017.9	559.5	230000	0.015	0.65	0.387	0.81	35	0.291	6.9	7.15	0.96	6.56	1.05
	250	500	1600	30	18.7	1017.9	559.5	70000	0.031	0.85	0.387	0.81	34	0.229	6.0	6.72	0.89	5.75	1.04
Iacobucci et al. [3]	305	305	1473	16	36.5	2513.3	465	76350	0.013	1.00	0.466	2.70	33	0.081	4.5	3.94	1.14	2.41	1.87
	305	305	1473	16	36.9	2513.3	465	76350	0.013	2.00	0.466	2.70	56	0.159	3.6	3.62	0.99	2.47	1.46
Sause et al. [4]	458	458	2419	45	24.8	3096.6	460	76200	0.015	6.00	0.570	1.48	29	0.688	12.2	10.88	1.12	9.18	1.33
	305	305	1473	16	42.5	2450.4	465	24693	0.023	2.50	0.466	2.63	33	0.101	4.2	4.18	0.99	2.52	1.65
Memon et al. [5]	305	305	1473	16	43.3	2450.4	465	24693	0.023	2.50	0.466	2.63	55	0.099	2.2	3.35	0.66	2.31	0.95
	305	305	1473	16	43.7	2450.4	465	24693	0.023	1.25	0.466	2.63	32	0.049	3.7	3.58	1.04	2.26	1.65
	305	305	1473	16	44.2	2450.4	465	24693	0.023	7.50	0.466	2.63	54	0.292	4.7	4.27	1.09	2.92	1.59

Tablo 3b. Metot 1 için yapılmış olan çalışmaya ait sonuçlar

Araştırma	b mm	h mm	L mm	r mm	f _{cm} MPa	A _s mm ²	f _y MPa	E _r MPa	ε _{tu}	f _j mm	κ _s	ρ	n	φ	Denklem 6a		Denklem 6b		
															KÖ _u %	KÖ _u / KÖ _{u,p} %	KÖ _u %	KÖ _u / KÖ _{u,p} %	
Ozcan et al. [1,14-16]	350	350	2000	30	19.4	2035.8	287	230000	0.015	0.165	0.542	1.66	27	0.091	4.9	4.93	0.99	2.92	1.68
	350	350	2000	30	14.0	2035.8	287	230000	0.015	0.165	0.542	1.66	34	0.126	5.1	4.69	1.09	3.00	1.70
[1,14-16]	350	350	2000	30	11.4	2035.8	287	230000	0.015	0.33	0.542	1.66	40	0.309	6.3	5.75	1.10	4.12	1.53
	350	350	2000	30	15.6	2035.8	287	230000	0.015	0.33	0.542	1.66	32	0.226	6.0	6.04	0.99	3.93	1.53
	350	350	2000	30	20.0	3041.1	287	230000	0.015	0.165	0.542	2.48	27	0.088	4.1	4.56	0.90	2.59	1.58
	350	350	2000	10	22.0	3041.1	287	230000	0.015	0.165	0.407	2.48	27	0.060	3.6	4.10	0.88	2.40	1.50
	200	400	2000	30	10.0	2035.8	287	230000	0.015	0.165	0.755	2.54	35	0.322	6.1	5.86	1.04	3.63	1.68
	200	400	2000	30	10.5	2035.8	287	230000	0.015	0.165	0.437	2.54	35	0.178	3.7	4.79	0.77	2.90	1.28
	200	400	2000	30	9.0	2035.8	287	230000	0.015	0.165	0.437	2.54	35	0.207	3.9	5.03	0.78	3.05	1.28
	200	400	2000	30	15.0	2035.8	287	230000	0.015	0.165	0.755	2.54	35	0.215	4.0	5.09	0.79	3.09	1.30

Tablo 4a. Metot 2 için literatüre ait sonuçlar

Araştırma	Kolon	b	h	L	r	f _{cm}	A _s	f _y	E _r	ε _{fu}	f _j	κ _a	ρ	n	φ	ε _{cc}	Dnk.7a	ε _{cc,p} / ε _{cc}
		mm	mm	mm	mm	MPa	mm ²	MPa	MPa				%	%	%		ε _{cc,p}	
Bousias et al. [2]	US-C2	250	500	1600	30	18.1	1017.9	559.5	230000	0.015	0.26	0.387	0.81	34	0.115	0.03358	0.0282	0.84
	US-C2m	250	500	1600	30	16.7	1017.9	559.5	230000	0.015	0.26	0.387	0.81	36	0.125	0.03041	0.0287	0.94
	US-C5	250	500	1600	30	17.9	1017.9	559.5	230000	0.015	0.65	0.387	0.81	35	0.291	0.04372	0.0417	0.95
	UW-C5	500	250	1600	30	17.9	1017.9	559.5	230000	0.015	0.65	0.387	0.81	35	0.291	0.04020	0.0417	1.04
	US-G5	250	500	1600	30	18.7	1017.9	559.5	70000	0.031	0.85	0.387	0.81	34	0.229	0.03601	0.0373	1.03
Iacobucci et al. [3]	UW-G5	500	250	1600	30	18.7	1017.9	559.5	70000	0.031	0.85	0.387	0.81	34	0.229	0.04143	0.0373	0.90
	ASC-2NS	305	305	1473	16	36.5	2513.3	465	76350	0.013	1.00	0.466	2.70	33	0.081	0.02397	0.0226	0.94
	ASC-3NS	305	305	1473	16	36.9	2513.3	465	76350	0.013	2.00	0.466	2.70	56	0.159	0.02996	0.0244	0.81
	ASC-4NS	305	305	1473	16	36.9	2513.3	465	76350	0.013	1.00	0.466	2.70	56	0.080	0.02098	0.0217	1.03
	ASC-5NS	305	305	1473	16	37.0	2513.3	465	76350	0.013	3.00	0.466	2.70	56	0.238	0.04251	0.0271	0.64
Sause et al. [4]	ASC-6NS	305	305	1473	16	37.0	2513.3	465	76350	0.013	2.00	0.466	2.70	33	0.159	0.03349	0.0260	0.78
	F1	458	458	2419	45	24.8	3096.6	460	76200	0.015	6.00	0.570	1.48	29	0.688	0.06485	0.0628	0.97
Memon et al. [5]	F2	458	458	2419	45	24.8	3096.6	460	76200	0.015	4.00	0.570	1.48	29	0.459	0.04063	0.0482	1.19
	ASG-2NSS	305	305	1473	16	42.5	2450.4	465	24693	0.023	2.50	0.466	2.63	33	0.101	0.02183	0.0235	1.08
	ASG-3NSS	305	305	1473	16	42.7	2450.4	465	24693	0.023	5.00	0.466	2.63	55	0.201	0.02686	0.0260	0.97
	ASG-4NSS	305	305	1473	16	43.3	2450.4	465	24693	0.023	2.50	0.466	2.63	55	0.099	0.01642	0.0225	1.37
	ASG-5NSS	305	305	1473	16	43.7	2450.4	465	24693	0.023	1.25	0.466	2.63	32	0.049	0.01918	0.0212	1.11
ASG-6NSS	305	305	1473	16	44.2	2450.4	465	24693	0.023	7.50	0.466	2.63	54	0.292	0.03645	0.0292	0.80	

Tablo 4b. Metot 2 için yapılan çalışmaya ait sonuçlar

Araştırma	Kolon	b	h	L	r	f _{cm}	A _s	f _y	E _r	ε _{fu}	f _j	κ _a	ρ	n	φ	ε _{cc}	Dnk.7a	ε _{cc,p} / ε _{cc}
		mm	mm	mm	mm	MPa	mm ²	MPa	MPa				%	%	%		ε _{cc,p}	
Ozcan et al. [1,14-16]	S-L-1-00	350	350	2000	30	19.4	2035.8	287	230000	0.015	0.165	0.542	1.66	27	0.091	0.02419	0.0247	1.02
	S-L-1-34	350	350	2000	30	14.0	2035.8	287	230000	0.015	0.165	0.542	1.66	34	0.126	0.02721	0.0260	0.95
	S-L-2-00	350	350	2000	30	11.4	2035.8	287	230000	0.015	0.33	0.542	1.66	40	0.309	0.03649	0.0350	0.96
	S-L-2-32	350	350	2000	30	15.6	2035.8	287	230000	0.015	0.33	0.542	1.66	32	0.226	0.03153	0.0320	1.02
[1,14-16]	S-H-1-00	350	350	2000	30	20.0	3041.1	287	230000	0.015	0.165	0.542	2.48	27	0.088	0.02015	0.0235	1.17
	S-HC-1-00	350	350	2000	10	22.0	3041.1	287	230000	0.015	0.165	0.407	2.48	27	0.060	0.01730	0.0221	1.28
	R-HC-1-16P	200	400	2000	30	10.0	2035.8	287	230000	0.015	0.165	0.755	2.54	35	0.322	0.03380	0.0333	0.98
	R-MC-1-8P	200	400	2000	30	10.5	2035.8	287	230000	0.015	0.165	0.437	2.54	35	0.178	0.02037	0.0269	1.32
[1,14-16]	R-MC-1-NP	200	400	2000	30	9.0	2035.8	287	230000	0.015	0.165	0.437	2.54	35	0.207	0.02154	0.0282	1.31
	R-MC1-16P	200	400	2000	30	15.0	2035.8	287	230000	0.015	0.165	0.755	2.54	35	0.215	0.02188	0.0285	1.30

6. EK: TASARIM ÖRNEĞİ METOT 1 VE 2

Tasarım örneğinde, ODTÜ’de test edilmiş olan S-L-1-00 deney elemanı için önerilen tasarım yöntemleri uygulanarak yapılan LP sargı tasarımı sunulmaktadır. Burada, sargılanmamış kolonun kolon ötelenme istemi tek serbestlik dereceli bir kolon modeli kullanılarak TDY07’nin 7C ekine göre saptanmıştır. Tasarım spektrumu kullanılarak varsayılan zemin özellikleri için belirlenen tasarımda kolonun yerdeğiştirme istemi belirlenmiş olup LP sargılama ile ilgili olarak hesap adımları aşağıda sunulmaktadır. Sargılanmamış kolona ait dönüştürülmüş spektral ivme ve yerdeğiştirme değerleri Şekil 10’da gösterilmiştir.

Kolon Özellikleri:

- $350 \times 350 \times 2000$ mm
- $f_{cm}=20$ MPa, paspayı: 30 mm
- Yuvarlama yarıçapı: 30 mm
- Eksenel yük: $N=700$ kN,
- Standart kesit hesabı ile:
Kolon akma kuvveti: 70.6 kN, akma eğriliği: 9.8×10^{-6} rad/mm
- Boyuna donatı: $8\phi 18$ mm
- Enine donatı: $\phi 10/200$ mm
- $f_y=287$ MPa, $\epsilon_{su}=0.05$, $\epsilon_{sy}=0.001435$ (Elastoplastik)
- Zemin özellikleri Z2, $T_A=0.15s$, $T_B=0.4s$

$$m = \frac{700 \text{ kN}}{9.81 \text{ m/s}^2} = 71.36 \text{ kNs}^2 / \text{m} \text{ (Eksenel yük ile uyumlu kütle)}$$

$$I_{cr} = 0.613I = 0.613 \left(\frac{350^4}{12} \right) = 767.0 \times 10^6 \text{ mm}^4 \text{ (Çatlamış atalet momenti)}$$

$$k = \frac{3EI_{cr}}{L^3} = \frac{3 \times 28000 \times 767 \times 10^6}{2000^3} = 8053.5 \text{ kN/m}$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} = 2\pi \sqrt{\frac{71.36}{8053.5}} = 0.59s, w^2 = \frac{k}{m} = 112.9s^{-2} \rightarrow w = 10.6s^{-1}$$

$$S_{De} = \frac{S_{ae}}{w^2} = \frac{0.73 \times 9.81}{112.9} = 63.4 \text{ mm}$$

$$a_y = \frac{70.6 \text{ kN}}{700 \text{ kN}} = 0.101 \text{ (Kolonda akmaya karşı gelen ivme katsayısı)}$$

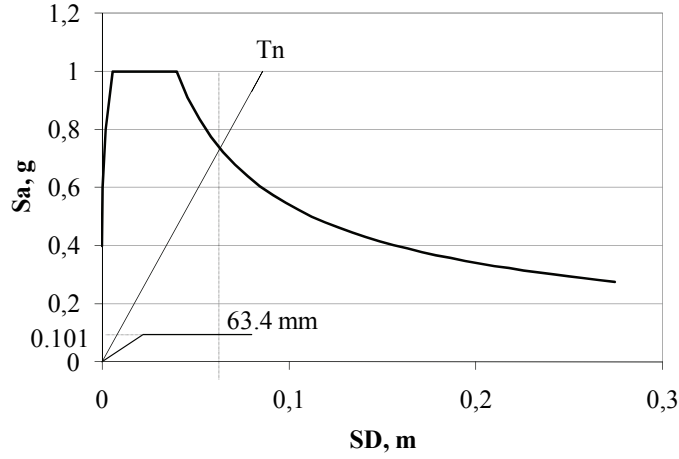
$$R_y = \frac{S_{ae}}{a_y} = \frac{1}{0.101} = 9.92$$

$$C_{R1} = 1(T > T_B)$$

$$S_d = C_{R1} S_{De} = 1 \times 63.1 = 63.4 \text{ mm} \rightarrow K\ddot{O}_u \approx 3.25\%$$

Yetersiz Betonarme Kolonlar için Lifli Polimer Güçlendirme Tasarım ...

Burada, kolon için yaklaşık %3.25 kolon ötelenme istemi bulunduğu saptanmıştır. Değerler grafiksel olarak Şekil 10'da gösterilmiştir. Bulunan ötelenme oranını sağlayacak LP sargı katman sayısı aşağıda belirtildiği gibi standart kesit analizi ile belirlenecektir. Hesaplamalarda dikdörtgen gerilme bloğu ve elastoplastik çelik bünye modeli kullanılmıştır.



Şekil 10. Örnek tasarım kolonu için spektral ivme ve yerdeğiştirmelerin saptanması

Mevcut yönetmeliğe göre tasarım:

$$\Delta_u = \frac{\kappa_y L^2}{3} + (\kappa_u - \kappa_y) L_p \left(h - \frac{L_p}{2} \right)$$

$$\Delta_u = \frac{9.8 \times 10^{-6} \times 2000^2}{3} + (\kappa_u - 9.8 \times 10^{-6}) \frac{350}{2} \left(2000 - \frac{350}{4} \right) = 65 \text{ mm}$$

$$\kappa_u = 165.0 \text{ rad / km} \rightarrow \epsilon_{cc} = 0.024 \text{ (akma ve nihai değerler standart kesit analizi ile hesaplanmıştır)}$$

$$\epsilon_{cc} = 0.002 \left(1 + 15 \left(\frac{f_1}{f_{cm}} \right)^{0.75} \right) = 0.002 \left(1 + 15 \left(\frac{f_1}{20} \right)^{0.75} \right) = 0.024 \rightarrow f_1 = 25.24 \text{ MPa}$$

$$f_1 = \frac{(b+h) E_j \epsilon_f t_j}{bh} \kappa_a = \frac{(350+350) 230000 \times 0.015 \times t_j}{350 \times 350} \cdot \left(1 - \frac{2(350-2 \times 30)^2}{3 \times 350^2} \right) = 25.24 \text{ MPa}$$

$$t_j = 2.36 \text{ mm} \rightarrow \frac{2.36}{0.165} = 14.3 = 15 \text{ kat (LP kalınlığı 0.165 mm olarak alınmıştır)}$$

Buradan da açıkça görüldüğü gibi yönetmeliğe göre yapılan tasarım aşırı güvenli ve ekonomik olmayan sonuçlar doğurmaktadır.

Metot 1 ile tasarım:

$$\kappa \bar{O}_u = 2 + 4.5 \frac{\phi}{n\rho} = 2 + 4.5 \frac{\phi}{26 \times 1.66} = 3.25 \rightarrow \phi = 0.120$$

$$\phi = \frac{(b+h)E_j \varepsilon_f t_j}{bh f_{cm}} \kappa_a = \frac{(350+350)230000 \times 0.015 \times t_j}{350 \times 350 \times 20} \left(1 - \frac{2(350-2 \times 30)^2}{3 \times 350^2} \right) = 0.120$$

$$t_j = 0.224 \text{ mm} \rightarrow \frac{0.224}{0.165} = 1.35 = 2 \text{ kat}$$

Metot 2 ile tasarım:

$\kappa_y = 10 \text{ rad / km}$ (dikdörtgen gerilme bloğu ve elastoplastik çelik modelleri kullanılarak)

$$\Delta_u = 65 \text{ mm} = \kappa_y \frac{L^2}{3} + (\kappa_u - \kappa_y) L_p \left(L - \frac{L_p}{2} \right), L_p = h = 350 \text{ mm}$$

$$65 = 10 \times 10^{-6} \times \frac{2000^2}{3} + (\kappa_u - 10) \times 10^{-6} \times 350 \times \left(2000 - \frac{350}{2} \right) \rightarrow \kappa_u = 90.9 \text{ rad / km}$$

$$\frac{\varepsilon_{cc}}{c} = \frac{\varepsilon_{s1}}{c - pp} = \frac{\varepsilon_{s2}}{h/2 - c} = \frac{\varepsilon_{s3}}{h - c - pp} \quad (\text{pp: paspayı})$$

$$N = 0.85 f_c ' 0.85 c b_w + A_{s1} f_{s1} + A_{s2} f_{s2} - A_{s3} f_{s3}$$

$$0.85^2 \times 20 c \times 350 + 3\pi 9^2 \times 287 - 2\pi 9^2 \times 90.9 \times 10^{-6} \times (175 - c) 2 \times 10^5 - 3\pi 9^2 \times 287 = 700000 \text{ N}$$

$$c = 162.1 \text{ mm} \rightarrow \varepsilon_{cc} = \kappa_u \cdot c = 90.9 \times 10^{-6} \times 162.1 = 0.0147$$

$$\frac{0.0147}{162.1} = \frac{\varepsilon_{s1}}{162.1 - 30} = \frac{\varepsilon_{s2}}{350/2 - 162.1} = \frac{\varepsilon_{s3}}{350 - 162.1 - 30}$$

$$\left. \begin{array}{l} \varepsilon_{s1} = 0.0120 \\ \varepsilon_{s2} = 0.00117 \\ \varepsilon_{s3} = 0.0143 \end{array} \right\} \text{Orta donatı haricinde tüm donatılarda akma mevcut}$$

Bulunan beton birim kısalma oranı LP sargı tarafından sağlanacağı için $\phi/n\rho$ oranı saptanırsa aşağıdaki sonuçlara ulaşılır.

$$\varepsilon_{cc} = 0.004 + 3.6 \frac{\phi}{n\rho} = 0.004 + 3.6 \frac{\phi}{26 \times 1.66} = 0.0147 \rightarrow \phi = 0.128$$

$$\phi = \frac{(b+h)E_j \varepsilon_f t_j}{bh f_{cm}} \kappa_a = \frac{(350+350)230000 \times 0.015 \times t_j}{350 \times 350 \times 20} \left(1 - \frac{2(350-2 \times 30)^2}{3 \times 350^2} \right) = 0.128$$

$$t_j = 0.239 \text{ mm} \rightarrow \frac{0.239}{0.165} = 1.45 = 2 \text{ kat}$$

Görüldüğü üzere, her iki metot da mevcut yönetmeliğe göre yaklaşık 7 kat daha ekonomik LP tasarımları vermektedir.

Adlar Dizini

b, h, L, r : Kolon en, boy, yükseklik ve köşe yuvarlama yarıçapı

f_{cm}, f_{cc} : LP sargılanmamış ve sargılanmış beton basınç dayanımı

f_l : LP yanal basınç miktarı

$\epsilon_{cs}, \epsilon_{cc,p}$: LP sargılanmış nihai beton basınç kısalma oranı ve tasarım değeri

κ_u : LP sargılamada şekil etkinlik katsayısı

ρ, ρ_f : Boyuna donatı oranı ve LP hacimsel oranı

$\epsilon_f, \epsilon_{fu}$: LP birim uzaması ve kopma birim uzaması

E_f : LP elastisite modülü

ϕ : LP yanal basınç oranı

$K\ddot{O}, K\ddot{O}_u$: Kolon ötelenme oranı ve kolon ötelenme kapasitesi

$K\ddot{O}_{u,p}$: Tasarım kolon ötelenme kapasitesi

A_s : Boyuna donatı miktarı

n : Eksenel yük oranı

EI_{cr} : Çatlamış kesit rijitliği

$\Delta_y, \Delta_u, F_y, F_u$: Akma ve nihai durumlar için yerdeğiştirme ve yanal kuvvetler

K_y, K_u, M_y, M_u : Akma ve nihai durumlar için eğrilik ve momentler

Δ_p, L_p : Plastik yerdeğiştirme ve plastik mafsal boyu

t_j : LP kalınlığı

Kaynaklar

- [1] Ozcan, O., Binici, B., Ozcebe, G., Improving Seismic Performance of Deficient Reinforced Concrete Columns using Carbon Fiber-Reinforced Polymers. Engineering Structures, 30, 1632-1646, 2008.
- [2] Bousias, S.N., Triantafillou, T.C., Fardis, M.N., Spathis, L., O'Regan, B.A., Fiber-Reinforced Polymer Retrofitting of Rectangular Reinforced Concrete Columns with or without Corrosion, ACI Structural Journal, 101(4), 512-520, 2004.
- [3] Iacobucci, R.D., Sheikh, S.A., Bayrak, O., Retrofit of Square Concrete Columns with Carbon Fiber-Reinforced Polymer for Seismic Resistance, ACI Structural Journal, 100(6), 785-794, 2003.

- [4] Sause, R., Harries, K.A., Walkup, S.L., Pessiki, S., Ricles, J.M., Flexural Behavior of Concrete Columns Retrofitted with Carbon Fiber Reinforced Polymer Jackets, *ACI Structural Journal*, 101(5), 708-716, 2004.
- [5] Memon, M.S., Sheikh, S.A., Seismic Behavior of Square Concrete Columns Retrofitted with Glass Fibre-Reinforced Polymers, Research Report, Dept. Of Civil Engineering, University of Toronto, 2002.
- [6] Seible F., Priestley M.J.N., Hegemier G.A., Innamorato D., Seismic Retrofitting of RC Columns with Continuous Carbon Fiber Jackets. *Journal of Composites for Construction*, 1(2), 52-62, 1997.
- [7] Sheikh SA, Yau G. Seismic Behavior of Concrete Columns Confined with Steel and Fiber-Reinforced Polymers, *ACI Structural Journal*, 99(1), 72-80, 2002.
- [8] Xiao Y, Ma R. Seismic Retrofit of RC Circular Columns Using Prefabricated Composite Jacketing, *Journal of Structural Engineering*, 123(10), 1356-1364, 1997.
- [9] Saadatmanesh H, Ehsani MR, Li MW. Strength and Ductility of Concrete Columns Externally Reinforced with Fiber Composite Straps, *ACI Structural Journal*, 91(4), 434-447, 1994.
- [10] Saadatmanesh H, Ehsani MR, Jin L. Repair of Earthquake - Damaged RC Columns with FRP Wraps. *ACI Structural Journal*, 94(2), 206-15, 1997.
- [11] DBYBHY 2007, “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkındaki Yönetmelik”, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 2007.
- [12] İlki A, Peker O, Karamuk E, Demir C, Kumbasar N. FRP Retrofit of Low and Medium Strength Circular and Rectangular Reinforced Concrete Columns, *ASCE Journal of Materials in Civil Engineering*, 20(2), 169-88, 2008.
- [13] İlki A, Peker O, Karamuk E, Demir C, Kumbasar N. Axial Behavior of RC Columns Retrofitted with FRP Composites, Springer, *Advances in Earthquake Engineering for Urban Risk Detection*, 301-16, 2006.
- [14] Ozcan O. Improving Ductility and Shear Capacity of Reinforced Concrete Columns with Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP), PhD Thesis, 243 sayfa, 2009.
- [15] Ozcan O, Binici B, Ozcebe G. Improving Strength and Ductility of Reinforced Concrete Columns using Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP). In: Ninth Canadian Conference on Earthquake Engineering, Ottawa, ON, June 2007.
- [16] Ozcan O, Binici B, Ozcebe G. Seismic Retrofitting of Reinforced Concrete Columns using Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP), In: Asia-Pacific Conference on FRP in Structures (APFIS 2007), IIFC, Hong Kong, China, December 2007.