

GÜÇLENDİRİLMİŞ BETONARME KİRİŞLERİN DEPREM DAVRANIŞI

Sabahattin Aykaç, Tuğrul Tankut, Hüsnü Can

Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi, Ankara, 06570 Türkiye.
Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, ODTÜ, Ankara, 06531 Türkiye.
Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi, Ankara, 06570 Türkiye.
Telefon: +90 (312) 582-3208, saykac@gazi.edu.tr, ttankut@metu.edu.tr, hussnucan@gazi.edu.tr

Özet— Düşey yükler altında yetersizliği anlaşılmış olan betonarme kirişlerin, içinde yeni donatı olan bir beton katmanla iki yüzünden güçlendirilmesi sıklıkla uygulanan bir yöntemdir. Bu yöntemle güçlendirilmiş betonarme kirişlerin tek düze veya yinelenir yükler altındaki davranışı bilinmesine rağmen, deprem yükleri altında ne kadar başarılı bir davranış gösterdiği yeterince bilinmemektedir. Bu çalışmanın amacı, kirişlerin depreme karşı güçlendirilmesi için bir yöntem araştırmak değildir. Bu çalışmada başka nedenlerle, katman ekleme tekniği ile güçlendirilmiş betonarme kirişlerin depremi benzeştiren tersinir yinelenir yükler altındaki davranışı araştırılmıştır. Ayrıca çalışmada, sonradan eklenen kiriş boyuna donatısı, kenetleme yöntemlerinin davranış ve dayanım üzerindeki etkileri de araştırılmıştır. Araştırma sonunda katman ekleme tekniği ile güçlendirilmiş betonarme kirişlerin bu yükler altında başarılı bir davranış sergilediği görülmüştür.

Index Terms— Betonarme kirişler, onarım, güçlendirme

Abstract— The most commonly used technique for strengthening of reinforced concrete beams from two faces, which are insufficient under the vertical loads is to add a new concrete layer carrying new longitudinal reinforcement. Although the behavior of the strengthened reinforced concrete beams with this method under the monotonic or repetitive loads is known, the behavior under the seismic loads is not clear yet. The objective of this study is not to search for a new strengthening method for seismic loads. In this study, the behavior of the reinforced concrete beams, strengthened for some other reasons by adding a new layer technique, has been investigated under the reversal cyclic loading that simulates seismic loads. The effects of various anchoring methods of new layer bars, on the behavior and strength of the beams has also been studied. At the end of this research it was observed that, reinforced concrete beams strengthened by adding a new layer technique had a good behavior under the reversal cyclic loads.

Index Terms— Reinforced beams, repair, strengthening

I. GİRİŞ

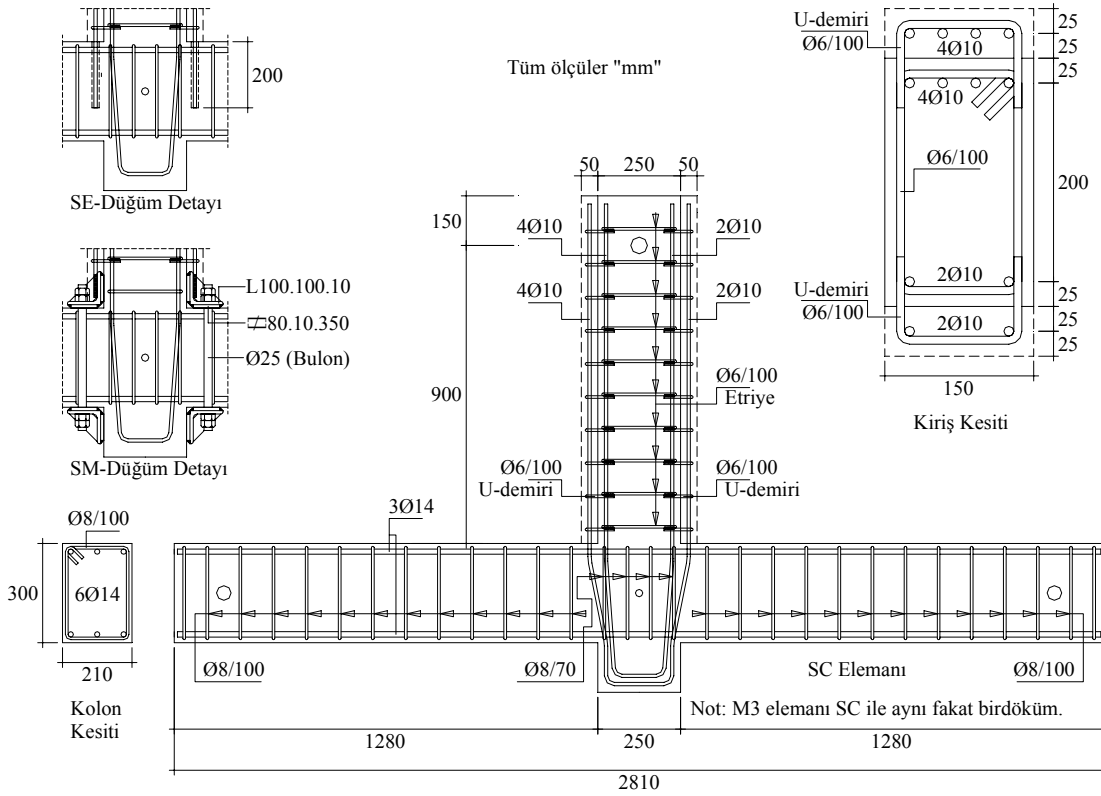
Kirişler, betonarme yapıların döşemelerden sonra en hoşgörülü elemanları olmasına rağmen bazen; proje hataları, yapım hataları, yapının kullanım amacının değişmesi gibi nedenlerden ötürü kirişlerde taşıma gücü sorunları oluşabilmektedir. Bu gibi

durumlarda genellikle kirişlerin güçlendirilmesi gerekmektedir. Bugüne kadar kirişlerin rehabilitasyonu ile ilgili olarak birçok araştırma yapılmıştır [1-11] Kirişlerin güçlendirilmesinde yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biri de katman ekleme tekniğidir. Bu yöntemde düşey yükler altında yetersizliği anlaşılmış olan betonarme kirişin alt ve/veya üst yüzüne içinde yeni boyuna donatı olan betonarme bir katman eklenir. Yeni boyuna donatılar uygun bir yöntem ile kolona ankre edildikten sonra, kiriş ile katman arasındaki sürekliliği ve yük aktarımını sağlamak amacıyla, mevcut kirişin etriyelerine kaynakla bağlanan U-şeklindeki yarım etriyeler kullanılır. Son olarak da katman betonu dökülür. Bu çalışmanın amacı, betonarme kirişlerin depreme karşı güçlendirilmesi için bir yöntem araştırmak değildir. Bu çalışmada başka nedenlerle, katman ekleme tekniği ile güçlendirilmiş betonarme kirişlerin depremi benzeştiren tersinir yinelenir yükler altındaki davranışı araştırılmış ve bir dizi deney yapılmıştır [12].

II. DENEYSEL ÇALIŞMA

A. Deney Elemanları

Hem çerçeve davranışını temsil edebilmesi hem de yük uygulamada sağladığı kolaylıklardan dolayı çalışmada ele alınan model, tipik bir çerçeve dış düğümünün, deprem yükleri altında, moment sıfır noktaları arasında kalan parçasının çıkartılmasıyla oluşturulmuştur. Böylece davranışın basit ve iyi bilindiği, incelemeye elverişli, izostatik bir eleman geometrisi meydana getirilmiştir. Her durumda plastik mafsallın kirişte olmasını sağlamak için zayıf kiriş güçlü kolon düğümü oluşturulmuştur. Laboratuvar olanakları göz önünde bulundurularak deney elemanı ölçeğinin 1/2 olmasına karar verilmiştir. Tüm kolonlarda boyutlar b/h=210/300 mm olarak seçilmiş, boyuna donatı olarak 6φ14 ve etriye olarak φ8/100 kullanılmıştır. Yalın kiriş 150/250 mm boyutlarında olup üst yüzünde 4φ10, alt yüde 2φ10 boyuna donatı ve φ6/100 mm etriye kullanılmıştır. Güçlendirme katmanlarında ise üst yüzde 4φ10, alt yüzde 2φ10 boyuna donatı ve φ6/100 mm U-şeklinde yarım etriyeler kullanılmıştır, Şekil 1. Düz yüzeyli φ6 çaplı donatıların akma ve kopma dayanımları sırasıyla 362 ve 381 MPa olarak ölçülmüştür. Nervürlü φ10 ve φ14 çaplı donatıların akma dayanımları 480 ve 398 MPa, kopma dayanımları ise 660 ve 530 MPa olarak ölçülmüştür. Ortalama beton basınç dayanımının, yalın kirişlerde 29 MPa, monolitik ve katman betonlarında ise 25 MPa olduğu belirlenmiştir.



Şekil 1. Deneysel elemanların boyut ve donatı detayları

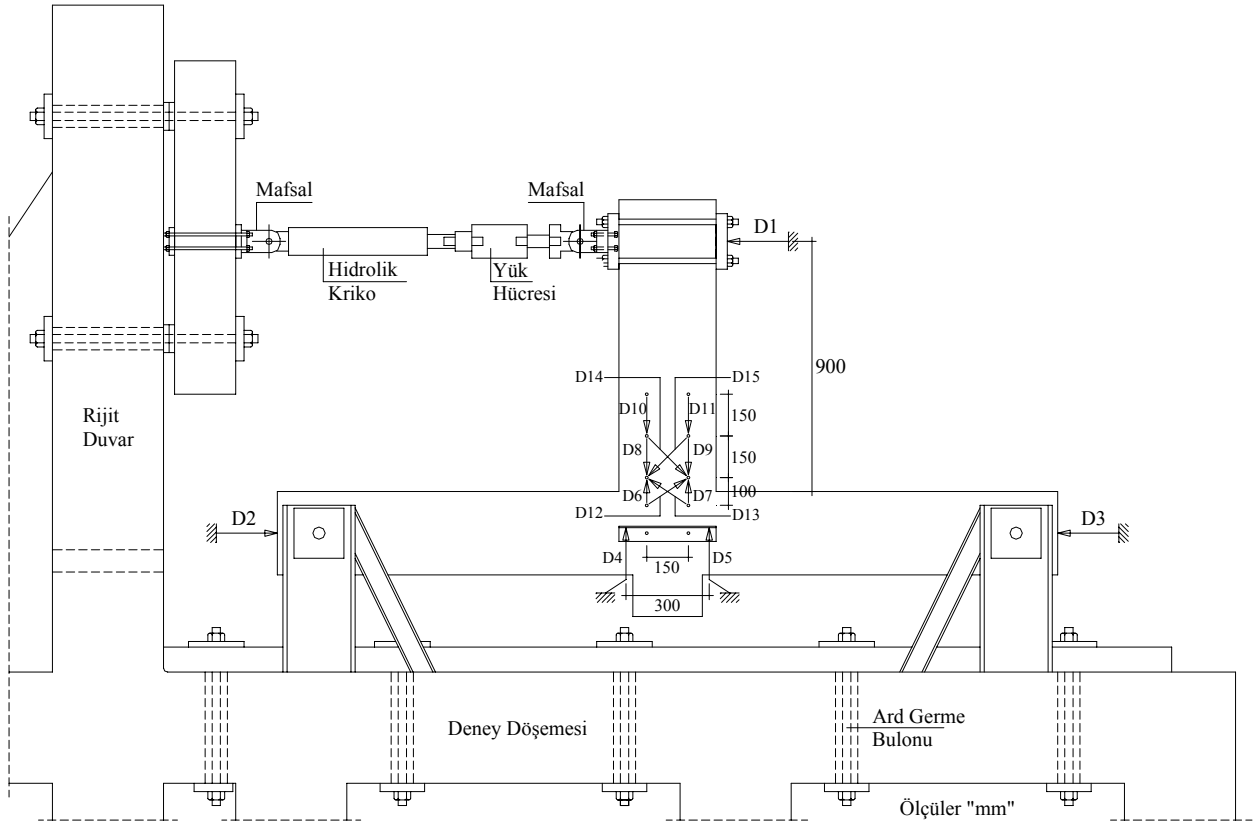
Deneysel çalışmada biri monolitik kiriş (M3) olmak üzere toplam 4 adet kiriş test edilmiştir. Diğer üç kirişin yeni boyuna donatıları kolona sırasıyla sürekli (SC), mekanik (SM) ve epoksili (SE) olarak ankre edilmiştir. Doğal olarak uygulamada sürekli donatı uygulaması (SC) olası değildir. Bu türden uygulamalar ancak güçlendirme yapılacağı önceden bilinen laboratuvar çalışmalarında yapılabilir. Gerçekte uygulanamayacak olan bu parametre, katman ekleme yöntemi ile güçlendirilmiş kirişlerde olası başarısızlıkların ne kadarının katman ekleme yöntemine, ne kadarının epoksili veya mekanik kenetleme yöntemine ait olduğunu belirlemek amacıyla kullanılmıştır. Tüm kirişler hem alt hem de üst yüzünden güçlendirilmiş ve kesme açıklığının $a/d \leq 3$ olmasına karar verilmiştir, Tablo-1.

TABLO I
DENEY PROGRAMI

Eleman Adı	İşlem Türü	Kenetleme Yöntemi
M3	Monolitik	---
SC	Güçlendirme	Sürekli
SM	Güçlendirme	Mekanik
SE	Güçlendirme	Epoksi

B. Yük ve Ölçüm Düzeni

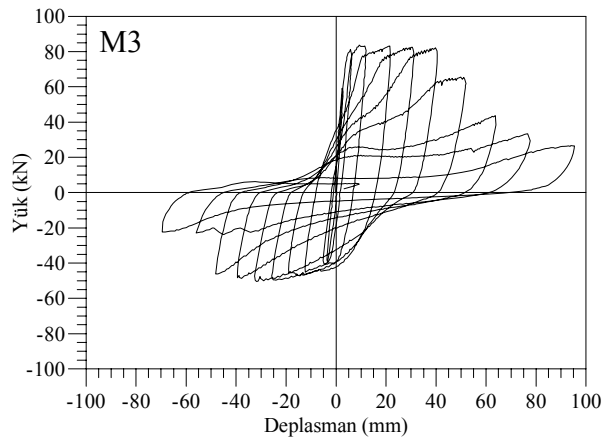
Deneysel rijit bir döşeme ve güçlü bir düşey duvardan oluşan deney döşemesinde gerçekleştirilmiştir. Sağladığı kolaylıklar nedeniyle deney elemanları gerçek yapıdakine göre 90 derece döndürülerek deney döşemesine yerleştirilmiştir. Yani kolonlar yatay, kiriş ise üst yüzü solda kalacak şekilde düşey konuma getirilmiştir. Kirişlere yük uygulanmasında bir ucu rijit duvara, diğer ucu ise yük-hücre (LC) bağlı çift etkili hidrolik bir krikoya kullanılmıştır. Deneyler sırasında çeşitli yön ve doğrultudaki deplasman ölçümleri için elektronik deplasman ölçerler (LVDT) kullanılmış ve hem yük hem de deplasman ölçümleri bilgisayara aktarılarak kiriş ucundaki deplasman ile yükün değişimi bilgisayar ekranından grafik olarak izlenmiştir. Ölçüm sisteminde toplam 15 adet LVDT kullanılmış ve her LVDT ye "D" ile başlayan ve sonunda LVDT numarası olan bir ad verilmiştir, Şekil 2.



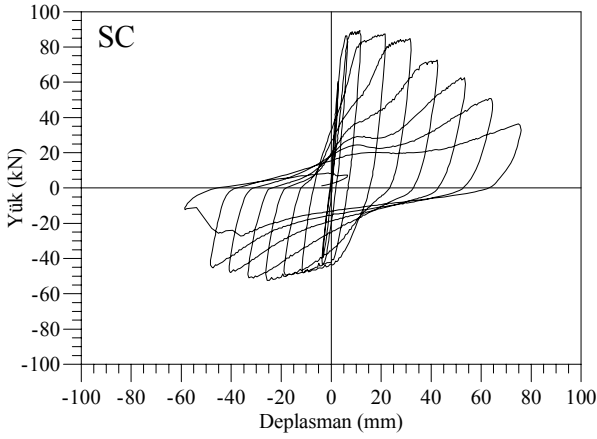
Şekil 2. Yük ve ölçüm düzeni

III. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

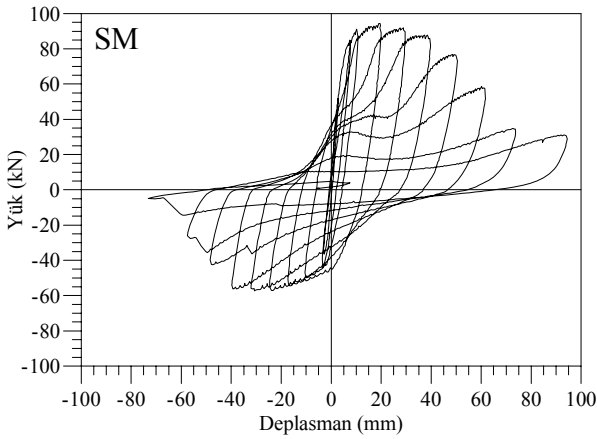
Deney elemanlarına ait yük-deplasman eğrileri Şekil 3.-Şekil 6.'da, zarf eğrileri ise Şekil 7.'de gösterilmiştir. Monolitik elemana göre her plastik çevrimdeki dayanım oranları (monolitik ile aynı deformasyonlardaki) ise Tablo 2. de sunulmuştur. Ayrıca zarf eğrilerinin üzerinden dayanımın yanı sıra, elastik bölgedeki eğilme rijitliği için de genel yorumlar yapılmıştır. Zarf eğrileri üzerinden dayanımın yanı sıra, elastik bölgedeki eğilme rijitliği için de genel yorumlar yapılmıştır. Zarf eğrileri üzerinden rijitlik yorumları sadece ileri yöndeki elastik bölge içindir. Zarf eğrilerinin geri yöndeki rijitlikleri sadece görsel olup, yük-deplasman eğrilerinden de görülebileceği gibi, gerçek anlamda geri yöndeki rijitlikleri temsil etmemektedir. Bu nedenle geri yöndeki rijitlikler için zarf eğrilerine bakarak yorum yapılmamalıdır.



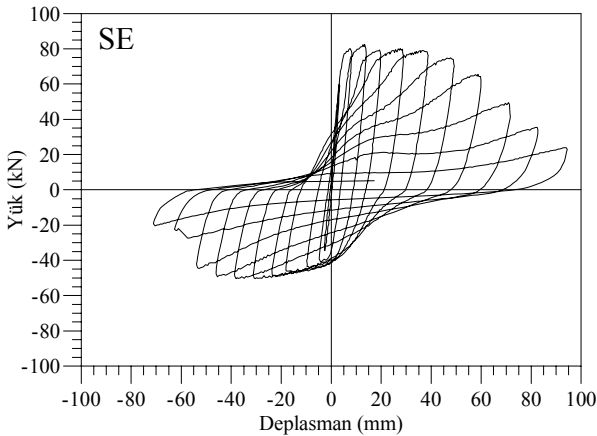
Şekil 3. M3 elemanının yük - deplasman grafiği



Şekil 4. SC elemanının yük - deplasman grafiği



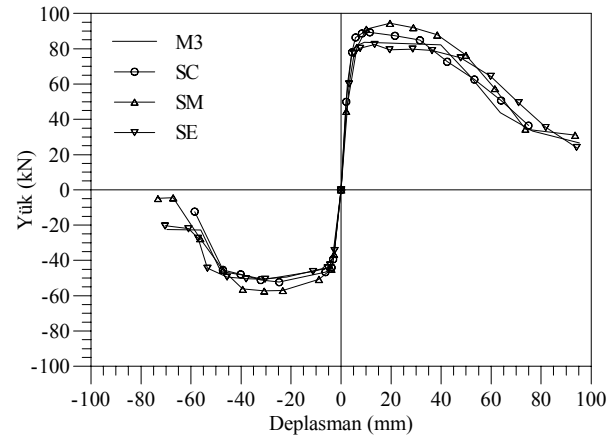
Şekil 5. SM elemanının yük - deplasman grafiği



Şekil 6. SE elemanının yük - deplasman grafiği

Güçlendirme elemanlarında, aynı güçlendirme yöntemi ile değişik kenetleme yöntemleri beraber uygulanmış ve deney elemanlarının tümünde katman donatısının kenetleme yöntemleri başarılı olmuştur. Hem yeni boyuna donatının epoksili olarak ankrajında hem de mekanik olarak kenetlemesinde hiçbir sorun yaşanmamış ve tam olarak sürekli

bir donatı davranışı elde edilmiştir. Ayrıca yeni katman betonu ile eski beton arasında süreklilik ve yük aktarımını sağlamak amacıyla kullanılmış olan U-etriyeleri de oldukça başarılı olmuş, eski beton ile yeni beton arasında tam bir aderans sağlanmış ve herhangi bir problem yaşanmamıştır. Genel olarak uygulanan güçlendirme ve kenetleme yöntemlerinde dayanım, rijitlik ve süneklik açısından oldukça başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Sürekli donatılı SC ile epoksi ankrajlı SE elemanları, geri çevrimlerde monolitik eleman ile hemen hemen aynı deformasyonlarda aynı dayanıma ulaşmışlardır. İleri çevrimlerde ise SC, monolitik elemana göre biraz daha fazla, SE ise monolitik elemana göre biraz daha az yük almıştır, Şekil 7. Buna karşın SC nin her çevrimdeki dayanım kaybı monolitiğe göre daha hızlı, SE nin ise daha yavaş olmuştur. Ancak dayanım ve davranışlardaki bu değişikliklerin yöntemle ilgisi olmayıp yapım hatalarından (biraz da tesadüfi) kaynaklanmış olduğu düşünülmektedir. Mekanik kenetlemeli SM elemanı hem ileri hem de geri çevrimde monolitik eleman (M3) dayanımından %14 daha fazla yük taşımıştır, Şekil 7. Dayanımlardaki bu artışlar mekanik kenetlemede kullanılmış olan L-profillerden kaynaklanmıştır. M3'e göre kesit özellikleri değişmemesine rağmen, SM'de kullanılan 110 mm yüksekliğindeki L-profillerden dolayı konsol dibinde olması gereken plastik mafsal L-profillerin üst ucunda oluşmuştur. Bir başka deyişle SM elemanındaki konsol boyu, M3'e göre kısalmıştır. Doğal olarak monolitiğe göre kesiti değişmediği halde konsol boyu kısalmış olan SM elemanında, kiriş taşıma gücüne ulaştıracak olan yük konsol boyu ile ters orantılı olarak artmıştır. Monolitik elemandaki (M3) konsol boyunun güçlendirilmiş elemandaki (SM) konsol boyuna oranı $900\text{mm}/790\text{mm}=1.14$ olup bu değer dayanımda görülen artışla aynıdır. Ancak dayanım oranlarındaki bu artışın genellenemeyeceği ve kiriş boyu arttıkça dayanımdaki bu farklılığın azalacağı açıktır.



Şekil 7. Deney elemanlarının yük-deplasman zarf grafiği

Güçlendirilmiş olan elemanlar elastik bölgedeki eğilme rijitlikleri açısından da oldukça başarılı olmuşlardır. Sürekli donatılı SC elemanı ile monolitik elemanın elastik bölgedeki eğilme rijitliği hemen hemen aynı olmuştur. Epoksi ankrajlı SE elemanının eğilme rijitliği ise monolitiğe göre önemsenmeyecek kadar küçük olmuştur. Mekanik kenetlemeli

SM elemanı da dayanımın yaklaşık %50 sine kadar monolitik ile aynı rijitliği göstermiştir. Ancak bundan sonra rijitlikte belirgin fakat kabul edilebilir ölçüde bir düşme olmuştur. Mekanik kenetlemeli SM elemanında, kolona art germe ile sıkı bir şekilde bağlanmış ve yeterince güçlü olarak tasarlanmış olan L-profillere kaynaklı boyuna donatıların kiriş yan yüzündeki hizasında kaldıraç etkisi ile çatlaklar oluşmuştur. Dayanım yükünün yaklaşık olarak %50 sinde meydana gelen bu çatlakların oluşmasıyla yukarıda sözü edilen rijitlikte düşmeler gözlenmiştir.

TABLO II
PLASTİK ÇEVİRİMLERDEKİ MAKSİMUM YÜKLERİN
MONOLİTİK ELEMAN YÜKLERİNE ORANI

	Çevrim No	SC	SM	SE
İleri Çevrimler	2.5	1.07	1.09	0.98
	3.5	1.05	1.14	0.96
	4.5	1.03	1.11	0.97
	5.5	0.88	1.07	0.96
	6.5	0.95	1.17	1.14
	7.5	1.16	1.34	1.50
	8.5	1.09	1.04	1.48
Geri Çevrimler	9.5	0.32	1.17	1.33
	3	1.06	1.10	0.98
	4	1.05	1.15	0.99
	5	1.05	1.15	0.98
	6	1.01	1.13	1.00
	7	0.99	1.16	1.03
	8	0.98	0.92	1.07
	9	1.14	1.49	1.87
10	---	0.65	1.22	

IV. SONUÇLAR

Yapılmış olan sınırlı sayıdaki bu deneylerden elde edilen verilere dayanılarak ulaşılan başlıca sonuçlar aşağıda özetlenmiştir. Doğal olarak bu sonuçların, yapılmış olan deneylerin özellikleri ve koşulları ile sınırlı olduğu unutulmamalıdır.

- Uygulanan yöntem, güçlendirme işlemlerinde oldukça başarılı olmuştur. Genel olarak güçlendirilmiş elemanlar dayanım ve süneklik bakımından monolitik elemana benzer bir davranış göstermişlerdir.
- Tüm elemanlarda monolitiğe göre daha az eğilme rijitlikleri (ilk eğilme rijitlikleri) elde edilmiştir. Ancak buna rağmen elemanların hepsinin yeterli bir eğilme rijitliğine sahip oldukları ve çevrim sayısı arttıkça monolitiğe göre rijitlik farkının hızla azaldığı görülmüştür.

- Yeni katman ile mevcut kiriş arasında sürekliliği ve yük aktarımını sağlamak amacıyla kullanılan U-şeklindeki yarım etriyeler oldukça başarılı olmuştur. Deney elemanlarındaki kesme açıklığı oldukça kritik bir değer olmasına rağmen, yeni beton ile eski beton arasında herhangi bir ayrılma ya da çatlama gözlenmemiştir.
- Boyuna donatıların kolona mekanik veya epoksili olarak kenetlenmesinde herhangi bir problem yaşanmamış ve her iki kenetleme yönteminin de başarılı olduğu görülmüştür.

V. DESTEKLEYEN KURULUŞLAR

Bu çalışma Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumunun desteği ile Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümünün Yapı Mekaniği Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Proje kodu İNTAG549 ve proje başlığı "Onarılmış/Güçlendirilmiş Kirişlerin Deprem Davranışı" olup verdiği destekten dolayı Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumuna teşekkürü bir borç biliriz.

VI. KAYNAKLAR

- [1] Tankut, T., Can, H., May 1990, Rehabilitation of concrete structures-beam strengthening, Proceedings of the International Conference on Concrete Structures and Materials, Tehran Iran.
- [2] Can, H., Tankut, T., 1990, Flexural behaviour of strengthened reinforced concrete beams, Proceedings of the Ninth European Conference on Earthquake Engineering, Vol.3, Moscow USSR.
- [3] Ünsal, T.Çetin., Şubat 1989, Güçlendirilmiş Betonarme Kirişlerin Davranış ve Dayanımları, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara
- [4] Çelikel, T.Fırat., Şubat 1991, Güçlendirilmiş Betonarme Kirişlerin Yinelenir Yük Altındaki Davranış ve Dayanımları, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- [5] Arslan, M., Temmuz 1991, Betonarme Kirişlerin Epoksiyle Yapıştırılan Çelik Levhalarla Güçlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- [6] Cheong, H.K., MacAlevey, N., 2000, Experimental behavior of jacketed reinforced concrete beams, Journal of Structural Engineering, Volume 126, Issue 6, Pages 692-699.
- [7] Y.G. Diab, July 1998, Strengthening of RC beams by using sprayed concrete: experimental approach, Engineering Structures, Volume 20, Issue 7, Pages 631-643.
- [8] J., Cairns and S.F.A. Rafeeqi, 9 July 1997, Behaviour of reinforced concrete beams strengthened by external unbonded reinforcement, Construction and Building Materials, Volume 11, Issues 5-6, Pages 309-317.
- [9] Hussain, M., Sharif, Alfarabi, Basunbul, A., Baluch, M.H., Al-Sulaimani, G.J., January-February 1995, Flexural behaviour of precracked reinforced concrete beams strengthened externally by steel plates, ACI Structural Journal, Volume 92, Issue 1, Pages 14-22
- [10] Oehlers, D.J., Ali, M.S. Mohamed, Luo, Weimin, March 1998, Upgrading continuous reinforced concrete beams by gluing steel plates to their tension faces, Journal of Structural Engineering, Volume 124, Issue 3, Pages 224-232.
- [11] H. Toutanji and M. Saafi, January 1999, Performance of concrete beams prestressed with aramid fiber-reinforced polymer tendons, Composite Structures, Volume 44, Issue 1, Pages 63-70.
- [12] S. Aykaç, "Onarılmış/Güçlendirilmiş Betonarme Kirişlerin Deprem Davranışı", Doktora Tezi, Gazi Üniv., Ankara, 2000.