

## Betonarme Kolonların Yanal Öngörme Metodu İle Depreme Karşı Güçlendirilmesi

**M. Saatçioğlu**

*Ottawa Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü,  
Ottawa, Kanada*

**ÖZET:** Geçtiğimiz depremlerde hasarların büyük bir bölümünün yetersiz kolon davranışından kaynaklandığı gözlenmiştir. Depremden hasar gören ve yıkılan betonarme kolonların büyük çoğunluğunda etriyelerin yeterli olmadığı açıkça ortaya çıkmıştır. Bu tür kolonları depreme karşı güçlendirmek amacı ile Kanada'nın Ottawa Üniversitesinde *Retro-belt Yanal Öngörme* teknolojisi geliştirilmiştir. Bu bildiriye, geliştirilen güçlendirme yönteminin detayları, yapılan araştırmalar ve tasarım önerileri sunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler :** Aderans kaybı; betonarme kolonlar; depreme karşı güçlendirme; kesmeye karşı güçlendirme; öngörmeli beton; öteleme oranı; sargı donatısı; süneklik.

**ABSTRACT:** Performance of structures during recent earthquakes clearly demonstrated that the majority of damage occurred in their columns. This could be attributed to poor design and detailing of reinforced concrete columns, especially lack of sufficient transverse reinforcement. A seismic retrofit technology was developed at the University of Ottawa Canada, to address the problem, which involves lateral prestressing of columns. The technology, known as "Retro-belt," is described in the paper with supporting research and proposed design procedure.

### Giriş

Son yıllarda rastlanan deprem hasarlarının büyük bir bölümünü yetersiz kolon davranışı ile açıklamak mümkündür. Depremde hasar gören ve yıkılan betonarme kolonların büyük çoğunluğunda etriyelerin yeterli olmadığı gözlenmiştir. Bilindiği gibi, etriyelerin deprem yüküne karşı üç önemli etkisi vardır. Bunlar; i) kesme yüküne karşı dayanım arttırma, ii) sargı donatısı olarak betonun sünekliğini artırma ve iii) boyuna donatının bindirmeli eklerinde aderansı arttırmaktır. Her üç etki de yatay gerilmelere karşı pasif dayanım oluşturmaktadır. Yanal öngörme uygulandığında gerek pasif ve gerekse aktif dayanım oluşturarak daha etkin bir durum yaratmak mümkündür. Bu bildiriye, son yıllarda Kanada'nın Ottawa Üniversitesinde yazar tarafından geliştirilen ve betonarme kolonları depreme karşı güçlendirmeyi amaçlayan *Retro-belt Yanal Öngörme* teknolojisini içeren bir araştırma projesi sunulmuştur.

Ottawa Üniversitesinde bu konu ile ilgili yoğun deneysel araştırmalar 1993 yılından bu yana devam etmektedir. Çalışmaların birinci aşamasında kesmeye karşı zayıf elemanlar hedef alınmış ve kısa kolonların davranışları incelenmiştir. İkinci ve üçüncü aşamalarda eğilme ağırlıklı kolonlar hedef alınarak gerek yekpare ve gerekse bindirmeli ekli boyuna donatı içeren elemanlar denenmiştir. Güçlendirme, 9.53 mm çapında ve 54.8 mm<sup>2</sup> kesit alanında öngerme donatı demetlerinin (7 telli demet) kolon etrafına tekil çemberler şeklinde sarılıp gerilmesi ile gerekleştirilmişdir. “Retro-belt” olarak tanımlanan bu donatı demetlerinin uçları özel olarak geliştirilmiş ankorajlarla bağlanmış ve güçlendirme amacına bağlı olarak yaklaşık 300 MPa ile 930 MPa arasında öngerme uygulanmıştır. Dairesel kolonlarda öngerme, direk olarak kolon yüzüne uygulanarak düzgün yayılı basınç oluşturmaktadır. Bu tür basıncın kare veya dikdörtgen kolonlarda elde edilmesi güç olduğundan, bu geometrilere kolonlar için özel geliştirilmiş ve yanal basıncı kolon yüzüne dağıtmayı amaçlıyan elik çerçeveler kullanılmaktadır. Bu araştırma projesinin detayları ve elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

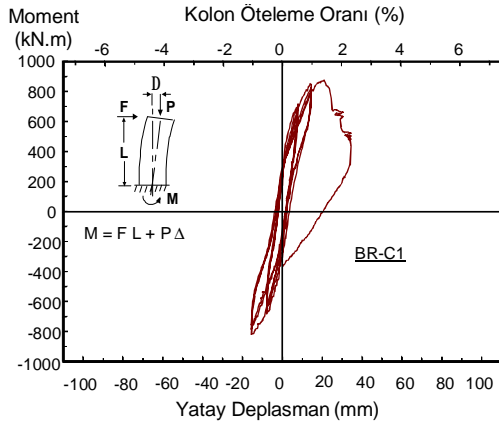
## **Deneysel Araştırma**

### **Kesmede Kritik Kolon Deneyleri**

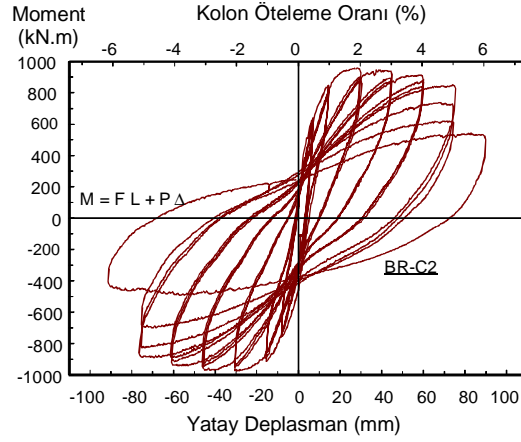
Kesme kuvveti altında kritik kolon elemanları 600 mm çapında dairesel ve 550 mm kesitinde kare kolonlardan oluşmuştur. Kolon boyu, ankastre olarak kabul edilen temel mesnedi ile sıfır-moment noktası arasını temsilen 1485 mm olarak alınmıştır. Kolon tasarımı deprem şartnamesi göz önünde bulundurulmaksızın yapılmış olup, pratikte rastlanan kolonların çoğunluğunu temsil etmektedir. Boyuna donatı 16.5 mm çapında (300 mm<sup>2</sup> alanında) ve 400 MPa akma dayanımlı 12 çubuktan oluşmuştur. Etriyeler 11.3 mm çapında (100 mm<sup>2</sup> alanında) ve 400 MPa akma dayanımlı donatı çeliğinden oluşup yaklaşık 300 mm aralıklarla yerleştirilmiştir. Etriye uçları dairesel kolonlarda üst üste bidirilmiş ve kare kolonlarda 90 derece kıvrılmıştır. Bu nedenle deprem dayanımı için öngörülen detaylandırmalara uyulmadan yapılmıştır. Deneyler eksenel kapasitenin yaklaşık % 13’ü altında ve yatay deprem yükünün tersinir tekrarlanır şekilde uygulanması ile gerçekleştirilmiştir. Yatay yük, yatay deplasmanların giderek artırılması ve her deplasmanda üç kere tekrarlanması şeklinde uygulanmıştır. Deney elemanları aynı özelliklere sahip ikişer kolondan oluşmuştur. Bunlardan biri güçlendirilmemiş, diğeri ise yanal öngerme yöntemi ile güçlendirilmiştir.

şekil 1 güçlendirilmemiş olan BR–S1 kare kolonunun tersinir tekrarlanır yük altında elde edilmiş moment-deplasman eğrisini göstermektedir. Bu şekilden anlaşılacağı gibi kolon, kendi boyunun yaklaşık % 1’i kadar yatay ötelemeden (kolon öteleme oranı) hemen sonra eğilme kapasitesine erişmeden gevrek kesme kırılmasına maruz kalmıştır. Aynı özelliklere sahip BR–S2 kolonu, yanal öngerme ile güçlendirilmiş ve aynı yöntemle denenmiştir. Yanal öngerme demetlerinden oluşan Retro-belt çemberleri 150 mm aralıklarla kolon boyunca sıralanmış ve her birine yaklaşık 300 MPa ekme uygulanmıştır. şekil 2, bu kolon için deneysel olarak elde edilen moment-deplasman eğrisini göstermektedir. Bu eğri, kolonun deformasyon kapasitesinin büyük ölçüde artarak sünek bir davranış gösterdiğini kanıtlamaktadır. Görüldüğü gibi, yanal öngerme, kesmeden kaynaklanan eğik çatlakların oluşmasını geciktirmiş ve daha ileriki deformasyonlarda ek kesme donatısı görevini görerek kesme kırılmasını önlemiştir. Böylece, gevrek kesme kırılması önlemiş ve sünek eğilme davranışı sağlanmıştır. Aynı

uygulamanın dairesel kolonlar üzerindeki etkisi kapsamlı olarak incelenmiş ve benzeri sonuçlar elde edilmiştir (Saatçioğlu et al. 2000).



Şekil 1 Güçlendirilmemiş BR-C1 Kolonu Moment-Deplasman eğrisi



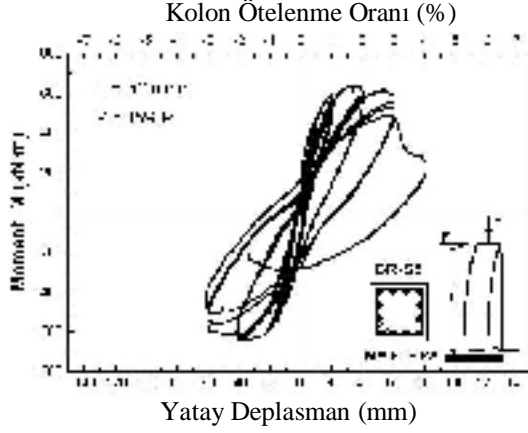
Şekil 2 Güçlendirilmiş BR-C2 Kolonu Moment-Deplasman eğrisi

### Eğilme Davranışlı Kolon Deneyleri

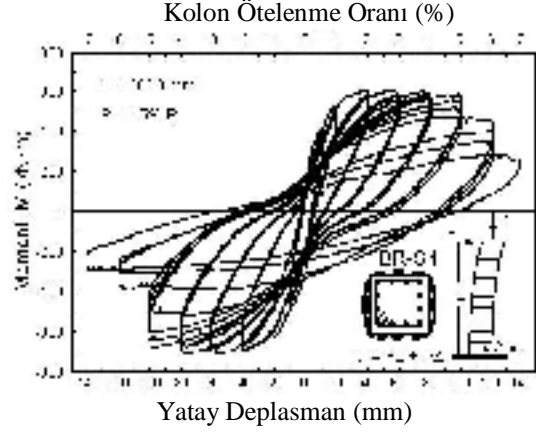
Eğilme altında beton ezilmesine karşı kritik davranış gösteren kolonların araştırılması, 508 mm çapında dairesel ve 500 mm kesitinde kare kolonlarla yapılmıştır. Kolon boyu, ankastre temel mesneti ile sıfır-moment noktası arasın 2.0 m olarak alınmıştır. Kolon tasarımı, deprem şartnamesi göz önünde bulundurulmaksızın yapılmıştır. Boyuna donatı 16.5 mm çapında (300 mm<sup>2</sup> alanında) ve 400 MPa akma dayanımlı 12 çubuktan oluşmuştur. Boyuna çubuklar temelden başlayarak kolon boyunca eksiz olarak kullanılmıştır. Bu uygulama, her ne kadar gerçek yapım pratiğini yansıtmasa da, donatı ek yerlerinde ortaya çıkabilecek diğer etkenleri kaldırmak ve gerçek eğilme davranışını incelemek amacı ile özellikle yapılmıştır. Etriyeler 11.3 mm çapında (100 mm<sup>2</sup> alanında) ve 400 MPa akma dayanımlı donatı çeliğinden oluşmuş ve yaklaşık 300 mm aralıklarla yerleştirilmiştir. Deneyler, aksenal kapasitenin yaklaşık % 15'i altında ve yatay deprem yükünün tersinir tekrarlanır şekilde uygulanması ile gerçekleştirilmiştir. Yatay yük, yatay deplasmanların giderek artırılması ve her deplasmanda üç kere tekrarlanması şeklinde uygulanmıştır. Deney elemanları aynı özelliklere sahip ikiye kolondan oluşmuş olup bunlardan biri güçlendirilmemiş, diğeri ise yanal öngerme yöntemi ile güçlendirilmiştir.

Şekil 3 güçlendirilmemiş olan BR-S3 kare kolonunun tersinir tekrarlanır yük altında elde edilmiş moment-deplasman eğrisini göstermektedir. Kolon, yaklaşık olarak kolon boyunun % 2'si düzeyinde yatay ötelemeden hemen sonra eğilme basıncı altında beton ezilmesine maruz kalmış ve dayanımını yitirmiştir. Aynı özelliklere sahip ikiz kolon, BR-S4, yanal öngerme ile güçlendirilmiş ve aynı yöntemle denenmiştir. Yanal öngerme demetleri 150 mm aralıklarla oluşturulan tekil Retro-belt çemberleri halinde kolon boyunca sarılmış ve her birine yaklaşık 500 MPa öngerme uygulanmıştır. Şekil 4 bu kolon deneyi esnasında kaydedilen moment-deplasman eğrisini göstermektedir. Bu eğri, kolonun deformasyon kapasitesinin büyük ölçüde artarak sünek bir davranış gösterdiğini kanıtlamaktadır. Davranıştaki bu denli iyileşme yanal öngermenin aktif ve pasif sargı basıncı uygulaması sonucu ortaya çıkmıştır. Aynı güçlendirme yönteminin

dairesel kolonlar üzerindeki etkisi de deneysel olarak incelenmiş ve % 8'lik bir öteleme oranı elde edilmiştir.

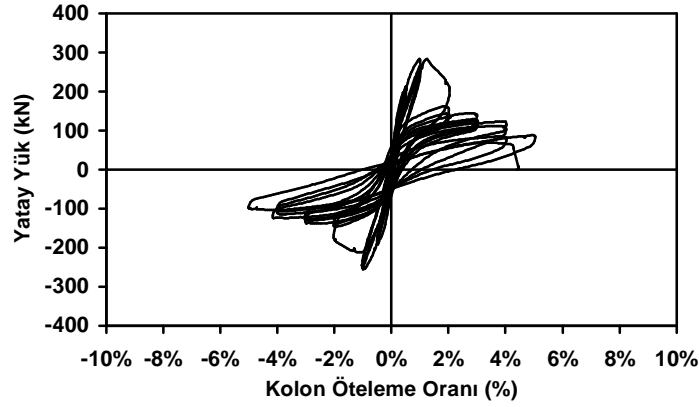


Şekil 3 Güçlendirilmemiş BR-S3 Kolonu Moment-Deplasman Eğrisi



Şekil 4 Güçlendirilmiş BR-S4 Kolonu Moment-Deplasman Eğrisi

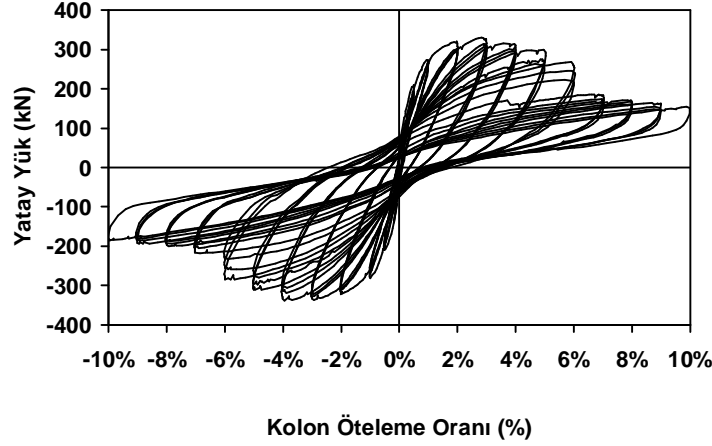
Eğilme altındaki kolon davranışı ve uygulanan güçlendirme yöntemi bindirme ekli boyuna çubukların kullanıldığı elemanlarla devam etmiştir. Bu amaçla, daha önce denenmiş eğilme ağırlıklı kolonların birer eşleri kolon-temel birleşim yerlerinde boyuna donatının bindirmeli olarak eklenmesi ile hazırlanmış ve denenmiştir. Boyuna çubukların eklenmesi için bırakılan filiz boyu, donatı çapının 20 katına karşı gelen 390 mm dir. Deneyler, daha önceki kolonlarda da olduğu gibi aksenal kapasitenin yaklaşık % 15'i altında ve yatay deprem yükünün tersinir tekrarlanır şekilde uygulanması ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5 Güçlendirilmemiş BR-S5 kolonunun yatay yük-deplasman eğrisi

Şekil 5, güçlendirilmemiş olan BR-S5 kare kolonunun tersinir tekrarlanır yük altında elde edilen yük-deplasman eğrisini göstermektedir. Kolondaki boyuna çubuklar mafsallaşma bölgesinde aderans kaybına uğramışlar ve yaklaşık % 1'lik ötelemeden hemen sonra kolon dayanımının düşmesine neden olmuşlardır. Aynı özelliklere sahip diğer eleman (BR-S6) yatay öngerme yöntemi ile güçlendirilmiştir. Bu defa, yatay öngerme çember aralığı sıklaştırılmış ve bindirmeli ek bölgesinde 100 mm ye düşürülmüştür. Ayrıca, öngerme düzeyi iki katına çıkartılarak donatı demetinin kopma dayanımının % 50 si olan 930 MPa'a kadar yükseltilmiştir. Şekil 6 deneysel elde edilmiş yük-deplasman eğrisini göstermektedir. Şekilden de görüleceği gibi bu

düzeydeki yanal öngerme çok başarılı olmuş ve kolonun elastik-ötesi öteleme oranı % 5'e çıkmıştır.



Şekil 6 Güçlendirilmiş BR-S6 kolonunun yatay yük-deplasman eğrisi

## Tasarım Önerileri

Yukarıda detayları verilen büyük ölçekli deney elemanının davranışı, deprem güvenliği yetersiz betonarme kolonların deformasyon yetersizliğini açık bir şekilde sergilerken, kullanılan yanal öngerme yönteminin oldukça başarılı olduğunu göstermiştir. Güçlendirme yöntemi, gerek kesme dayanımının ve gerekse beton sargı donatısının yetersiz olduğu kolonlarda pasif ve aktif basınç uygulayarak kolonların dayanım ve deformasyon kapasitelerini arttırmıştır. Bu yöntem, aynı zamanda boyuna donatıların bindirmeli ek yerlerinde görülen aderans kaybını önlemiş ve plastik mafsalların dayanım kaybı olmaksızın oluşmasını sağlamıştır. Sonuç olarak; yanal öngerme güçlendirme yöntemi depreme dayanıklı yapı tasarımında öngörülen etriye sıklaştırılmasının ve özel etriye detaylarının yararlarını deprem güvenliği yetersiz kolonlarda başarılı bir şekilde sağlamıştır. Bu uygulama için gerekli tasarım önerileri aşağıda belirtilmiştir.

### Kesme Güçlendirmesi

Betonarme elemanlarda kesme dayanımı, betonun ve kesme donatısının katkılarından oluşur. Yanal öngerme gerek betonun ve gerekse donatının kesme dayanımını olumlu yönde etkiler. Eğik çekme çatlağının oluşması ile kesme dayanımını yitiren beton, agrega kenetlenmesi ile bu etkinliğini 0.002 yanal birim uzamaya kadar sürdürebilir. Bu limit aynı zamanda 400 MPa akma sınırında çalışan etriye donatısının da limitidir. Bu yatay birim uzama limiti içinde öngerme katkısı aşağıda belirtildiği gibi alınabilir.

$$V_e \leq V_c + V_s + V_p \quad (1)$$

$$V_p = 2A_{ps} (f_{pe} + 0.002E_p) \frac{h}{s_p} \quad (2)$$

Denklem (2) de verilen ve öngerme ile elde edilen kesme dayanımı, kesme çatlaklarının ve bundan kaynaklanabilecek beton hasarının kontrol altında tutulması durumunda geçerli olup daha ileri deformasyonlarda ortaya çıkacak ek kesme dayanımını içermemektedir. Gerçekte, kullanılan öngerme çeliği, beton kesme dayanımının yatay

birim uzama limiti olarak alınan 0.002 düzeyinin ötesinde kesme donatısı olarak çalışıp ek dayanım oluşturur. Bu durumda, deprem sonrası ortaya çıkabilecek beton hasarını kabul etmek ve beton dayanımını ihmal etmek gerekir. Böyle bir performansın geçerli olabileceği durumlarda aşağıdaki tasarım denklemleri kullanılabilir.

$$V_e \leq V_s + V_p \quad (3)$$

$$V_p = 2A_{ps} f_{py} \frac{h}{s_p} \quad (4)$$

Yukarıda önerilen denklemler, geçerliliği deneysel olarak gösterilmiş aşağıdaki limitler ile kullanılmalıdır.

$$50 \text{ MPa} \leq f_{pe} \leq 0.5 f_{pu} \quad (5)$$

$$s_p \leq \frac{h}{4} \quad (6)$$

Plastik mafsallarda betonun kesme dayanımına katkısını, ve özel deprem detaylandırılmasının kullanılmadığı etriyelerde yanal donatı katkısını ihmal etmek güvenli olur.

### Sargılamayı Artırma

Eğilme ve eksenel yük altında gevrek kırılma sergilemesi beklenen kolonların sargı donatısı ile sünekliğinin artırılması depreme karşı güçlendirmenin önde gelen gereksinimlerindedir. Yukarıda, bu koşulun yanal öngerme ile başarılı bir şekilde gerçekleştirilebileceği gösterilmiştir. Bu uygulama Saatçioğlu ve Razvi (2002) tarafından betonarme kolonlar için geliştirilen ve aşağıda belirtilen denklem ile gerçekleştirilebilir.

$$\rho_c = 14 \frac{f_c}{f_s} \left[ \frac{A_g}{A_c} - 1 \right] \frac{1}{\sqrt{k_c}} \frac{P_f}{P_{ro}} \delta \quad (7)$$

$$\frac{A_g}{A_c} - 1 \geq 0.3 \quad (8)$$

$$\frac{P_f}{P_{ro}} \geq 0.2 \quad (9)$$

Denklem (7) deki  $k_c$  katsayısı sargı donatısının etkinlik derecesini yansıtmakta olup, düzgün dağılımlı yanal basınç yaratan donatı konfigürasyonlarında 1.0 olarak alınır. Söz konusu yanal öngermede kullanılan konfigürasyon,  $k_c$  katsayısının 1.0 olarak alınmasını uygun kılar. Ayrıca  $(A_g/A_c - 1)$  oranı, kolon örtü beton alanının kolon çekirdek alanına oranını vermekte olup kolon yüzüne yapılan öngerme uygulamasında sifira eşittir. Bu nedenle Denklem (8) deki minimum değer olan 0.3 ün kullanılması gerekir. Bu değer Denklem (7) de kullanılacak olursa ve yapılacak güçlendirmenin % 4'lük bir yanal öteleme oranı için uygulanacağı düşünülecek olursa, öngerme çemberi için gerekli donatı oranı aşağıdaki denklemde elde edilebilir.

$$\rho_c = 0.2 \frac{f_c}{f_s} \frac{P_f}{P_{ro}} \quad (10)$$

Yukarıdaki denklemdeki  $f_s$ , beton basıncının ezilmeye eriştiği düzeyde sargı donatısının gerilimini vermektedir. Bu değer, aktif yanal basınç yaratan ön germe ile deprem esnasında ortaya çıkan pasif basıncın yarattığı ek çekmeden oluşmaktadır.

$$f_s = f_{pe} + \epsilon_{tr} E_p \quad (11)$$

Pasif basınç oluşumunda yüksek dayanımlı sargı donatısının etkisini inceleyen Saatçioğlu ve Razvi (1998, 2002), deneysel olarak ölçülen gerilmelerin 1000 MPa'a kadar çıkabileceğini, fakat bunun için sargı donatısının ve eksenel yükün belli bir düzeyin üzerinde olması gerektiğini belirtmişlerdir. Diğer taraftan 600 MPa'lık çekme gerilmesinin ve ona karşıt 0.003 birim uzamanın sürekli gözlemlendiğini ve bu mertebenin güvenli bir tasarım limiti olarak kullanılabilirliğini de ifade etmişlerdir. Bu nedenle Denklem (11) de kullanılan  $\epsilon_{tr}$  nin değeri 0.003 olarak alınabilir.

Beton sargı mekanizmasının etkinliği kullanılan donatının sıklığı ile doğrudan ilgilidir. Bu nedenle Retro-belt sargı çemberlerinin en fazla 150 mm aralıklarla kullanılması gerekmektedir.

### **Bindirmeli Eklerde Gerekli Güçlendirme**

Boyuna donatıların ek yerleri genellikle deprem yükü altında mafsallaşmaya elverişli, eğilmeye kritik eleman uçlarındadır. Bu bölgelerin dışarıdan yanal öngerme ile sıkıştırılarak güçlendirilmesi donatı aderansının artırılması yönünden gerekli olabilir. Kolon deneylerinden elde edilen veriler, bindirmeli eklerde birim uzamaların 0.001 ile 0.002 nin altında olduğu hallerde yeterli aderansın oluştuğunu göstermiştir (Saatcioglu et. al. 2000; Beausejour 1999; Priestly and Seible 1991). Bu nedenle, güçlendirme tasarımında göz önünde bulundurulacak önemli nokta enine birim uzamaların belli bir limitin altında tutulmasıdır. Gerekli olan bu şart Denklem (11) deki  $\epsilon_{tr}$  değerinin 0.001 olarak alınmasıyla ve Denklem (10) da öngörülen donatı oranının kullanılmasıyla yerine getirilir. Bu amaç için gerekli Retro-belt çemberlerinin boyuna donatı ek yerleri boyunca kullanılması gerekmektedir. Bu bölgelerin dışında, güçlendirme ve iyileştirme gereksinimlerine bağlı olarak, sargı veya kesme için gerekli çember uygulaması yapılabilir.

### **Sonuçlar**

Bu bildiriye tanıtılan retro-belt yanal öngerme teknolojisinin sınanmasını amaçlayan araştırma projesinden elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenebilir:

- Deprem tasarımsız betonarme kolonlar yaklaşık % 1'lik yanal ötelenmeden hemen sonra gevrek kırılma özellikleri gösterirler. Genellikle bu kırılmalar ve dayanım kayıpları kesme ve sargı donatılarının yetersizliğinden kaynaklanır.
- Retro-Belt Yanal Öngerme Tekniği, betonarme kolonların deprem emniyetini büyük ölçüde artırarak kesmeden, beton ezilmesinden ve donatı sıyrılmasından kaynaklanan erken dayanım düşmelerini önlemiş ve sünek davranış oluşturmuştur. Yapılan deneylerde yanal ötelenmelerin % 4 ila % 6 düzeylerine ulaştığı gösterilmiştir.

- Gerek uygulamadaki kolaylık, ve gerekse elde edilen ekonomi, Retrobelt Yanal Öngerme yönteminin betonarme kolonlarda uygulanabilecek uygun güçlendirmede yöntemlerinden biri olduğunu göstermiştir.

## Referanslar

Beausejour, P. 1999. "Seismic Retrofitting of Concrete Bridge Columns by External Prestressing", Masters Thesis, Dept. of Civil Engn. U. of Ottawa, Ottawa, Canada.

Priestly, M.J.N., and Seible, F. 1991. "Seismic Assessment and Retrofit of Bridges." University of California, San Diego, Str. System Res. Project No. SSRP-91/03, 418pp.

Saatçioğlu, M. and Razvi, S. R. 2002. "Displacement Based Design of Reinforced Concrete Columns for Confinement." ACI Structural Journal, Vol. 90, No.1.

Saatçioğlu, M. ve Razvi, S. R. 1998. "High-Strength Concrete Columns with Square Sections under Concentric Compression," ASCE Journal of Structural Engineering, Vol. 124, No. 12, pp. 1438-1447.

Saatçioğlu, M., Yalçın, C., Mes, D., and Beausejour, P. 2000. "Seismic Retrofitting Concrete Columns by External Prestressing." OCEERC Research Report, Dept. of Civil Engineering, University of Ottawa, Ottawa, Canada.

## Simgeler

$A_c$	: Kolon çekirdek alanı
$A_g$	: Kolon enkesit alanı
$A_{ps}$	: Öngerme demeti kesit alanı
$D$	: Yanal yüklemenin yapıldığı yöne dik kolon enkesit boyutu
$E_p$	: Öngerme donatısının elastisite modülü
$f_{pe}$	: Uygulanan öngerilim (tüm kayıplardan sonra)
$f_{pu}$	: Öngerme donatısı kopma dayanımı
$f_{py}$	: Öngerme donatısı akma dayanımı
$f_s$	: Enine donatının alabileceği maksimum gerilme
$f'_c$	: Beton silindir dayanımı
$h$	: Kesme (depren) kuvveti yönünde kolon enkesit boyutu
$k_c$	: Sargı donatısının geometrik etkinliğini yansıtan katsayı
$P_f$	: Yük katsayısı ile çarpılmış eksenel yük
$P_{ro}$	: Malzeme hesap dayanımları ile elde edilen eksenel kolon dayanımı
$s_p$	: Retro-belt öngerme demet aralığı
$V_c$	: Beton kesme dayanımı
$V_e$	: Toplam deprem kesme dayanımı
$V_p$	: Yanal öngerme donatısının (Retro-belt) kesme dayanımına katkısı
$V_s$	: Enine donatının (etriyelerin) kesme dayanımına katkısı
$\delta$	: Ötelenme oranı (yanal ötelenme/kolon boyu)
$\epsilon_{tr}$	: Yanal birim değişim
$\rho_c$	: Yanal öngerme donatı oranı ( $A_{ps} / D s_p$ )