Pamukkale Univ Muh Bilim Derg, 23(3), 171-176, 2017

Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi

Pamukkale University Journal of Engineering Sciences

Ağır hasarlı kolon kiriş birleşim numunesinin kimyasal harçlar ile onarılarak sismik davranışının incelenmesi

Seismic investigation of heavily damaged beam column joint repaired by chemical epoxy

Osman KAYA[1], Cem YALÇIN[2]*

[1]İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Muğla, Türkiye.
okaya75@gmail.com
[2]İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
yalcince@boun.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 15.01.2016, Kabul Tarihi/Accepted: 22.02.2016 doi: 10.5505/pajes.2016.36097
* Yazışılan yazar/Corresponding author
Araştırma Makalesi/Research Article

Öz

Özellikle Türkiye'de, 1998 öncesi yapılmış betonarme binalarda, gerek yönetmelik eksiliğinden, gerekse uygulama hatalarından dolayı çeşitli yapısal problemlerin mevcut olduğu bilinmektedir. Kolon kiriş birleşim bölgeleri deprem kuvvetleri altında yüksek kayma gerilmelerine maruz kalmaktadır. Bu da arzu edilen göçme senaryosu gerçekleşemeden binaların daha evvelden kolon-kiriş birleşim bölgelerinden ani göçmelere neden olmaktadır. Bu çalışmada eski yönetmeliklere uygun yapılmış, kolon kiriş birleşim numunelerinin sismik davranışı deneysel olarak incelenmiş ve sonra hasarlı numune kimyasal harçlar ile onarılarak tekrar teste tabii tutulmuştur. Sonuç olarak, tamir edilen numunenin Yatay yük –ötelenme davranışı, rijitlik kayıpları ve Enerji Tüketim kapasitesinde önemli derecede bir artış olduğu elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Sismik ve Deprem güçlendirmesi, Kolon-kiriş bölgeleri, Düz donatı

Abstract

It is known that, especially in Turkey, many existing reinforced concrete buildings constructed in pre 1998 era, have many structural faults, due to deficiencies both in seismic code of the time and in application process. The column-beam regions are subjected to the high shear stresses under the seismic forces. And thus causing sudden failures since the required mode of failure is not accomplished. In this research, seismic behavior of beam column joint which is designed according to the old seismic code of Turkey is investigated experimentally, and then the damaged specimen is repaired by chemical epoxy and re-tested. As a conclusion, significant improvement is obtained in lateral load-drift behavior, stiffness degradation and energy dissipation capacities of repaired specimen.

Keywords: Seismic and earthquake retrofitting, Column-beam regions, plain re-bars

1 Giriş

Dünyada deprem riski taşıyan ülkelerde bulunan eski bina stoklarında günümüzün yapım şartlarına uymayan pek çok yapısal eksiklikler mevcuttur. Gerek çevre koşullarından dolayı oluşan aşırı korozyon ve betonda dağılmalar, gerekse tasarım şartnamelerinin önemli kısımlarının eksik ve/veya yetersiz olmalarından dolayı binalarda çeşitli yapısal problemler baş göstermiştir. Ayrıca, bu yetersizliklere yapım esnasındaki kontrollerin de noksanlığı eklendiğinde, bu yapıların yıkıcı depremlere karşı ne kadar güçsüz olduğu ortaya çıkmıştır. Ülkemizdeki 1999 ve sonrasında meydana gelen Kocaeli, Düzce ve Van depremleri de bizlere bu gerçeği ayrıca kanıtlamıştır.

Günümüz şartnamelerine ve benimsenen tasarım ilkelerine göre, binalardaki göçme senaryosu öncelikle kirişlerde, daha sonrasında da kolonlarda olması beklenmektedir. Bu da, güçlü kolon - yeterli kiriş tasarım ilkesini öngörmektedir. Böylece, yapı daha sünek davranacak ve enerji tüketerek her ne kadar hasara maruz kalsa da, "can güvenliği" performans kriterine göre göçmesi engellenecektir. Bu tasarım ilkesi kolon-kiriş birleşim bölgelerinin göçmemesi üzerine kurulmuştur. Öte yandan, bina analizlerinde oluşturulan matematiksel modellemelerde kolon-kiriş bölgeleri rijit kabul edilmektedir.

Bu çalışmanın ana hedefi dâhilinde, betonarme yapıların en zayıf halkasını teşkil eden kolon-kiriş birleşim bölgelerinin depremlerde oluşacak kuvvetlere karşı kapasitelerinin arttırılması ve bu şekilde daha sünek ve enerji tüketebilen elemanlar haline getirilmesi amaçlanmıştır.

Bu çalışma kapsamında, mevcut binalardaki kolon kiriş bağlantısını temsil etmesi amacı ile 1975 Türk Deprem Yönetmeliği ve TS 500'e uygun olarak kolon kiriş birleşim bölgesi numunesi üretilmiştir. Üretilen tam ölçekli kolon kiriş numunesi (TR Kontrol) test edilerek kapasitesi belirlenmiş ve ağır hasar görmüş bu numunenin, epoksi enjeksiyonu yapılarak tamir edilmesi (TR-R) ve tekrardan teste tabii tutulması sonucu elde edilen davranışlar karşılaştırılmıştır. Kolon kiriş numuneleri 1/1 ölçekli olarak laboratuvar ortamında üretilmiştir Türkiye'de 1998 öncesi Deprem Yönetmeliğine uygun olarak yapılmış mevcut binaların kolon kiriş bölgelerini temsil etmesi açısından beton basınç dayanımı düşük olarak seçilmiştir Ayrıca, numunelerde kullanılan boy ve etriye donatıları düz yüzeyli olarak seçilmiştir. Numunelere kolon üzerinden sabit eksenel yük ile yine kolon üst bölgesinden yatay olarak tersinir tekrarlı quasi-statik yük uygulanmıştır. Sonuç olarak hasar görmemiş numune ile tamir edilmiş numunenin davranışları arasında yatay yük kapasitesi ve süneklik düzeyi açısından önemli bir artış olduğu saptanmıştır.

2 Literatür araştırması

Geçmiş zamanlarda meydana gelen depremler özellikle 1970 evvelinde tasarlanıp inşaa edilen betonarme yapıların sismik yüklemelere karşı ne kadar korumasız olduklarını ortaya

çıkartmışlardır [1]-[3]. Günümüzde halen milyonlarca bina deprem riski altında olup, bunların güçlendirilmesi veya güçlendirilemeyecek olanların yerlerine yeni yapıların inşaa edilmesi hem ekonomik hem de lojistik açıdan büyük problemler arz etmektedir. Ülkemizde genelde dar gelirli kitlelerin yaşadıkları alanlardaki binaların düşük maliyetlerle inşaa edildiklerini göz önüne alırsak ve bu bölgelerdeki yerel yönetimlerin de özellikle 1999 Kocaeli depreminden evvel izinsiz, kaçak ve kontrolsüz inşaatlara göz yumdukları gerçeğinden yola çıkarsak, bu yapıların deprem riski altında olduklarını kolayca söyleyebiliriz. Bir yandan bir sonraki yıkıcı depremin gün geçtikçe yaklaşması, diğer yandan da insanların sınırlı parasal imkânlarının olması, bu yapıların çabuk, kolay finanse edilebilen ve aynı zamanda pratik uygulama gereçleriyle güçlendirilmelerinin gerekliliğini ortaya çıkartmaktadır.

Dünyadaki ulusal tasarım şartnameleri özellikle 1970'li yıllardan itibaren günümüze değin önemli değişiklikler geçirmiş, adeta evrimleşmişlerdir. Başlangıçtaki dayanım bazlı tasarım yöntemleri yerini sünek tasarım ilkelerine, günümüzde ise enerji bazlı tasarım yöntemlerine bırakmışlardır. Bu güncel deprem tasarım ilkeleriyle yeni tasarım ve güçlendirme yöntemleri geliştirilmiştir.



Şekil 1: Tipik kolon-kiriş birleşim bölgelerinin göçmesi [4].



Şekil 2: 1999 Kocaeli depremindeki kolon-kiriş birleşim bölgesi göçmesi [2].

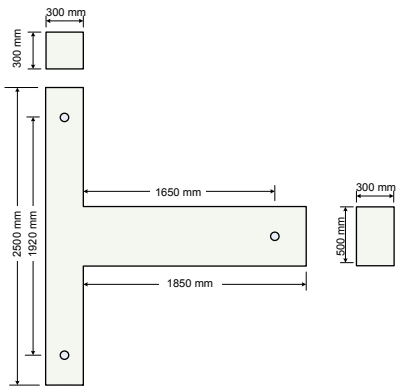
Sismik yüklemeler altında kolon-kiriş bölgelerinde meydana gelen aşırı gerilmeler yapıdaki en zayıf halkayı oluşturmaktadır. Yapıya etki eden yükler önce kirişlerde daha sonra da kolonlarda hasar vermesi beklenirken, kolon-kiriş bölgelerindeki erken kırılmalar yapının ani göçmesine neden olmaktadır (Şekil 1 ve 2). Dolayısıyla, yapılacak güçlendirme ile elemanlara gelecek yük akışının düzgün bir şekilde gerçekleşmesi ve yapıdaki her elemanın dışardan gelen enerjiyi tüketebilmesi sağlanmalıdır.

Eski yapılarda sıkça rastlanan kolon-kiriş bölgelerindeki yetersiz kayma gerilmesi kapasitesi, yetersiz sargılama donatıları ile kolon ve kirişlerden bu düğüm noktalarına uzanan donatıların yetersiz bindirme boyları ve ankraj detaylarının olması, yapıya gelen toplam enerjinin tüketilememesine neden olmakta ve bu da ani göçmeleri beraberinde getirmektedir. Ayrıca, kolon-kiriş rijitlik ve geometrik oranları zayıf kolon-güçlü kiriş durumuna neden olmakta ve bu da yapıya gelen yük dağılımında önemli aksaklıklar ortaya çıkartmaktadır [5]-[14].

3 Deneysel çalışma

3.1 TR kontrol numunesi

TR Kontrol numunesi Türk Deprem Yönetmeliği 1975 (TDY-75)'ne [15] uygun şekilde ve çok katlı bir binanın dış kolon-kiriş birleşim bölgesini temsil edecek şekilde 2 kolon ve 1 kirişin bağlı olduğu birleşim bölgesi olarak tasarlanmıştır. Kolon yüksekliği 1920 mm kiriş uzunluğu ise 1850 mm olarak belirlenmiştir. Kolon kesit boyutları 300x300 mm, kiriş kesit boyutları 300x500 mm olarak yapılmıştır. Şekil 3'te numunenin boyutları, mesnet bölgeleri ve yükleme noktası gösterilmiştir.



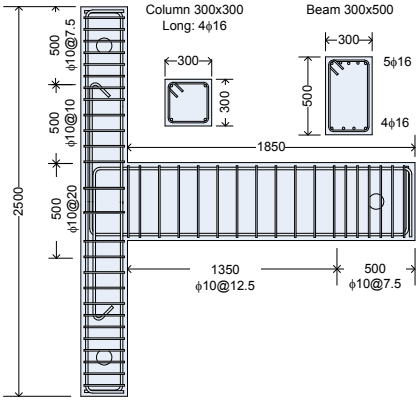
Şekil 3: Numune boyutları.

3.2 Malzeme özellikleri

Laboratuvar ortamında üretilen numune betonlarının 28 günlük basınç dayanımları 15.3 MPa olarak ölçülmüştür. Donatı detaylandırması olarak, kolonlarda 4 adet 16 mm çapında düz yüzeyli donatı kullanılmıştır. Kirişlerde ise üstte 5 adet ve altta 4 adet 16 mm çapında düz yüzeyli donatı boy donatısı kullanılmıştır. Kiriş boy donatıları birleşim bölgesi içinde 90° bükülerek alt ve üst kolona 50 cm uzatılarak ve ucu kanca yapılarak ankrajı sağlanmıştır. Etriye olarak ise 10 mm çapında yine düz donatılar kullanılmıştır. Etriye aralıkları kolonlarda 10 cm, kirişte ise 12.5 cm olarak bırakılmıştır. Yönetmelik gereği birleşim bölgesi içine de 2 adet ilave etriye konulmuştur. Donatıların çekme testi sonucu elde edilen değerler Tablo 1'de verilmiştir. Numune donatı detayı Şekil 4'te verilmiştir.

Tablo 1: Donatı özellikleri.

Donatı Çapı	Akma Mukavemeti, f_y, (MPa)
ϕ 16 –düz yüzeyli	280
ϕ 10 –düz yüzeyli	280



Şekil 4: Donatı detayı.

3.3 TR-R numunesi

Kontrol numunesinin deneyi sırasında yatay yük kapasitesi, azami yükün %80 seviyesinin altına düştüğünde, numune ağır hasarlı olarak kabul edilip, testler durdurulmuştur. Hasarlı numuneden gevşek betonlar çıkartılmış, hasar gören bölgeler temizlenmiş, ve özel tamir harçları ile tekrardan eski konumuna getirilmek üzere epoksi enjeksiyon yöntemi ile tamir edilmiştir. Tamir harcı olarak yüksek dayanımlı kimyasal epoksi malzemesi, numune üzerinde bırakılan özel ankraj sübapları ile 120 bar basınç altında hasarlı bölgeye enjekte edilmiştir. Numune tamir edildikten sonra TR-R olarak adlandırılmıştır. Tamir işleminde kullanılan malzemelerin özellikleri üretici firmanın kataloğundan temin edilmiştir. Bu malzemeler aşağıda özetlenmiştir.

3.4 Tamir işlerinde kullanılan malzeme özellikleri

Concresive 1495: Bu epoksi hasarlı bölgelerde geniş çatlakları kapatmak ve doldurmak için kullanılmaktadır. Betona ankrajı çok yüksektir. Numuneye basınçlı epoksi verildiğinde bu çatlakların açılmaması gerektiğinden geniş çatlaklara bu tip epoksi uygulanmaktadır.

Concresive 1406 : Bu epoksi ise hasarlı bölgedeki sızdırmazlığı sağlamak için tüm gevşek betonun üzerine uygulanmaktadır. Tablo 2'de bu malzemenin mekanik özellikleri verilmiştir.

Tablo 2: Concresive 1406 mekanik özellikleri.

Uygulama kalınlığı	2 mm-30 mm
Eğilme dayanımı	25 MPa (7 gün)
Basınç dayanımı (20°)	75 MPa (7 gün)
Aderans dayanımı	3.0 MPa (beton), 3.5 MPa (çelik)

Emaco S88C: Çimento bazlı tamir harcıdır ve beton yüzeyine epoksi enjeksiyonu yapılmadan evvel uygulanmalıdır. Tablo 3'te bu malzemenin mekanik özellikleri verilmiştir.

Tablo 3: Emaco S88C mekanik özellikleri.

Uygulama kalınlığı	min. 10 mm
Çekme dayanımı (20°)	3.6 MPa (28 gün)
Basınç dayanımı (20°)	70 MPa
Aderans dayanımı (Çelik)	14 MPa (düz), 30 MPa (nervürlü)
Aderans dayanımı (Beton)	6.5 MPa
Elastisite modülü (0°)	>28 GPa

Concresive 1302: Tamir sırasında genişliği 1 mm den az olan çatlakları tamir etmek için uygulanır. Düşük viskoziteli olduğu için kılcal çatlaklara özel aparatı ile basınçla uygulanır. Concresive 1302'ye ait mekanik özellikler Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4: Concresive 1302 mekanik özellikleri.

Viskozite	100 MPa-350 MPa
Çekme dayanımı	45 MPa (7 gün)
Basınç dayanımı (20°)	110 MPa (7 gün)
Aderans dayanımı (Çelik ve Beton)	3.5 MPa
Uygulama kalınlığı	0.2 mm-1.0 mm
Elastisite modülü (0°)	3.1 GPa-3.3 GPa

Tamir işleminin adımları Tablo 5'te özetlenmiştir.

Tablo 5: Tamir uygulaması adımları.



Öncelikle tamir edilecek bölgenin yüzey hazırlığı yapılmıştır. Hasar görmüş numunedeki gevşek olan tüm beton parçaları ve tozlar tamamen temizlenmiştir. Epoksi enjeksiyon uygulaması için kullanılacak özel sübaplar, numunenin çeşitli yerlerine yerleştirilmiştir.



Gözle görünen büyük çatlaklar *Concressive 1495* epoksi bazlı tamir harcı ile tamamen kapatılmış ve sonra da hasarlı bölgenin tüm yüzeyi *Concressive 1406* ile kaplanmıştır.



Epoksi sertleştikten sonra, hasarlı bölge *EmacoS88C*, çimento bazlı tamir harcı ile tamamen kapatılıp düzeltilmiştir.



Tamir harcı gerekli dayanıma ulaştıktan sonra, sübaplardan numunenin içindeki kılcal çatlaklara düşük vizkositeli epoksi harcı *(Concresive 1302)* 120 bar basınçla uygulanmıştır. Bu uygulama sırasında epoksinin numune üzerindeki çatlaklardan sızdığı görülmüş ve uygulamanın başarılı olduğu anlaşılmıştır.

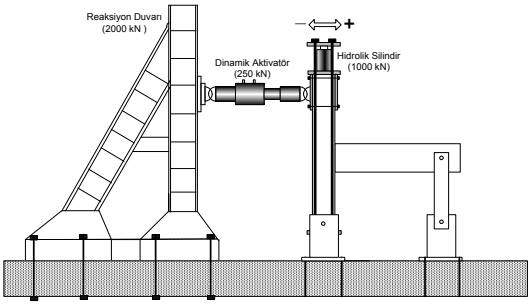


Son olarak, numune yüzeyi sıvanarak düzeltilmiş ve tamir işlemi tamamlanmıştır.

3.5 Deney ve ölçüm düzeneği

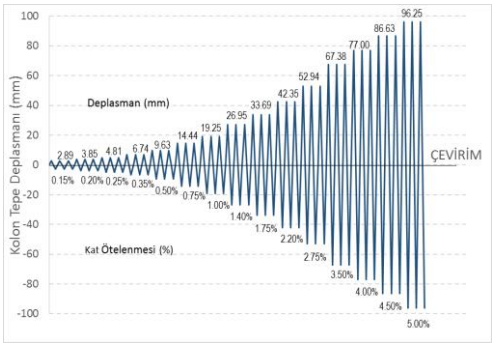
Deneylerde kullanılan deney düzeneği Şekil 5'te gösterilmiştir. Numuneler, kolon altı mafsal (moment taşımayan) mesnet, kiriş ucu ise hareketli mesnet olacak şekilde deney düzeneği

içerisine yerleştirilmiştir. Deneyler, sabit eksenel yük altında, tersinir tekrarlı yatay yük uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Kolon eksenel yükü, kolon eksenel yük kapasitesinin %40'ı kadar uygulanmıştır. Kolon eksenel yükü kolon üzerine yerleştirilen statik hidrolik silindir ile yatay yük ise dinamik yük aktivatörleri ile tersinir tekrarlı ve deplasman kontrollü olarak kolon üst noktasından uygulanmıştır.



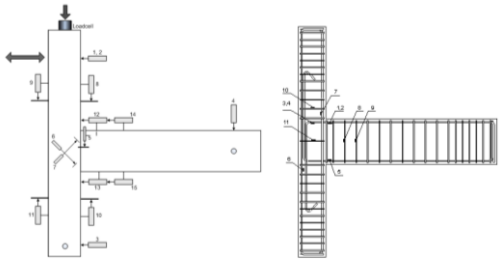
Şekil 5: Deney düzeneği.

Yükleme ötelenme değerleri Şekil 6'da verilmiştir. Bu yükleme biçimi ACI T1.1-01'de [16] verilen kat ötelenme değerleri kullanılarak hazırlanmıştır. Her bir ötelenme değerinde uygulanması gereken deplasman değerleri, kolon yüksekliği ile göreli kat ötelenme yüzdesinin çarpımı ile bulunmuştur. Bulunan deplasman değerleri, 3 tekrar olarak, kolon üst noktasından uygulanmıştır. Uygulanan maksimum yatay yükün %20 azalma gösterdiği ötelenme seviyesi ağır hasarlı kabul edilerek, testler bu seviyede durdurulmuştur.



Şekil 6. Yükleme patronu.

Deney sırasında numune üzerine yerleştirilen ölçüm aletleri ile anlık deformasyonlar ve yükler kaydedilmiştir. Numune üretimi sırasında donatı üzerine yerleştirilen birim şekil değiştirme rozetleri (straingauge) sayesinde yükleme sırasında donatılarda oluşan şekil değiştirmeler belirlenmiştir. Ayrıca, kolon ve kiriş üzerine yerleştirilen deplasman ölçerler (LVDT) ile kolon ve kirişte oluşan eğrilikler, ve birleşim bölgesindeki kayma deformasyonları ölçülmüştür. Kullanılan ölçüm aletlerinin lokasyonları Şekil 7'de gösterilmiştir.

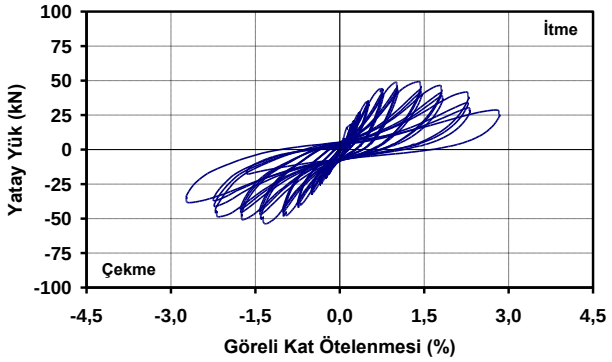


Şekil 7: LVDT ve straingage lokasyonları.

4 Deney bulguları ve tartışma

4.1 TR kontrol numunesi

TR Kontrol numunesi, 1975 Türk Deprem Yönetmeliği'ne (TDY-75) uygun olarak hazırlanmış kontrol numunesidir. Deneyde, %0.20 yüklemesi sırasında kiriş alt ve üst yüzeyinden başlayan eğilme çatlakları gözlemlenmiştir. %0.75 kat ötelenme seviyesinden sonra kolon-kiriş birleşim bölgesinde çatlaklar gözlemlenmiş ve göçme mekanizması burada oluşmaya başlamıştır. Kiriş alt ve üst donatı miktarları birbirine yakın olduğu için itme ve çekme durumunda birleşim bölgesinde, her iki yönde diyagonal kesme çatlakları oluşmuştur. Şekil 8'de görüldüğü gibi, elde edilen azami yatay kuvvet ise itme ve çekme yönünde 50 kN olarak %1.0 kat ötelenmesi seviyesinde oluşmuştur. Kat ötelenme seviyesi %1.40'dan sonra, birleşim bölgesinde oluşan hasarlar, yük kapasitesinin düşmesine sebep olmuştur. Tablo 6'da deney sırasında alınan gözlemler özetlenmiştir.



Şekil 8: TR kontrol numunesine ait yatay yük-kat ötelenmesi ilişkisi.

Tablo 6: Genel gözlemler (TR kontrol numunesi).

Kat Ötelenmesi	Genel Gözlemler
% 0.20	Kiriş üst bölgesinden başlayan, kolondan 10 cm mesafede, ilk eğilme çatlağı oluştu.
% 0.25	Kiriş altından başlayan eğilme çatlağı oluştu ve bu çatlaklar birleşti.
% 0.35	Çatlak genişliği 0.6 mm olarak ölçüldü.
% 0.50	Çatlaklar genişlikleri 1.0 mm ye ulaştı.
% 0.75	Kolon-kiriş birleşim bölgesinde ilk diyagonal çatlak gözlemlendi. Ayrıca kolon arka yüzeyinde düşey çatlaklar oluşmaya başladı.
% 1.00	Kolon-kiriş birleşim bölgesinde çatlaklar arttı. Kiriş üzerindeki eğilme çatlakları uzadı (Şekil 9a).
% 1.40	Yükün azami seviye ulaştığı ötelenme değeri.
% 1.75	Birleşim bölgesinde çatlaklar genişledi (Şekil 9b).
% 2.20	Birleşim bölgesinde beton tamamen çatladı ve beton parçaları dökülmeye başladı (Şekil 9c).
% 2.75	Kolon arkasında, donatıların burkulması sebebiyle beton paspayı ayrıldı (Şekil 9d).

4.2 TR-R numunesi

TR Kontrol numunesi test yapıldıktan sonra, kimyasal enjeksiyon yöntemi ile tamir edilerek, aynı yüklemeler altında tekrar test edilmiştir. Şekil 10'dan da görüldüğü gibi TR-R numunesi kontrol numunesinden daha iyi bir davranış göstermiştir. Numunenin sadece tamir edilmesiyle, kapasite yaklaşık %50 arttırılmıştır. Bunun en önemli sebebi, birleşim bölgesinde var olan düşük dayanımlı betonun yerine, basınç dayanımı yaklaşık 4 kat daha fazla olan malzeme ile değiştirilmesidir. Deneyde 80 kN'luk azami yüke %1.75 kat öteleme seviyesinde ulaşılmış ve yük, %3.50 kat ötelenme seviyelerine kadar sabit kalmıştır. Tablo 7'de deney sırasındaki gözlemler verilmiştir.



(a): % 1.00 (b): % 1.75



(c): % 2.20 (d): % 2.75

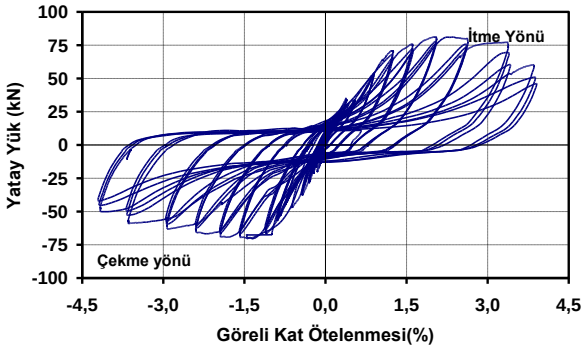
Şekil 9: TR kontrol numunesi hasar seviyeleri.

Tablo 7: Genel gözlemler (TR-R numunesi).

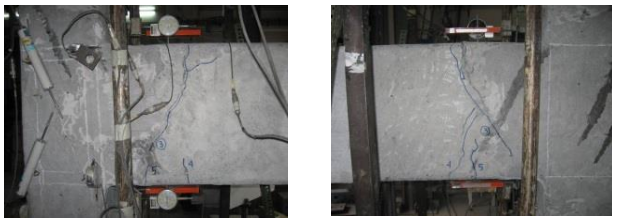
Kat Ötelenmesi	Genel Gözlemler
% 0.20	Kontrol numunesinden kalan eski çatlaklar açıldı.
% 0.35	Kolondan 30 cm ve 68 cm uzaklıkta eğilme çatlağı oluştu.
% 0.50	Kolondan 35 cm mesafede kiriş üstünde eğilme ve kesme çatlağı oluştu.
% 1.00	Kiriş altında kolondan 29 cm ve 15 cm uzaklıkta eğilme çatlakları oluştu (Şekil 11a).
% 1.40	Kiriş üstünde oluşan ilk eğilme çatlağının genişliği 5mm'ye ulaştı. Betonda dökülmeler gözlemlendi (Şekil 11b).
% 2.20	Oluşan çatlaklar uzadı ve genişledi. Çatlaklardan donatılar görülmeye başladı.
% 2.75	Birleşim bölgesinde, tamir betonlarında dökülmeler gözlemlendi.
% 3.50	Kirişin uç bölgesinde çatlaklar oluştu (Şekil 11c).
% 4.00	Kirişte mafsallaşma oldu, beton ezildi, donatılar burkuldu (Şekil 11d).

4.3 Tartışma

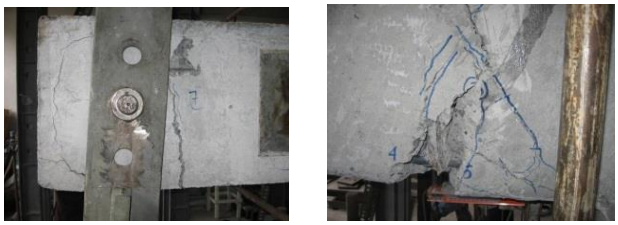
Kontrol numunesi ve tamir edilmiş numunelerin yatay yük kat ötelenmesi grafiklerinden elde edilen zarf eğrileri Şekil 12'de karşılaştırılmıştır. Numunenin sadece tamir edilmesi, yatay yük taşıma kapasitesini yaklaşık %50 artırmıştır. Ayrıca, bu durum birleşim bölgesinde hasar oluşmasını geciktirmiş, fakat engelleyememiştir.



Şekil 10: TR-R numunesine ait yatay yük-kat ötelenmesi ilişkisi.

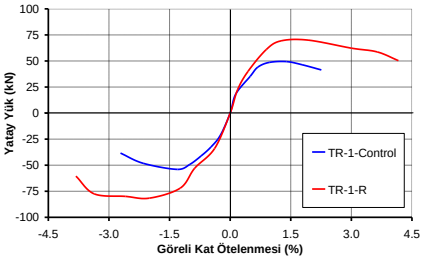


(a): % 1.00 (b): % 1.40



c) % 3.50 (d): % 4.00

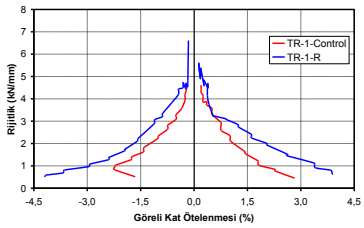
Şekil 11: TR-R numunesi hasar seviyeleri.



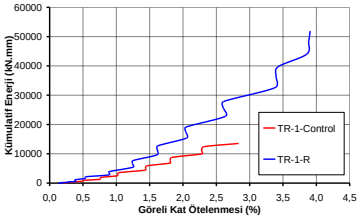
Şekil 12: TR kontrol ve TR-R numunelerinin zarf eğrileri.

Şekil 13'te TR Kontrol ve TR-R numunelerine ait rijitlik kaybı grafikleri görülmektedir. Rijitlik değerleri, yük-deplasman döngülerinin itme ve çekme yönleri için ayrı ayrı hesaplanmış olup, başlangıç noktasıyla o döngüye ait azami yük-deplasman koordinatına olan doğrunun eğimi (sekant) olarak alınmıştır. Tamir yapılarak test edilmiş numunede de rijitlik kaybı büyük ölçüde azaltılmıştır.

Enerji tüketme kapasiteleri, numunelerin yük deplasman grafiklerinde her bir kat ötelenme döngüsü içinde kalan alanlar hesaplanarak bulunmuştur. Kontrol numunesi ve TR-R numunesinin kümülatif enerji tüketme kapasitelerinin karşılaştırılması aşağıdaki grafikte gösterilmiştir (Şekil 14).



Şekil 13: TR Kontrol ve TR-R numunelerinin itme ve çekme yönündeki rijitlik kayıpları.



Şekil 14: TR Kontrol ve TR-R numunelerine ait kümülatif tüketilen enerji.

5 Genel değerlendirme ve sonuç

Bu araştırma kapsamında, 1998 evveli Türk yönetmeliklerine ve uygulamalarına yönelik 1/1 ölçekli kolon-kiriş birleşim bölgesi ile ilgili kontrol ve tamir edilmiş numuneler deneysel olarak incelenmiştir.

Kontrol numunesinin testinde, kolon-kiriş birleşim bölgesinde göçme ani kesme kırılması şeklinde olmuş, ancak, kolonda ve kirişte plastik mafsallaşma oluşmadığından donatılarda akma dayanımı sınırına ulaşılamamıştır. Böylece, tasarlanan kesitlerin tasarım kapasitelerinin çok daha alt seviyelerinde numunede göçme meydana gelmiştir. Bu da tipik deprem sonrası gözlemlenen göçme şeklini yansıtmaktadır.

Hasarlı Kontrol numunesi epoksi enjeksiyonu metodu ile tamir edilmiştir. Buna ek olarak, ayrışmış beton parçalarının yerine yüksek mukavemetli tamir harcı uygulaması yapılmıştır. Tamir edilmiş numune tekrardan test edilmiştir. Deney sonucunda elde edilen veriler doğrultusunda, TR Kontrol ve TR-R numunesi göçmeleri birleşim bölgesinde kesme kırılması şeklinde oluşmuştur. Dolayısı her iki durumda da kesitlerin tasarım moment kapasitelerine ulaşılamadığı gözlemlenmiştir.

Tamir edilmiş TR-R numunesi Kontrol numunesiyle karşılaştırıldığında yatay yük taşıma kapasiteleri ortalama %50 civarında artmıştır. Enerji tüketme kapasitelerinde ise 3 kat artış gözlemlenmiştir. Numunenin göçme mekanizması birleşim bölgesinin davranışına bağlıdır. Bu bölgedeki düşük dayanımlı beton, yüksek mukavemetli tamir harcı ile değiştirildiği takdirde buna bağlı olarak yatay yük kapasitesi ve enerji tüketme kapasitesi artmıştır.

6 Teşekkür

Bu çalışmada numune tamir aşamasında malzeme ve işçilik konusunda yardımlarını esirgemeyen BASF Türkiye yetkililerine teşekkür ederiz.

7 Kaynaklar

[1] Beres AB. Experimental and Analytical Study of the Performance of Reinforced Concrete Frames with Non-Ductile Details. PhD Thesis, School of Civil and Environmental Engineering, Cornel University, Ithaca, NY, 1994.

[2] Sezen H, Elwood KJ, Whittaker AS, Mosalam KM, Wallace JW, Stanton JF. "Structural Engineering Reconnaissance of the August 17, 1999 Earthquake: Kocaeli (Izmit), Turkey", PEER Report, Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, No. 2000/09, 154, 2000.

[3] Moehle JP. "State of research on seismic retrofit of concrete building structures in the US". *US-Japan Symposium and Workshop on Seismic Retrofit of Concrete Structures*, 2000.

[4] Amoury T, Ghobarah A. "Seismic rehabilitation of beam-column joint using GFRP sheets". *Engineering Structures,* 24(11), 1397-1407, 2002.

[5] Hanson NW, Connor HW. "Seismic resistance of reinforced concrete beam-column joints". *Journal of the Structural Division,* 93(5), 533-560, 1967.

[6] Hanson NW. "Seismic resistance of concrete frames with great 60 reinforcement". *Journal of the Structural Division,* 97(6), 1685-1700, 1971.

[7] Ehsani MR, Wight JK. "Exterior reinforced concrete beam-to-column connections subjected to earthquake-type loading". *ACI Journal*, 82(4), 492-499, 1986.

[8] Uzumeri SM, Seckin M. "Behaviour of joints and ductility of reinforced concrete frames". *5th European Conference on Earthquake Engineering*, Istanbul, Turkey, 22-25 September 1975.

[9] Paulay T, Park R, Priestley MJN. "Reinforced concrete beam-column joints under seismic actions". *ACI Journal*, 11(75-60), 585-593, 1978.

[10] Jirsa J. "Design of Beam-Column Joints for Seismic Resistance (SP-123)". American Concrete Institute, Detroit, USA, 1991.

[11] Adin MA, Yankelevsky DZ, Farhey DN. "Cyclic behavior of epoxy-repaired reinforced concrete beam-column joints". *ACI Structural Journal*, 90(2), 170-9, 1993.

[12] Engindeniz M, Kahn LF, Zureick AH. "Repair and strengthening of reinforced concrete beam-column joints: State of the Art". *ACI Structural Journal*, 102(2), 187-197, 2005.

[13] Tankut T, Ersoy U. "Seismic repair/strengthening of RC structures-METU research and practice. Repair and strengthening of existing buildings". *Second Japan-Turkey Workshop on Earthquake Engineering*, Istanbul, Turkey, 23-25 February 1998.

[14] Yalcin C, Kaya O, Sinangil M. "Retrofitting of R/C columns having plain rebars using CFRP sheets for improved strength and ductility". *Construction & Building Materials* (22), 295-307, 2008.

[15] TDY75. "Afet Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik". Ankara, Türkiye, 1975.

[16] ACI T1.1-01. "Acceptance Criteria for Moment Frames Based on Structural Testing". American Concrete Institute, USA, 2001.