

KISA KOLON HASARI OLU MU BETONARME KOLONLARIN CFRP LE YAPISAL ONARIMI

O. Tunaboyu¹, B. Evirgen¹ ve Ö. Av ar²

¹ Ara tırma Görevlisi, n aat Müh. Bölümü, Anadolu Üniversitesi, Eski ehir

² Doçent Doktor, n aat Müh. Bölümü, Anadolu Üniversitesi, Eski ehir

Email: onurtunaboyu@anadolu.edu.tr

ÖZET:

Bu çalı mada kısa kolon hasarı olu turacak ekilde dolgu duvarda bo luk bırakılarak kesme hasarına u ramı kolonların, CFRP (Carbon-Fiber-Reinforced Polymer) ile sarılarak yapısal olarak onarımı gerçekte tirildikten sonra, davranı ndaki iyile me deneysel olarak incelenmi tir. Çalı manın amacı, sünek davranı göstermeyen kısa kolonlu bir çerçevenin, onarıldıktan sonra referans çerçeve ile kar ıla tırılarak süneklik ve dayanımındaki artı miktarının ara tırılmasıdır. Bu kapsamda ülkemizde yapı stokunu temsil edecek dü ük dayanımlı beton ve nervürsüz donatı ile imal edilmi 2 adet 1/3 ölçekli tek katlı ve tek açıklıklı çerçeve tipi deney elemanı üretilmi tir. Referans numunesi olarak kullanılacak çerçevelerden bir tanesine tu la duvar örülmemi , di erine ise Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY, 2007)'ye göre kısa kolon hasarı olu turacak ekilde duvarın üst bölgesinde bo luk bırakılarak duvar örümü yapıldıktan sonra deney elemanlarına depremi benze tiren tersinir-tekrarlı yatay yükler uygulanmı tir. Deney esnasında kolon eksenel ta ıma yük kapasitesinin %10'u kadar bir eksenel yük sadece kolonlara aktarılacak ekilde sisteme uygulanmı tir. Kısa kolon davranı ı sonucunda kesme kırılması ile hasar görmü kolon elemanları CFRP ile onarılmı olup, bu numuneye de aynı yükleme protokolü uygulanarak, referans de erleri ile kar ıla tırılmı tir. Çalı ma sonucunda, test edilen deney elemanlarına ait histeretik ve zarf e rileri kullanılarak kar ıla tırmalar yapılmı tir. Onarım sonrasında deney numunesinin referans numunesine göre dayanımının artarak, bo luklu dolgu duvarlı numuneye yakla tı ı ancak sünekli inin referans numuneye göre azaldı ı görülmü tür. Di er taraftan yapısal onarım yapılmı numunenin kısa kolon hasarlı numuneden daha ileri deplasmanlara gidebildi i gözlenmi tir. Ayrıca, rijitlik azalması ve enerji tüketme kapasitelerindeki de i im de incelenerek hasarlı numunenin yapısal onarım yönteminin etkinli i ara tırılmı tir.

ANAHTAR KEL MELER : Betonarme Kolon, Kısa Kolon Hasarı, CFRP, Yapısal Onarım

1. G R

Ülkemizdeki mevcut yapı stokunu olu turan binaların önemli bir kısmının gerek malzeme kalitesinde ilgili standartları sa lamadı ı gerekse de depreme dayanıklı tasarım ilkelerine uymayan detayları içerd i i ya anan birçok depremde tecrübe edilmi tir (Yılmaz ve Av ar, 2013). Bunun yanında DBYBHY 2007'de bahsedilen dü ey do rultudaki düzensizlik durumları olan zayıf kat, yumu ak kat gibi düzensizliklerle sistemin süneklik düzeyini etkileyen kısa kolon ve güçlü kiri -zayıf kolon gibi sistem yetersizlikleri yapının sismik davranı nı olumsuz yönde etkileyen parametrelerdir. Bu gibi düzensizliklerin birine ya da birkaçına sahip yapılarda, deprem gibi yıkıcı do al afet sonucunda yapısal hasarlar olu maktadır. leri düzeyde yapısal hasar görmemi binalar, uygun yapısal onarım teknikleri uygulanarak yeniden i levselli ine kavu turulabilir.

Yıkıcı depremler sonucunda, sıklıkla görülen yapısal hasar türlerinden biri de kısa kolon hasarıdır. Mimari tasarımlar sonucunda kolonlar arasında bant pencere bırakılarak kolon kenarında bo luklar olu turulmaktadır. Bu

nedenle, kolonun tasarımında esas alınan hesap boyu kısalmakta ve kesme kuvvetleri beklenenin üzerinde gelerek gevrek kolon hasarı olmaktadır.

Ani olarak meydana gelen gevrek bir kırılma modu olan kesme kırılması için literatürde çalımlar mevcuttur. Guevara ve Garcı'a (2005), kısa kolon etkilerine, içinde mühendislik, mimari ve inaat yapımlarının da oldu u disiplinler arası bir bakı açısıyla çözüm elde edilebileceğini belirtmişlerdir. Çalımlarında kısa kolona neden olabilecek etmenler açıklanarak, farklı depremler sonrasında oldu mu kısa kolon hasarlarını araştırmışlardır. Kısa kolon davranışını yapısal olarak açıkladıktan sonra farklı üniversitelerde kısa kolon ile ilgili yapılan deneyleri sunmuşlardır. Çatay (2005), Türkiye'deki endüstriyel bir yapıyı incelemi ve 1998 Adana-Ceyhan depremi sonrasında dı kısımdaki bütün kolonların kısa kolon hasarı ile hasar gördüğünü belirtmiştir. Yetersiz etriye aralığı ve etriye kancalarının 90 derece oldu unu göz önünde tutarak hasarı incelemiştir. Yapının sonlu elemanlar modelini oluşturarak analitik hesaplar yapıp boyutluk oranının etkisini araştırmış ve kısa kolon etkisini yok edecek bazı pratik önerilerde bulunmuştur. Demir ve di . (2013), yaptıkları çalımlarında, bodrum katı betonarme perde duvarlarında bırakılan bant pencere ve havalandırma boyutluklarının oldu u kısa kolon etkisini azaltacak pencere boyutunu araştırmışlardır. Bu amaçla, betonarme perdedeki pencere boyutluklarını, kanat dolgu duvarlar kullanarak güçlendirmişler ve böylece kısa kolon etkisinin en az oldu u pencere boyutunu deneysel olarak araştırmışlardır.

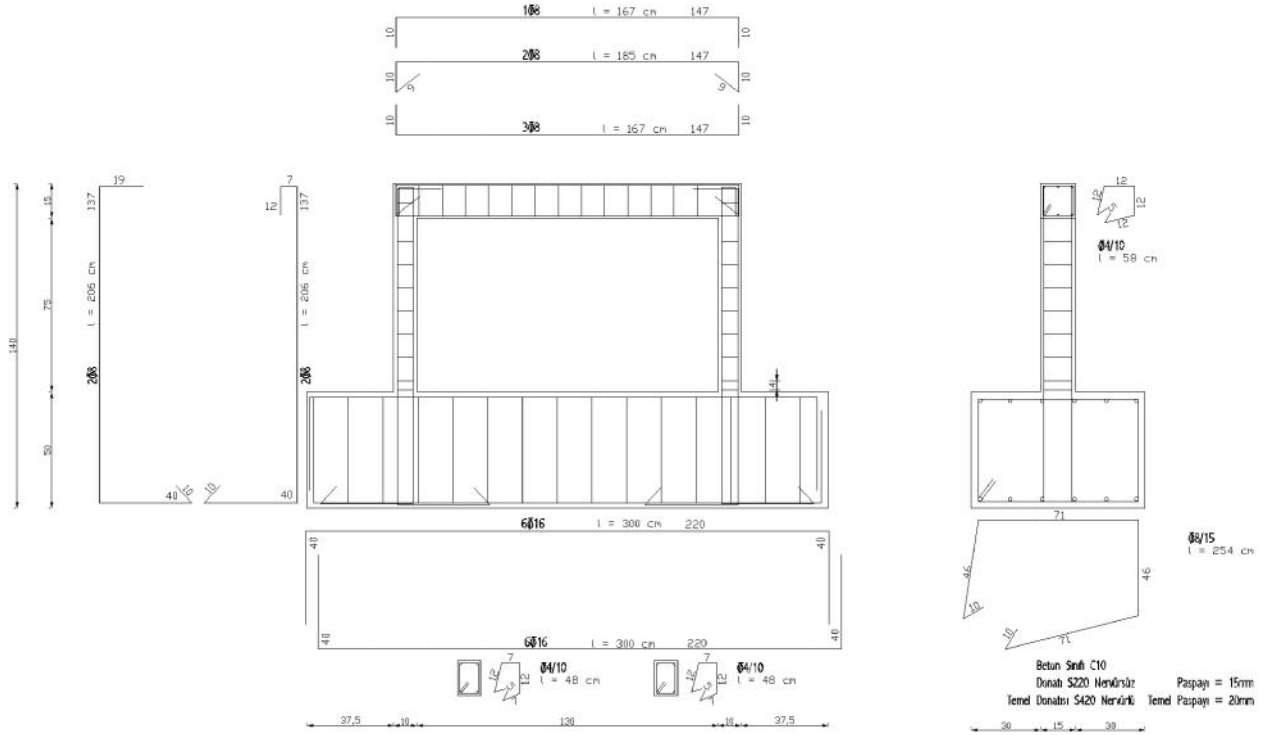
Literatürde onarım yapılan çalımlar ele alındığında Sheikh (2002) betonarme yapıların FRP ile onarılmasından sonraki performansını incelemiştir. Dö eme, kiri ve kolonlarla yapılan ölçekli deneyler sonucunda yazar, FRP ile onarımın uygulanabilir oldu unu belirtmiştir. FRP hasarlı dö emenin e ilme kapasitesini, hasarlı kiri in kesme dayanımını ve kolonların da depreme karşı dayanıklılığını artırdığını vurgulamıştır. Yurdakul ve Av ar (2015) hasarlı kolon kiri birleşim bölgesini CFRP ile onardıktan sonra hasarlı elemanın kesme dayanımının arttığını öne çıkarmışlardır. Ferrier ve di . (2003) betonarme kiri leri CFRP ile sararak mekanik özelliklerini incelemiştir. Daha çok çatlak boyutlarını inceledikleri çalımda çatlak genliklerinin azaldığı belirtilmiştir. Özcan ve di . (2010) nervürsüz donatılı ve yetersiz sargılı dikdörtgen betonarme kolonların CFRP ile güçlendirildikten sonra e ilme davranışını incelemek için dü ük beton dayanımlı ve tipik yapısal kusurları olan 5 adet numuneyi tekrarlı yatay yüke maruz bırakmışlardır. Deney sonucunda kolon göreceli kat ötelemelerinin üç kat daha arttığını görmüşlerdir. Pan ve di erleri (2007) FRP ile güçlendirilmiş narin kolonların yük taşıma kapasitelerini deneysel olarak incelemişler ve çalımla neticesinde narinlik etkisinin azaldığı sonucuna ulaşmışlardır.

Görüldü ü gibi literatürde FRP ile farklı elemanlarda güçlendirme deneyleri yapılmış ve olumlu sonuçlar gözlenmiştir. Ancak mimari nedenlerle boyutlu olarak örülmüş dolgu duvar nedeni ile kısa kolon hasarı oldu mu kolon elemanı için CFRP ile onarım uygulamasına rastlanmamıştır. Colomb ve di erleri (2008) köprü ayağı gibi yapısal olarak kısa imal edilmiş ve kesme kapasitesi nedeniyle yetersiz kolon elemanlarını FRP ile güçlendirip elemanların kırılma mekanizmasını de iştirdiğini söylemişlerdir. Jayaguru ve Subramanian (2012) test numunelerini önce kısa kolon hasarı olabilecek şekilde düzeneklerini imal etmişler, kesme kırılması oluştuktan sonra sistemi yeniden kısa kolon olabilecek şekilde tekil edip GFRP (Glass-Fiber-Reinforced Polymer) ile onarmışlardır. Yapılan bu çalımda ise benzer durum tek katlı tek açıklıklı 1/3 ölçekli dü ük beton dayanımlı ve nervürsüz donatılı deney numuneleri ile CFRP kullanılarak onarılıp testler gerçekleştirilmiştir. Onarım yapıldıktan sonra, aynı düzensizliğin onarılan yapıda yeniden tekrarlanmayacağı düşünülerek dolgu duvarın yapı ile temas etmesinin önüne geçilerek, kısa kolon olumsuz engellenmiştir. Bu amaçla CFRP ile onarılan numune dolgu duvarsız olarak, aynı yükleme altında yeniden test edilerek onarım tekniğinin etkinliği araştırılmıştır.

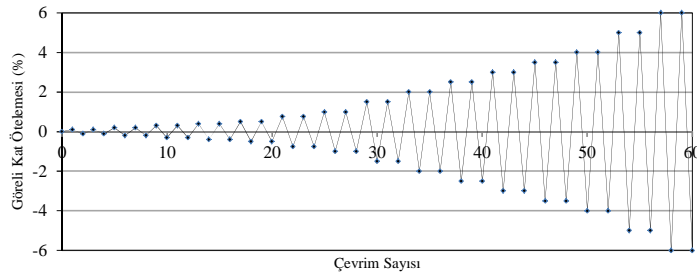
2. DENEYSEL ÇALIŞMA

2.1. Deney Düzeni

Ülkemizdeki yapı stokunda sıklıkla görülen düşük dayanımlı beton, nervürlü donatı ve uygun olmayan etriye aralığı nedeniyle yetersiz betonarme kolonları temsil eden, 1/3 ölçekli tek katlı tek açıklıklı 2 adet çerçeve üretilmiştir. Çerçeveler için kullanılacak olan donatı özellikleri ve numune ölçüleri ekil 1’de gösterilmiştir.



Çerçevelerden bir tanesi referans numunesi olarak kullanılmıştır (CFRPE_01). Dolgu duvardaki boşluk oranı $\frac{1}{4}$ olan diğer numuneye ise kısa kolon hasarı olana kadar ekil 2’de görülen depremi benzer titreşim-tekerrürlü yatay yükler uygulanmıştır (CFRPE_02). ekil 3’te görülen kısa kolon davranışı sonucunda kesme kırılması ile hasar görmüş numune CFRP etritleri ile sarılarak onarılmıştır. Onarılan numuneyi aynı hata ile üretmemek amacıyla içine boşluklu dolgu duvar örülmemiştir (CFRPE_03). Kolonla duvar arasında yeterli kadar boşluk bırakılarak oluşturulacak bir numunenin davranışı, içi boş bir çerçeve davranışına benzer olacaktır için referans numunesi olarak dolgu duvarsız bir çerçeve seçilmiştir.



ekil 2. Yükleme protokolü

Özellikleri Tablo 1’de verilen her üç deneyde, kolonlara aksel yük taşıma kapasitesinin %10’u kadar olan, her bir kolona 11kN gelecek şekilde aksel yük çelik plakalarla sisteme uygulanmıştır. Kısa kolon hasarı görmüş çerçeve numunesinin, CFRP ile sarılacak kısımları taşıyan olarak yarıçapı 10mm olacak şekilde sivri köşeler yuvarlatılmıştır. Kesme çatlakları olan kolon elemanlarının çatlaklarından içeri girecek şekilde epoksi akrilat reçinesi esaslı kimyasal dübel enjekte edilmiştir. Üzeri tamir harcı ile kapandıktan sonra kolon ve kiriş elemanlarının üzerine astar malzemesi, rulo fırça ile sürülmüştür. Beton yüzey ile CFRP arasında aderansı arttırmak amacıyla epoksi bazlı tamir harcı kullanılmıştır. Kullanılan tamir harcı daha sertlemeden belirlenen ölçülerde ve sayıda kesilen CFRP eritleri, eritlerin sertleşmesini ve dayanımını sağlayan epoksi malzeme olan Saturant ile beraber uygulanmıştır. Birleşim bölgesi kirişten yandan U şeklinde 2 kat CFRP eritisi ile sarılmıştır. Kolon emme kapasitesini arttırmak için ön ve arka yüzeylerine temele 30cm ve kirişe 40cm uzayacak şekilde 2 kat CFRP eritisi sarılmıştır. Kesme kapasitelerini arttırmak için kolon yüzeylerinin tamamı ve kiriş yüzeyinin 40cm uzunluğuna boyunca 3 kat CFRP eritisi sarılmıştır (ekil 4).



ekil 3. Onarım öncesi kısa kolon hasarı görmüş numune (CFRPE_02)

Tablo 1. Deney numuneleri özellikleri

	Dolgu Duvar	Boşluk Oranı	CFRP
CFRPE_01	Yok	-	Yok
CFRPE_02	Var	1/4	Yok
CFRPE_03	Yok	-	Var





ekil 4. Yapısal onarım a amaları

2.2. Malzeme Özellikleri

Deneylerde kullanılan betonun özellikleri döküm esnasında alınan numunelerin 28 günlük ve deney günü yapılan basınç deneyleri sonucunda Tablo 2’de görüldü ü gibi belirlenmiştir.

Tablo 2. Beton deneyleri

		28 günlük 150x300 Silindir (MPa)	Deney Günü 150x300 Silindir (MPa)
CFRPE_01	1	7.9	11.4
	2	7.9	11.5
	3	8.0	9.9
CFRPE_02	1	9.0	10.2
	2	9.3	8.6
	3	8.9	9.4

Kolon ve kirişlerde etriye olarak kullanılan çelik numunelerin çekme deneyleri sonuçlarına göre nervürlü Ø4 donatısı 546 MPa de erinde akma de erine ulaşmış, 582 MPa de erinde kopmuştur. Elastisite modülü ise 200000 MPa olarak ölçülmüştür. Boyuna donatı olarak kullanılan çelik numunelerin çekme deneyleri sonuçlarına göre ise nervürlü Ø8 donatısı 311 MPa de erinde akma sınırına ulaşmış, 417 MPa de erinde kopmuştur. Elastisite modülü ise 220000 MPa olarak ölçülmüştür.

Deneyde kullanılan tek doğultulu 0.111 mm kalınlığındaki CFRP erinin mekanik özellikleri; elastisite modülü 230000 MPa, kopma anındaki uzaması %2.10 ve karakteristik çekme dayanımı 4900 MPa olarak firma tarafından verilmiştir.

2.3. Deney Sonuçları

Yapılan deneyler sonucunda CFRPE_02 numunesi ile %2 görelî kat ötelemesi oranına kadar gidilebilmiştir. Her üç numune için bu seviyedeki çerçeve durumları ekil 5’te görülmektedir. Referans numunesi ve onarım görmü numunelerin testleri %6 görelî kat ötelemesi oranına kadar yapılmıştır. ekil 6’da %6 görelî kat ötelemesi durumunda çerçevelerde oluşan deformasyon ve hasarları gösterilmektedir.



ekil 5. %2 Görelî kat ötelemesi oranında (a) CFRPE_01 (b) CFRPE_02 (c) CFRPE_03 hasar durumları

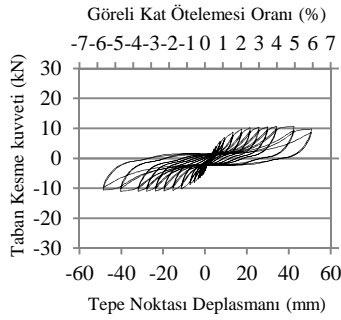


(a)

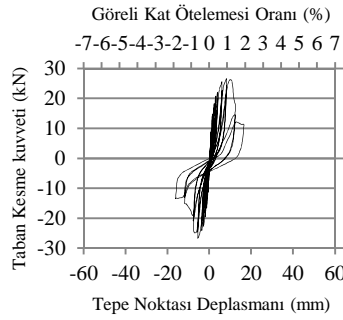
(b)

ekil 6. %6 Görelî kat ötelemesi oranında (a) CFRPE_01 (b) CFRPE_03 hasar durumları

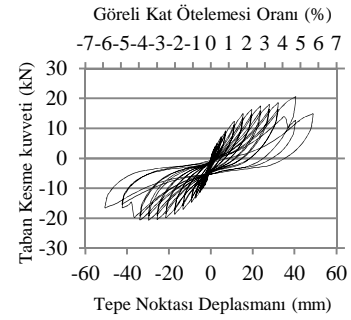
Uygulanan tersinir tekrarlı yatay yükler esnasında CFRPE_01 numunesinde e ilme çatlakları gözlemlendi CFRPE_02 numunesinde ise beklenen kısa kolon davranışı meydana geldi ve %2 görelî kat ötelemesi oranında deney kesildi. CFRPE_03 numunesinde %5 görelî kat ötelemesi oranında CFRP eritlerinde kopmalar meydana gelmiştir. Deney esnasında kiri seviyesinde hidrolik pistonun ucundan alınan yük değeri ile, kiri orta seviyesindeki deplasman değerleri alınarak çerçevenin ekil 7 ile görülen histeretik eğrileri oluşturulmuştur.



(a)



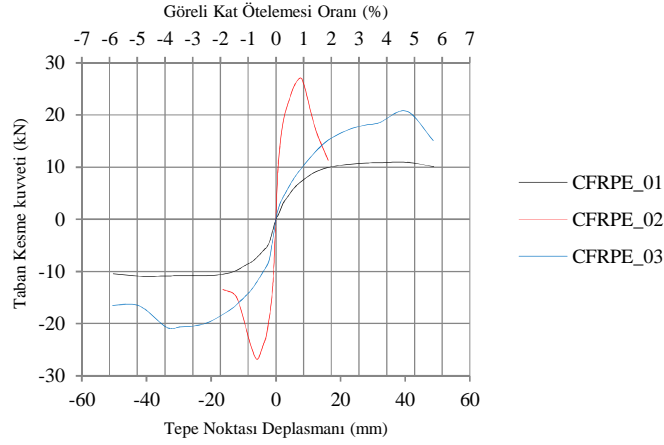
(b)



(c)

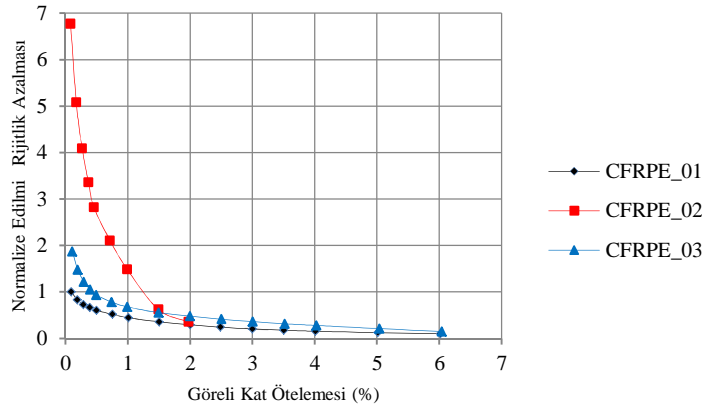
ekil 7. Histeretik eğrileri (a) CFRPE_01 (b) CFRPE_02 (c) CFRPE_03

Elde edilen histeretik eğrilerin her bir görelî kat öteleme oranı için gidilen ilk çevrimdeki maksimum yük noktalarının birleştirilmesi ile oluşturulan zarf eğrileri ekil 8'de görülmektedir. Buna göre yapısal onarım yapılımlı numunede dolgu duvar kullanılmamasına rağmen dayanım, referans numunesine göre artmıştır. Ancak pencere boşluklu dolgu duvarlı CFRPE_02 numunesinin dayanımına ulaşamamıştır.



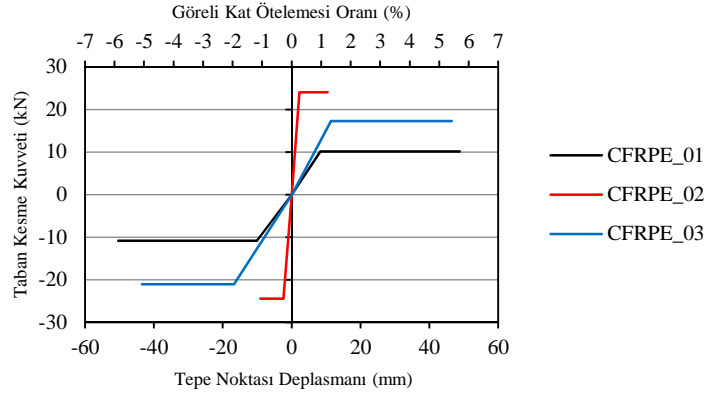
ekil 8. Zarfları

Olu an çatlaklar ve plastik deformasyonlar sonucunda azalan rijitlik için her çevrimde maksimum yükünün olduğu pozitif ve negatif noktalardan geçen doğrunun eğimi hesaplanmıştır. Hesaplanan rijitlikler referans numunesi başlangıç rijitliği ile normalize edilerek ekil 9’da gösterilmiştir. Grafikte görüldüğü gibi dolgu duvarın etkisiyle rijitliği en büyük numune CFRPE_02 numunesidir, ancak rijitlik azalmasının en fazla görüldüğü numune de bu numune olmuştur. Onarılmı numunenin (CFRPE_03) başlangıç rijitliği referans numunesine göre fazla olsa da rijitlik azalması CFRP_01 numunesine göre daha azdır. Görelî kat ötelemesi oranı %3’ten fazla olan ileri deplasmanlarda referans numunesine yaklaşımıştır.



ekil 9. Rijitlik azalması

Park (1989) çerçeve akma deplasmanı ve süneklik değerini, idealleştirilmiş elasto-plastik yük-deformasyon ilişkisi ile hesaplanmıştır. ekil 10 ile her üç numunenin de idealleştirilmiş davranışları görülmektedir. Grafiklerin lineer kısmında çerçeve maksimum dayanımının %60 dayanımına karşılık gelen deplasman değeri ile hesaplanan ilk rijitlik değeri kullanılmıştır. Grafiğin düz kısmı ise maksimum yüke karşılık gelen deplasman değerinin %80’ine kadar olan bölümünün altındaki alanla eşit olacak şekilde hesaplanmıştır.



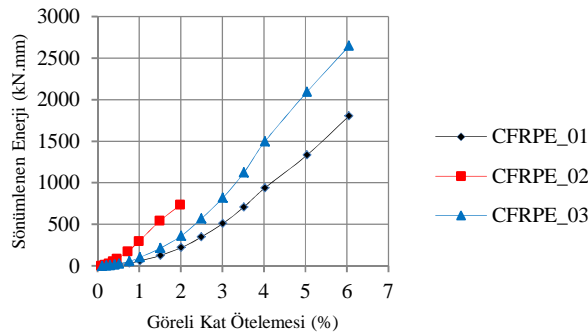
ekil 10. dealle tirilmi çerçeve davranı ları

Yapılan hesaplamalar sonucunda tüm numuneler için en büyük taban kesme kuvvetinin %80'i, bu de ere kar lık gelen deplasman de erleri, akma noktaları ve süneklik de erleri Tablo 3'te özetlenmi tir. dealle tirilmi davranı sonucunda en sünek davranı referans numunesi göstermi tir. CFRPE_02 numunesinin akma dayanımı daha az deplasmanlarda olu tu u için süneklik de eri yüksek çıksa da, ileri deplasmanlara deney esnasında gidilememi tir. Sünekli i en az çıkan numune onarılmı numune olmasına ra men, kısa kolon kırılması gözlenmi numuneden daha ileri deplasmanlara gidilebilmi tir.

Tablo 3. Süneklik de erleri

	$0.80 \cdot V_{\text{mak}}$ (kN)	d_{mak} (mm)	μ_{mak} (%)	V_y (kN)	d_{vy} (mm)	μ_{vy} (%)	Süneklik
CFRPE_01	8.7	48.8	5.92	10.2	8.3	1.01	5.9
CFRPE_02	21.5	10.4	1.26	24.1	2.3	0.27	4.6
CFRPE_03	16.6	46.5	5.63	17.2	11.4	1.38	4.1

Tüm deney numunelerinin her çevriminin içinde kalan alan hesaplanarak toplam sönmölenen enerji ekil 11 ile gösterilmi tir. CFRPE_02 numunesinin ula abildi i maksimum görelî kat ötelemesi oranı olan %2 de erinde en çok sönmölenen enerji, içinde bo luklu dolgu duvar olan CFRPE_02 numunesidir. Ancak tamamlanan çevrimler dü ünöldü ünde onarılmı numunenin enerji sönmölemesi di er numunelere göre daha fazladır.



ekil 11. Enerji sönmöleme kapasiteleri

3. SONUÇLAR

Çalışma kapsamında 3 adet 1/3 ölçekli çerçeve numunesinin kolon eksenel taşıma kapasitesinin %10'u kadar bir düzeyde yükte, depremi benzeri tersinir tekrarlı yatay yükler altındaki davranışını deneysel olarak incelenmiştir. Test numuneleri imal edilirken ülkemiz mevcut yapı stokunu oluşturan binaların büyük bir bölümünü temsil etmesine özen gösterilmiştir. Referans numunesi çevrimsel yükler altında test edilmiş ve sünek bir davranış sergilemiştir. Pencere boşluğu olan dolgu duvarlı ikinci numunede, beklenen kısa kolon hasarı gözlenmiş ve kolonlarda kesme kırılmaları meydana gelmiştir. Çerçeve daha fazla düzeyde yatay yük taşıyabilecek duruma geldiğinde için deney yaklaşık %2 göreceli kat ötelemesi oranında sonlandırılmıştır. Hasar almış numune CFRP ile onarılarak uygulanan yapısal tamirin etkinliği incelenmiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre elde edilen bulgular aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- Düşük dayanımlı beton, nervürlü S220 çeliği ve yetersiz etriye ile oluşturulan referans numunesi sünek bir davranış göstermiştir. Aynı malzemeler ile aynı şartlarda üretilen ikinci numunede dolgu duvarda bırakılan pencere boşluğu sonucunda gevrek kesme hasarı meydana gelmiştir. Hasarlı numune CFRP ile sarıldıktan sonra referans numunesi kadar olmasa da çerçeve sünek bir davranış göstermiştir.
- Dolgu duvar etkisiyle diğer numunelere göre bağıl rijitlik fazla olan CFRPE_02 numunesinin rijitlik indeksi hızlı bir azalma gözlenmiştir. Onarılmış numune bağıl rijitliği referans numunesine göre fazla olmasına rağmen rijitlik indeksi azalma daha hızlı olduğu için ileri deplasmanlarda referans numunesine yaklaşımıştır.
- Dolgu duvar etkisiyle dayanım en fazla CFRPE_02 numunesinde görülmüştür. Yapısal onarım sonrasında onarılan numunede (CFRPE_03), referans numunesinde olduğu gibi dolgu duvar kullanılmamasına rağmen dayanım daha fazla ölçülmüştür.
- Kısa kolon hasarı görmüş numune %2 göreceli kat ötelemesi oranını geçemese de, onarılan numune sünek bir davranış sergileyerek %6 kat ötelemesi oranına karşılık gelen yerde titreşim yapabilmektedir.
- Her üç numune içerisinde enerji sönmeme kapasitesi en fazla olan numune CFRP ile yapısal onarım yapılmış numune olarak belirlenmiştir.
- Yapılan çalışma sonucunda kısa kolon hasarı ile kolondaki kesme hasarları onarılan numunelerde dayanım, rijitlik ve enerji sönmeme kapasitelerinde referans numuneye göre artış gözlenirse de, bu tür hasarlara neden olabilecek dolgu duvar boşlukları için önlemlerin alınması gerekmektedir. Hasar oluşturmamaları için alınacak basit mimari önlemlerle yapının sismik davranışını kötü yönde etkileyecek etmenler azaltılmı olacaktır.

TE EKKÜR

Bu çalışma Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonunca kabul edilen 1303F055 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- Yılmaz N. ve Avşar Ö. (2013). Structural damages of the May 19, 2011 Kütahya-Simav Earthquake in Turkey. *Natural Hazards*, 69(1), 981-1001.
- Türk Deprem Yönetmeliği. (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, T.C. Bayındırlık ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara.
- Guevara, L. T. ve Garcıa, L. E. (2005). The captive- and short-column effects. *Earthquake Spectra*, 21:1, 141-160.
- Çağatay, H. (2005). Failure of an Industrial building during a recent earthquake in Turkey. *Engineering Failure Analysis*, 12, 497-507.

3. Türkiye Deprem Mühendisli i ve Sismoloji Konferansı
14-16 Ekim 2015 – DEÜ – ZMR



- Demir, S., Hüsem, M., Altın, S., Pul, S., Bikçe M. ve Emsen E. (2013). Mevcut betonarme yapılarda kısa kolon davranı larının iyile tirilmesi. 2. Türkiye Deprem Mühendisli i ve Sismoloji Konferansı. 25-27 Eylül 2013, MKÜ - Hatay.
- Sheikh, S. A. (2002). Performance of concrete structures retrofitted with fibre reinforced polymers. *Engineering Structures*, 24:7, 869-879.
- Yurdakul, Ö., ve Av ar, Ö. (2015). Structural repairing of damaged reinforced concrete beam-column assemblies with CFRPs. *Structural Engineering and Mechanics*, 54:3, 521-543.
- Ferrier, E., Avril, S., Hamelin, P., ve Vautrin, A. (2003). Mechanical behavior of RC beams reinforced by externally bonded CFRP sheets. *Materials and Structures*, 36:8, 522-529.
- Ozcan, O., Binici, B., Ozcebe, G. (2010). Seismic strengthening of rectangular reinforced concrete columns using fiber reinforced polymers. *Engineering Structures*, 32, 964-973.
- Pan, J. L., Xu, T., and Hu, Z .J. (2007). Experimental investigation of load carrying capacity of the slender reinforced concrete columns wrapped with FRP. *Construction and Building Materials*, 21:11, 1991-1996.
- Colomb, F., Tobbi, H., Ferrier, E. ve Hamelin, P., (2008). Seismic retrofit of reinforced concrete short columns by CFRP materials. *Composite Structures*, 82, 475-487.
- Jayaguru, C. ve Subramanian, K., (2012). Retrofit of RC frames with Captive-Column defects. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 16:7, 1202-1208.
- Park, R., (1989). Evaluation of ductility of structures and structural assemblages from laboratory testing. *New Zealand Nat Soc Earthq Eng Bull*, 22, 155-156