

PREFABRİK KOMPOZİT KOLON-KİRİ BAĞLANTILARININ SİSMİK PERFORMANSININ DENEYSEL ARAŞTIRILMASI

Sadık Can Girgin¹, Serap Kahraman², İbrahim Serkan Mısırcı³

¹ Dr., Araştırma Görevlisi, İnşaat Müh. Bölümü, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir

² Prof. Dr., İnşaat Müh. Bölümü, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir

³ Dr., Uzman, İnşaat Müh. Bölümü, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir
Email: sadik.girgin@deu.edu.tr

ÖZET:

Prefabrik yapılarda bağlantıların, yapının sismik performansı için belirleyici unsurlardan biri olduğu önceki depremlerde görülmüştür. Ülkemizde prefabrik yapı endüstrisinde, mekanik ve ıslak bağlantılarla oluşturulan kompozit bağlantı yaygın uygulama alanı bulmaktadır. Kompozit kolon-kiri bağlantısında, kiriş alt boyuna donatısı kiriş plakasına; kiriş plakası da kısa konsola kaynaklanarak mekanik bağlantı sağlanmaktadır. Islak bağlantı ise, kolonda birleşim üstünde bırakılan bölümlerden kiriş üst boyuna donatılarının montajı ve tamamlayıcı betonun sahada dökümü ile oluşturulmaktadır. Sunulan çalışmada, kompozit moment aktarabilen iç kolon-kiriş bağlantılarının deprem etkilerini benzer tiriye yerinde deneysel kontrollü yükler altındaki sismik performansı araştırılmıştır. Deney numuneleri Deprem Yönetmeliği'ne uygun tasarlanmış olup, 1/2 ölçekli bir adet monolitik (kontrol) ve beş adet kompozit kolon-kiriş bağlantısından oluşmaktadır. Deney numunelerinde donatı ile kiriş plakası arasındaki kaynak uzunluğunun belirlenmesi için kaynak katsayısı temel deney parametresi olarak seçilmiştir. Deneysel çalışma sonucunda, mekanik bağlantı kısmındaki kaynaklı boyuna donatıların kopma birim deformasyonlarına numune için hedeflenen göreceli kat ötelenme oranlarından önceki seviyelerde ulaşılmıştır. Bu gözlemler ışığında çevrimsel davranışın iyileştirilmesi için öneriler sunulmuştur. Ayrıca kolon-kiriş bağlantı numunelerinin hasar indisleri elde edilerek sismik performansları değerlendirilmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: kolon-kiriş bağlantıları, prefabrik yapı, sismik performans, hasar indisi

1. GİRİŞ

Ülkemizde endüstriyel yapıların önemli bir bölümünü prefabrik yapılar oluşturmaktadır. Prefabrik yapılarda moment aktarabilen bağlantılar, düzlem-içi momentleri yapı elemanları arasında transfer edebilmek, yapının yan rijitliğini ve dayanımını arttırmak için tercih edilmektedir. Bu bağlantılar, kaynak, bulon ya da ard-germe elemanlarının kullanıldığı *kuru bağlantılar*, monolitik yapı davranışına benzer *ıslak (benzer tirilmiş) bağlantılar* (ACI 550.2R, 2013) ve *kompozit (ıslak-kaynaklı) bağlantılar* olmak üzere üç ana sınıfa ayrılabilir. Kompozit bağlantılar ülkemizdeki prefabrik yapılarda yaygın olarak uygulanmaktadır. Kompozit bağlantılarda kiriş alt boyuna donatıları kiriş ucu alt plakasına kaynaklı olup (ekil 1a-b), uç plakası kolondaki kısa konsol plakasına sahada kirişin montajı sırasında kaynaklanmaktadır. Birleşim bölgesinde kiriş üstünde ve kolonda birleşim üstünde bölümler bırakılmakta (ekil 1c) ve kiriş süreklilik donatılarının bu bölümlerden yerleştirilmesi yapılmaktadır. Kolon ve kiriş elemanların beton dökümü prefabrik üretim tesislerinde gerçekleştirilir. Döşeme elemanların yerleştirilmesi ile tamamlayıcı beton dökümü yapılarak üretim sahada tamamlanmaktadır (ekil 1d). Ulusal ve uluslararası yönetmeliklerde, kullanılması önerilecek kolon-kiriş bağlantılarının deneysel olarak incelenmesi gerektiği belirtilmiştir (Deprem Yönetmeliği, 2007; ACI 318, 2005). Bununla beraber, kompozit bağlantıların sismik davranışları ile ilgili literatürde yeterli sayıda deneysel çalışma bulunmamaktadır.



(a)



(b)



(c)



(d)

ekil 1. (a-b) Kiri boyuna ve enine donatılarının montajı, (c) Kolon boyuna ve enine donatılarının montajı, (d) Sahada kolon ve kiri prefabrik elemanların montajı

Ertas v.d. (2006), moment aktarabilen ba lantıların incelendi i çalı masında, ½ ölçekli bir adet kompozit dı kolon-kiri ba lantı numunesini kolon üst ucundan yerde i tirme kontrollü olarak % 3,5 ötelenme oranının ilk çevrimine kadar artan ötelenme oranlarında test etmi tir. Deney süresince ilk diyagonal çatlakların % 2,75 ötelenme oranında geli ti i; kiri uç plakasına kaynaklı alt boyuna donatılarının burkularak % 3,5 ötelenme oranına ula tı ı anda plakadan koptu u ve dayanımda yakla ık %50 azalma oldu u gözlenmi tir. Yüksel v.d. (2015) çalı masında, endüstriyel tip 5 adet ½ ölçekli bo luklu dö emesi bulunan dı kolon-kiri ba lantı numunelerini kiri uç kısmından yerde i tirme kontrollü olarak tek yönlü ve tersinir-tekrarlı yükler altında test etmi tir. İlk etapta tek yönlü yükleme altında iki ayrı ba lantı için testler gerçekleştirilmi ; itme do rultusunda %7,6 ve çekme do rultusunda ise % 3,5 ötelenme oranına kadar sürdürülmü tür. Çekme do rultusunda test edilen numunede kiri uç plakasına kö e kayna ı ile ba lı kiri boyuna donatılarının ve küt kaynaklı etriyelerin koptu u gözlenmi tir. Tersinir-tekrarlı yükler altında %2 ötelenme oranına kadar test edilen 1 adet ba lantı numunesinde ise kaynaklı donatılar plakadan koparak dayanıma ula ılmı tir. Bu gözlemler ı ında iyile tirilen di er 2 adet numunede enerji tüketiminde artı sa lanmı ; ancak % 3 ötelenme oranında çevrim içi dayanım azalması yakla ık % 40 olarak gözlenmi tir. Moment çerçevelerinin kabul testleri için çe itli kriterlerin yer aldı ı ACI 374.1 (2005) metninde ise % 3,5 ötelenme sonunda çevrim içi maksimum dayanım azalmasının %25 ile sınırlanması gerekti i ifade edilmektedir.

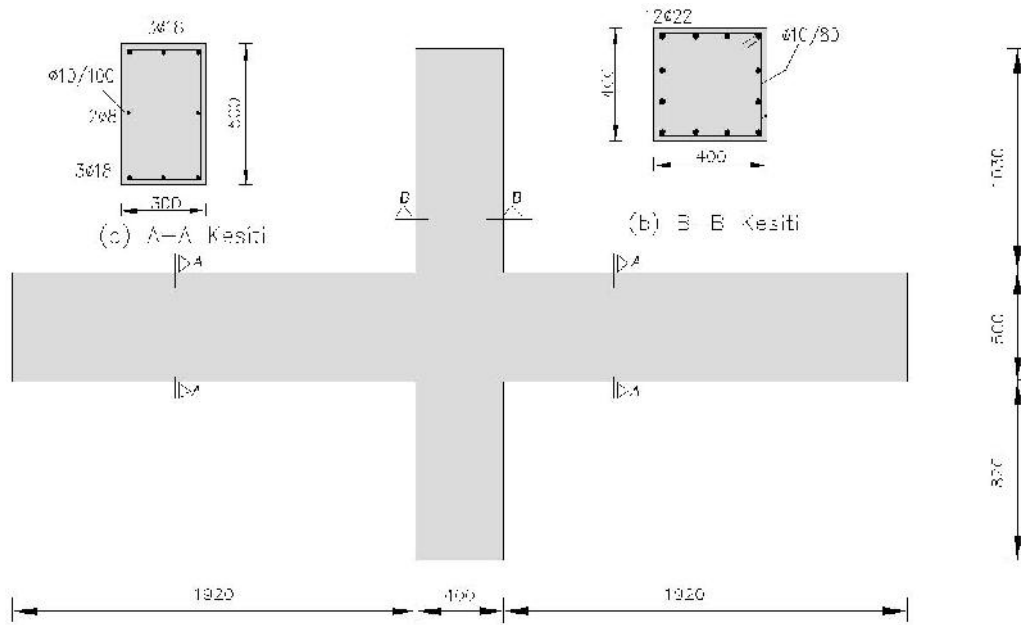
Sunulan çalı mada, prefabrik kompozit (ıslak-kaynaklı) iç kolon-kiri ba lantılarının deneysel olarak incelenmesi kapsamında (Girgin, 2014), bir adet monolitik ve be adet prefabrik kolon-kiri ba lantısının deney sonuçları de erlendirilmi tir. Temel test de i kenii, literatürde yer alan deneysel çalı malardaki hasar modları dikkate alınarak, boyuna donatılarının kiri uç plakasına kaynaklanmasındaki *kaynak katsayısı* olarak seçilmi tir. Testler sonunda prefabrik ba lantı numunelerinin hasar indisleri elde edilerek sismik performansları kar ıla tırılmı tir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

2.1 Deney Numuneleri

Deney numuneleri, deprem yükleri altında çerçeve sistem içerisindeki kolon ve kiriş elemanlarının yaklaşık orta bölgelerinde oluşan moment sıfır noktaları arasında kalan iç birleşim bölgelerini temsil edecek şekilde oluşturulmuştur. Çerçeve kolon-kiriş birleşim numuneleri laboratuvar imkânları dikkate alınarak 1/2 ölçekli olarak hazırlanmıştır. Deney numunelerinin kesme açıklığı / faydalı yükseklik (l/d) değeri yaklaşık 3'dür.

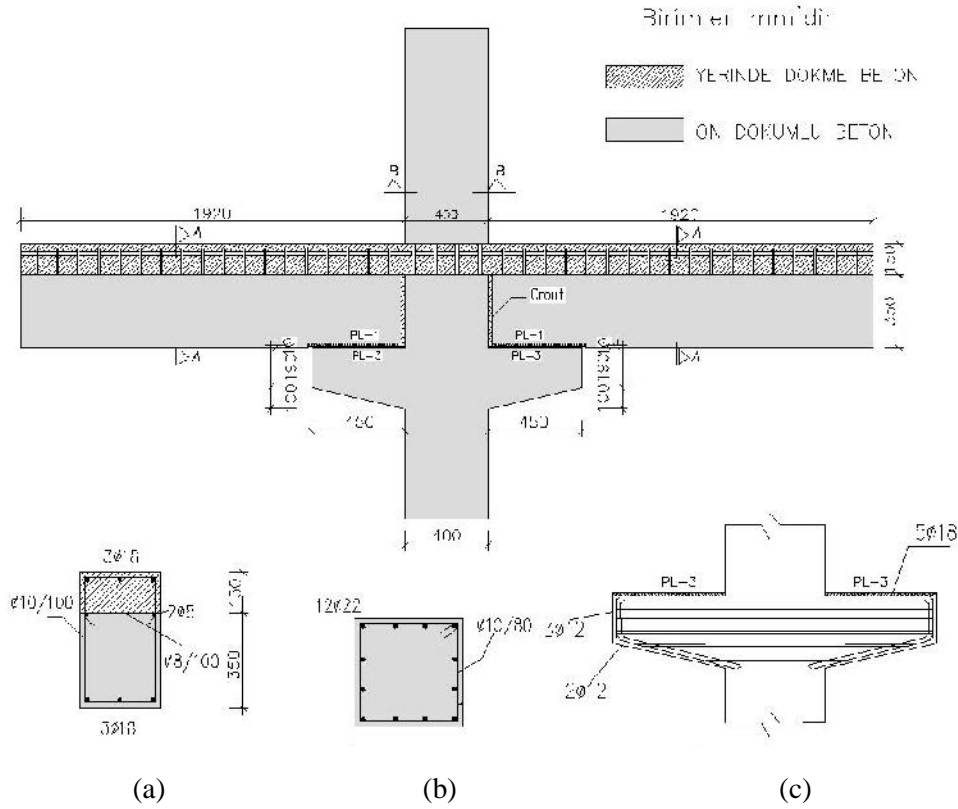
Kolon-kiriş bağlantı numuneleri Deprem Yönetmeliği (2007) hükümleri de dikkate alınarak kapasite tasarımı ilkelerine göre oluşturulmuş olup numune boyutları ve donatı detayları ekil 2'de verilmektedir. Monolitik birleşim numunesi için deney günü test edilen küp numunelerin basınç dayanımları silindirik numune dayanımına çevrilerek 37 MPa olarak belirlenmiştir.



ekil 2. Monolitik kolon-kiriş birleşim numunesinin (MONO) boyut ve enkesit detayları

İlk etapta test edilen P1, P2 ve P3 prefabrik kolon-kiriş bağlantı numuneleri için test değeri kenar kaynak katsayısı (λ) olup, donatı-plaka arasında oluşturulması gereken kaynak uzunluğu donatı akmasının geliştiği anda taşıma kuvvetlerinin kaynak katsayısı ile çarpımı ile hesaplanmıştır. Deprem Yönetmeliği (2007)'ye göre kaynaklı bağlantılar, depremlili durumda hesaplanan iç kuvvetlerin iki katı esas alınarak hesaplanmaktadır. Bu değer göz önünde bulundurularak prefabrik bağlantı numuneleri P1, P2 ve P3 için kaynak katsayısı sırasıyla 2, 1,5 ve 1,2 olarak alınmıştır ve kaynak kalınlığı 3 mm olarak uygulanmıştır. Prefabrik kolon-kiriş bağlantılarının boyut ve numune detayları ekil 3'de görülmektedir. Deney günü test edilen küp numune dayanımları silindirik dayanımına çevrilerek kolon elemanlar için 45 MPa, kiriş elemanlar içinse 40 MPa olarak belirlenmiştir. Tamamlayıcı betonun deney günü silindirik numune dayanımı 35 MPa'dır. Kiriş boyuna donatılarının akma dayanımı 461 MPa, maksimum dayanımı 596 MPa olarak belirlenmiştir.

Kolon ve kiriş prefabrik elemanlarda donatıların kaynaklanabilirliği için TS 708 (2010)'a göre karbon oranı ve karbon değeri sınırlandırılan B420C donatı sınıfının kullanılması öngörülmüştür. Bununla beraber, deneyler tamamlandıktan sonra kiriş alt boyuna donatılarından alınan numunelerde spektrometrik analizler yaptırılmış ve P1 numunesindeki boyuna donatılardaki karbon oranının diğer numunelere göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

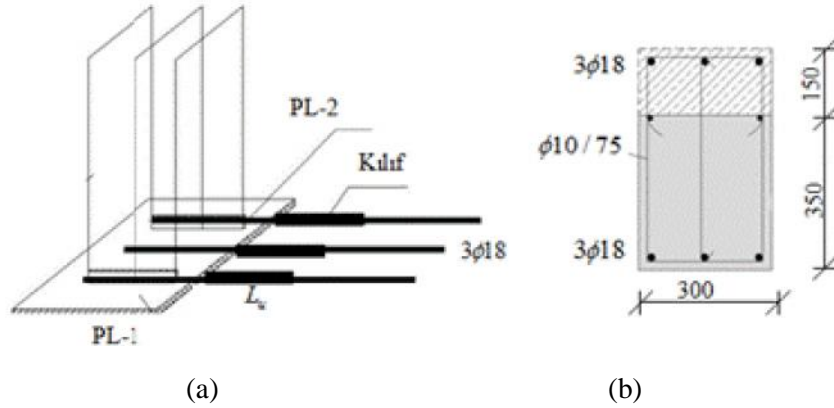


ekil 3. Prefabrik kompozit kolon-kiri ba lantıları boyut ve donatı detayları (P1 için kısa konsol boyu 450 mm) (a) Kiri enkesiti, (b) Kolon enkesiti, (c) Kısa konsol

Çalı manın ikinci kısmında, deneylerde gözlenen hasarlara ba lı olarak revize edilen P1-R ve P3-R ba lantılarında kiri uç plakasına kaynaklı boyuna donatılarda *aderans bozulması* yakla ımı uygulanmıştır (ekil 4a). Aderans bozulması yakla ımı ile ard-germeli kolon-kiri ba lantılarında öngörülen görel kat ötelenme oranlarından önce kiri boyuna donatılarının kopma birim deformasyonlarına ulaşmasının engellenebildi i önceki çalı malarla gösterilmiştir (Cheok ve Stone, 1994). P1-R ba lantı numunesinde, Erta (2005) tarafından önerilen hesap adımları ile aderans bozulma boyu (L_{ab}) 92 mm olarak belirlenmiştir. P3-R ba lantı numunesinde ise aderans bozulma boyu, kiri alt boyuna donatı çapının (d_b) 10 katı olarak alınmıştır (ACI 550.2R, 2013). Bununla beraber P3-R ba lantı numunesinde, kiri boyuna donatılarının burkulmasını önlemek için etriye aralıkları azaltılmış ve çiroz eklenmiştir (ekil 4.b). Aderans bozulma boyunu sağlamak için P1-R ve P3-R ba lantılarında bu bölgede bulunan donatıların nervürlü kısmı cam macunu ile doldurulmuş, P1-R için plastik kılıf, P3-R için de çelik kılıf kullanılmıştır. Tablo 1’de deney numunelerinde göz önüne alınan kaynak katsayısı (λ), kısa konsol boyu (L_k) kiri enine donatı oranı (w), etriye aralığı/boyuna donatı çapı (s_H/d_b), aderans bozulma boyu (L_{ab}) ve karbon yüzdesi (C) değerleri verilmiştir.

Tablo 1. Deney numunelerinin özellikleri ve deney parametreleri

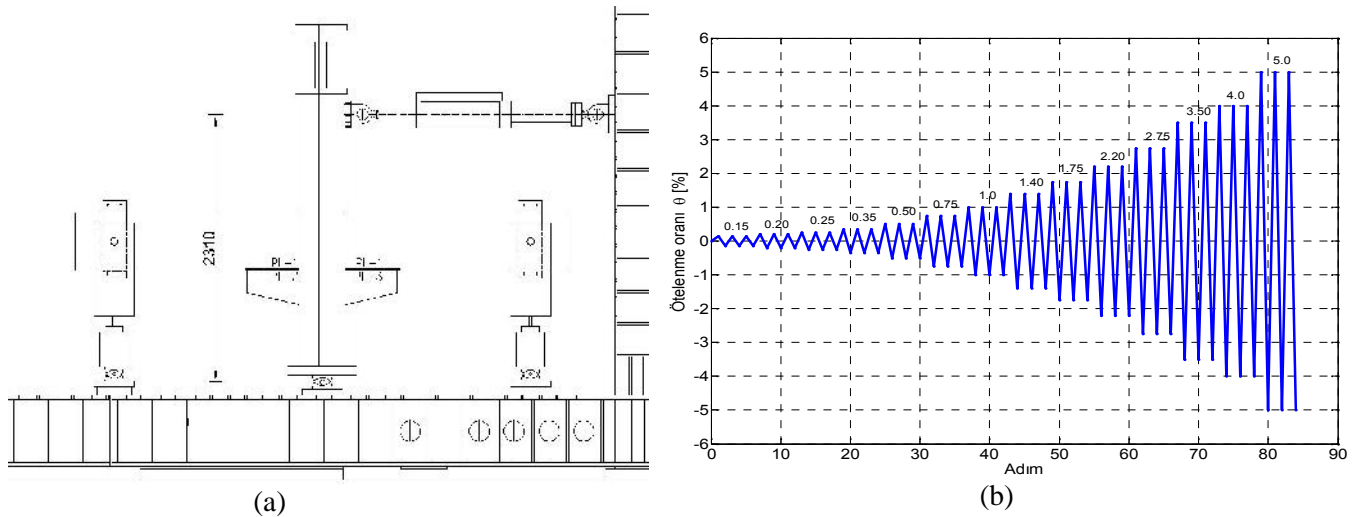
Numune		L_k (mm)	w (%)	s_H/ϕ_L	C (%)
P1	2,0	450	0,52	5,6	0,31
P2	1,5	350	0,52	5,6	0,19
P3	1,2	300	0,52	5,6	0,196
P1-R	2,0	450	0,52	5,6	0,19
P3-R	1,2	300	1,0	4,2	0,196



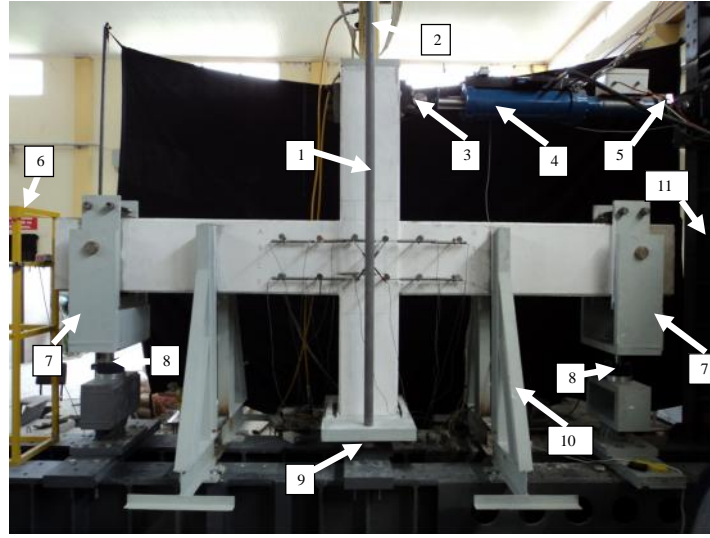
ekil 4. (a) Aderans bozulması uygulanan kiriş alt boyuna donatıları, (b) P3-R için kiriş kesiti

2.2 Deneysel Kurulum

Prefabrik kolon-kiriş bağlantı numunelerinin testleri D.E.Ü. Yapı Mühendisliği Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Deney numuneleri, ekil 5a'da verilen ve *Moment Çerçevesinin Yapısal Testleri için Kabul Kriterleri'ne* (ACI 374.1.05) uygun şekilde oluşturulan deney düzeneği üzerine yerleştirilerek test edilmiştir. Kolon altında yer alan metal plaka yüklemeye doğrudan mafsallı olup, güçlü çelik çerçeveye bağlantıdır. Kiriş elemanların serbest uçları, uygulanan tepe yükü doğrudan serbestliği bulunan pandül ayaklar üzerine mesnetlenmiştir. Kolon elemana, deney süresince aksel yük kapasitesinin % 8'i düzeyinde basınç yükü uygulanmıştır. Testler sırasında, yerden tirmeler ACI 374.1.05'e uygun olmak üzere kolon tepe ucuna tersinir-tekrarlı üçer adet tam çevrim olarak ötelenme oranları cinsinden uygulanmıştır (ekil 5b). Numunelerin elastik ötesi davranışlarının geniş bir bölgede ortaya konabilmesi için deneylerin % 5 göreceli kat ötelenmesine kadar sürdürülmesi hedeflenmiştir. Deney düzeneğinin genel görünümü ekil 6'da görülmektedir.



ekil 5. (a) Deney numunelerinin sistem içerisindeki konumu, (b) Yükleme profili



ekil 6. Deney düzeneğinin genel görünümü: (1)Eksenel yükleme çerçevesi, (2) Hidrolik kriko, (3) Mafsal, (4) Yük veren, (5) Yük hücresi, (6) Referans çerçeve, (7) Pandül ayak, (8) Yük hücresi, (9) Sabit mesnet, (10) Düzlem dışı çerçeve, (11) Çelik çerçeve

3. DENEY SONUÇLARI

Deneylemler, numunelerin dayanımında belirgin azalmaların görüldüğü ötelenme oranlarına kadar sürdürülmüştür. Monolitik numunede hasar birleşim bölgesi ve kirişlerin plastik mafsal bölgelerinde yoğunlaşmıştır. Prefabrik bağlantılarda gözlenen hasarlar ise kirişte eğilme ve kesme çatlakları, bağlantı bölgesindeki tamamlayıcı betonda ezilme ve boyuna donatının burkulması ve kopmasıdır. Monolitik ve prefabrik bağlantı numuneleri için hasarlar ve ilk gözlemlendiği ötelenme oranları Tablo 2’de verilmektedir.

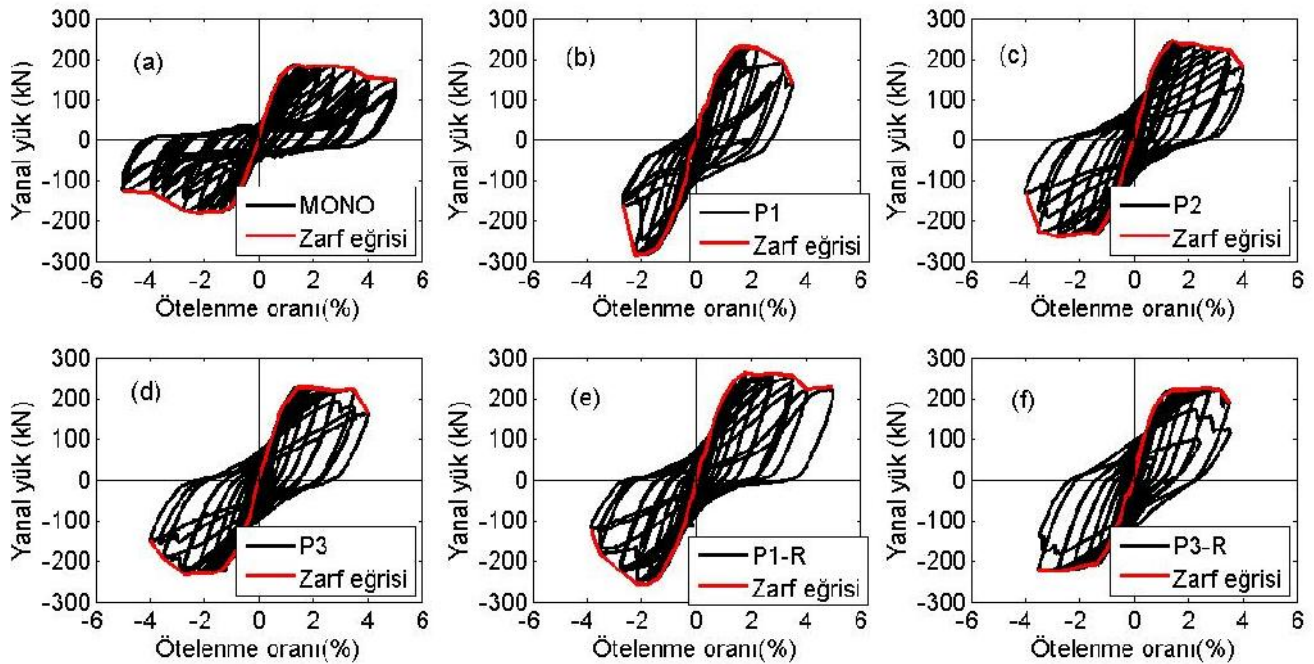
Tablo 2. Deneylemler süresince gözlenen hasarlar ve karlılık gelen ilk ötelenme oranları

Numune	Eğilme çatlama	Kesme çatlama	Birleşimde Diyagonal çatlak	Betonda ezilme	Donatı burkulması	Donatı kopması
MONO	% 0.25	% 1.0	% 1.4	% 2.75	-	-
P1	% 0.25	% 0.5	% 1.75	% 2.2	% 2.2 (2.Çevrim)	% 2.2 (2.Çevrim)
P2	% 0.35	% 0.75	% 1.4	% 2.2	% 2.75	% 3.5 (2.Çevrim)
P3	% 0.25	% 0.75	% 1.4	% 2.2	% 2.75	% 3.5 (1.Çevrim)
P1-R	% 0.25	% 0.75	% 1.4	% 2.75	% 3.5 (1.Çevrim)	% 3.5 (3.Çevrim)
P3-R	% 0.35	% 1.0	% 1.4	% 2.75	-	% 3.5 (3.Çevrim)

Monolitik ve prefabrik kolon-kiriş bağlantıları için yanal yük-ötelenme oranı grafikleri ekil 7’de verilmiştir. Monolitik birleşim numunesinde birleşim içerisindeki kiriş donatılarının sıyırılması sonucu yanal yük-ötelenme oranı grafiğinde çevrim sıkılaşması gözlemlenmiştir (ekil 7a). P1 numunesinde itme ve çekme yönlerinde maksimum

dayanıma % 2.2 ötelenme oranında ulaşılmı ve bu amaçla kiriş alt boyuna donatılarının kaynaklandıkları plakadan kopması ile çekme yönündeki dayanımda % 40 azalma görülmüştür (ekil 7b). P2 ve P3 numunelerinde ise itme ve çekme yönlerinde maksimum dayanıma % 2.2 ötelenme oranında ulaşılmamasına karşın kiriş alt boyuna donatılarının ancak % 3.5 ötelenme oranında kaynaklandıkları plakadan kopması ile çekme yönündeki dayanımda bir azalma gerçekleşmiştir (ekil 7c-d).

P1-R numunesi için test itme yönünde %5 ötelenme oranına, çekme yönünde ise % 3.5 ötelenme oranına kadar sürdürülmüştür. İtme ve çekme yönlerinde maksimum dayanıma sırasıyla % 3.5 ve % 2.2 ötelenme oranlarında ulaşılmıştır. Kiriş alt boyuna donatısının kopması ile % 3.5 ötelenme oranında dayanımda azalma gözlenmiştir. Başlantıda gelişen kesme hasarına bağlı olarak % 3.5 ötelenme oranı sonrasında belirgin bir çevrim sıkılaşması görülmüştür (ekil 7e). P3-R numunesinde ise itme ve çekme yönlerinde maksimum dayanıma % 2.2 ötelenme oranında ulaşılmıştır, % 3.5 ötelenme oranının ikinci çevrimine kadar dayanımda azalma gözlenmemiştir. P3-R numunesinde donatı burkulması engellenememiştir (ekil 7f).



ekil 7. Monolitik ve prefabrik kolon-kiriş bağlantılarının yanıl yük-ötelene oranı ilişkileri

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Hasar indisleri, binalarda deprem etkileri altında gelişebilecek olası hasarların değerlendirilmesine olanak sağlar. Monolitik ve prefabrik kolon-kiriş bağlantılarının deneyler süresince gelişen hasarlarını da dayanım, süneklik ve enerji tüketimine bağlı ifade edebilmek için *hasar indisleri* hesaplanmıştır. Park ve Ang (1985), çevrimsel yüklemelere maruz betonarme elemanlarda hasar indisini (D) yerden çöktürmeler ve enerji tüketimi açısından

$$D = \frac{u_M}{u_U} + S \frac{E_H}{Q_Y u_U} \quad (1)$$

denklemleri ile ifade edilmiştir. Ang v.d. (1993) hasar indisinin 0.8 olması durumunu geçme sınır durumu olarak tanımlamıştır. Denklem (1)'de u_M deprem etkileri ile gelişen maksimum yerden çöktürmeyi; u_U tek yönlü

(monotonik) yükleme etkisi ile gelişen maksimum yerdeğiştirme; Q_Y akma dayanımını; E_H tüketilen çevrimsel enerjiyi ve dayanım azalma parametresini tanımlamaktadır. Fajfar (1992), dayanım azalma parametresinin (μ), deneysel çalımlar ve depremler sonrası saha gözlemlerine bağlı olarak 0.15 olarak alınmasını önermiştir. Bununla beraber, Denklem (1)'deki hasar indisi (D), μ yerdeğiştirme sünekliği, μ_E deprem yerdeğiştirme sünekliği ve μ_u tek yönlü artan yüklere bağlı süneklik (μ_u) (Mahin ve Lin, 1981) cinsinden

$$D = \frac{\mu}{\mu_u} + S \frac{(\mu_E - 1)}{\mu_u} \quad (2)$$

ile ifade edilebilir.

Kolon-kiri bağlantı testleri, yerdeğiştirme kontrollü tersinir-tekrarlı yükler altında gerçekleştirilmiştir ve tek yönlü yükleme altındaki yerdeğiştirmeler (u_u) ATC-72-1 (PEER/ATC, 2010)'deki

$$u_{u,\zeta} = 0.5u_u \quad (3)$$

ifadesi ile elde edilmiştir. Deney numunelerinin akma yerdeğiştirme (γ), akma dayanımı (Q_Y) ve çevrimsel yüklemeler altındaki maksimum yerdeğiştirmeleri ($u_{u,\zeta}$) *Bileşen E de Gerilme Yöntemi*'ne göre (FEMA P-795, 2011) belirlenmiştir ve Tablo 3'de verilmektedir.

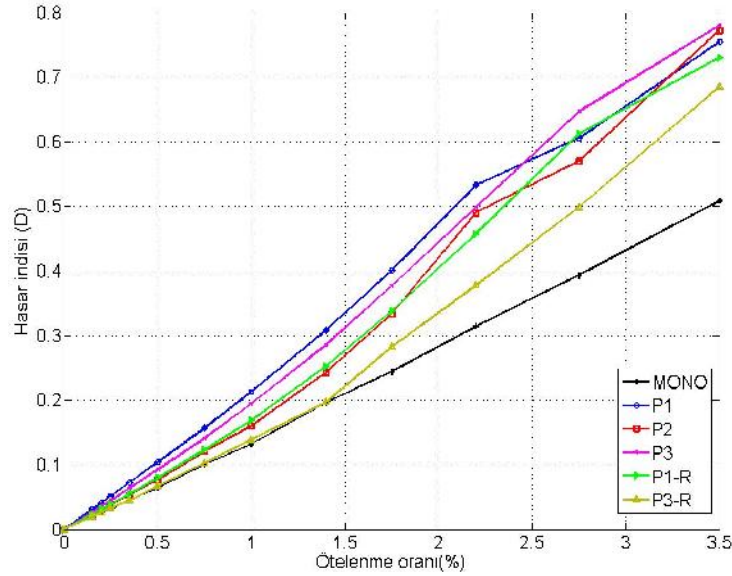
Tablo 3. Kolon-kiri bağlantılarının yerdeğiştirme ve dayanımları

Numune	γ (mm)	Q_Y (kN)	$u_{u,\zeta}$ (mm)
MONO	16.2	152	115.5
P1	19.9	173	57.8
P2	17.3	181	80.8
P3	20.8	190	80.8
P1-R	23.1	197	80.8
P3-R	23.1	175	92.4

Monolitik ve prefabrik kolon-kiri bağlantıları için her ötelenme oranının son çevriminde Denklem (2) ile hesaplanan hasar indisleri ekil 8'de verilmektedir. Buna göre P1 numunesinin diğer numunelere göre daha yüksek hasar indisine sahip olduğu, dolayısıyla düşük ötelenme oranları için hasarının daha yüksek olduğu görülmektedir. Aderans bozulması bulunan P1-R numunesinin hasar indisleri P1, P2 ve P3 numunelerine göre genelde düşük değerler almıştır. P3-R numunesinde ise etriye aralıklarının azaltılması ve aderans bozulması gibi yapılan düzenlemelerle birlikte hasar indisi daha düşük değerlere ulaştırılmıştır.

5. SONUÇLAR

Çalışma kapsamında, ülkemizdeki prefabrik yapılarda yaygın kullanım alanı bulan kompozit (ıslak-kaynaklı) moment aktarabilen kolon-kiri birleştirmelerini temsil eden kolon-kiri bağlantıları deneysel olarak incelenmiştir; sismik performansları hasar indisleri hesaplanarak değerlendirilmiştir. Monolitik kolon-kiri birleştirmesinde donatı sıyrılması nedeniyle yük-deformasyon ilişkisinde çevrim sıklığı gelişimi; bu durum da enerji tüketiminde azalmaya neden olmuştur. Prefabrik kolon-kiri bağlantı numunelerinde kiriş alt boyuna donatısı-kiriş plakası arası kaynak hesaplarında *kaynak katsayısı* (λ) testi de kullanılmıştır. Ötelenme oranlarındaki davranışın kiriş alt boyuna donatısında gelişen birim deformasyonlardaki artışa bağlı olduğu belirlenmiştir. Bu sebeple, kaynaklı bağlantı hesaplarında, yalnızca kuvvet esaslı yöntemlerle hesap yerine donatı birim deformasyonları sınırlandırılarak ekil deprem esaslı yöntemlerin de kullanılması uygun olacaktır.



ekil 8. Kolon- kiri ba lantılarının farklı ötelenme oranlarındaki hasar indislerinin kar ıla tırılması

Deneylerde öngörülen ötelenme oranlarından önce, kiri uç plakasına kaynaklı boyuna donatılarda burkulma ile sonrasında kopma gelişir. Bu sebeple prefabrik ba lantılardaki kaynaklı donatılarda karbon oranı ve karbon e de erinin sınırlandırılması gerekti i ortaya çıkmıştır. P1,P2 ve P3 numunelerinin hasar indislerinin % 3.5 ötelenme oranında göçme limit de eri olan 0.8'e yakın oldu u görülmektedir.

Aderans bozulması yakla ımı ile P1-R numunesinin hasar indislerinde azalma sa lanmış ; ancak çekme yönünde dayanımın azaldı ı gözlenmiştir. Önceki deneylerde geli en hasarlar göz önüne alarak üretilen P3-R numunesinde ise etriye aralıklarının azaltılması, çiroz konulması ve aderans bozulmasının uygulanması ile donatı burkulması tamamen önlenmiştir. P3-R numunesinin hasar indisinin di er numunelere göre daha düşük de erlere ula tı ı görülmektedir.

TE EKKÜR

Bu çalı ma Türkiye Prefabrik Birli i tarafından desteklenmiştir. Ayrıca, DEÜ BAP ube Müdürlü ü'nün 2012.KB.FEN.019 numaralı proje deste i ile gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalı malar Dokuz Eylül Üniversitesi Yapı Mühendisli i Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Çalı mamıza verdikleri de erli katkı ve önerileri için Doç. Dr. evket Özden'e, n . Yük. Müh. Hakan Ataköy'e ve n . Müh. Günkut Barka'ya te ekkür ederiz. Çalı maya verdikleri destekten dolayı Doç. Dr. Özgür Özçelik'e, Prof. Dr. Türkay Baran'a, Ara . Gör. Umut Yücel'e, n . Yük. Müh. Erol Ar'a ve n . Müh. Halis Koçbulut'a te ekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKLAR

Ang, A. H.S., Kim, W.J., Kim, S. B. (1993). Damage estimation of existing bridge structures, Structural Engineering in Natural Hazards Mitigation: Proc., ASCE Structures Congress 1993, Irvine CA, Vol.2, 1137-1142.

American Concrete Institute (2005). ACI 318.05 Building code requirements for structural concrete and commentary, American Concrete Institute. Michigan, U.S.A.

American Concrete Institute (2005). ACI 374.1.05 Acceptance Criteria for Moment Frames Based on Structural Testing and Commentary. Michigan, U.S.A

American Concrete Institute. (2013). ACI 550.2R-13 Design guide for connections in precast jointed systems. Michigan, U.S.A.

Bayındırlık ve İskan Bakanlığı (2007). Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik. 26454 Sayılı Resmi Gazete, Ankara.

Cheok, G. S., ve Stone, W. C. (1994). Performance of 1/3 scale model precast concrete beam column connection subjected to cyclic inelastic loads. Report No. 4. Report No. NISTIR 5436, Building and Fire Research Laboratory, NIST, Gaithersburg, MD, 59.

Ertay, O. (2005). Ductile beam-column connections in precast concrete moment resisting frames. Doktora Tezi, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul.

Ertay, O., Özden, S., and Özturan, S. (2006). Ductile connections in precast concrete moment resisting frames. *PCI Journal*, 51(3), 66-76.

Fajfar, P. (1992). Equivalent ductility factors, taking into account low-cycle fatigue. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*. **21:10**, 837-848.

FEMA P-795, Quantification of Building Seismic Performance Factors: Component Equivalency Methodology, FEMA, 2011.

Girgin, S. C. (2014). Moment aktaran prefabrik betonarme kompozit iç kolon-kiriş bağlantılarının iyileştirilmesi. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.

Mahin, S. A., Lin, J. (1983). Construction of Inelastic Response Spectra for Single-Degree-of-Freedom Systems: Computer Program and Applications. Report No. UCB/EERC-83/17. Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, California.

Park R, and Ang AHS. Mechanistic seismic damage model for reinforced concrete. *Journal of Structural Engineering (ASCE)* 1985; 111(4):722–739.

PEER/ATC (2010). Modeling and acceptance criteria for seismic design and analysis of tall buildings. PEER/ATC-72-1, prepared by the Applied Technology Council in cooperation with the Pacific Earthquake Engineering Research Center, Redwood City, CA.

TS 708 (2010). *Çelik- betonarme için donatı çeliği*.

Yuksel, E., Karadogan, H. F., Bal, S. E., Ilki, A., Bal, A., and Inci, P. (2015). Seismic behavior of two exterior beam-column connections made of normal-strength concrete developed for precast construction. *Engineering Structures*, 99 (157-172).