

## SONRADAN OLUŞTURULMUŞ MEKANİK BAKIMLANTILIBAKIRLERİN DAVRANIŞI

Sabahattin Aykaç<sup>1</sup>, Rohullah Jamal<sup>2</sup>, Iker Kalkan<sup>3</sup>, Eray Özbek<sup>4</sup>, Bengi Aykaç<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Doç.Dr., <sup>4</sup> Arş. Gör. Dr., <sup>2</sup> Y.lisans Öğrencisi, <sup>3</sup> İnşaat Müh. Bölümü, Gazi Üniversitesi, Ankara

<sup>3</sup> Doç.Dr., <sup>1</sup> İnşaat Müh. Bölümü, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale

Email: erayozbek@gazi.edu.tr

### ÖZET:

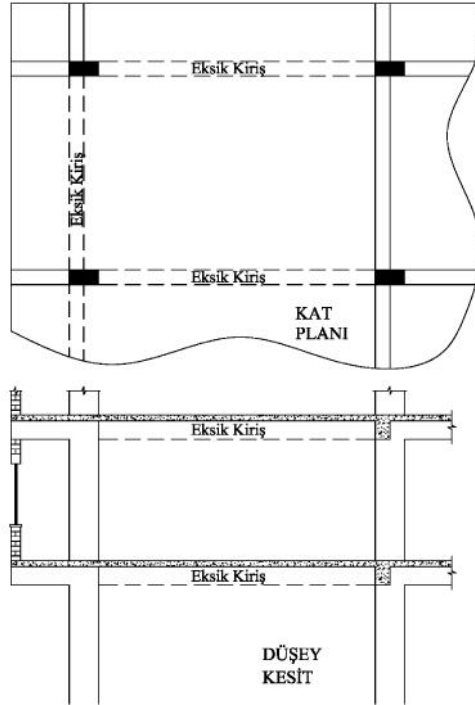
Bilindiği gibi kırıklar, altında dolgu duvar bulunmadığı sürece katların tavan düzleminde çıkıntı oluşturur. Bu nedenle bazı yapımcılar, imalat projesinde olduğu halde, estetik kaygılarla bu kırıkları yapmaktan kaçınılmaktadırlar. Kırıkların, dikey ve yatay yükleri dikey taşıyıcı elemanlara aktarması ve servis yükleri altında döşeme sehimlerini sınırlandırması gibi önemli görevleri üstlendiği bilinmektedir. Böyle bir uygulama sonucu ise döşemelerde çözümlenmeyen dayanım ve kullanılabilirlik sorunları oluşmaktadır. Bu öncü çalışmada, eksik olan bu kırıkları yerinde sonradan oluşturularak kolon ve döşemeye bağlamak için yeni yöntemler geliştirilmiştir. Yöntemlerin etkinliği ise farklı donatı oranlarına sahip kırıklarda deneysel olarak araştırılmıştır. Bu kapsamda, gerçekte karşılaşılabilecek koşullarda göz önünde bulundurularak hazırlanan 9 adet, 1/2 ölçekli deney elemanı tekdüze dikey yükler altında test edilmiştir. Çalışmanın sonunda eksik olan bu kırıkların sonradan oluşturulması için etkili yöntemler geliştirilebilir ve birçok durumda birdöküm eleman (döşeme ve kırık betonunu aynı anda dökümü) davranışına ulaşılabilmektedir.

**ANAHTAR KELİMELER :** Betonarme, kırık, döşeme, güçlendirme, rehabilitasyon

### 1. GİRİŞ

Betonarme yapı kırıklarının tavanda çıkıntı oluşturması, mimari ve estetik kaygılardan dolayı genellikle istenmeyen bir durumdur. Bilindiği gibi mimari kat planında çizilmiş dolgu duvarların altında çözümlenmeyen kırıkların oluşturulması gerekmektedir. Bir katta bulunacak dolgu duvar konumlarının diğer tüm katlarda da aynı olması halinde, kırıkların altına dolgu duvarlar denk gelmekte ve böylece kırıklar tavandan sarkmamaktadır. Aksi durumda ise kırıkların çıkıntı oluşturması kaçınılmaz olmaktadır. Ayrıca döşeme açıklıkları geniş olduğu zaman, sehimleri sınırlamak ve dikey taşıyıcılara yükleri daha güvenli bir şekilde aktarmak için ilave kırıklar tasarlamak gerekebilmektedir. Tavandan sarkan bu türden kırıklar, betonarme projesinde olduğu halde sadece estetik nedenlerden ötürü bazen yapılmamaktadır (Şekil 1).

Bahsedilen kırıklar yapılmadığında, servis yükleri ve sünme etkisi altında döşemeler ağırlık sehim yapabilmekte ve kullanılabilirlik sınırlarının dışına çıkabilmektedir. Ek olarak kırıklar, deprem etkisiyle oluşan yatay yüklerin sağlıklı bir şekilde dikey taşıyıcılar tarafından paylaşılmamasına sebep olmaktadır. Döşemelerde bunu sağlayacak bir diyafram etkisinin oluşturulması ise, büyük ölçüde kırıkların doğrultusu boyunca tüm katta sürekliliğinin korunabilmesi ile mümkündür.



ekil 1. Betonarme projesinde olduğu halde yapılmayan kirişler

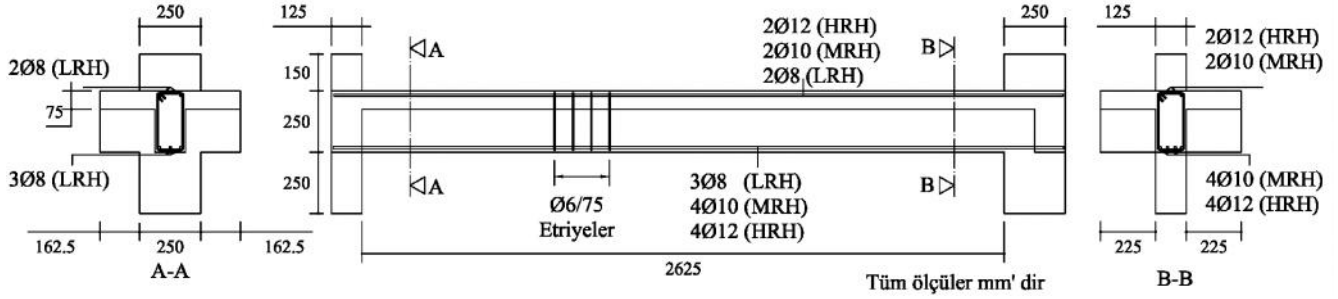
Birçok durumda ise yapılmayan bu kirişlerin yerinde “gizli kirişler” olarak, olası sorunların ve hasarların önüne geçilebileceği düşünülmektedir. Gizli kirişler, gerçekte kirişin geçmesi gereken hat boyunca, döşeme içerisine ilave donatıların yerleştirilmesiyle elde edilmektedir. Kullanılacak ilave donatı miktarı ise, yapılmayan kiriş ile döşeme eridini teoride aynı dayanıma ulatıracak şekilde seçilmektedir. Bu tür bir uygulamanın sakıncalarını deneysel olarak belirlemek amacıyla geçmi te kapsamlı bir ara tırma yapılmı tır [1]. Deneysel çalı mada donatı oranları ve döşeme kalınlıkları parametre olarak ele alınmı tır. Bu parametrelere dayalı olarak üretilen her bir T-kesitli birdöküm (döşeme ve kiriş betonu aynı anda dökülmü ) kiriş e kar ılık, bir de teorik e de er dayanıma sahip döşeme üretilmi tir. Hazırlanan 1/2 ölçekli, 14 deney elemanı tekdüze dü ey yükler altında test edilmi ve sonuçlar birbirleri ile kar ıla tırılmı tır. Deney sonuçları, e de er dayanımlı döşemelerin T-kesitli kiriş dayanımlarına, 5 ile 8 kat gibi, oldukça büyük deformasyonlardan sonra ula tı nı, bazı durumlarda ise hiçbir zaman ula amadı nı göstermi tir. Bir ba ka deyi le döşeme içerisnde olu turulan e de er dayanımlı gizli kirişlerin, dayanım ve özellikle kullanılabilirlik sınırları açısından sorunu çözemedi i anla ılmı tır [1].

Bu çalı manın amacı, projesinde olduğu halde, kasıtlı olarak yerinde yapılmayan bu betonarme kirişleri sonradan olu turmanın yöntemlerini ara tırmaktır. Geçmi te konu ile do rudan ilgili bir deneysel ara tırmaya rastlanmamı tır. Bu nedenle çalı ma, alanında öncü bir ara tırma olarak kabul edilebilir. Aynı zamanda geli tirilen yöntem, yapı kullanım amacının de i mesiyle beraber döşeme gelebilecek ilave yüklerin kar ılanması ve sehimlerin sınırlandırılması için alternatif bir güçlendirme yöntemi olarak da kullanılabilir.

Bu çalı mada, betonarme kirişlerin yerinde sonradan olu turulmu ve gerçekte kar ıla ılabilecek tüm ko ullarda birdöküm davranı nın yakalanabilmesi hedeflenmi tir. Bunu sa lamak için kirişleri, kolonlara ve döşemeye güvenli bir şekilde ba layabilecek çe itli alternatif teknikler geli tirilmı tir. Geli tirilen alternatif tekniklerin etkinli i kirişlere yerleştirilmı dü ük, normal ve yüksek oranda çekme donatıları için ara tırılmı tır. Ayrıca kiriş eklenmek üzere hazırlanan deney elemanları, gerçekte kar ıla ılabilecek zor çalı ma artlarını yansıtabilecek şekilde tasarlanmı tır.

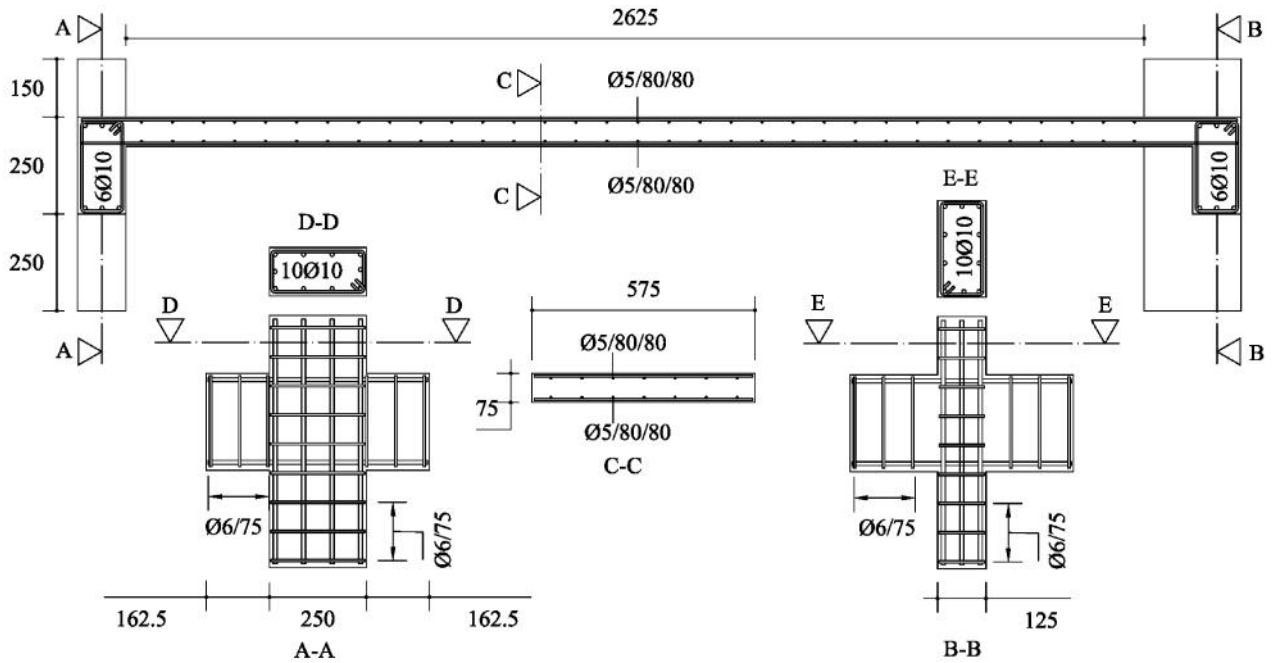
## 2. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu çalışmada üçü birdüküm (referans), toplam dokuz adet 1/2 ölçekli deney elemanı üretilip test edilmiştir. Referans elemanların geometrisi ekil 2’de, kirişli sonradan oluşturulacak elemanların ise ekil 3’te sunulmuştur.



ekil 2. Referans elemanlarının geometrisi ve kiriş donatısı

Deney elemanlarının geometrisi tasarlanırken laboratuvar şartları da göz önünde bulundurularak gerçekte sıkça rastlanan boyutlar seçilmiştir. Buna göre referans elemanlar, 125 mm genişliğinde ve 250 mm yüksekliğinde bir düzlem kiriş, 75 mm kalınlığında ve 575 mm genişliğinde bir döşeme, düzlem kirişin başlangıcında 125x250 mm kesitinde kolonlar ve kolonlara birleşim bölgesinde saplanan yine 125x250 mm kesitinde düzlem kirişlerden oluşmuştur. Deney elemanlarının toplam uzunluğu 3000 mm olarak seçilmiştir. Kolonlardan birisi güçlü eksenine doğrultusunda, diğeri ise zayıf eksenine doğrultusunda kirişle birleşecek şekilde tasarlanmıştır (ekil 3). Böylece sonradan oluşturulacak kirişlerin kolonlara bağlanmasında kullanılacak yöntemlerin etkinliği ve geçerliliği, olası iki tür kolon yerleşiminde de araştırılabilir.



ekil 3. Kirişli sonradan oluşturulacak elemanların geometrisi ve donatıları

Birdöküm elemanların, kiri leri sonradan olu turulacak elemanlardan tek farkı, açıklık boyunca kiri in ve dolayısı ile kiri donatılarının bulunmasıdır. Deney elemanı dö emelerinin alt ve üst donatıları, her iki do rultuda da Ø5/80 olarak seçilmi tir. Kolonlarda 10Ø10 boy demiri kullanılmı tır. Düzlem dı ı kiri lerin alt yüzünde 3Ø10, üst yüzüne 3Ø10 boy demiri yerle tirilmi tir. Ayrıca, bütün kiri ve kolonlarda Ø6/75 etriye kullanılmı tır ( ekil 3).

Sonradan olu turulmu kiri in; boyuna donatı oranı (Az, normal veya çok), dö emeye ba lanma yöntemi (epoksi ankrajlı U-etriye veya dikdörtgen etriye) ve kenetlendi i kolonun yerle im yönü (güçlü veya zayıf eksen do rultusunda) parametre olarak belirlenmi tir. Deney elemanlarına ait özellikler Tablo 1’de sunulmu tur.

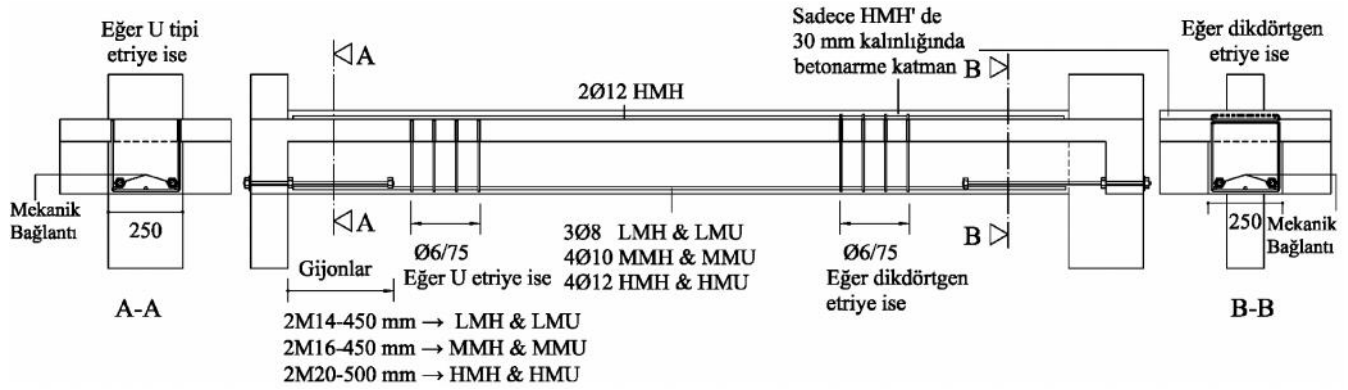
Deney elemanlarının isimleri, deney parametrelerini ngilizce kısaltmalarla özetleyecek ekilde seçilmi tir. simlendirmedeki ilk harf “L, M, H” ngilizce’de sırasıyla “lightly-reinforced, moderately-reinforced, heavily-reinforced” kelimelerine kar ı gelmekte olup az, normal ve çok donatılı kiri leri belirtmektedir. kinci harf ise “R, M, A” ngilizcede sırasıyla “referans (monolithic), mechanical, anchorage” kelimelerine kar ı gelmekte olup kiri in kolonlara kenetlenmesinde kullanılan sürekli, mekanik, epoksi ankrajlı ba lantıları simgelemektedir. Ancak geni kapsamlı çalı manın bu bölümünde sadece mekanik ba lantılar ara tırılmı , dolayısı ile ba lantı türü parametreler içinde yer almamı tır. Üçüncü son harf, kiri in dö emeye ba lanmasında kullanılan etriyelerin tipini göstermektedir. “H veya U” harfleri, kiri in sırasıyla “kapalı dikdörtgen etriye (hoop type)” veya “ankrajlı U-etriye (U type)” ile dö emeye ba landı ı anlamını ta ımaktadır (Tablo 1).

Çalı ma için üç farklı referans elemanı hazırlanmı tır. Bu elemanlardan LRH’da (az donatılı referans elemanı) 3Ø8 çekme, 2Ø8 basınç; MRH’da (normal donatılı referans elemanı) 4Ø10 çekme, 2Ø10 basınç; HRH’da (çok donatılı referans elemanı) 4Ø12 çekme, 2Ø12 basınç donatısı kullanılmı tır ( ekil 2). Boyuna donatı oranları TS500’ e göre tasarlanmı tır. TS500’ de minimum çekme donatısı oranı ( $\rho_{min}$ ) için önerilen denklemle, az donatılı elemanlara, maksimum çekme donatısı ( $\rho_{mak}$ ) için önerilen denklemlerle ise çok donatılı elemanlara yerle tirilecek boy demirleri miktarına karar verilmi tir [2]. Normal donatılı elemanlara yerle tirilecek boy demiri miktarları da  $\rho_{min}$  ve  $\rho_{mak}$ ’ larin aritmetik ortalaması alınarak hesaplanmı tır. Tüm düzlem yönündeki kiri lere 6 mm çapında, 135 derece bükülmü kancalı tip geleneksel etriyeler, 75 mm aralıklarla yerle tirilmi tir.

Tablo 1. Deney elemanlarının özellikleri

Deney Elemanı	Boyuna Donatı Oranı	Kolona Ba lantı	Etriye	Kiri Kesiti (mm×mm)	Kiri Basınç Donatısı	Kiri Çekme Donatısı
LRH	Az	Sürekli	Dikdörtgen	125×250	2Ø8	3Ø8
LMH	Az	Mekanik	Dikdörtgen	225×250	Yok	3Ø8
LMU	Az	Mekanik	U-Etr.	225×250	Yok	3Ø8
MRH	Normal	Sürekli	Dikdörtgen	125×250	2Ø10	4Ø10
MMH	Normal	Mekanik	Dikdörtgen	225×250	Yok	4Ø10
MMU	Normal	Mekanik	U-Etr.	225×250	Yok	4Ø10
HRH	Çok	Sürekli	Dikdörtgen	125×250	2Ø12	4Ø12
HMH	Çok	Mekanik	Dikdörtgen	225×280	2Ø12	4Ø12
HMU	Çok	Mekanik	U-Etr.	225×250	Yok	4Ø12

Sonradan olu turulan tüm kiri ler, referans elemanlara benzer olarak 75 mm aralıkla yerle tirilen dikdörtgen veya “U” ekindeki etriyeler ile dö emeye ba lanmı tır (Tablo 1). Kapalı dikdörtgen tiplerde, etriyelerin kolları dö eme üstünde 90 derece bükülmü ve kaynakla kollar birle tirilmi tir. “U” ekindeki etriyelerde ise, etriye kolları dö emede açılan 75 mm derinli indeki deliklere geçirilerek epoksi ile ankrajlanmı tır ( ekil 4).



ekil 4. Sonradan olu turulan kiri lerin detayları

Sonradan olu turulacak kiri lerin, kolonlara mekanik olarak çelik gijonlarla (sonsuz di li bulon) ba lanaca ı elemanların detayları ekil 4' de gösterilmi tir. Buna göre kenetlenme; az donatılı kiri lerde 450 mm bindirme boyu ile 2M14, normal donatılı kiri lerde 450 mm bindirme boyu ile 2M16 ve çok donatılı kiri lerde ise 500 mm bindirme boyu ile 2M20 gijonlar aracılı ı ile yapılmı tir. Bindirme boyları ile kullanılacak gijon miktar ve çapları TS500' de donatılar için önerilen yöntemlerle tasarlanmı tir [2]. Mekanik kiri ba lantısının tamamlanabilmesi için, kolonun içinden geçirilen gijonların kar ı yüzde çıkan ucuna somun takılması gerekmektedir. Ancak gerçek yapıda, sonradan olu turulacak kiri uçlarındaki kolonlara birle ip aynı do rultuda devam eden mevcut ba ka kiri lerde büyük olasılıkla bulunacaktır. Bu durumda, sonradan olu turulacak kiri geni li ini yapıdaki mevcut kiri lere e it olarak tasarlamak, mekanik ba lantının yapılmasını olanaksız hale getirecektir. Dolası ile sonradan olu turulan kiri lerin geni li i, 125 mm' den 250 mm çıkarılmı , böylece birle im bölgesindeki kolonların yerle im durumuna göre, ya kolonlara ya da düzlem dı ı kiri lere rahatlıkla mekanik olarak ba lanabilmi tir ( ekil 4).

Bilindi i gibi çekme donatısı oranı arttıkça, kiri ler e ilme etkisi altında daha gevrek davranı göstermektedir. Süneklikte meydana gelecek bu kayıp, ilave basınç donatısının kullanılmasıyla kiri e tekrar geri kazandırılabilir. Dolayısı ile sonradan olu turulacak gerçekteki kiri lere, çekme donatısının yanında bazen basınç donatısı da yerle tirmek gerekebilir. Ancak basınç donatısının etkin çalı abilmesi için etrilyelerle sargılanması gerekmektedir. "U" ekindeki açık etrilyeler ise bu tür bir sargılamaya olanak tanımayacaktır. Bu nedenle sadece çok donatılı ve kapalı dikdörtgen etriyeli deney elemanı (HMH) üzerinde basınç donatısı eklemenin yolları ve etkileri ara tırlmı tir. Bahsedilen deney elemanında dö eme üst yüzüne çıkan etrilyelerin içinden basınç donatıları geçirilmı ve bu donatıları örtmek için dö eme üst yüzünde 30 mm kalınlı nda ek bir betonarme katman olu turulmu tur ( ekil 4).

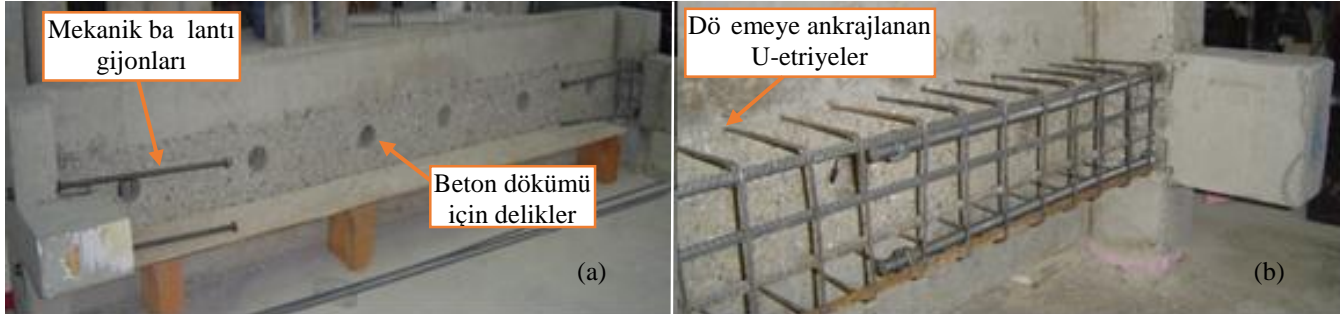
### 2.1 Malzeme Özellikleri

Çalı mada kullanılan Ø5, Ø6, Ø8, Ø10 ve Ø12 çaplarındaki donatıların akma dayanımları sırasıyla 250 MPa, 250 MPa, 435 MPa, 450 MPa ve 420 MPa olarak ölçülmü tür. Sonradan olu turulan kiri leri mekanik olarak kolonlara ba lamak için kullanılan gijonlar St37 kalitesindedir.

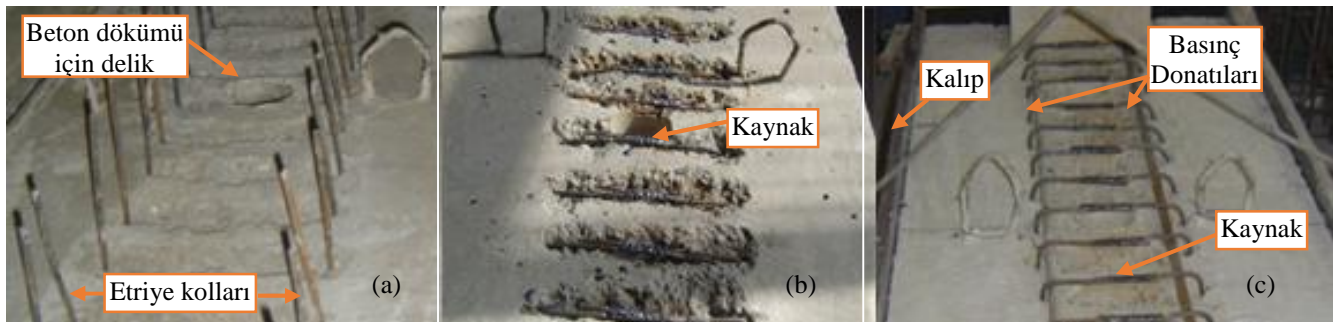
Ara tırmada iki farklı kar ım ve dayanıma sahip beton kullanılmı tir. Sonradan olu turulan kiri lerin ortalama beton basınç dayanımı 25 MPa' dır ve bu kısımda i lenebilirli i arttırmak için kar ı mda akı kanla tırcı kullanılmı tir. Deney elemanlarının di er kısımlarındaki ortalama beton basınç dayanımı 18 MPa' dır.

## 2.2 Malat Teknikleri

Kiri lerin sonradan oluşturulmak üzere ekil 3’ deki gibi elemanlar hazırlanmıştır. Kiri in oluşturulacağı aks boyunca dö eme üzerinde aralıkları 500 mm olan 70 mm çapında delikler açılmıştır. Bu işlem dö eme üzerinden kiri betonunun dökülebilmesini sağlamak amacıyla yapılmıştır. Ardından etriye kollarının geçeceği noktalardan dö eme yine delinmiştir. Daha sonra kiri in kolonlara yük aktarmasını sağlayacak gijyonların birleştirim bölgesine bağlantıları yapılmıştır ( ekil 5a). Bu aşamadan sonra etriyeler oluşturulmuştur. “U” eklindeki etriyelerin kullanılması durumunda, donatının kolları daha önce açılmış olan deliklerden geçirilerek epoksi ile ankrajlanmıştır ( ekil 5b). Dikdörtgen eklindeki etriye kullanılması durumunda ise, önce U ekinde hazırlanmış donatılar dö emedeki deliklerin alt yüzünden geçirilmiştir ( ekil 6a). Ardından dö eme üst yüzüne çıkan kollar birbirlerine doğru 90 derece bükülmüş ve en az 30 mm boyunca kaynakla birleştirilmiştir ( ekil 6b). Etriyeler oluşturulduktan sonra içlerinden çekme donatıları geçirilerek yerlerine sabitlenmiştir. Eriye basınç donatısı kullanılmıyorsa, dö emenin betonu her etriyenin iz düzümü boyunca lokal olarak biraz kırılmış ve böylece etriye üst kenarının dö eme içinde kalması sağlanmıştır. Bu şekilde donatılar hazırlandıktan sonra dö eme alt yüzüne kiri in kalıbı takılmıştır. Son aşamada, dö eme üzerinde daha önce açılan deliklerden beton doldurulmuş ve kolay yerleştirim için vibratör kullanılmıştır. Eriye basınç donatısı kullanılacaksa, bu donatılar dö emenin üst yüzünde etriyelerin içinden geçirilerek sabitlenmiştir ( ekil 6c). Ardından dö emede daha önce açılmış deliklerden yine beton doldurulmuş ancak bu işlem dö eme üzerinde 30 mm kalınlığında bir beton örtüsü oluşturulmaya kadar devam etmiştir.



ekil 5. Dö emede açılan delikler ve gijyonların bağlantısı (a) ve U-etriyelerin dö emeye ankrajı (b)

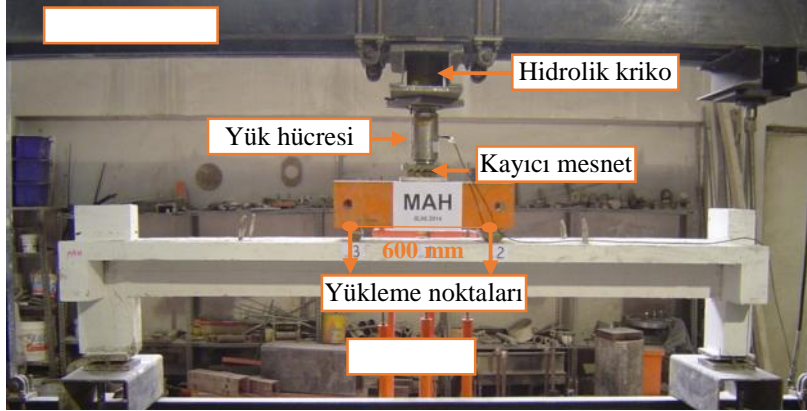


ekil 6. Dö eme üstündeki etriye kolları (a) kolların bükülerek kaynaklanması (b) basınç donatıları (c)

## 2.3 Deney Düzeni

Deney elemanları, kolon merkez akslarından yükleme çerçevesine basit mesnet atlarında yerleştirilmiştir ve iki noktalı tekdüze yükler altında test edilmiştir ( ekil 7). Yük uygulama noktaları arasında 600 mm mesafe bırakılmıştır. Bu mesafenin kiri te oluşturduğu moment diyagramı, gerçekte düzgün yayılı yükleme altında olduğu varsayılan kiri te oluşturacağı moment diyagramını mümkün olan en yakın şekilde kapsamaktadır. Yük hücresi ile yükü taşıyan çelik kiri arasında hareketli mesnetler yerleştirilmiştir ve böylece hem krikoda sadece eksenel yüklerin oluşturulması sağlanmıştır, hem de kiri in yataydaki deformasyonu serbest bırakılmıştır.

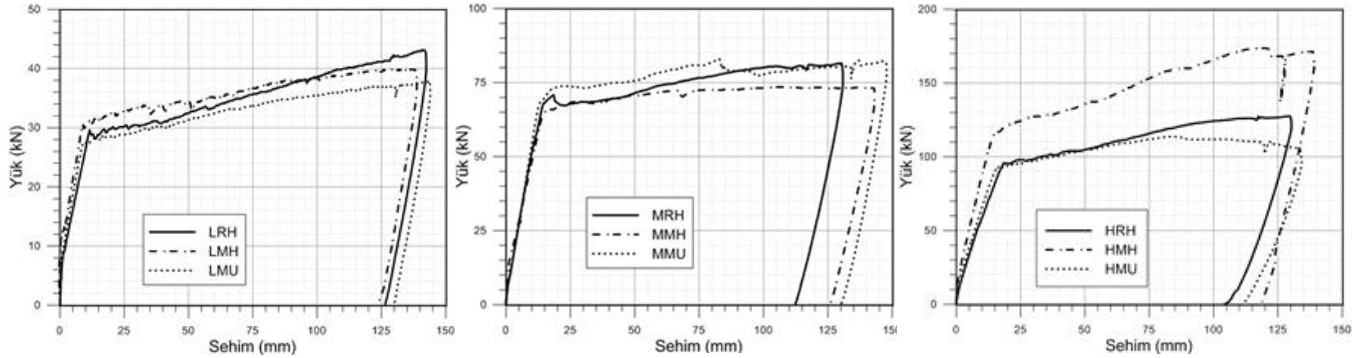
Açıklık ortasına ve bu noktanın 300 mm sağ ve soluna yerleştirilen LVDT'ler (elektronik deplasman ölçer) ile kiriş sehimleri, mesnet altlarına yerleştirilen LVDT'ler ile de mesnet oturumları ölçülmüştür. Tekdüze yüklemeye ya yükte ani bir kayıp (%15) meydana gelinceye ya da krikonun kapasitesi (145 mm) doluncaya kadar devam edilmiştir.



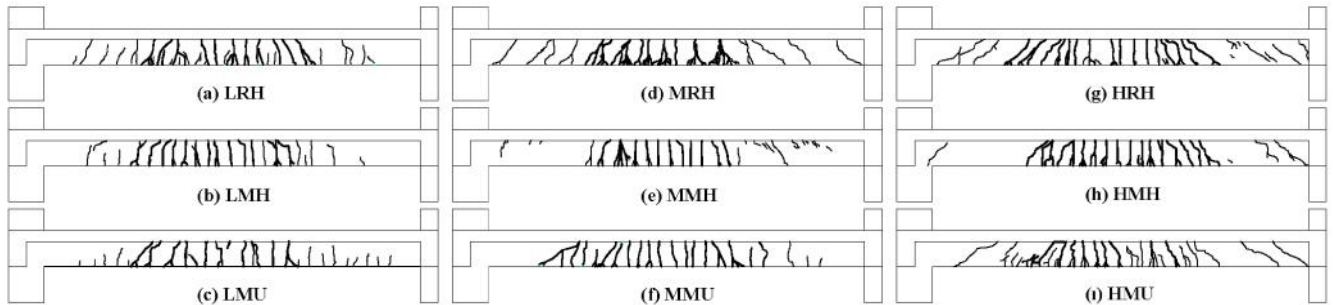
ekil 7. Deney Düzeneği

### 3. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Deney sonuçlarının değerlendirilmesi dayanım, süneklik, enerji dönüşümü ve rijitlikler açısından yapılmıştır. Bu analizlerde çoğu zaman deneyde elde edilen yük-sehim eğrilerine başvurulmuştur (ekil 8). Referans elemanlarının eğrileri, kirişleri sonradan oluşturulmuş deney elemanlarının eğrileri ile karşılaştırılmış ve önerilen yöntemlerin etkinliği araştırılmıştır.



ekil 8. Az (a), normal (b) ve çok (c) donatılı elemanların yük-sehim grafikleri



ekil 9. Deney sonuç çatlak haritaları

Bütün deneylerde, elemanlar e ilmeden ta ıma gücüne ula mı ve bu elemanların mekanik ba lantılarında herhangi bir ezilme, kopma veya sıyrılma belirtisi gözlenmemi tir ( ekil 8, 9). Deney elemanlarına ait dayanım özellikleri ise Tablo 2’ de özetlenmi olup ekil 8’ deki e rilerden elde edilmi tir. Buna göre kiri leri sonradan olu turulmu deney elemanlarının akma dayanımları, referans elemanların akma dayanımlarına oldukça yakın çıkmı tir. HMH elemanı de erlendirme dı ı bırakıldı ında bu oran +%3 ile +%4 arasında de i mi tir. Yani referans dayanıma hem pozitif hem de negatif yönlerden benzer yakınlıkta ula ılmı tir. Bu durum, olu an küçük farklılıkların betonarmenin kendine özgü davranı ındaki rassal nedenlerden kaynaklandı mı göstermi tir. HMH elemanında dö emenin üst yüzüne fazladan 2Ø12 basınç donatısı eklenmi ve kiri yüksekl i 30 mm arttırılmı tir. Dolayısı ile bu elemanın akma dayanımı, referans kiri ine göre % 18 artmı tir.

Tablo 2. Deney elemanlarının dayanım özellikleri

Deney Elemanı	Akma Yüğü (kN)		Hesaplanan	Ölçülen / Hesaplanan Akma Yüğü	Maksimum Yüğü (kN)	Maks. Yüğü/ Akma Yüğü
	Ölçülen					
	Mutlak	Göreceli				
LRH	29.6	1.00	32.1	0.92	>43.1	>1.45
LMH	30.7	1.03	31.4	0.97	39.8	1.30
LMU	27.7	0.96	31.4	0.88	>37.7	>1.36
MRH	66.1	1.00	62.1	1.06	81.2	1.23
MMH	65.4	0.99	62.0	1.05	73.3	1.12
MMU	67.5	1.02	62.0	1.09	82.0	1.21
HRH	95.1	1.00	97.2	0.98	>127.5	>1.34
HMH	112.1	1.18	111.4	1.00	173.5	1.55
HMU	92.4	0.97	97.0	0.95	113.7	1.23

Deneylerden elde edilen akma dayanımları ile hesaplanan akma dayanımları kar ıla tırıldı ında olu an sapmanın +% 9 ile +%12 arasında de i ti i görülmektedir. Referans elemanlarında dahi bu oranın +% 6 ile +%8 arasında oldu u dü ünüldü ünde, sonradan olu turulmu kiri lerin tasarımında geleneksel ta ıma gücü yönteminin kullanılabilce i anla ılmaktadır (Tablo 2).

Bazı deneylerde hidrolik krikonun genlik kapasitesi (145 mm) dolmasına ra men eleman kararlı bir ekilde yük almaya devam etmi ve dayanımda kayıp gözlenmemi tir. Bu elemanlarda deneyin son anında ölçülen yük de eri, maksimum dayanım olarak alınmı , ancak gerçekte ula ılabilecek de erin daha büyük olabilece i varsayımı ile Tablo 2’ de yanına “>” i areti yerle tirilmi tir.

Kiri leri sonradan olu turulan elemanlarda ula ılan en yüksek dayanım de erlerinin ortalaması alınıp kendi donatı grubundaki referans elemanlarla kar ıla tırıldı ında de erlerin birbirine yine oldukça yakın oldu u görüldü tür. Referans elemanına göre en büyük de i iklik 1.36 kat ile HMH’ da gerçekte mi tir. Üstelik bu elemanda ula ılan en yüksek yükün, kendi akma yüküne oranı tam 1.56 kat olup di er elemanlara ait oranlardan oldukça fazladır (Tablo 2). Elemanda ilave basınç donatılarının ve 30 mm kalınlı ında beton katmanının kullanılması bu farkın olu masına neden olmu tur.

Kiri leri sonradan olu turulan elemanlar kendi arasında dayanım açısından kar ıla tırıldı ında, etriye tiplerinin birbirine göre belirgin bir üstünlü ü gözlenmemi tir. Bir ba ka deyi le elemanların hepsi teoride öngörülen dayanımlara sorunsuz bir ekilde ula abilmi tir.

Süneklik, dayanımda önemli bir kayıp olmadan elemanın deformasyon yapabilmesi olarak tanımlanmaktadır. Süneklik oranı ise elemanın dayanımında % 15 kaybın ya andı ı deformasyon de erinin, akma deformasyonuna bölünmesiyle elde edilmi tir [3]. Bu ekilde hesaplanan süneklik oranları Tablo 3’ de sunulmu tur.



Kriko kapasitesinin dolması nedeniyle deneyi sonlandırılan elemanlarda henüz % 15 dayanım kaybı olmuştur, deerin yanına “>” i areti yerleştirilmiştir. Bu i aret gerçekte ulaşılabilecek deerin aslında daha büyük olabileceği belirtilmektedir. Tablo 3 incelenecek olursa, kirişleri sonradan oluşturulmuş bütün elemanlarda referans elemanların süneklik oranlarına ulaşılabildiği, hatta birçok durumda üstüne çıkılabildiği görülecektir.

Tablo 3. Elemanların süneklik oranları, rijitlik ve enerji dönüşümleri

Deney Elemanı	Süneklik Oranı		Enerji Dönüşümü		Başlangıç Rijitliği	
	Mutlak	Göreceli	Mutlak (kJ)	Göreceli	Mutlak (kN/mm)	Göreceli
LRH	>12.4	1.00	>4.89	1.00	2.27	1.00
LMH	>12.9	1.04	>4.88	0.99	2.59	1.14
LMU	>17.2	1.39	>4.65	0.95	2.48	1.09
MRH	>9.2	1.00	>9.29	1.00	4.60	1.00
MMH	>9.2	0.99	>9.73	1.05	3.94	0.86
MMU	>11.5	1.25	>10.98	1.18	5.08	1.10
HRH	>7.1	1.00	>13.74	1.00	4.88	1.00
HMH	>8.4	1.19	>18.72	1.36	6.65	1.36
HMU	>8.4	1.18	>13.49	0.98	5.28	1.08

Deney elemanlarına ait enerji dönüşümü kapasiteleri Tablo 3’ de sunulmuştur. Bu değerler, yük-sehim ekseninin altında kalan alanın hesaplanmasıyla elde edilmiştir. Daha önce bahsedilen sebeplerden ötürü deney sonunda henüz % 15 dayanım kaybı olmuştur, dönüşülen enerji miktarının yanına yine “>” i areti yerleştirilmiştir. Süneklikte yaşanan olumlu gelişmeler, benzer olarak enerji dönüşümlere de yansımıştır. Kirişleri sonradan oluşturulmuş bütün elemanlarda, referans elemanların enerji dönüşümü miktarına ulaşılmış ve hatta üzerine çıkılmıştır.

Deney elemanları sadece kendi aralarında kıyaslanacağı için rijitlik hesaplarında, moment-eşimlilik kısıtlarını yerine yük-deplasman grafikleri kullanılmıştır. Tablo 3’ de verilmiş olan rijitlik değerleri deney elemanlarının başlangıç rijitliği olup yük-deplasman grafiğindeki çıkış etinin eşiminden hesaplanmıştır. Buna göre kirişleri sonradan oluşturulmuş deney elemanları, rijitlik açısından referans elemanlara oldukça yakın performans göstermiş olup birçok durumda referans değerlerinin üzerine çıkmıştır. Basınç donatısı yerleştirebilmek için HMH’ in dömesinde ilave 30 mm kalınlığında betonarme katmanının oluşturulması rijitliği % 36 artırmıştır.

Yapılan analizler ve gözlemler, sonradan oluşturulacak kirişin dömeye başlanmasında kullanılan her iki yönteminde (U veya dikdörtgen etriye) benzer olumlu performansları sergilediğini göstermiştir. Bazı elemanlar için tespit edilen küçük farklılıkların deney serileri içinde istikrarlı bir şekilde devam etmediğini anlaşılmıştır. Oluşturulan bu paradoks, küçük farklılıkların, standart sapması yüksek olan betonarmedeki rassal nedenlerle ortaya çıktığını göstermiştir.

#### 4. SONUÇLAR

Ayrıca sunulan sonuçların ve önerilerin sınırlı sayıda deneylerden elde edilen verilere dayandığı unutulmamalıdır. Çıkan sonuçlar ise bu çalışmadaki deneylerin özelliklerine ve koşullarına bağlı olduğu için henüz kesin ve mutlak yargılara varmaktan kaçınılmalıdır.

- Bu çalışmada sonradan oluşturulan kirişin dömeye ve kolonlara bağlamakta kullanılan yöntemler oldukça başarılı olmuştur. Kullanılan yöntemler sonradan oluşturulan kirişlerin performansını, birdöküm kirişlerin seviyesine hatta daha ötesine taşıyabilmiştir.

- Üstten kaynaklanmış dikdörtgen ve epoksiyle ankrajlanmış “U” ekleindeki etriyeler, geleneksel kancalı tip etriyeler kadar ba arılı çalı mı tır. Ancak bilindi i gibi etriyelerin kiri lerdeki görevi kesme kuvvetlerini kar ılamaktan ba ka sargılama basıncı da olu turmaktadır. “U” ekleindeki etriyelerde bir kenar açık oldu undan etkin bir sargılama sa lanamayaca ı için, uygulamada mümkünse üstten kaynaklanarak kapatılmış dikdörtgen etriyeler tercih edilmelidir. E er ilave basınç donatısı da yerle tirilecekse, donatı burkulmasını geciktirecek kapalı tip etriyelerin zaten mutlaka kullanılması gerekecektir.
- Mekanik ba lantıların i çilik hatalarına ve epoksi kullanılmadı ı için yangına kar ı çok daha güvenilir oldu u unutulmamalıdır.
- Çekme donatısının çok oldu u durumlarda bazen sünekli i arttırmak için ilave basınç donatısı da kullanmak gerekebilir. Bu türden bir uygulama gerekti i zaman, çalı mada önerilen yöntemle ilave basınç donatıları kiri e sonradan yerle tirilebilir.
- Birdöküm kiri lerde oldu u gibi, sonradan olu turulan kiri lerin tasarımında da geleneksel ta ıma gücü yönteminin kullanılabilmece i görülmü tür.
- Kiri uçlarında ba lantının yapılaca ı kolonların yerle im yönü sistemin performansını de i tirmemi tir. Bir ba ka deyi le bu çalı mada önerilen ba lantı, dikdörtgen kolonların yerle im yönünden ba ımsız olarak uygulanabilir.
- Geli tirilen yöntem, yapı kullanım amacının de i mesiyle beraber dö emeye gelebilecek ilave yüklerin kar ılanması ve sehimlerin sınırlandırılması için alternatif bir güçlendirme yöntemi olarak da kullanılabilir.
- Önerilen yöntemlerle olu turulan kiri lerin sadece dü ey yükler altında test edildi i unutulmamalıdır. Deprem yükleri altında kiri lerin nasıl bir davranı sergileyece i henüz bilinmemektedir. Dolayısıyla yöntemin deprem bölgelerindeki yapılarda da kullanılabilmesi için önerilen tekniklerin tersinir-tekrarlanır yükler altında da test edilmesi gerekmektedir.

#### KAYNAKLAR

1. Mohammed, K. A. B. (2011). Dö eme çindeki Gizli Kiri lerin Davranı ve Dayanımı. Yüksek Lisans Tezi, n aat Müh. Bölümü, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
2. TS 500. (2000). Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
3. Eurocode 8. (2004). Design of Structures for Earthquake Resistance - Part 1: General Rules, Seismic Actions and Rules for Buildings. European Committee for Standardization, Brussels.