

## Kullanılan Farklı Katkı Maddelerinin ve Farklı Beton Dayanım Seviyelerinin Kısa Kirişlerin Sünekliğine Etkisi

Atıla KUMBASAROGLU<sup>1\*</sup>, Halil İbrahim SEZGİN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Erzincan, Türkiye

<sup>2</sup>Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Erzincan, Türkiye

Geliş / Received: 04/04/2020, Kabul / Accepted: 30/05/2020

### Öz

Kısa açıklıklı kirişler, genellikle yüklerin aktarılması sırasında oluşan aşırı kesme kuvvetleri nedeniyle süneklik sorunlarına neden olan yetersiz eğilme kapasitelerine sahiptir. Etriyelerin kullanımına ek olarak enine donatı demirlerinin kısmen veya tamamen yerini alması için kullanılan alternatif katkı maddeleri son zamanlarda tamamen betonarme elemanların kesme kapasitelerinin artırılmasına odaklanmıştır. Bu çalışmada kısa açıklıklı kirişlerin farklı katkı maddelerine sahip olarak farklı beton dayanım seviyelerinde eğilme kapasitelerinin artırılmasının araştırılması için deneysel bir çalışma yapılmıştır. Toplam 14 adet deneysel betonarme kısa-açıklıklı kiriş numuneleri, üç noktadan eksenel eğilme testine tabi tutulmuştur. Her bir deneysel numune için göçme modelleri sunulmuştur. Her biri farklı tasarlanmış kısa açıklıklı kirişlerin yük yer değiştirme ilişkileri, başlangıç rijitliği, süneklik oranları ve enerji yutma kapasiteleri değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, daha güçlü aderans özelliğine sahip olan katkı malzemesi ile daha yüksek bir eğilme kapasitesi sağlanmış ve böylece kısa açıklıklı kirişlerde daha sünek bir davranış elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kısa-açıklıklı kirişler, süneklik oranı, başlangıç rijitliği, enerji yutma kapasitesi.

### The Effect of Different Additives Materials and Different Concrete Strength Levels on the Ductility of Short Beams

#### Abstract

Short-spanned beams generally have inadequate flexural capacities to transfer the loads which cause ductility problems due to over exceeded shear forces. In addition to the use of stirrup alternative additive materials which are used for partially or fully replacing the stirrup bars have recently been met focus entirely on increasing the shear capacities of reinforced concrete members. In this study, an experimental study was conducted to investigate the improving of flexural capacity of short-spanned beams at different used concrete strength levels with different admixtures. A total of fourteen experimental reinforced concrete beams were tested under three point flexural strength tests. Failure patterns for each specimen were presented. Load-displacement relationships, initial stiffness, ductility ratio and energy dissipation capacities of different designed short-spanned beams were evaluated. As a result, the admixture material, which has a stronger adhesion property, was provided a higher bending capacity and thus a more ductile behaviour was achieved in the short-spanned beams.

**Keywords:** Short-spanned beams, ductility ratio, initial stiffness, energy dissipation capacity.

## 1. Giriş

Yapısal nedenlerle ve mimari gereksinimlerle yapıda kaçınılmaz olan kısa açıklıklı kirişler, yüksek kesme davranışları nedeniyle yapının sergilediği süneklik üzerinde sınırlayıcı bir faktör olabilmektedir. Kısa açıklıklı kirişler, özellikle sismik yükler söz konusu olduğunda betonarme kirişlerin kayma dayanımı ve rijitliğinde hızlı bir şekilde bozulmaya yol açan kayma deformasyonlarının büyük bir tersinen ve tekrarlanan çevrimlerine maruz kalabilir (Wight ve Macgregor, 2012; Lele ve Maiti, 2002; Campione ve Mangiavilla-no, 2008; Karami, Malekzadeh, ve Shahpatri, 2003; Khan, Smith ve Izzuddin, 2013). Kesme modunun daha gevrek olması ve ani olarak göçme modu sergilediğinden, özellikle kısa açıklıklı kirişlerin kesme kapasitesinin, sünek tasarım ile elde edilmesi için sismik yükler altında tasarımı yapılan yapıların eğilme kapasitesinden daha yüksek olmalıdır (Campione ve Mangiavilla-no, 2008; Caglar, Demir, Ozturk ve Akkaya, 2015). Kısa açıklıklı kirişlerin daha yüksek bir kesme kapasitesi ile tasarlanması, betonarme kirişlerde oluşabilecek kesme çatlaklarının bir ağ şeklinde çoklu çatlaklar oluşturup yayılması ile ani göçme modunun oluşmasını önleyebilir (Yazdanbakhsh, Altoubat ve Rieder, 2015).

Bu konu kapsamında yürütülen çalışmalardan birisi, on iki adet kısa açıklıklı, düzlem-içi ve lifli betonarme kirişlerin eğilme davranışını monotonik ve tersinir tekrarlanır yükler altında analiz etmek için Campione ve Mangiavillano (2008) tarafından yapılmıştır. Gerçekleştirilen çalışmada, kısa açıklıklı kirişlerin sismik yükler altında büyük tersinir kayma deformasyonlarına maruz kalabileceği gösterilmiştir. Ayrıca bu çalışmadaki test sonuçlarından liflerin eklenmesinin kirişlerin taşıma kapasitesini arttırdığını ve daha fazla

sünek davranış sağladığını ve aynı zamanda sismik yükler altında göçme modu etkilerini de azalttığını göstermiştir. Yazdanbakhsh, Altoubat ve Rieder (2015) tarafından betonarme kirişlerin boyuna doğrultudaki kesme kapasitesinin ölçülmesi ve modellenmesi için parametrik bir araştırma yapılmıştır. Bu çalışmada, test edilen 23 adet büyük ölçekli narin ve kısa açıklıklı betonarme kirişlerden elde edilen sonuçlar sunulmuş ve deneysel değişkenler, kesme açıklığı-derinlik oranı, lif hacim oranı, eğilme donatı çubuk oranı ve kiriş derinliğini içermektedir. Tüm kirişler beklenti doğrultusunda kesme modunun gerçekleşmesi için yer değiştirme kontrollü olmak üzere üç noktadan aksel eğilme yüklemesi altında test edilmiştir. Yapılan çalışmanın sonucunda test verileri, önerilen modellerin öngördüğü teorik değerlerle karşılaştırılmıştır ve önerilen modelin iyimser olarak haklılığı savunulmuştur.

Konvansiyonel tasarımda, enine etriye donatı çubuklarının sıklaştırılmasının veya literatürde kabul görmüş mevcut kodlarda verilen etriye donatısı aralıklarının azaltılmasının, taşıyıcı betonarme elemanların kayma gerilmelerine dayanımında yeterli çözüm olmayacağı yazarların bilgisi dahilinde bilinmektedir (Demir, Caglar, Ozturk ve Sumer, 2016; Kuo, Cheng ve Hwang, 2010; Yu ve Bažant, 2011; Syroka-Korol ve Tejchman, 2014). Ayrıca ACI 318-14 (2011) gibi birçok tasarım kodunda alternatif kesme donatısı olarak kullanılabilen eğimli etriye demirleri ve/veya pilye donatı çubukları yalnızca boyuna doğrultuda yerleştirilebildiği gerekçesiyle, kısa açıklıklı kirişler için, kesme taleplerini telafi edememektedir (Wight ve Macgregor, 2012; Demir, Caglar, Ozturk ve Sumer, 2016). Ayrıca yapısal gereksinimler nedeniyle özellikle bağlantı bölgelerinde bulunabilen kısa açıklıklı kirişlerde, kesme mukavemetinin artırılması için uygulamada

kabul görmüş olan diyagonal doğrultulu enine etriye donatısı yerleştirilmesi yöntemi de, enine donatı çubuklarının büyük eğimle yerleştirilmesi gerekliliği nedeniyle en boy oranı [ $\ell_n/h < 4$ , burada  $\ell_n$  kirişin net uzunluğu ve  $h$  kiriş derinliğidir] açısından çok etkili görülmemektedir (Demir, Caglar, Ozturk ve Sumer, 2016; ACI 318-14 (2011)).

Aynı zamanda, Demir, Caglar, Ozturk ve Sumer (2016) tarafından, betonarme T-kesitli kirişlerde kayma kapasitesinin, alternatif diyagonal bir kayma donatısı vasıtasıyla artırılması için analitik bir araştırma da yapılmıştır. Yürütülen çalışmada, monotonik ve tersinen-tekrarlanan yüklemeler altında betonarme kirişlerin kayma kapasitesinin ve sünekliğinin artırılabilmesi için kolay uygulanabilir, ekonomik ve alternatif bir teknik olarak diyagonal kayma donatısı (DSR) adı verilen yeni bir donatı konfigürasyonu önerilmiştir. Çalışma kapsamında elde edilen sayısal sonuçlar, önerilen diyagonal kayma donatısının (DSR) dâhil edildiğinde betonarme kirişlerin kesme ve süneklik kapasitesinde önemli bir artış olduğunu göstermiştir. Ayrıca, diyagonal kayma donatısının (DSR) çapındaki ve akma mukavemetindeki bir artışla, kesme kapasitesinin daha da arttığı ve göçme mekanizmasının kesme modundan eğilme moduna geçebildiği de gösterilmiştir. Diğer bir analitik araştırma Kuo, Cheng ve Hwang (2010) tarafından, betonarme kirişlerin yük taşıma mekanizmasını ve kayma mukavemetini araştırmak için yapılmıştır. Betonarme kirişlerdeki kayma kuvvetlerinin aktarım mekanizmasının, kiriş bölgelerinde iletilen yük güzergâhlarına göre karakterize edilebileceği ileri sürülmüştür. Bir başka parametrik araştırma ise Yu ve Bazant (2011) tarafından, betonarme kirişlerin kesme donatılarının (etriyelerin) kayma (kesme) mukavemeti üzerindeki boyut etkisini göstermek için yapılmıştır. Elde edilen veriler çatlama

mekanikğine göre sonlu elemanlar analizine dayanan tam-ölçekli kiriş testleri ile kalibre edilmiştir. Bu çalışmada, yeniden bir araya getirilmiş 234 adet test veri tabanının istatistiksel analizle homojen olmamalarından kaynaklanan yanıltıcı boyut etkilerini ortadan kaldırmak amacıyla ikincil etki parametreleri filtrelenmiştir. Sonuç olarak her iki yaklaşım da kesme donatılarının boyutsal etkiyi tamamen baskılayamadığını göstermiştir. Bir başka deneysel çalışma ise Syroka-Korol ve Tejchman (2014) tarafından, boyuna doğrultuda donatılı ve kesme donatı çubukları olmayan beton kirişler için yapılmıştır. Deneysel yürütülen çalışmadan, kısa kirişlerde nominal kayma mukavemeti üzerindeki boyut etkisinin azımsanmayacak derecede güçlü olduğu sonucuna varılmıştır.

Son dönemlerde betonarme kirişlerde, kesme donatısı çubuklarının kısmen veya tamamen yerini alabilen ve/veya korozyona uğramayan farklı katkı maddelerinin kullanımı ile kesme kapasitesinin artırılması için yöntemler geliştirilmektedir (Yalciner, Kumbasaroglu ve Ergun, 2018; Bicer, Yalciner, Balkıs, ve Kumbasaroglu, 2018; Kumbasaroglu ve Korkmaz, 2020). Özellikle Yalciner, Balkıs, ve Kumbasaroglu (2018) tarafından, kesme donatılarının yerine farklı kullanılan plastik elyaf miktarlarının geo-grid ile kullanılabilirliğini incelemek için yapılan çalışma benzersizdir. Çalışmadan elde edilen test sonuçları, betonarme kirişlerin aderans mukavemetini ve kesme kapasitesini etriye donatı çubukları olmaksızın geri kazanması için daha fazla miktarda plastik elyaf kullanıldığını göstermektedir. Bu çalışmalardaki gibi farklı katkı maddelerinin (örneğin, plastik ve çelik fiberler, geogrid malzemeler, ..., gibi) ilave edildiği tam ölçekli betonarme kirişlerin beton ve/veya eğilme-kesme mukavemetine ait mekanik özellikleri geniş çapta araştırılmış olsa da, farklı katkı maddelerinin ilave

edildiği kısa açıklıklı betonarme kirişler için yapılan araştırmaların sayısı daha azdır. Bu nedenle, bu çalışmada farklı kullanılmış katkı maddelerinin (örneğin, poli-propilen fiber, cam elyaflar, paket lastikler, çelik/beton fiberler, ..., gibi) kısa açıklıklı kirişlerin kesme kapasitesi üzerindeki performansını incelemek amacıyla bir dizi deneysel çalışma yapılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Deneysel numunelerin boyutları

Bu çalışmada farklı katkı maddelerine sahip olarak farklı beton basınç dayanım seviyelerinde, eğilme kapasitelerinin arttırılmasının araştırılması amacıyla 14 (on dört) adet kısa açıklıklı betonarme kiriş numuneleri 3 (üç) noktadan aksenal eğilme testine tabi tutulmuştur. Araştırma kapsamında ilave edilen katkı maddelerinin yapısal davranışa olan etkisinin/katkısının daha sağlıklı bir şekilde tartışılabilmesi için tüm betonarme kiriş numunelerinin kesit özellikleri benzer olarak üretilmiştir. Her bir betonarme kiriş numunesinin uzunluğu 900 mm olup, en-kesit boyutları ise sırasıyla 250 ve 300 mm'dir. Her bir betonarme kiriş numunesi farklı konfigürasyonuna sahip olarak tasarlanmıştır. Tüm betonarme kiriş numuneleri için TS708 (2010) şartnamesine uygun olarak donatı kanca uçları önceden hazırlanmış olan çelik donatı çubukları kullanılmıştır. Ayrıca her bir betonarme kiriş numunesinde boyuna doğrultuda eğilme donatı çubuğu olarak 2 (iki) adet 12 mm çapında donatı çubuğu kullanılmıştır. Çalışma kapsamında yalnızca kullanılan basınç ve askı donatı çubukları test edilen kirişler için farklılık göstermiştir. Deneysel numunelerin donatı çubukları konfigürasyonlarına ait kesit özelliklerinin detayları **Tablo 1**'de gösterilmektedir. **Tablo 1**'de görüldüğü üzere, betonarme kiriş numuneleri, kullanılan farklı ilave katkı maddeleri için farklı etriye








(enine donatı çubukları) aralıklarına sahip olarak tasarlanmıştır. B<sub>1</sub> ile B<sub>7</sub> olarak adlandırılan betonarme kiriş numuneleri için hiçbir katkı maddesi kullanılmamıştır. B<sub>7</sub> ile B<sub>14</sub> olarak adlandırılan betonarme kiriş numuneleri için ise farklı tipte katkı maddeleri (örneğin; poli-propilen fiber, cam fiber, paket lastik, çelik fiber, beton fiber, XPS köpük ve sentetik geogrid) kullanılmıştır.

Betonarme kiriş numuneleri TS 500 (2002) şartnamesine uygun C30 betonu kullanılarak katkısız ve katkılı olmak üzere, laboratuvar şartlarında üretilmiştir. Tüm deneysel kiriş numuneleri için 3 (üç) adet küp numuneler ayrıca alınmıştır ve tüm kiriş numuneler aynı şartlara sahip olarak kür edilmiştir. Kür işlemi sürecinde temin edilen küp numunelerin 28 (yirmi sekiz) günlük beton karakteristik basınç dayanımları ASTM C 39-01 (2001) standardına uygun olarak beton basınç testleri yapılarak elde edilmiştir. Kübik testlerden elde edilen beton karakteristik basınç dayanım seviyeleri **Tablo 1**'de ayrıca verilmiştir. Betonun basınç dayanım seviyeleri her bir betonarme kiriş numunesinde 21.13 ile 39.83 MPa arasında değişen farklılıklara sahiptir. Donatı çubukları için yapılan donatı çekme testleri ile malzeme mekanik özelliklerini sağlıklı bir şekilde yansıtan gerilme-birim şekil değiştirme ilişkileri elde edilmiştir. Elde edilen ilişkiye göre 12 mm çapındaki boyuna eğilme donatı çubuklarının akma ve kopma dayanımları sırasıyla 452 ve 580 MPa olarak ve akma ve kopma dayanımlarına karşılık gelen birim şekil değiştirmeler ise sırasıyla 0.0022 ve 0.0108 mm/mm olarak elde edilmiştir. Buna karşılık 8 mm çapındaki enine (etriye) donatı çubuklarının akma ve kopma dayanımları sırasıyla 510 ve 610 MPa olarak ve akma ve kopma dayanımlarına karşılık gelen birim şekil değiştirmeler ise sırasıyla 0.0026 ve 0.0355 mm/mm olarak elde edilmiştir.

**Tablo 1.** Deneysel numunelerin donatı çubukları konfigürasyonlarına ait kesit özellikleri.

Numune numarası	Betonarme kiriş detayı	Katkı maddesi	$\rho_h$ (mm/mm)	$\rho_t$ (mm/mm)	$\rho_c$ (mm/mm)	S (mm)	$f_c$ (MPa)	Katkı maddesi miktarı (g)	İlave etriye malzemesi (m <sup>2</sup> )
B <sub>1</sub>		x	x	0.0033	0.0033	Ø8/400	28.13	x	x
B <sub>2</sub>		x	0.0033	0.0033	0.0015	Ø8/230	24.47	x	x
B <sub>3</sub>		x	0.0033	0.0033	0.0033	Ø8/200	36.10	x	x
B <sub>4</sub>		x	x	0.0033	0.0033	Ø8/140	39.83	x	x
B <sub>5</sub>		x	x	0.0033	0.0033	Ø8/130	34.33	x	x
B <sub>6</sub>		x	x	0.0035	0.0035	Ø8/220	35.80	x	x
B <sub>7</sub>		x	x	0.0035	0.0035	Ø8/150	22.40	x	Geo-grid 0.45

Kullanılan Farklı Katkı Maddelerinin ve Farklı Beton Dayanım Seviyelerinin Kısa Kirişlerin Sünekliğine Etkisi

B <sub>8</sub>		Poli-propilen fiber	x	0.0033	0.0033	Ø8/130	24.30	630	x
B <sub>9</sub>		Cam fiber	x	0.0033	0.0033	Ø8/100	23.73	470	x
B <sub>10</sub>		Paket lastik	0.0015	0.0033	0.0015	Ø8/150/220	33.70	1500	x
B <sub>11</sub>		Çelik fiber	0.0033	0.0033	0.0033	Ø8/150	26.40	850	x
B <sub>12</sub>		Beton fiber	x	0.0035	0.0035	Ø8/150	21.13	1800	x
B <sub>13</sub>		XPS köpük	x	0.0033	0.0033	Ø8/140	31.13	250	x
B <sub>14</sub>		Sentetik geogrid	x	0.0033	0.0033	Ø8/140	25.60	278	x

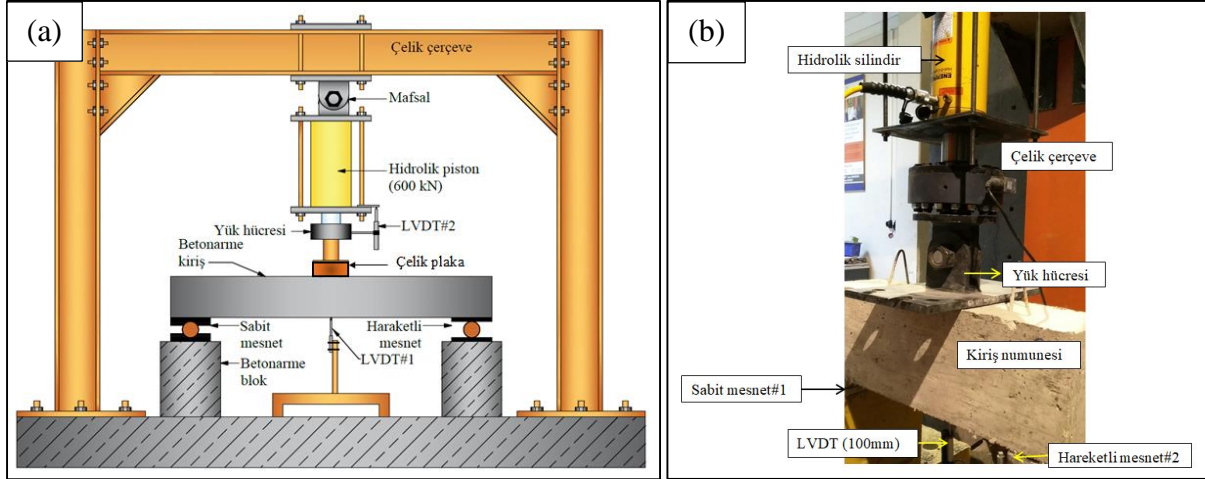
$\rho_a$ : Askı çubuklarının donatı oranı,  $\rho_c$ : Çekme çubuklarının donatı oranı,  $\rho_c$ : Basınç çubuklarının donatı oranı, S: etriye aralığı.



## 2.2. Deneysel kurulum

Çalışmanın amacı doğrultusunda tasarlanan deneysel kurulum Şekil 1’de şematik olarak gösterilmiştir. Yükleme, betonarme kiriş numunesinin üst yüzeyinin ortasında

tek bir noktadan olmak üzere eksenel eğilme yükü (monotonik) olarak uygulanmıştır. Böylece numunelerin mesnetleri de dâhil olmak üzere, yükleme 3 (üç) noktadan yapılarak, tüm numunelerde çekme ve eğilme çatlaklarının oluşması sağlanmıştır.



Şekil 1. Deneysel kurulum: (a) şematik gösterimi; (b) perspektif görünüm.

Betonarme taşıyıcı kiriş numunelerinin yapısal davranışlarının sağlıklı bir şekilde yansıtılabilmesi açısından, yük-deplasman ilişkilerinin ölçülebilmesi için, betonarme kiriş numunelerinin merkezi (orta noktası) alt yüzeyine, yükleme doğrultusu ile aynı hizada olacak şekilde, 1 (bir) adet 100 mm'lik doğrusal değişken yer değiştirme ölçer (LVDT) yerleştirilmiştir. Deplasman miktarının, basit mesnetlerin olası yanal hareketinden dolayı hassasiyetinin doğrulanabilmesi için yük hücresi ile hidrolik silindir arasına da ayrıca 1 (bir) adet 200 mm'lik doğrusal değişken yer değiştirme ölçer (LVDT) yerleştirilmiştir. Tek bir noktadan yapılan eksenel basınç (monotonik yükleme) testlerinde 1 (bir) adet 60 ton (600 kN) kapasiteli hidrolik silindir ile hidrolik silindirin ön yüzeyine vidalı 1 (bir) adet 60 ton (600 kN) kapasiteli yükleme hücresi kullanılmıştır. Eksenel eğilme yüküne maruz betonarme kiriş numunelerinin eğilme davranışı sırasında hareketli

mesnetin yatay doğrultuda yer değiştirme hareketine karşılık yükün numune yüzeyine her zaman  $90^0$  olarak etki ettirilebilmesi amacıyla çelik çerçeve ile hidrolik silindir arası mafsallı olarak inşa edilmiştir.

Geliştirilen deneysel tasarım kapsamında betonarme kiriş numunelerindeki boyuna ve enine donatı çubukları ile ilave katkı maddeleri, elde edilen farklı talep yüklerinin daha sağlıklı bir şekilde tartışılabilmesi amacıyla değişen boyut/adet ve miktarlarda uygulanmıştır. Monotonik yükleme sistemi ile eş-zamanlı ölçülen yük-deplasman ilişkisine bağlı olarak, elastik veya elastik ötesi davranışlar ve göçme modları, yük taşıma kapasitesi parametresine, kullanılan katkı maddesi türüne, askı/çekme ve basınç donatı oranına ve karakteristik beton basınç dayanım özelliklerine bağlı olarak tartışılmıştır. Böylece geliştirilen deneysel tasarım kapsamında her bir deneysel numune için değişen şartların yapısal davra-

nışına olan etkisinin daha sağlıklı bir şekilde tahmin edilmesi sağlanmıştır. Deneysel kurulum için betonarme kiriş numunelerine yerleştirilen tüm ölçüm cihazları bir veri toplama sistemi (data-acquisition system) ile eş-zamanlı olarak ölçülerek bilgisayara kaydedilmiştir.

### 3. Bulgular

Çalışma kapsamında kullanılan farklı katkı maddelerinin, uygulanan farklı etriye aralıklarının, tasarlanan farklı oranlarda askı, çekme ve basınç donatısı oranlarının ve yapılan basınç testleri sonucu elde edilen farklı karakteristik beton basınç dayanımlarının, taşıyıcı betonarme kısa açıklıklı kirişlerin süneklik düzeylerine ve göçme modlarına olan etkilerinin daha sağlıklı bir şekilde anlaşılabilmesi amacıyla 14 (on dört) adet betonarme kısa kiriş numuneleri üç noktadan aksel eğilme testine tabi tutulmuştur. Deneysel çalışmada aksel eğilme yükü monotonik olarak betonarme kiriş numunesi göçme moduna ulaşıncaya kadar devam ettirilmiştir. Kısa açıklıklı kirişlerde yük taşıma kapasitesinin büyük bir bölümünün, eğilme çatlaklarının oluşmasından sonra özellikle diyagonal doğrultudaki basınç çubukları tarafından iletilen yüke bağlı olmasından ve oluşan kısmi eğilme çatlaklarından sonra kısa açıklıklı kirişlerin kendi eğilme kapasitelerine ulaşmadan kesme davranışından dolayı gevrek bir şekilde göçmesi nedeniyle, yürütülen deneysel çalışmadan elde edilen verilerin en sağlıklı değerlendirilmesi, karşılaştırma ve sağlama yapılarak doğrulanabilmiştir. Bunun için de deneysel numuneler, her bir grupta 1 (bir) adet katkısız numune olmak üzere üçerli bir set olacak şekilde 5 (beş) gruba ayrılmıştır. Her bir gruptaki deneysel veriler ölçülen yük-deplasman ilişkisine ve göçme modu için yapılan gözlemlere göre değerlendirilmiştir.

#### 3.1. Grup B<sub>1</sub>, B<sub>7</sub> ve B<sub>11</sub>

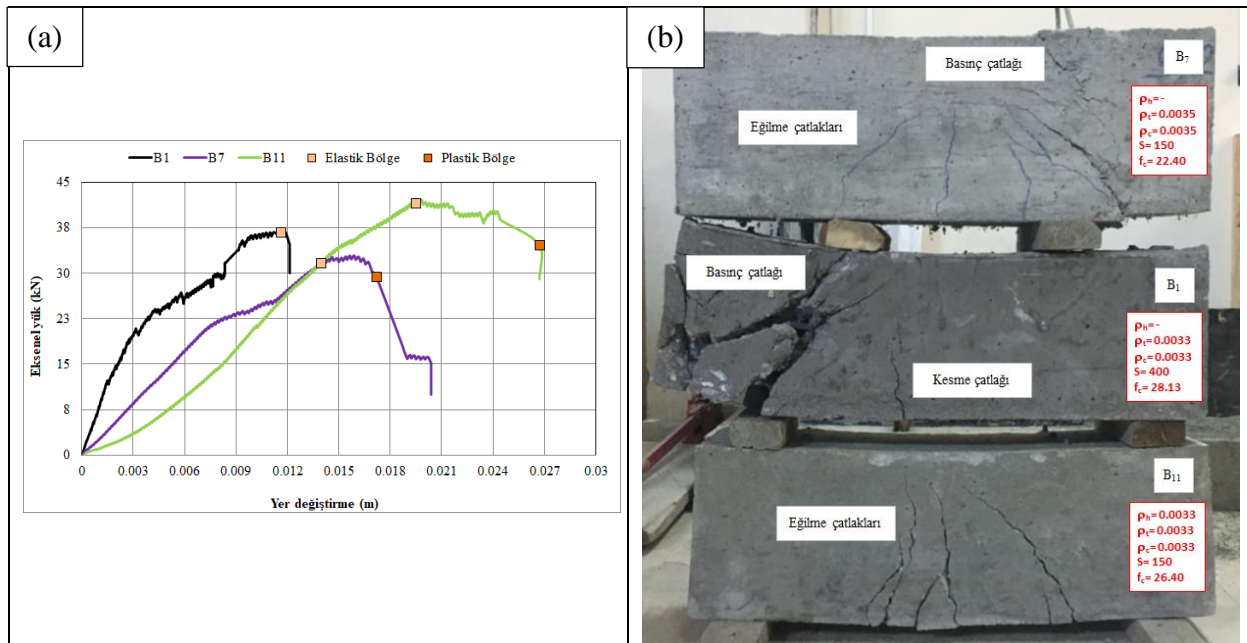
Bu grupta B<sub>1</sub> ve B<sub>7</sub> numuneleri katkısız olup, B<sub>11</sub> numunesinde ise çelik fiber katkı maddesi kullanılmıştır. B<sub>1</sub> numunesinde herhangi bir ilave etriye malzemesi uygulaması yapılmazken, B<sub>7</sub> numunesinde ise ilave etriye malzemesi olarak geogrid uygulaması yapılarak, katkısız numuneler arasında da bir farklılık oluşturulmuştur. Katkılı olan B<sub>11</sub> numunesinde de herhangi bir ilave etriye uygulaması yapılmamıştır. Katkısız olan numunelerde askı donatısı kullanılmazken, katkılı numunede 0.0033 askı donatısı oranı uygulaması yapılmıştır. B<sub>1</sub> ve B<sub>11</sub> numunelerinde benzer 0.0033 çekme ve basınç donatısı oranı uygulanırken, B<sub>7</sub> numunesinde ise artırılan 0.0035 çekme ve basınç donatısı oranı kullanılarak katkısız numuneler arasında bir başka farklılık daha oluşturulmuştur. Katkısız numunelerdeki bir başka farklılık ise uygulanan etriye aralığı ve elde edilen beton basınç dayanımı parametreleri ile sağlanmıştır. B<sub>1</sub> katkısız numunesindeki etriye aralığı 400 mm olarak uygulanırken B<sub>7</sub> katkısız ve B<sub>11</sub> katkılı numunelerinde ise tartışmanın karşılaştırılabilir olabilmesi amacıyla benzer 150 mm olarak uygulanmıştır. B<sub>1</sub> katkısız ve B<sub>11</sub> katkılı numunelerde daha yüksek beton basınç seviyeleri ele alınırken, B<sub>7</sub> katkısız numunesinde ise buna göre daha düşük beton basınç seviyesi ele alınmıştır. İlk grup için göçme moduna kadar yürütülen aksel eğilme testi sonuçları **Şekil 2**'de özetlenmiştir.

B<sub>1</sub> katkısız numune hiçbir şekilde eğilme kapasitesine ulaşmadan, kesme ve mesnet bölgesinde aşırı basınç kırılmasından dolayı oldukça gevrek bir davranış gösterirken, B<sub>7</sub> katkısız ve B<sub>11</sub> katkılı numunelerde ise iletilen yük seviyesine bağlı olarak meydana gelen eğilme çatlaklarından dolayı daha



sünek bir davranış sergilenmiştir. B<sub>11</sub> katkılı numunenin B<sub>7</sub> katkısız numunedan ayrılan bir farklılığı, çelik fiber sayesinde katkılı numunede belirgin bir basınç kırılmasının gerçekleşmemesidir. B<sub>1</sub> katkısız numunesine göre B<sub>7</sub> katkısız ve B<sub>11</sub> katkılı numunelerin ölçülen talep yükü açısından karşılaştırılmasından, B<sub>7</sub> katkısız numunede % 20 oranında artan yer değiştirme seviyesinde % 14 oranında bir azalma kaydedilirken, B<sub>11</sub> katkılı numunede ise % 68 oranında artan yer değiştirme seviyesinde % 13 oranında bir artış hesap edilmiştir. B<sub>7</sub> katkısız ve B<sub>11</sub> katkılı numunelerde azaltılan etriye aralığı sayesinde elde edilen sü-

nek davranıştan dolayı beklenti doğrultusunda rijitlikler de azalmıştır. Azalan rijitlikler, B<sub>1</sub> katkısız numunesine göre B<sub>7</sub> katkısız ve B<sub>11</sub> katkılı numunelerde sırasıyla % 35 ve % 33 oranında hesap edilmiştir. B<sub>7</sub> katkısız numunesine göre B<sub>11</sub> katkılı numunede artan süneklik oranı ise % 11 oranında hesap edilmiştir. Ayrıca B<sub>1</sub> katkısız numunesine göre B<sub>7</sub> katkısız ve B<sub>11</sub> katkılı numunelerin artırılan enerji yutma kapasitesi de sırasıyla % 36 ve % 122 oranında hesap edilmiştir. Bu grup için ölçülen ve/veya hesap edilen bulgular **Tablo 2**'de özetlenmiştir.



Şekil 2. Grup B<sub>1</sub>, B<sub>7</sub> ve B<sub>11</sub> eğilme testi sonucu: (a) yük-deplasman ilişkisi; (b) göçme modu.

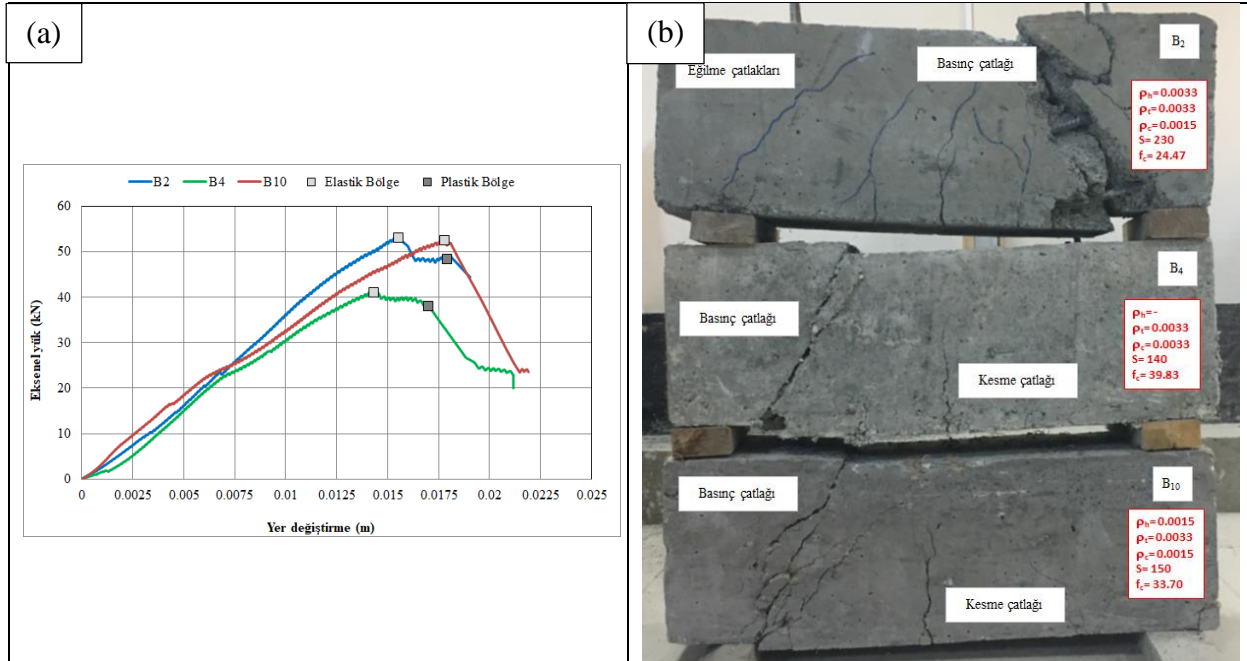
### 3.2. Grup B<sub>2</sub>, B<sub>4</sub> ve B<sub>10</sub>

Bu grupta B<sub>2</sub> ve B<sub>4</sub> numuneleri katkısız olup, B<sub>10</sub> numunesinde ise paket lastik katkı maddesi kullanılmıştır. Katkısız ve/veya katkılı numunelerin hiç birisinde herhangi bir ilave etriye malzemesi uygulaması yapılmamıştır. B<sub>4</sub> katkısız olan numunede askı donatısı kullanılmazken, B<sub>2</sub> katkısız ve B<sub>10</sub> katkılı numunelerde sırasıyla 0.0033

ve 0.0015 askı donatısı oranı uygulaması yapılmıştır. B<sub>4</sub> katkısız olan numunede benzer 0.0033 çekme ve basınç donatısı oranı uygulanırken, B<sub>2</sub> katkısız ve B<sub>10</sub> katkılı numunelerde ise değişen sırasıyla 0.0033 ve 0.0015 çekme ve basınç donatısı oranı kullanılarak katkısız numuneler arasında başka bir farklılık oluşturulmuştur. Katkısız numunelerdeki bir başka farklılık

ise uygulanan etriye aralığı ve elde edilen beton basınç dayanımı parametreleri ile sağlanmıştır. B<sub>2</sub> katkısız numunesindeki etriye aralığı 230 mm olarak uygulanırken B<sub>4</sub> katkısız ve B<sub>10</sub> katkılı numunelerinde ise tartışmanın karşılaştırılabilir olabilmesi amacıyla sırasıyla 140 ve 150 mm olarak uygulanmıştır. B<sub>4</sub> katkısız ve B<sub>10</sub> katkılı

numunelerde daha yüksek beton basınç seviyeleri ele alınırken, B<sub>2</sub> katkısız numunesinde ise buna göre daha düşük beton basınç seviyesi ele alınmıştır. İkinci grup için göçme moduna kadar yürütülen eksenel eğilme deneyinin sonuçları Şekil 3'de özetlenmiştir.



Şekil 3. Grup B<sub>2</sub>, B<sub>4</sub> ve B<sub>10</sub> eğilme testi sonucu: (a) yük-deplasman ilişkisi; (b) göçme modu.

B<sub>4</sub> katkısız ve B<sub>10</sub> katkılı numuneler hiçbir şekilde eğilme kapasitesine ulaşmadan, kesme ve mesnet bölgesinde basınç kırılmasından dolayı gevrek bir davranış gösterirken, B<sub>2</sub> katkısız numunesi de iletilen yük seviyesine bağlı olarak eğilme çatlakları meydana gelmesine ve kesme davranışının oluşmamasına rağmen, mesnet bölgesinde basınç kırılmasından dolayı gevrek davranış sergilemiştir. B<sub>2</sub> katkısız numunenin B<sub>4</sub> katkılı ve B<sub>10</sub> katkısız numunelerden ayrılan bir farklılığı, askı donatısının kullanılmasına bağlı olarak eğilme çatlaklarının meydana gelmesidir. B<sub>2</sub> katkısız numunesine göre B<sub>4</sub> katkısız ve B<sub>10</sub> katkılı numunelerin ölçülen talep yükü açısından karşılaştırılmasından, B<sub>4</sub> katkısız numunede %

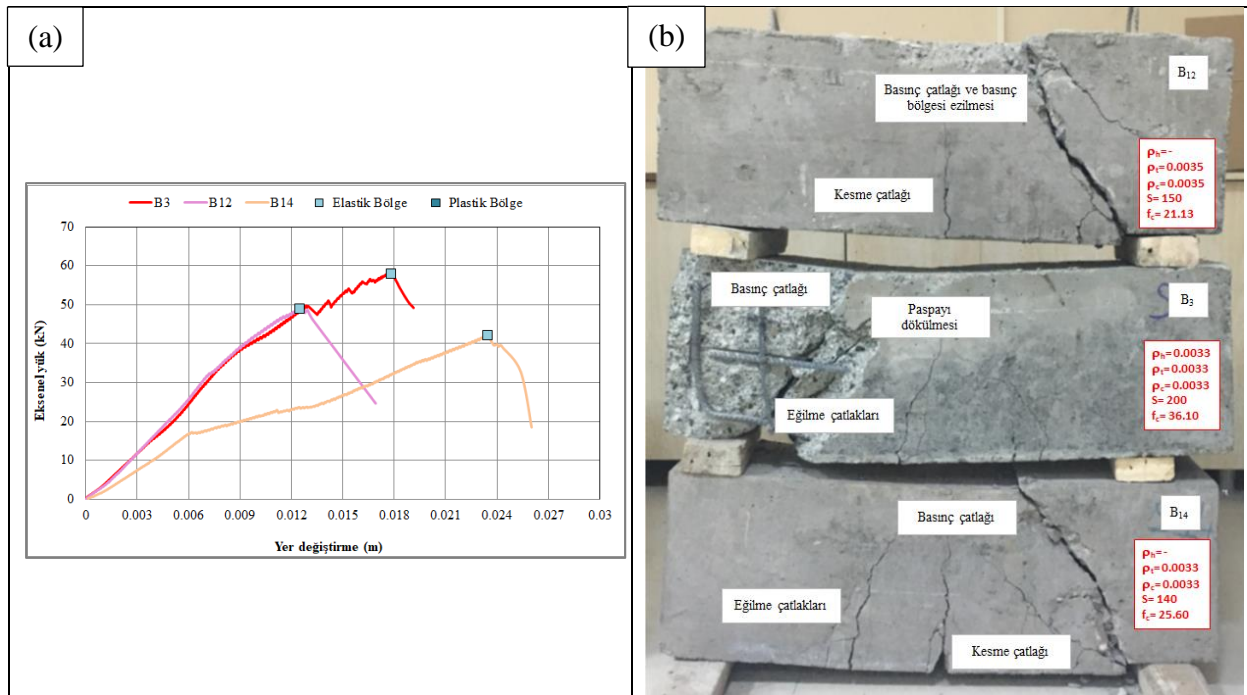
8 oranında azalan yer değiştirme seviyesinde % 23 oranında bir azalma kaydedilirken, B<sub>10</sub> katkılı numunede ise % 15 oranında artan yer değiştirme seviyesinde % 1 oranında bir azalma hesap edilmiştir. B<sub>4</sub> katkısız ve B<sub>10</sub> katkılı numunelerde azaltılan etriye aralığına rağmen, elde edilen gevrek davranıştan dolayı beklentinin aksine rijitlikler de azalmıştır. Azalan rijitlikler, B<sub>2</sub> katkısız numunesine göre B<sub>4</sub> katkısız ve B<sub>10</sub> katkılı numunelerde sırasıyla % 16 ve % 14 oranında hesap edilmiştir. B<sub>2</sub> katkısız numunesine göre B<sub>4</sub> katkısız numunedeki artan süneklik oranı ise yalnızca % 3 oranında hesap edilmiştir. Ayrıca B<sub>2</sub> katkısız numunesine göre B<sub>4</sub> katkısız ve B<sub>10</sub> katkılı numunelerin değişen enerji

yutma kapasitesi de sırasıyla % 11 oranında bir azalma ve % 13 oranında bir artış hesap edilmiştir. Bu grup için ölçülen ve/veya hesap edilen bulgular **Tablo 2**'de özetlenmiştir.

### 3.3. Grup B<sub>3</sub>, B<sub>12</sub> ve B<sub>14</sub>

Bu grupta B<sub>3</sub> numunesi katkısız olup, B<sub>12</sub> ve B<sub>14</sub> numunesinde ise sırasıyla beton fiber ve sentetik geogrid katkı maddeleri kullanılmıştır. Katkısız ve/veya katkılı numunelerin hiç birisinde herhangi bir ilave etriye malzemesi uygulaması yapılmamıştır. Katkılı olan numunelerde askı donatısı kullanılmazken, katkısız numunede 0.0033 askı donatısı oranı uygulaması yapılmıştır. B<sub>3</sub> katkısız ve B<sub>14</sub> katkılı

numunelerde benzer 0.0033 çekme ve basınç donatısı oranı uygulanırken, B<sub>12</sub> katkılı numunesinde ise artırılan 0.0035 çekme ve basınç donatısı oranı kullanılarak katkılı numuneler arasında bir farklılık oluşturulmuştur. B<sub>3</sub> katkısız numunesindeki etriye aralığı 200 mm olarak uygulanırken B<sub>12</sub> ve B<sub>14</sub> katkılı numunelerinde ise tartışmanın karşılaştırılabilir olabilmesi amacıyla sırasıyla 150 ve 140 mm olarak uygulanmıştır. B<sub>3</sub> katkısız numunede daha yüksek beton basınç seviyeleri ele alınırken, B<sub>12</sub> ve B<sub>14</sub> katkısız numunelerde ise buna göre daha düşük beton basınç seviyesi ele alınmıştır. Üçüncü grup için göçme moduna kadar yürütülen eksenel eğilme testi sonuçları **Şekil 4**'de özetlenmiştir.



**Şekil 4.** Grup B<sub>3</sub>, B<sub>12</sub> ve B<sub>14</sub> eğilme testi sonucu: (a) yük-deplasman ilişkisi; (b) göçme modu.

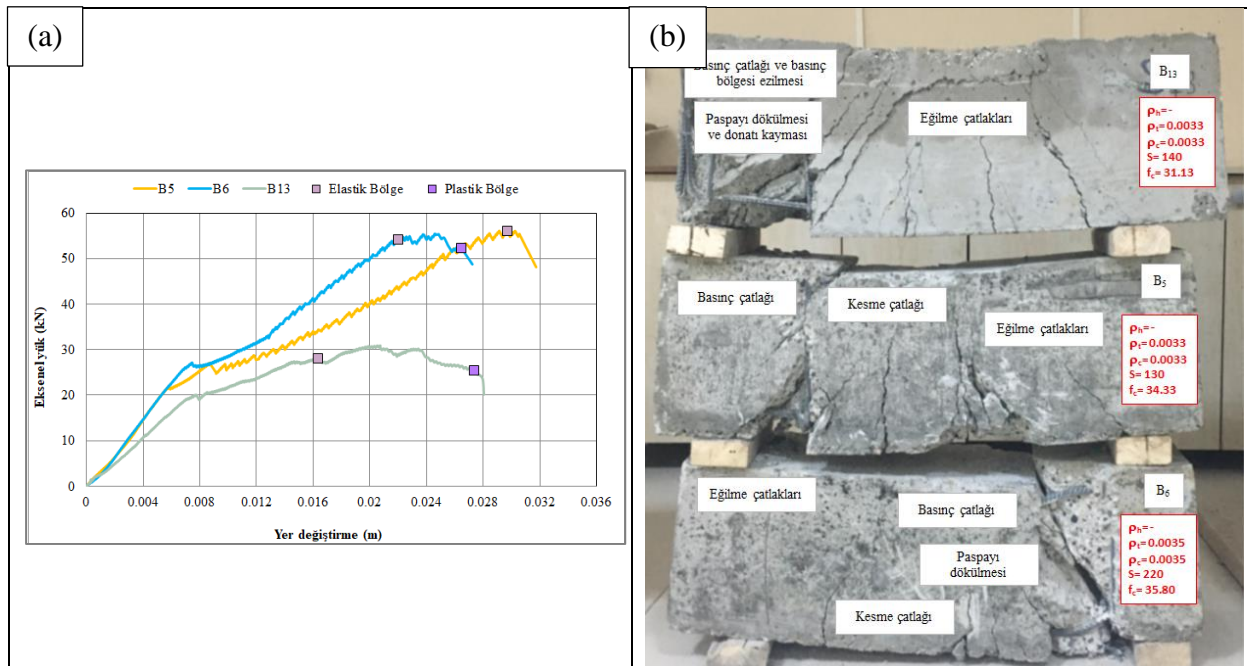
Her ne kadar B<sub>3</sub> katkısız ve B<sub>14</sub> katkılı numunelerde kısmi eğilme çatlakları ortaya çıkmış ve B<sub>3</sub> katkısız numunede kesme çatlakları oluşmamış olsa da, B<sub>3</sub> katkısız ile B<sub>12</sub> ve B<sub>14</sub> katkılı numuneler hiçbir şekilde

eğilme kapasitelerine ulaşmadan, kesme ve mesnet bölgesinde basınç kırılmasından dolayı gevrek davranış sergilemiştir. B<sub>12</sub> ve B<sub>14</sub> katkılı numunelerin yapısal davranışı için ne beton fiberler ve ne de sentetik

geogrid katkı maddeleri avantaj sağlamıştır. B<sub>3</sub> katkısız numunesine göre B<sub>12</sub> ve B<sub>14</sub> katkılı numunelerin deneysel ölçülen talep yükü açısından karşılaştırılmasından, B<sub>12</sub> katkılı numunede % 30 oranında azalan yer değiştirme seviyesinde % 16 oranında bir azalma kaydedilirken, diğer B<sub>14</sub> katkılı numunede ise % 32 oranında artan yer değiştirme seviyesinde % 27 oranında bir düşüş hesap edilmiştir. B<sub>12</sub> ve B<sub>14</sub> katkılı numunelerde etriye aralığı azaltılmasına rağmen sünek bir davranış elde edilememiştir. Dolayısıyla yer değiştirme sünekliği hesap edilememiştir. Ayrıca katkılı numuneler için rijitlikler de tartışılabilir olarak hesaplanamamıştır. Değişken rijitlikler, B<sub>3</sub> katkısız numunesine göre B<sub>12</sub> ve B<sub>14</sub> katkılı numunelerde sırasıyla % 20 oranında bir artış ve % 45 oranında bir düşüş şeklinde hesap edilmiştir. B<sub>3</sub> katkısız numunesine göre B<sub>12</sub> ve B<sub>14</sub> katkılı numunelerin azalan enerji yutma kapasitesi sırasıyla % 26 ve % 17 oranında hesap edilmiştir. Bu grup için ölçülen ve/veya hesap edilen bulgular **Tablo 2**'de özetlenmiştir.

### 3.4. Grup B<sub>5</sub>, B<sub>6</sub> ve B<sub>13</sub>

Bu grupta B<sub>5</sub> ve B<sub>6</sub> numuneleri katkısız olup, B<sub>13</sub> numunesinde ise XPS köpük katkı maddesi kullanılmıştır. Katkısız ve/veya katkılı numunelerin hiç birisinde herhangi bir ilave etriye malzemesi uygulaması yapılmamıştır. Katkısız ve/veya katkılı numunelerin hiç birisinde askı donatısı uygulaması kullanılmamıştır. B<sub>5</sub> katkısız ve B<sub>13</sub> katkılı numunelerde benzer 0.0033 çekme ve basınç donatısı oranı uygulanırken, B<sub>6</sub> numunesinde ise artırılan 0.0035 çekme ve basınç donatısı oranı kullanılarak katkısız numuneler arasında bir farklılık oluşturulmuştur. Katkısız numunelerdeki bir başka farklılık ise uygulanan etriye aralığı ile sağlanmıştır. B<sub>5</sub> katkısız ve B<sub>13</sub> katkılı numunesindeki etriye aralığı sırası ile 130 ve 140 mm olarak uygulanırken B<sub>6</sub> katkısız numunede ise tartışmanın karşılaştırılabilir olabilmesi amacıyla 220 mm olarak uygulanmıştır. Katkısız ve/veya katkılı numunelerin tümünde yüksek beton basınç seviyesi ele alınmıştır. Dördüncü grup için göçme moduna kadar yürütülen eksenel eğilme testi sonuçları **Şekil 5**'de özetlenmiştir.



**Şekil 5.** Grup B<sub>5</sub>, B<sub>6</sub> ve B<sub>13</sub> eğilme testi sonucu: (a) yük-deplasman ilişkisi; (b) göçme modu.

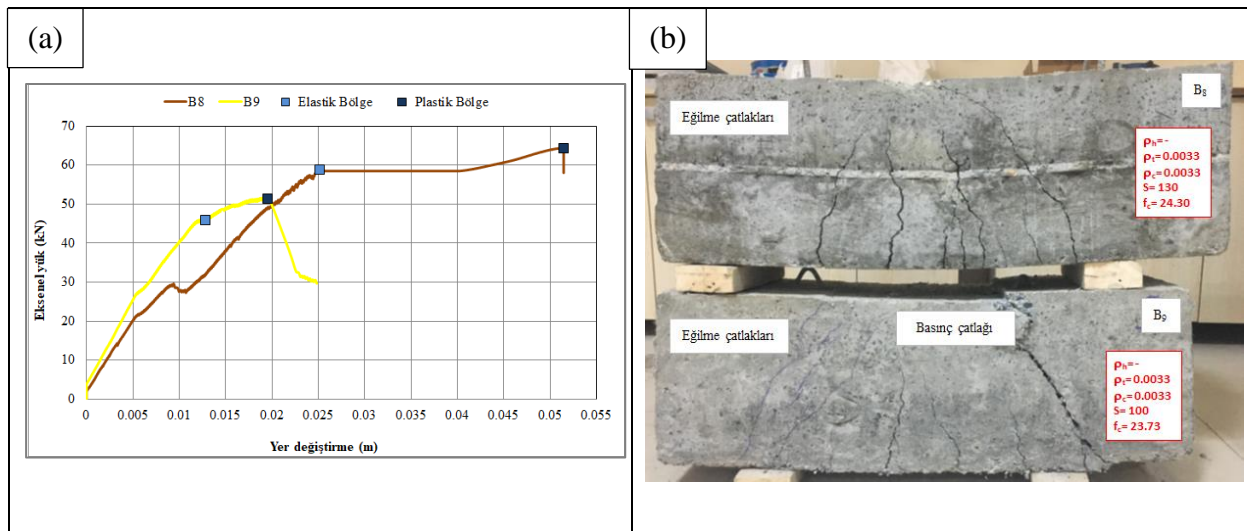


B<sub>5</sub> ve B<sub>6</sub> katkısız numuneler, başlangıçta oluşan eğilme çatlaklarına rağmen, hiçbir şekilde eğilme kapasitesine ulaşmadan, kesme ve mesnet bölgesinde aşırı basınç kırılmasından dolayı gevrek bir davranış gösterirken, B<sub>13</sub> katkısız numunesinde ise iletilen yük seviyesine bağlı olarak meydana gelen eğilme çatlakları ve ortaya çıkmayan kesme çatlaklarından dolayı nispeten daha sünek bir davranış sergilenmiştir. Katkılı ve katkısız numunelerin tümü için göçme modunda basınç kırılması gerçekleşmiştir. B<sub>5</sub> katkısız numunesine göre B<sub>6</sub> katkısız ve B<sub>13</sub> katkılı numunelerin ölçülen talep yükü açısından karşılaştırılmasından, B<sub>6</sub> katkısız numunede % 26 oranında azalan yer değiştirme seviyesinde % 3 oranında bir azalma kaydedilirken, B<sub>13</sub> katkılı numunede ise % 45 oranında daha da artan yer değiştirme seviyesinde % 50 oranında bir azalma hesap edilmiştir. B<sub>5</sub> katkısız ve B<sub>13</sub> katkılı numunelerde azaltılan etriye aralığı sayesinde genel anlamda elde edilen sünek davranıştan dolayı beklenti doğrultusunda rijitlikler de azalmıştır. Bu anlayışa göre artan ve azalan rijitlikler, B<sub>5</sub> katkısız numunesine göre B<sub>6</sub> katkısız ve B<sub>13</sub> katkılı numunelerde sırasıyla % 31 ve % 9 oranında hesap edilmiştir. B<sub>6</sub> katkısız numunesi-

ne göre B<sub>13</sub> katkılı numunedeki artan süneklik oranı ise % 40 oranında hesap edilmiştir. Ayrıca B<sub>5</sub> katkısız numunesine göre B<sub>6</sub> katkısız ve B<sub>13</sub> katkılı numunelerde belirtilen tasarım gerekçeleri sonucunda azaltılan enerji yutma kapasitesi de sırasıyla % 12 ve % 42 oranında hesap edilmiştir. Bu grup için ölçülen ve/veya hesap edilen bulgular **Tablo 2**'de özetlenmiştir.

### 3.5. Grup B<sub>8</sub> ve B<sub>9</sub>

Bu grupta poli-propilen ve cam fiber katkı maddeleri kullanılan B<sub>8</sub> ve B<sub>9</sub> numuneleri yer almaktadır. Her iki katkılı numunelerde de ilave etriye malzemesi uygulaması yapılmamıştır. Aynı şekilde her iki katkılı numunelerde de askı donatısı kullanılmamıştır. Yine her iki katkılı numunelerde de benzer 0.0033 çekme ve basınç donatısı oranı uygulanmıştır. Katkılı numunelerde birbirlerine yakın beton basınç dayanım seviyesi elde edilirken, tek farklılık uygulanan etriye aralığı ile sağlanmıştır. B<sub>8</sub> ve B<sub>9</sub> katkılı numunelerdeki etriye aralıkları sırasıyla 130 ve 100 mm olarak uygulanmıştır. Son grup için göçme moduna kadar yürütülen eksenel eğilme testi sonuçları **Şekil 6**'da özetlenmiştir.



**Şekil 6.** Grup B<sub>8</sub> ve B<sub>9</sub> eğilme testi sonucu: (a) yük-deplasman ilişkisi; (b) göçme modu.

Her iki B<sub>8</sub> ve B<sub>9</sub> katkılı numunelerde iletilen yük seviyesine bağlı olarak meydana gelen eğilme çatlaklarından dolayı sünek davranış sergilenmiştir. B<sub>8</sub> katkılı numunesinin B<sub>9</sub> katkılı numunesinden ayrılan bir farklılığı, mekanik çekme ve iletilen yükler arasında köprüleme gibi ana özelliklere sahip poli-propilen fiber sayesinde belirgin bir basınç kırılmasının gerçekleşmemesidir. B<sub>8</sub> katkılı numunesine göre B<sub>9</sub> katkılı numunesinin ölçülen talep yükü açısından karşılaştırılmasından, % 49 oranında azalan yer değiştirme seviyesinde % 22 oranında bir azalma hesap edilmiştir. B<sub>9</sub> katkılı numunede etriye aralıkları azaltılmasına

rağmen, B<sub>8</sub> numunesindeki kadar süneklik elde edilememiştir. Dolayısıyla B<sub>9</sub> katkılı numunede beklenti doğrultusunda rijitlik de artmıştır. Artan rijitlik seviyesi, B<sub>8</sub> katkılı numunesine göre % 54 oranında hesap edilmiştir. B<sub>8</sub> katkılı numunesine göre B<sub>9</sub> katkılı numunedeki azalan yer değiştirme süneklik oranı ise % 25 oranında hesap edilmiştir. Ayrıca B<sub>8</sub> katkılı numunesine göre B<sub>9</sub> katkılı numunenin azalan enerji yutma kapasitesi de % 63 ve oranında hesap edilmiştir. Son grup için de ölçülen ve/veya hesap edilen bulgular **Tablo 2'**de özetlenmiştir.

**Tablo 2** Ölçülen ve/veya hesap edilen deneysel bulgular

Numune numarası	Elastik Bölge		Plastik Bölge		Rijitlik (kN/m)	Süneklik (m/m)	Enerji (Joule)	Etriye aralığı (mm)	f <sub>c</sub> (Mpa)	Göçme modu
	Yük	Dep.	Yük	Dep.						
B <sub>1</sub>	36.82	0.0116	-	-	3173.9	-	303.1	400	28.13	Gevrek, eğilme yok, kesme var, basınç kırılması
B <sub>2</sub>	53.18	0.0155	48.54	0.0179	3432.9	1.15	589.8	230	24.47	Gevrek, eğilme var, kesme yok, basınç kırılması
B <sub>3</sub>	58.07	0.0178	-	-	3268.8	-	668.2	200	36.10	Gevrek, eğilme var, kesme yok, basınç kırılması, pas payı dökülmesi
B <sub>4</sub>	41.21	0.0143	38.11	0.0170	2882.3	1.19	526.6	140	39.83	Gevrek, eğilme yok, kesme var, basınç kırılması
B <sub>5</sub>	56.16	0.0297	-	-	1891.2	-	1069.9	130	34.33	Gevrek, eğilme var, kesme var, basınç kırılması
B <sub>6</sub>	54.33	0.0219	52.39	0.0264	2475.8	1.20	942.1	220	35.80	Gevrek, eğilme var, kesme var, basınç kırılması, pas payı dökülmesi
B <sub>7</sub>	31.74	0.0140	29.45	0.0172	2272.6	1.23	411.7	150	22.40	Sünek, eğilme var, kesme yok, basınç kırılması
B <sub>8</sub>	58.97	0.0251	64.34	0.0514	2347.7	2.05	2414.0	130	24.30	Sünek, eğilme var, kesme yok, basınç kırılması yok
B <sub>9</sub>	46.05	0.0128	51.40	0.0195	3611.0	1.53	893.1	100	23.73	Sünek, eğilme var, kesme yok, basınç kırılması
B <sub>10</sub>	52.58	0.0178	-	-	2961.9	-	668.6	220	33.70	Gevrek, eğilme yok, kesme var, basınç kırılması
B <sub>11</sub>	41.61	0.0195	34.64	0.0267	2135.1	1.37	674.2	150	26.40	Sünek, eğilme var, kesme yok, basınç kırılması yok
B <sub>12</sub>	49.01	0.0124	-	-	3937.4	-	492.1	150	21.13	Gevrek, eğilme yok, kesme var, basınç kırılması
B <sub>13</sub>	28.10	0.0163	25.58	0.0274	1725.0	1.68	617.4	140	31.13	Sünek, eğilme var, kesme yok, basınç kırılması, donatı kayması
B <sub>14</sub>	42.26	0.0234	-	-	1802.7	-	620.3	140	25.60	Gevrek, eğilme var, kesme var, basınç kırılması

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada farklı katkı maddelerinin (örneğin, poli-propilen fiber, cam elyaflar, paket lastikler, çelik/beton fiberler, ..., gibi) betonarme kısa açıklıklı kirişlerin kesme kapasitesi üzerindeki performansını

incelemek amacıyla bir dizi deneysel çalışma yürütülmüştür. Toplam 14 (on dört) adet deneysel betonarme kısa-açıklıklı kiriş numuneleri, üç noktadan eksenel eğilme testine tabi tutulmuştur. Monotonik yüklenme sistemi ile eş-zamanlı ölçülen yük-deplasman ilişkisine bağlı olarak, yapısal

davranış ve göçme modları, yük taşıma kapasitesi, katkı maddesi türü, askı/çekme ve basınç bölgesi donatı oranı ile beton basınç dayanımı parametrelerine bağlı olarak tartışılmıştır. Farklı katkı maddelerine ve farklı beton dayanım seviyelerine sahip kısa-açıklıklı kirişler üzerinde yürütülen deneysel verilerden aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Elastik bölgede yük taşıma kapasitesi ve deplasman yapabilme yeteneği açısından en avantajlı katkı maddesi sırasıyla kendisine en yakın paket lastik katkı maddesine göre ortalama % 11 oranında ve sentetik geogrid katkı maddesine göre ortalama % 7 oranında bir fark oluşturan poli-propilen fiber katkı maddesi olmuştur. Plastik bölgede de aynı şekilde yük taşıma kapasitesi ve deplasman yapabilme yeteneği açısından en avantajlı katkı maddesi sırasıyla kendisine en yakın cam fiber katkı maddesine göre ortalama % 20 oranında ve XPS köpük katkı maddesine göre ortalama % 47 oranında bir fark oluşturan poli-propilen fiber katkı maddesi olmuştur. Ayrıca süneklik ve enerji yutma kapasitesi gibi yapısal parametreler dikkate alındığında, poli-propilen fiber katkı maddesi sırasıyla kendisine en yakın XPS köpük katkı maddesine göre ortalama % 18 oranında ve cam fiber katkı maddesine göre ortalama % 63 oranında bir yapısal artış sağlamaktadır.

Betonarme kiriş numunelerinde askı donatısı uygulamasının her iki katkısız ve katkılı kiriş numunelerinin yapısal davranışlarında bir kararsızlık oluşturduğu anlaşılmaktadır. Öyle ki katkısız ve katkılı numunelerde askı donatısı oranının artırılması elastik bölgede yük taşıma kapasitesinde sırasıyla ortalama %10 oranında bir artış ve % 21 oranında bir azalmaya neden olurken, deplasman yapabilme yeteneğinde ise

ortalama % 13 oranında bir azalma ve % 10 oranında bir artış sağlanabilmiştir. Dengeli donatı oranı uygulamasının yapı davranışı için yeterli olduğu gerçeğinden dolayı, çekme ve/veya basınç donatısı oranının artırılması katkısız ve katkılı numunelerde rijitlik hariç olmak üzere tüm elastik ve plastik bölgedeki yük taşıma kapasitesi ve deplasman yapabilme yeteneği ile süneklik ve enerji yutma kapasitesi yapısal davranış parametrelerinde azalmalara neden olmuştur. Deneysel çalışma sayesinde kısa açıklıklı kirişlerde etriye aralığının azaltılması ile yapı talep yükü ile rijitliğin azaltılarak, süneklik ve enerji yutma kapasitesinin artırılması konusu da doğrulanmıştır.

## 5. Kaynaklar

- American Concrete Institute (ACI), (2011). "ACI 318-14: Building Code Requirements for Structural Concrete," Farmington Hills, MI.
- ASTM C 39-01, (2001). "Standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens", Annual book of ASTM standards, Philadelphia: American Society for Testing and Materials.
- Bicer, K., Yalciner, H., Balkıs, A. B. and Kumbasaroglu, A., (2018). "Effect of corrosion on flexural strength Of reinforced concrete beams with polypropylene fibers," Journal of Construction and Building Materials, 185, pp. 574-588.
- Caglar, N., Demir, A., Ozturk, H., and Akkaya, A. (2015). "A new approach to determine the moment-curvature relationship of circular reinforced concrete columns," Computers and Concrete, 15(3), pp. 321-335.
- Campione, G., and Mangiavillano, ML., (2008). "Fibrous reinforced concrete beams in flexure: Experimental investigation, analytical modelling and



design considerations,” *Engineering structures*, 30(11), pp. 2970-2980.

Demir, A., Caglar, N., Ozturk, H., and Sumer, Y., (2016). “Nonlinear finite element study on the improvement of shear capacity in reinforced concrete T-Section beams by an alternative diagonal shear reinforcement,” *Engineering Structures*, 120, pp. 158-165.

Karami, G., Malekzadeh, P., and Shahpari, SA., (2003). “A DQEM for vibration of shear deformable nonuniform beams with general boundary conditions,” *Engineering Structures*, 25(9), pp. 1169-1178.

Khan, A., Smith, DL., and Izzuddin, BA., (2013). “Investigation of rigid-plastic beams subjected to impact using linear complementarity,” *Engineering structures*, 50, pp. 137-148.

Kumbasaroglu, A., and Korkmaz, M., (2020). “Poli-propilen fiber katkısının betonarme kirişlerde bindirme boyuna etkisi” 4. Uluslararası GAP Matematik-Mühendislik Fen Ve Sağlık Bilimleri Kongresi, pp. 36-59.

Kuo, WW., Cheng, TJ., and Hwang, SJ., (2010). “Force transfer mechanism and shear strength of reinforced concrete beams,” *Engineering Structures*, 32(6), pp. 1537-1546.

Lele, SP., and Maiti, SK., (2002). “Modelling of transverse vibration of short beams for crack detection and measurement of crack extension,” *Journal of sound and Vibration*, 257(3), pp. 559-583.

Syroka-Korol, E., and Tejchman, J., (2014). “Experimental investigations of size effect in reinforced concrete beams failing by shear,” *Engineering Structures*, 58, pp. 63-78.

TS 708, (2010). “Steel for the reinforcement of concrete-Reinforcing steel”, Turkish Standard Institution, Ankara.

TS 500, (2002). “Requirements for design and construction of reinforced concrete structures”, Turkish Institute of Standards, Ankara.

Yalciner, H., Kumbasaroglu, A., and Ergun, U., (2018). “Effects of geo-grid and conventional stirrups on reinforced concrete beams with polypropylene fibers,” *Structures*, 13, pp. 230-242.

Yazdanbakhsh, A., Altoubat, S., and Rieder, KA., (2015). “Analytical study on shear strength of macro synthetic fiber reinforced concrete beams,” *Engineering Structures*, 100, pp. 622-632.

Yu, Q., and Bažant, ZP., (2011). “Can stirrups suppress size effect on shear strength of RC beams?,” *Journal of Structural Engineering*, 137(5), pp. 607-617.

Wight, JK., and Macgregor, JG., (2012). “Reinforced Concrete Mechanics and Design,” 6 th, Editi ed., United States of America, (USA).