

BETONARME KİRİŞLERİN DAVRANIŞINI ETKİLEYEN PARAMETRELERİN DENEYSEL İNCELENMESİ

Barış ESEN *^{ID}
Abdullah GÜNDOĞAY **^{ID}
Sıla YAMAN **^{ID}
Hamide TEKELİ KABAŞ **^{ID}
Fuat DEMİR **^{ID}

Alınma:24.05.2022; düzeltme:21.08.2022; kabul:06.10.2022

Öz: Kiriş elemanlar, döşemelerden gelen düşey yükler ile deprem, rüzgar yükü gibi yatay yüklerin kolon elemanlara aktarılmasını sağlarlar. Dolayısıyla kirişlerin kapasite değerlerine etki eden parametrelerin net olarak ortaya konulması, kolonların kapasitesinin belirlenmesi kadar önem taşımaktadır. Ülkemizdeki mevcut betonarme binaların büyük çoğunluğunda beton basınç dayanımının proje dayanımından düşük olması, çekme donatısı oranının ve etriye aralığının yönetmeliklerde verilen sınır değerlere uygun olmaması karşılaşılan temel kusurlar arasında sayılabilir. Bu çalışmada, kiriş elemanlarda, beton dayanımı, çekme donatısı miktarı ve etriye aralığı parametrelerinin kiriş kapasitesi üzerindeki etkisi ½ ölçekli 16 adet betonarme kiriş numune üzerinde deneysel olarak incelenmiştir. Numuneler üç noktalı eğilme testine maruz bırakılmış ve her bir numunenin yük taşıma kapasitesi, sünekliliği, enerji tüketme kapasitesi ve rijitliği hesaplanarak yorumlanmıştır. Literatürde özellikle çok düşük beton basınç dayanımına sahip kirişlerin deneysel çalışmaları oldukça az sayıdadır. Bu nedenle yapılan çalışma kapsamında üç farklı seviyede düşük beton dayanımı dikkate alınmıştır. Elde edilen sonuçlardan beton dayanımının 5 MPa olan numunede etriye sıklaştırmasının davranış açısından çok katkısı bulunmazken, 7 ve 9 MPa beton dayanımına sahip numunelerde hasarın daha ileri aşamalara taşınmasında katkı sağladığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Beton Dayanımı, Betonarme Kirişler, Çekme Donatısı Miktarı, Kiriş Kapasitesi, Etriye Aralığı

Experimental Investigation of Parameters Affecting Behavior of Reinforced Concrete Beams

Abstract: Beam elements provide the transfer of vertical loads from the slabs and horizontal loads such as earthquake and wind loads to the column elements. Therefore, clearly revealing the parameters that affect the capacity values of the beams is as important as determining the capacity of the columns. The main defects encountered are the fact that the concrete compressive strength is lower than the project strength, ratio of tensile reinforcement and stirrup spacing are not in compliance with the limit values given in the regulations in the vast majority of existing reinforced concrete buildings in our country. In this study, the effects of concrete strength, amount of tensile reinforcement and stirrup spacing parameters on beam capacity were experimentally investigated on ½ scale 16 reinforced concrete beam specimens. The specimens were subjected to three-point bending test and the load carrying capacity, ductility, energy dissipation capacity and stiffness of each sample were calculated and interpreted. Experimental studies of beams with very low concrete compressive strength are insufficient in the literature. For this reason, three different levels of low concrete strength were taken into account within the scope of the study. From the results obtained, it was seen that the stirrup densification did not contribute much to the behavior in the

* Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 16240, Bursa

** Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 32260, Isparta

İletişim Yazarı: Hamide TEKELİ KABAŞ (hamidetekeli@gmail.com; hamidetekeli@sdu.edu.tr)

specimen with concrete strength of 5 MPa, while it contributed to the further development of the damage in specimens with concrete strength of 7 and 9 MPa.

Keywords: Concrete strength, Reinforced concrete beams, Amount of tension reinforcement, Beam capacity, Spacing of the transverse reinforcement

1. GİRİŞ

Betonarme taşıyıcı sistem elemanları, binaya etkiyen düşey ve yatay yüklerin güvenli bir şekilde taşınmasını sağlayacak şekilde tasarlanırlar. Kiriş elemanlar, döşemelerden aldıkları düşey yüklerin düşey taşıyıcı elemanlara aktarılmasında ve çerçeve etkisi oluşturarak kata etkiyen yatay yüklerin kolon elemanlara dağıtılmasında önemli görev üstlenirler. Dolayısıyla kirişler, binaya etkiyen hem düşey hem de yatay yüklerin güvenli bir şekilde kolon elemanlara aktarılmasını sağlamaktadır (Celep, 2018).

Deprem yüküne maruz bir binanın kapasitesi, taşıyıcı sistemi oluşturan elemanların kapasitesi ile doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle, taşıyıcı sistem elemanlarının kapasite hesaplarının doğru şekilde belirlenmesi önem taşımaktadır. Hesapların doğru yapılabilmesi için kapasiteyi etkileyen elemanlara ait kesit boyutları, beton dayanımı, donatı dayanımı ve donatı alanı gibi parametrelerin uygun olarak dikkate alınması gerekmektedir.

Taşıyıcı sistem elemanlarının kapasitesini etkileyen parametrelerin incelenmesi üzerine literatürde yapılmış çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Ersoy (1998) betonarme kiriş ve kolon elemanların moment kapasitelerinin belirlenmesi için kolay uygulanabilen yaklaşımlar önermiştir. Kaltakçı ve Kamanlı (1999), normal beton ve hafif beton kullanımının değişken kesitli betonarme kirişlerin basit eğilme altındaki davranışına etkisini teorik ve deneysel olarak incelemişlerdir. Ozbolt ve Bruckner (1999), minimum donatı oranının belirlenmesinde kiriş derinliğinin etkisini analitik olarak ortaya koymuştur. Minimum donatı gereksiniminin kiriş boyutuna, malzeme özelliklerine ve donatının miktarına ve tipine bağlı olduğu sonucuna varılmıştır. Henriksen ve diğ. (1999), kiriş kesiti, beton dayanımı, donatı oranı ve donatı tipi değişiminin üç noktalı eğilme altındaki betonarme kirişin davranışa etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Küçük kesitli kirişlerin en küçük dönme kapasitesine sahip olduğu ve bunun donatının düşük deformasyon kapasitesinden kaynaklandığı belirtilmiştir.

Kaltakçı ve diğ. (2001) basit eğilme altındaki betonarme elemanların davranışına etkiyen beton basınç dayanımı, sargı donatısı miktarı gibi tasarım parametrelerini incelemek için bilgisayar programı geliştirmişlerdir. Kiracı ve diğ. (2010) betonarme elemanın eğrilik sünekliliğini etkileyen faktörleri analitik olarak incelemek için sargılı ve sargısız beton modellerini kullanmıştır. Ancak, çalışmada önerilen analitik yöntemin deneysel çalışmalarla doğrulanması gerektiği vurgulanmıştır. Bazı araştırmacılar (Tekeli ve diğ., 2007; Demir ve diğ., 2007a; Demir ve diğ., 2007b) az katlı betonarme binalarda beton dayanımı değişiminin, binaların yatay yük taşıma kapasitesine etkisini değerlendirmiştir. Ancak bu çalışmalarda öneriler, teorik hesaplarla sınırlı kalarak deneysel çalışmalar ile doğrulanmamıştır. Topçu ve Gürer (2005) tarafından yapılan deneysel çalışmada ise, su/çimento oranının, donatı-çimento tipinin, kiriş etriye aralığının çatlak genişliğine ve momente olan etkileri incelenmiştir. Kirişlerde kullanılan etriyelerin aralıkları açısından inceleme yapıldığında, üretilen on altı adet kirişe ait çizilen yük-sehim, yük çatlak genişliği ve moment-eğrilik ilişkisine ait tablolardan donatı, çimento tipinin ve dozajının kirişlerin eğilme etkisi altında taşıma kapasitesine ve akma yüküne ulaşmasında çok az etkili olduğu, esas belirleyici faktörün etriye aralığı olduğu görülmüştür.

Özhan (2012) yaptığı deneysel çalışmada, beton basınç dayanımı ve donatı oranı değişiminin betonarme elemanların davranışına olan etkisini incelemiştir. Yapılan bu çalışmadaki beton dayanımları 20, 30 ve 40 MPa olarak belirlenmiştir. Bu çalışma verilen beton dayanımları ile sınırlı kalmıştır. Oysaki mevcut binalardaki çoğu beton dayanımının, projede belirtilen dayanımdan oldukça düşük olduğu bilinmektedir (Sezen ve diğ., 2003; Doğançün, 2004). Ersoy

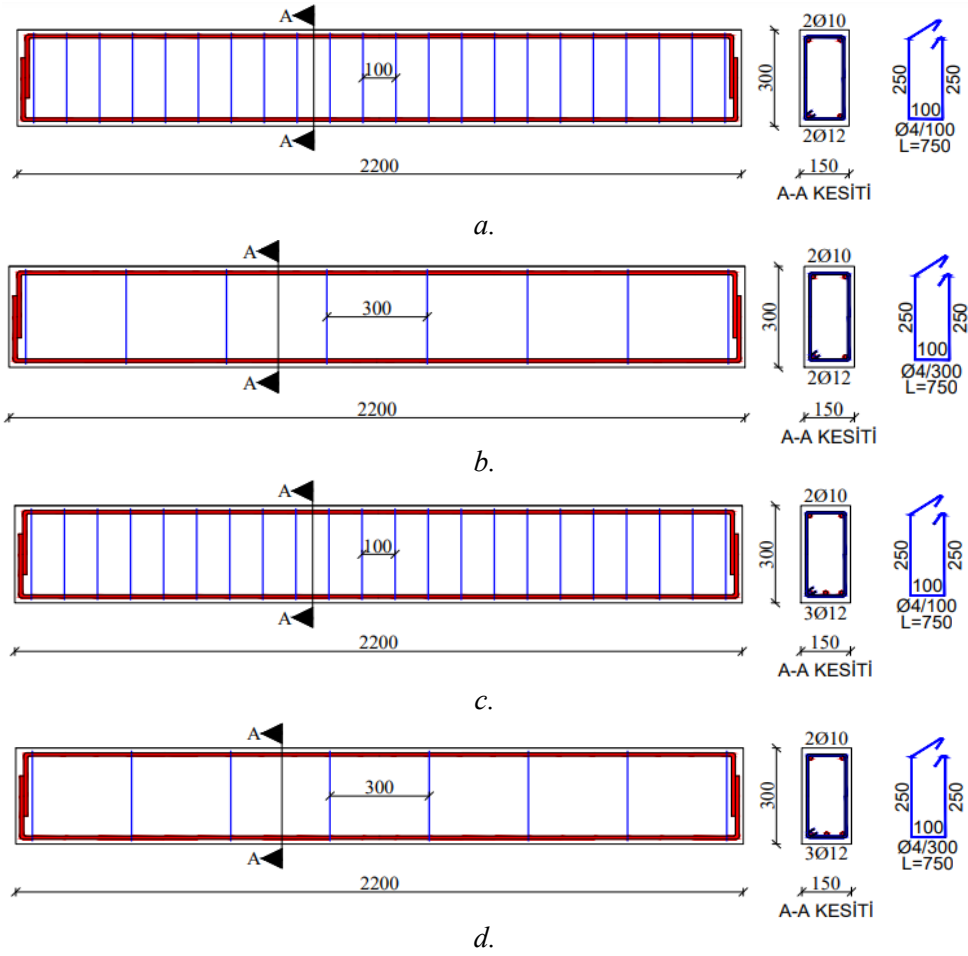
ve Ünal (2018), betonarme kiriş ve kolon elemanların moment kapasitesinin yaklaşık olarak elde edebilmek için Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde (TBDY, 2018) önerilen ifadeler, daha kesin hesaplarla elde edilenlerle kıyaslanmıştır. Meral (2018) ise aksel yük, beton basınç dayanımı, enine ve boyuna donatı oranları gibi birçok yapısal parametrenin betonarme kolon kesitinin eğrilik sünekliğine etkisini incelemiştir. Bu amaçla 512 adet moment-eğrilik analizi gerçekleştirmiş ve süneklik değerinin elde edilmesi için denklem önermiştir. Birol ve Yavaş (2018) ultra yüksek dayanımlı betona sahip kirişlerde düşük ve yüksek çekme donatısı oranlarını deneysel olarak incelemiştir. Yüksek çekme donatısı oranlarında kiriş elemanların moment kapasitesinde, süneklik ve rijitlik değerlerinde önemli miktarda artış meydana geldiği görülmüştür. Kamanlı ve Ünal (2018) betonarme kirişlerde mesnet koşulları değişiminin kiriş kesme dayanımına etkisini araştırmıştır. Ankastre mesnetli kirişlerin davranışının çok farklı olduğu ve deneysel çalışmalarda sabit mesnet koşullarının uygulanmasının daha doğru sonuçlar vereceği görülmüştür. Cengiz ve diğ. (2018) kendiliğinden yerleşen ve normal beton ile üretilen kirişlerde eğilme davranışını incelemiştir. Kendiliğinden yerleşen beton kullanılarak üretilen kirişlerin enerji tüketme kapasitelerinin daha fazla olduğunu görmüştür. Ünal ve diğ. (2018) 1/2 ölçekli betonarme kirişlerde etriye aralığı değişiminin etkisini incelemiştir. Etriye aralığının azalması kiriş üzerindeki çatlak sayısını ve enerji tüketme kapasitesini arttırmıştır. Jabir ve diğ. (2020) derin kirişlerde kesme açıklığı oranı değişiminin kirişin yük taşıma kapasitesi, yerdeğiştirme, süneklik ve rijitliğe etkisini araştırmıştır. Yapılan deneyler sonucunda kesme açıklığı oranının süneklik üzerinde etkili olmadığı görülmüştür. Sokolov vd. (2021) farklı derinliklerdeki dikdörtgen kesitli betonarme kirişlerde, donatı çapı ve donatı oranı değişiminin çatlama ve çekme rijitliğine etkisini deneysel olarak incelemiştir. Yüksek donatı oranına sahip kirişler için Eurocode 2 ve Model Code 2010'un ortalama ve maksimum çatlak genişliği tahminlerinin deney sonuçlarına yakın olduğu; düşük donatı oranına sahip kirişler için hesaplanan değerlerin ise deney sonuçlarını önemli ölçüde aştığı belirtilmiştir.

Literatürdeki çalışmalarda, çoğunlukla normal beton dayanımına sahip elemanlar için incelemeler yapılmıştır. Bu nedenle çalışma kapsamında üç farklı seviyede düşük beton dayanımı dikkate alınarak incelemeler yapılmıştır. Yapılan çalışmada, betonarme kiriş elemanlarda beton basınç dayanımı (5, 7, 9 ve 20 MPa), boyuna donatı adedi (2 ve 3) ve etriye aralığı (100 ve 300 mm) değiştirilerek parametrelerin kiriş kapasitesi üzerindeki etkisi deneysel olarak incelenmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

2.1. Numunelerin Hazırlanması

Çalışma kapsamında 150 mm×300 mm kesit boyutuna ve 2200 mm uzunluğuna sahip 16 adet betonarme kiriş numune üretilmiştir. Bu numunelerde etriye aralığı (100 mm ve 300 mm), beton dayanımı (5, 7, 9 ve 20 MPa) ve boyuna donatı miktarı (2φ12 ve 3φ12) değiştirilmiştir. Kirişlere ait donatı ve kesit özellikleri farklı boyuna donatı miktarı ve etriye aralığı (s) için Şekil 1'de sunulmuştur.



Şekil 1:

Deney numunelerinin kesit (mm) ve donatı detayları

a. $2\phi 12 - s=100$ mm **b.** $2\phi 12 - s=300$ mm **c.** $3\phi 12 - s=100$ mm **d.** $3\phi 12 - s=300$ mm

Üretilen kiriş numunelerinin geometrik özellikleri Tablo 1’de verilmiştir. Burada f_{cm} , beton basınç dayanımını; ρ , çekme donatısı oranını; ρ' ise basınç donatısı oranını ifade etmektedir. Kirişler kesit ve malzeme özelliklerini yansıtacak şekilde isimlendirilmiştir. Örneğin K1025 kirişinde K harfi kiriş kısaltmasını gösterirken, bundan sonraki ilk iki rakam (10) santimetre cinsinden etriye aralığını, üçüncü rakam (2) çekme bölgesindeki boyuna donatı adedini, en son rakam (5) ise MPa cinsinden beton basınç dayanımını tanımlamaktadır.

Mevcut binalar incelendiğinde, taşıyıcı sistem elemanlarının sıklaştırma bölgelerinde etriye sıklaştırmasının uygulanmaması, düşük beton dayanımı gibi çok sayıda yetersizliğin aynı anda bulunduğu durumlara sıklıkla rastlanmaktadır. Her ne kadar Tablo 1’de seçilen bazı kombinasyonlara mevcut binalarda rastlama ihtimali düşükse de bir sınır durum olarak incelemelerde dikkate alınmıştır.

Tablo 1. Kiriş numunelerin özellikleri

Numune No	f_{cm} (MPa)	Boyut (mm)		Enine Donatı	Boyuna Donatı		Boyuna Donatı Oranları	
					Çekme	Basınç	ρ	ρ'
K1025 K1027 K1029 K10220	5 7 9 20	150	300	Ø4/10	2Ø12	2Ø10	0.005	0.004
K1035 K1037 K1039 K10320	5 7 9 20	150	300	Ø4/10	3Ø12	2Ø10	0.008	0.004
K3025 K3027 K3029 K30220	5 7 9 20	150	300	Ø4/30	2Ø12	2Ø10	0.005	0.004
K3035 K3037 K3039 K30320	5 7 9 20	150	300	Ø4/30	3Ø12	2Ø10	0.008	0.004

2.2. Malzeme Özellikleri

Beton karışımları; 0-4 mm kum, 4-16 mm kırma taş, CEM II B-M (P-L) 32,5R tipi çimento ve şebeke suyu kullanılarak oluşturulmuştur. Agregaların tane dağılımını belirlemek için TS 3530 standardına uygun olarak elek analizi yapılmıştır. Hazırlanan her bir karışımdan, 150 mmx300 mm boyutlarında altı adet silindir numune alınmıştır. Numune alınırken, beton karışımı her seferinde 25 kez şişleme yapılarak kalıplara yerleştirilmiştir. Alınan numunelerin 7 ve 28 günlük deneylerinden elde edilen ortalama basınç dayanım değerleri ve beton karışım oranları Tablo 2’de verilmiştir. Kiriş numunelerinin üretiminde kullanılan 4, 10 ve 12 mm çapındaki donatılardan üçer adet numune alınarak çekme deneyleri yapılmış ve elde edilen ortalama akma ve çekme dayanımları Tablo 3’te sunulmuştur.

Tablo 2. Beton karışım oranları ve basınç dayanım (f_c) değerleri

Karışım Özellikleri	Karışım 1	Karışım 2	Karışım 3	Karışım 4
Çimento (CEM II B-M (P-L) 32,5R)	307	285	337	432
Su	309	285	278	251
W/C	1.01	1.0	0.82	0.58
İnce Agrega	656	659	675	754
İri Agrega	1008	1041	1036	863
Hava Miktarı	%1.17	%2.12	%1.55	%1.9
Birim Ağırlığı (kg/m^3)	2300	2300	2300	2300
Slump Değeri (cm)	17.5	18	18.2	16.5
f_c (7 gün) (MPa)	2.8	3.9	6.4	14.8
f_c (28 gün) (MPa)	5.2	7.1	9.3	20.4

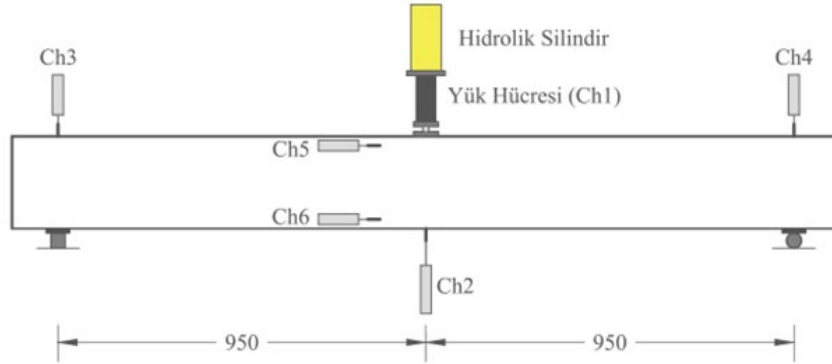
Tablo 3. Donatı çubuklarının özellikleri

Donatı Çapı Ø (mm)	Mekanik Özellikler (MPa)	
	Akma Dayanımı (f_{ym})	Çekme Dayanımı (f_{su})
4	340	460
10	354	494
12	345	496

Hazırlanan beton karışımlarıyla toplamda 16 adet kirişin üretimi gerçekleştirilmiştir. Beton dökümünden sonra numunelerin gerekli kür ve bakım işlemleri 28 gün boyunca yapılmıştır. Kirişlerin yüzeyine deney esnasında meydana gelecek çatlakların net bir şekilde gözlenebilmesi için kireç uygulaması yapılmıştır.

2.3. Deney Düzeneği

Kiriş numunelerinin deney düzeneği Şekil 2’de verilmiştir. Kirişler, hareketli ve sabit mafsalların üzerine yerleştirilerek üç noktalı eğilme testine maruz bırakılmıştır. Deneylerde veriler 20 kanallı veri toplama sistemi (Data logger) ile alınmıştır. Sisteme verilen yük, 20 ton kapasiteli yük hücresi (Load cell) yardımıyla ölçülürken; yerdeğiştirmeler, kirişin alt orta bölgesine ve mesnet bölgelerine yerleştirilen yerdeğiştirme ölçerler (Linear Variable Differential Transformer) ile ölçülmüştür (Şekil 2).

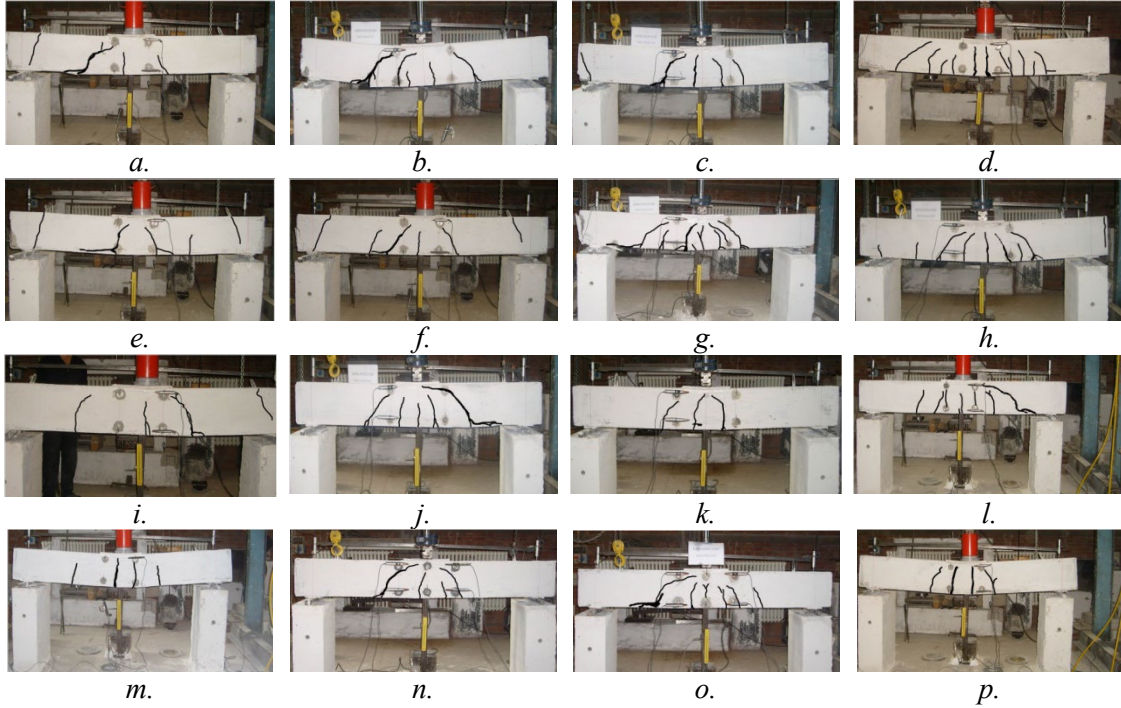


Şekil 2:
Deney düzeneği

3. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

3.1. Deney Sonuçları

Üretilen numuneler sırasıyla yükleme düzeneğine yerleştirilerek deneyleri yapılmıştır. Yükleme el kumandalı hidrolik ile uygulanmıştır. Deneyler sırasında gözlenen kiriş hasarlarına ait görünüm Şekil 3’te verilmiştir.



Şekil 3:

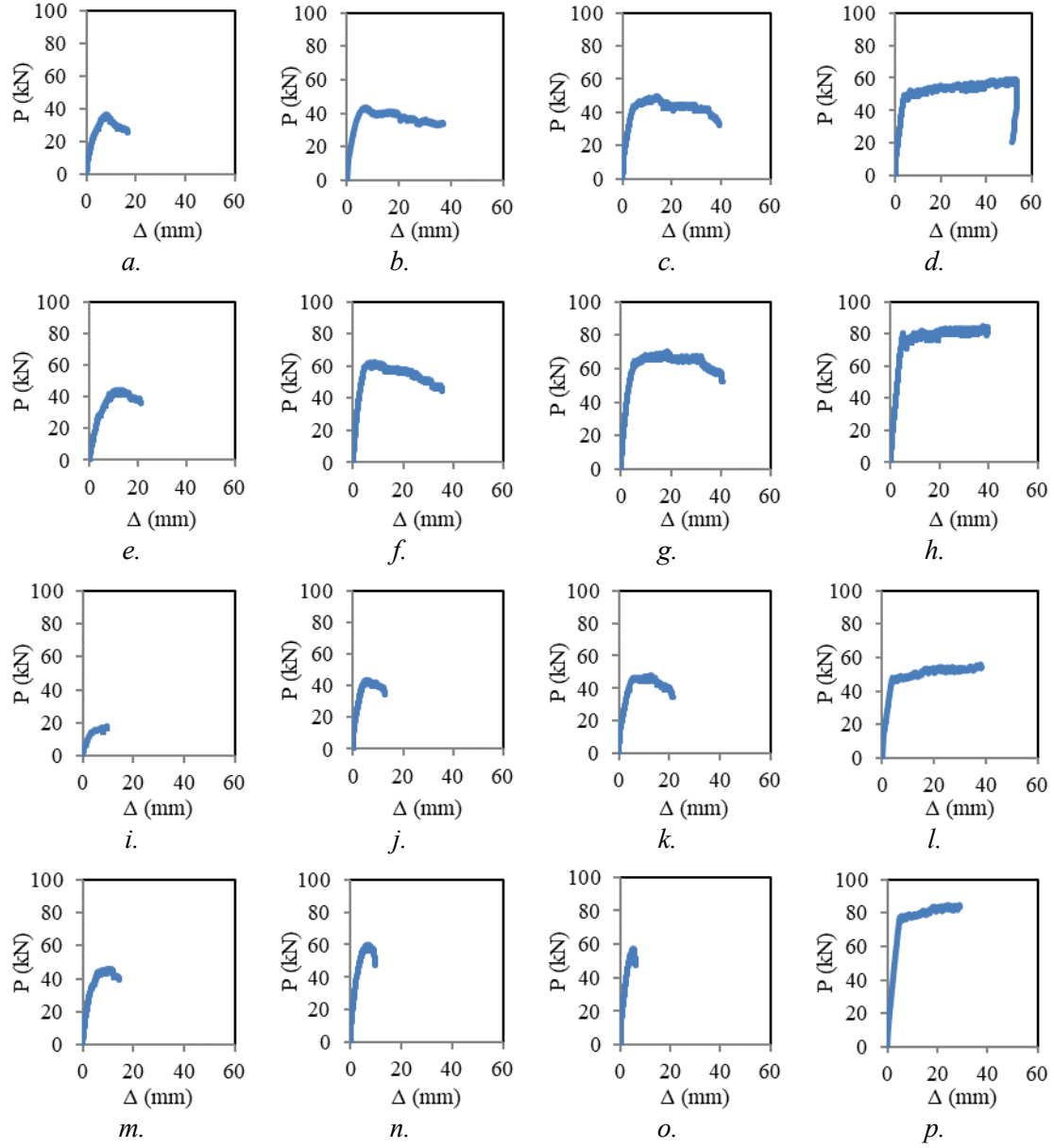
Kirişlere ait hasar görünümleri

**a. K1025 b. K1027 c. K1029 d. K10220 e. K1035 f. K1037 g. K1039 h. K10320
i. K3025 j. K3027 k. K3029 l. K30220 m. K3035 n. K3037 o. K3039 p. K30320**

Yapılan deneyler sonucunda normal beton dayanımına (C20) sahip ve etriye sıklaştırmasının yapıldığı (100 mm aralıklı) numunelerde (Şekil 3.d ve Şekil 3.h) beklendiği gibi sünek eğilme hasarı gözlenmiştir. Hasar kiriş orta bölgesinde kesite dik doğrultuda çok sayıda kılcal çatlak oluşması sonucu ortaya çıkmıştır. Bu numunelerde, basınç bölgesindeki betonun ezilmesi ve eğilme çatlaklarının genişlemesi ile deney sonlandırılmıştır. Deneyler sırasında çekme bölgesinde iki adet donatı bulunan (K10220 ve K30220) numunelerdeki eğilme çatlak sayısı, üç adet donatı bulunan numunelere göre (K10320 ve K30320) daha fazla olduğu gözlenmiştir. Beton dayanımı düşük olan (5, 7 ve 9 MPa) numunelerde genellikle az sayıda eğilme çatlama oluşmuş ve güç tükenmesi eğik çekme çatlaklarının genişlemesi ile ani olarak meydana gelmiştir. Burada 5 MPa beton dayanımına sahip numuneler ile 7 ve 9 MPa beton dayanımına sahip numuneler arasında bazı davranış farklılıkları ortaya çıkmıştır. Özellikle çok düşük (5 MPa) beton dayanımına sahip numunelerdeki (K1025, K1035, K3025 ve K3035) güç tükenmesi, etriye sıklaştırmasının uygulanıp uygulanmaması fark etmeksizin az sayıda (3~4 adet) çatlamanın görülmesi ve bu çatlakların genişlemesi sonucu ani yük düşüşü ile ortaya çıkmıştır. Ayrıca K1025 ve K1035 numunelerinde aderans sıyrılması hasarı gözlenmiştir. Ancak beton dayanımının 7 ve 9 MPa değerine ulaşması ile etriye sıklaştırması yapılan ve yapılmayan numunelerin davranışları arasındaki farklılıklar daha belirgin olarak görülmektedir. Her ne kadar bu numunelerde de ani olarak güç tükenmesi ortaya çıksa da etriye sıklaştırması uygulanan numunelerdeki hasar daha fazla sayıda çatlamanın oluşması ile deneyin daha ileri aşamalarında ortaya çıkmıştır. Dolayısıyla beton dayanımı 5 MPa olan numunede etriye sıklaştırmasının davranış açısından çok katkısı bulunmazken, 7 ve 9 MPa beton dayanımına sahip numunelerde hasarın daha ileri aşamalara taşınmasında katkı sağlamaktadır.

Genel olarak değerlendirildiğinde, etriye sıklaştırmasının bulunmadığı (300 mm aralık) ya da beton dayanımının düşük olduğu (5, 7 veya 9 MPa) numunelerin neredeyse tamamında kesme kırılmasının ortaya çıkması sonucunda ani yük düşüşleri ortaya çıkmıştır. Özellikle belirtilen her iki olumsuzluğun bir arada bulunduğu yani hem etriye sıklaştırması bulunmayan hem de düşük

beton sınıfına sahip numunelerde, eleman yük taşıma kapasitesine ulaşmadan yine ani olarak güç tükenmesine ulaşmıştır. Deney numunelerine ait elde edilen yük-yerdeğiştirme grafikleri; her bir numune için ayrı ayrı Şekil 4’te verilmiştir. Düşey eksende yük (P), yatay eksen ise kiriş orta bölgesindeki yerdeğiştirme (Δ) tanımlanmıştır.



Şekil 4:

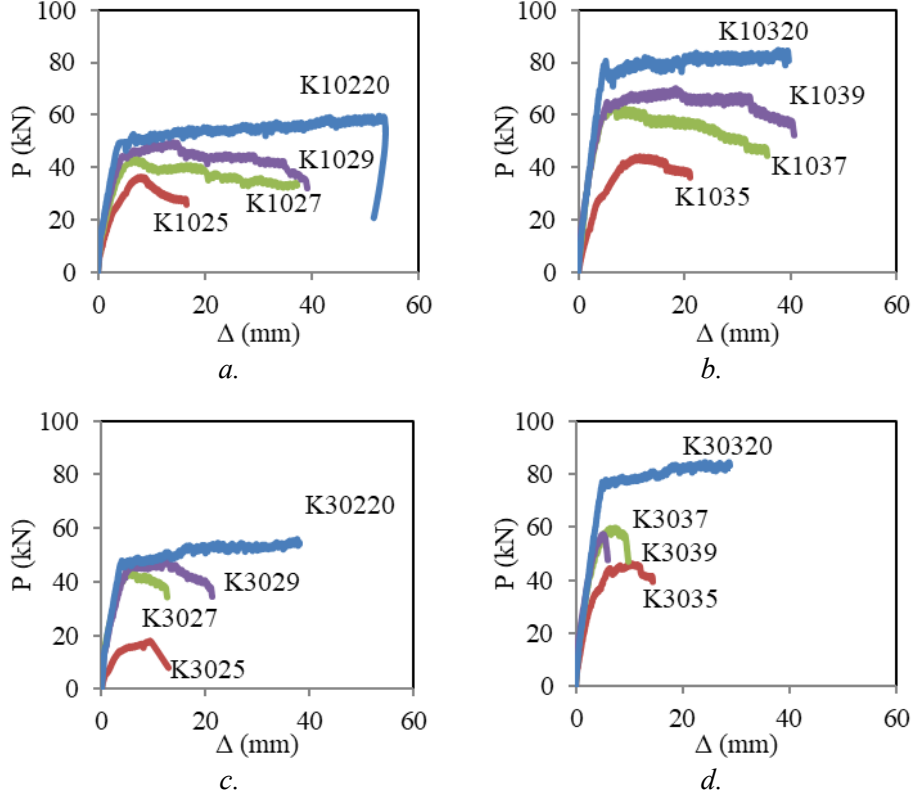
Deney numunelerine ait yük-yerdeğiştirme grafikleri

a. K1025 b. K1027 c. K1029 d. K10220 e. K1035 f. K1037 g. K1039 h. K10320

i. K3025 j. K3027 k. K3029 l. K30220 m. K3035 n. K3037 o. K3039 p. K30320

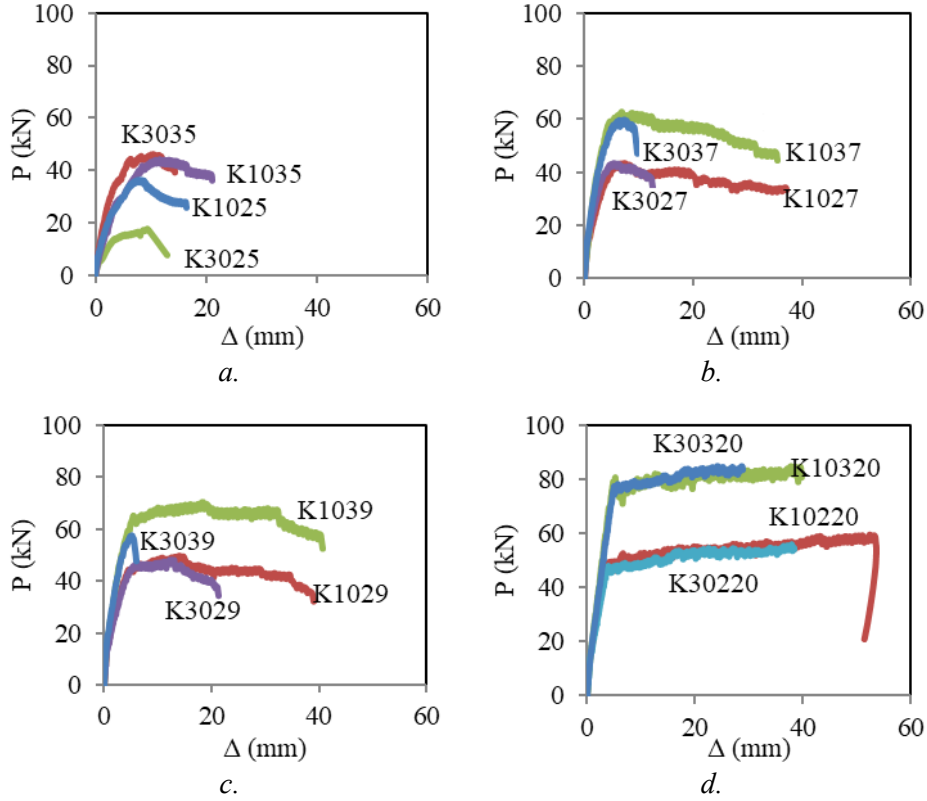
Deneylerde seçilen parametrelerin davranış üzerindeki etkinliğinin anlaşılabilmesi için farklı parametrelere göre kıyaslamalı grafikler hazırlanmıştır. Bu amaçla Şekil 5’te sadece beton dayanımı değiştirilmiş diğer parametreler (çekme donatısı adedi ve etriye aralığı) sabit tutulmuştur. Grafik açıklamalarında ifade edilen s, etriye aralığını; n ise boyuna donatı adedini

tanımlanmaktadır. Benzer şekilde Şekil 6'da beton dayanımı (f_c) sabit tutularak çekme donatısı adedi ve etriye aralığı değiştirilmiş ve sonuçlar grafiklerde kıyaslanmıştır.



Şekil 5:

Beton dayanımı değişiminin yük-yerdeğiştirme grafiği üzerindeki etkisi
a. $s=100$ mm $n=2$ **b.** $s=100$ mm $n=3$ **c.** $s=300$ mm $n=2$ **d.** $s=300$ mm $n=3$



Şekil 6:

Etriye aralığının ve çekme donatısı miktarının yük-yerdeğiştirme grafiğine etkisi
a. $f_c=5$ MPa **b.** $f_c=7$ MPa **c.** $f_c=9$ MPa **d.** $f_c=20$ MPa

Şekil 5 ve Şekil 6.a'da sunulan grafiklerden 5MPa beton dayanımına sahip numunelerin tamamının erken aşamalarda hasar görerek ani yük kaybına uğradığı görülebilir. Ancak 7 ve 9 MPa beton dayanımına sahip numunelerde etriye sıklaştırmasının uygulanıp uygulanmaması durumları için davranış farklılık göstermektedir. Etriye sıklaştırmasının uygulanmadığı numunelerde yine erken aşamalarda benzer bir davranış görülürken, etriye sıklaştırması uygulanan numunelerde güç tükenmesi geciktirilerek daha ileri seviyelerde ortaya çıkması sağlanmıştır (Şekil 6.b-c). Burada, birden fazla kusurun aynı anda bulunması durumunda elemanlardaki davranışın daha kritik olması dikkati çeken bir husustur. Her ne kadar uygulamada düşük beton dayanımlı numunelerde etriye sıklaştırmasının bulunması durumuna pek rastlanmasa da davranışın anlaşılabilmesi adına incelenmesi önem taşımaktadır.

Deneyler sırasında elde edilen yük-yerdeğiştirme grafikleri kullanılarak tüm deney numunelerinin yük taşıma kapasitesi (P_{mak}), sünekliği (μ), enerji tüketme kapasitesi (E), başlangıç eğilme rijitliği (K) değerleri hesaplanmış ve Tablo 4'te sunulmuştur. Enerji tüketme kapasitesi, yük-yerdeğiştirme grafiğinin altındaki alan hesaplanarak elde edilmiştir. Süneklik ise nihai yerdeğiştirmenin (Δ_u) akma yerdeğiştirmesine (Δ_y) oranıdır. Nihai yerdeğiştirme ve enerji tüketme kapasiteleri maksimum yükün %15 azaldığı seviyedeki değerler dikkate alınarak belirlenmiştir. Eğilme rijitliği değeri, numunedeki yük değerinin ötelenmeye oranlanması ile elde edilmiştir. Burada kıyaslamaların daha anlaşılır olabilmesi için tüm numunelerde elastik davranışın gözlemlendiği 2 mm yerdeğiştirme seviyesindeki yük değerleri kullanılarak elemanlara ait başlangıç rijitliği değerleri sunulmuştur.

Tablo 4. Deney sonuçlarının kıyaslanması

Kiriş No	P_{mak} (kN)	Δ_y (mm)	Δ_u (mm)	μ	E (kNmm)	K (kN/mm)
K1025	36.63	5.35	10.94	2.04	302.19	9.44
K1027	43.49	3.99	25.66	6.43	954.72	12.36
K1029	49.49	3.36	20.40	6.07	866.80	13.86
K10220	59.44	3.73	53.71	14.40	2843.00	15.29
K1035	44.22	7.94	20.95	2.64	735.18	8.10
K1037	62.74	4.22	26.26	6.22	1434.65	18.33
K1039	70.09	4.79	36.58	7.64	2283.78	18.28
K10320	84.72	4.65	39.74	8.55	2979.00	18.47
K3025	18.11	3.50	9.60	2.74	128.39	4.98
K3027	43.54	4.01	11.55	2.88	423.00	14.20
K3029	48.19	4.94	16.91	3.42	688.10	13.77
K30220	56.86	3.75	38.27	10.21	1892.93	14.89
K3035	46.16	5.46	14.28	2.62	532.99	12.38
K3037	59.80	4.83	9.60	1.99	449.86	17.70
K3039	57.43	3.57	5.97	1.67	246.49	18.25
K30320	84.60	4.86	28.88	5.94	2143.87	18.34

Tablo 4'te görüldüğü gibi en büyük yük taşıma kapasitesi (84.72 kN), enerji tüketme kapasitesi (2979.00 kNmm) ve rijitlik (18.47 kN/mm) değerlerine K10320 numunesinde ulaşılmıştır. En büyük süneklik (14.40) değerine ise K10220 numunesi sahiptir. Bu iki numune arasında sadece çekme donatısı miktarı değişmektedir. Dolayısıyla numunenin çekme donatısı miktarının azalması ile numune sünekliğinin artış gösterdiği görülebilir. Tüm numuneler arasındaki en küçük yük taşıma kapasitesi (18.11 kN), enerji tüketme kapasitesi (128.39 kNmm) ve rijitlik (4.98 kN/mm) değerleri K3025 numunesinde ve en küçük süneklik (1.67) ise K3039 numunesinde ortaya çıkmıştır.

Tablo 4'te sunulan deneysel sonuçların yorumlanabilmesi için sadece tek değişkene bağlı olarak numunelerin yük taşıma kapasitesi, sünekliği, enerji tüketme kapasitesi ve eğilme rijitliği değerlerinin yüzdesel değişimleri kıyaslamalı olarak elde edilmiştir. Tablo 5'te beton dayanımı, Tablo 6'da çekme donatısı oranı ve Tablo 7'de ise etriye aralığı değişiminin sonuçlara etkisi incelenmiştir. Tablolarda inceleme yapılırken numuneler kendi içinde gruplara ayrılmış ve grup içerisindeki en iyi parametre referans alınarak değişim yüzdeleri hesaplanmıştır. Örneğin; Tablo 5'te, etriye aralığı ve çekme donatısı oranı aynı olan numunelerde beton basınç dayanımı değişimine göre dört ayrı grup oluşturulmuştur. Her grup içerisindeki değer sütununda "-" işareti bulunan numune o grubun referans alınan numunesini tanımlamaktadır. Gruptaki diğer değerler, referans numuneye göre artış ya da azalış yüzdeleridir. Bu tablolardaki pozitif değerler artmayı negatif değerler ise azalmayı ifade etmektedir.

Tablo 5. Deneysel sonuçların beton basınç dayanımına göre yüzdesel değişimi

Kiriş No	P_{mak} (%)	μ (%)	E (%)	K (%)
K1025	-	-	-	-
K1027	19	214	216	31
K1029	35	197	187	47
K10220	62	604	841	62
K1035	-	-	-	-
K1037	42	136	95	126
K1039	59	189	211	126
K10320	92	224	305	128
K3025	-	-	-	-
K3027	140	5	229	185
K3029	166	25	436	177
K30220	214	272	1374	199
K3035	-	-	-	-
K3037	30	-24	-16	43
K3039	24	-36	-54	47
K30320	83	127	302	48

Tablo 5'teki değerler incelendiğinde 5 MPa beton dayanımına sahip numunelerin en küçük yük taşıma kapasitesi, süneklik, enerji tüketme kapasitesi ve rijitliğe sahip olduğu görülebilir. Beton dayanımı arttıkça tablodaki değerlerde büyük çoğunlukla artma eğilimindedir. Numuneler arasında yük taşıma kapasitesi, enerji tüketme kapasitesi ve rijitlik açısından en büyük artış, K30220 kirişinde %214, %1374 ve %199 oranlarında ortaya çıkmıştır. Bu kiriş, etriye sıklaştırması yapılmayan ve iki adet çekme donatısına sahip numuneyi temsil etmektedir. Dolayısıyla bir elemanda birden fazla kusurun bir arada bulunması durumunda beton dayanımındaki artışın davranış üzerindeki etkinliğinin daha belirgin olarak ortaya çıktığını söyleyebiliriz. Beton dayanımına bağlı olarak süneklikteki en büyük artış ise K10220 kirişinde %604 olarak ortaya çıkmıştır. Beton dayanımı arttıkça, numunenin yük taşıma kapasitesi, sünekliği, enerji tüketme kapasitesi ve eğilme rijitliği sonuçları genel olarak artmakta ve en büyük artışlar 20 MPa beton dayanımına sahip numunelerde meydana gelmektedir. Süneklik ve enerji tüketme kapasitesindeki artışların, genellikle yük taşıma kapasitesi ve eğilme rijitliğine kıyasla daha büyük oranlarda ortaya çıktığı görülebilir.

Tablo 6. Deneysel sonuçların çekme donatısı oranına göre yüzdesel değişimi

Kiriş No	P_{mak} (%)	μ (%)	E (%)	K (%)
K1025	-	-	-	-
K1035	21	29	143	-14
K1027	-	-	-	-
K1037	44	-3	50	48

Tablo 6. (devamı) Deneysel sonuçların çekme donatısı oranına göre yüzdesel değişimi

K1029	-	-	-	-
K1039	42	26	163	32
K10220	-	-	-	-
K10320	43	-41	5	21
K3025	-	-	-	-
K3035	155	-5	315	149
K3027	-	-	-	-
K3037	37	-31	6	25
K3029	-	-	-	-
K3039	19	-51	-64	33
K30220	-	-	-	-
K30320	49	-42	13	23

Tablo 6’da elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde; çekme donatısı miktarının artması ile numunenin sünekliği genel olarak azalırken yük taşıma kapasitesi, enerji tüketme kapasitesi ve eğilme rijitliği sonuçlarının arttığı görülebilir. Enerji tüketimi değeri numunenin yük taşıma kapasitesi ve sünekliğinin değişimi ile doğrudan etkilenmektedir. Çekme donatısının artması genel olarak; numunenin yük taşıma kapasitesini artırırken sünekliğini azaltmaktadır. Tablo 6’da görülen enerji tüketimi değerleri çoğunlukla artma eğilimindedir. Dolayısıyla enerji tüketimi açısından, yük taşıma kapasitesindeki değişimin süneklikteki değişimden daha etkili olduğu söylenebilir. Ancak K3039 numunesinde süneklikte meydana gelen önemli azalma nedeniyle enerji tüketiminde de azalma görülmüştür. Tüm numuneler arasında yük taşıma kapasitesi, enerji tüketme kapasitesi ve eğilme rijitliği açısından en büyük artışlar sırasıyla %155, %315 ve %149 oranlarında K3035 numunesinde görülmüştür. Bu kiriş, etriye sıklaştırması yapılmayan ve 5 MPa beton basınç dayanımına sahip numuneyi temsil etmektedir.

Tablo 7. Deneysel sonuçların etriye aralığına göre yüzdesel değişimi

Kiriş No	P_{mak} (%)	μ (%)	E (%)	K (%)
K1025	102	-25	135	90
K3025	-	-	-	-
K1027	0	123	126	-13
K3027	-	-	-	-
K1029	3	77	26	1
K3029	-	-	-	-
K10220	5	41	50	3
K30220	-	-	-	-
K1035	-4	1	38	-35
K3035	-	-	-	-
K1037	5	213	219	4
K3037	-	-	-	-

Tablo 7. (devamı) Deneysel sonuçların etriye aralığına göre yüzdesel değişimi

K1037	5	213	219	4
K3037	-	-	-	-
K1039	22	357	827	0
K3039	-	-	-	-
K10320	0	44	39	1
K30320	-	-	-	-

Tablo 7’de görüldüğü gibi etriye aralığının 300 mm değerinden 100 mm değerine değiştirilmesi ile, numunenin yük taşıma kapasitesi ve rijitliği genel olarak fazla etkilenmezken, süneklik ve enerji tüketme kapasitesi değerlerinde artışlar ortaya çıkmıştır. Tüm numuneler arasından, en büyük artışın yük taşıma kapasitesi ve eğilme rijitliği açısından %102 ve %90 oranları ile K1025 numunesinde; süneklik ve enerji tüketme kapasitesi açısından ise %357 ve %827 oranlarında K1039 numunesinde meydana geldiği görülebilir.

3.2. Regresyon Analizi

Çalışmanın bu bölümünde kiriş elemanlarda sadece yük taşıma kapasitesi açısından regresyon analizleri yapılarak değerlendirmeler yapılmıştır. Deneysel çalışmada, beton basınç dayanımı (f_c), boyuna donatı adedi (n) ve etriye aralığı (s) olmak üzere üç parametre dikkate alınmıştır. Bu parametreler arasından kirişlerin eğilme davranışında asıl etkili olanlar donatı adedi ve beton dayanımıdır. Etriye aralığı parametresi, daha çok kesme kapasitesinin belirlenmesinde etkili olmasına rağmen eğilme açısından da sargılı/ sargısız beton davranışı ile yük kapasitesine katkı sağlamaktadır. Çalışma kapsamında bahsedilen donatı adedi ve etriye aralığı parametreleri burada boyutsuzlaştırılarak boyuna (ρ) ve enine donatı (ρ_w) oranları hesaplanmış ve bu değerler üzerinden değerlendirmeler yapılmıştır. Yapılan çoklu regresyon analizinde dikkate alınan girdi ve çıktı parametreleri Tablo 8’de verilmiştir.

Tablo 8. Girdi ve çıktı parametreleri

Kiriş No	s	n	Girdiler			Çıktı
			f_c	ρ	ρ_w	P_{deney}
K1025	100	2	5	0.0050	0.0017	36.63
K1027	100	2	7	0.0050	0.0017	43.49
K1029	100	2	9	0.0050	0.0017	49.49
K10220	100	2	20	0.0050	0.0017	59.44
K1035	100	3	5	0.0075	0.0017	44.22
K1037	100	3	7	0.0075	0.0017	62.74
K1039	100	3	9	0.0075	0.0017	70.09
K10320	100	3	20	0.0075	0.0017	84.72
K3025	300	2	5	0.0050	0.0006	18.11
K3027	300	2	7	0.0050	0.0006	43.54
K3029	300	2	9	0.0050	0.0006	48.19
K30220	300	2	20	0.0050	0.0006	56.86

Tablo 8. (devamı) Girdi ve çıktı parametreleri

K3035	300	3	5	0.0075	0.0006	46.16
K3037	300	3	7	0.0075	0.0006	59.80
K3039	300	3	9	0.0075	0.0006	57.43
K30320	300	3	20	0.0075	0.0006	84.60

Regresyon analizinde elde edilen katsayılar Tablo 9’da sunulmuştur. Gözlem sayısı 16’dır. Yapılan değerlendirmede R^2 değeri 0.845, standart sapma değeri ise 7.47 olarak elde edilmiştir.

Tablo 9. Regresyon analizinde elde edilen katsayılar

	Katsayılar
Sabit	-18.722
f_c	1.967
ρ	7667.572
ρ_w	4043.829

Tablo 9’daki katsayılar kullanılarak hesaplanan yük taşıma kapasitesi değerinin (P_{tahmin}), deneyde elde edilen yük taşıma kapasitesi değerine (P_{deney}) göre hata yüzdesi Tablo 10’da sunulmuştur.

Tablo 10. Deneyde elde edilen ve tahmin edilen P değerlerinin kıyaslanması

Kiriş No	P_{deney}	P_{tahmin}	Hata (%)
K1025	36.63	36.40	1
K1027	43.49	40.33	7
K1029	49.49	44.27	11
K10220	59.44	65.91	-11
K1035	44.22	55.65	-26
K1037	62.74	59.59	5
K1039	70.09	63.52	9
K10320	84.72	85.16	-1
K3025	18.11	31.88	-76
K3027	43.54	35.82	18
K3029	48.19	39.75	18
K30220	56.86	61.39	-8
K3035	46.16	51.14	-11
K3037	59.80	55.07	8
K3039	57.43	59.00	-3
K30320	84.60	80.64	5

4. SONUÇ

Yapılan çalışma kapsamında; beton dayanımı, boyuna ve enine donatı miktarı değişiminin kiriş davranışı üzerindeki etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Bu amaçla 16 adet kiriş numune üretilmiş ve eğilme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucunda numune hasarları, yük taşıma kapasitesi, sünekliği, enerji tüketme kapasitesi ve rijitlik değerleri incelenerek yorumlanmıştır.

1. Deneyler sırasında 20 MPa beton dayanımına ve 100 mm etriye sıklaştırmasına sahip numunelerde sünek eğilme hasarı gözlenirken, etriye sıklaştırmasının bulunmadığı ya da beton dayanımının düşük olduğu numunelerin neredeyse tamamında güç tükenmesi eğik çekme çatlaklarının genişlemesi ile ani olarak meydana gelmiştir.
2. Bir elemanda birden fazla kusurun bir arada bulunmasının davranışı oldukça olumsuz yönde etkilediği görülmüştür.
3. Beton dayanımı 5 MPa olan numunede etriye sıklaştırmasının davranış açısından çok katkısı bulunmazken, 7 ve 9 MPa beton dayanımına sahip numunelerde hasarı daha ileri aşamalara taşınmasında katkı sağlamıştır.
4. Beton dayanımı arttıkça, numunenin yük taşıma kapasitesi, sünekliği, enerji tüketme kapasitesi ve eğilme rijitliği sonuçları genel olarak artmaktadır. Beton dayanımına bağlı en etkili artış, diğer iki parametrenin olumsuz olması durumunda ortaya çıkmaktadır.
5. Kiriş elemanın çekme bölgesinde bulunan donatı miktarının artması, numune sünekliğini azaltırken, yük taşıma kapasitesi, enerji tüketme kapasitesi ve eğilme rijitliğini artırmaktadır.
6. Etriye aralığının azalmasının, numunenin süneklik ve enerji tüketme kapasitesi değerleri üzerindeki etkinliği, yük taşıma kapasitesi ve rijitliği üzerindeki etkisinden daha fazla olarak ortaya çıkmıştır.
7. Betonarme kesit ve kapasite hesaplarının belirli kabullere dayanması nedeniyle özellikle çok düşük beton dayanıma sahip elemanlarda bu kabullerin geçerli olmayabileceği unutulmamalıdır. Elde edilen sonuçların mutlaka deney verileri ile doğrulanması gerekmektedir.
8. Yük taşıma kapasitesi için ilgili değişkenlerle yapılan regresyon analizinde R^2 değeri 0.845 olarak elde edilmiş ve seçilen parametrelerin yük kapasitesi üzerindeki etkinliği görülmüştür.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarlar, bilinen herhangi bir çıkar çatışması veya herhangi bir kurum/kuruluş ya da kişi ile ortak çıkar bulunmadığını onaylamaktadırlar.

YAZAR KATKISI

Hamide Tekeli Kabaş ve Fuat Demir deney numunelerinin tasarlanmasında deney ve ölçüm düzeneğinin kurulmasında; Barış Esen deney numunelerinin üretilmesinde ve deneylerinin yapılmasında; Abdullah Gündoğay ve Sıla Yaman deneylerin yapılmasında katkı sağlamışlardır. Deneysel sonuçların yorumlanmasında tüm araştırmacılardan destek alınmıştır. Makalenin yazılması ve çoklu regresyon analizlerinin yapılmasında Hamide Tekeli Kabaş, Abdullah Gündoğay ve Sıla Yaman görev almıştır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmaya 3419-YL1-13 numaralı proje ile maddi destek sağlayan Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimine (SDÜ-BAP) teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

1. Arezoumandi, M., Smith, A., Volz, J. S. and Khayat, K. H. (2015) An experimental study on flexural strength of reinforced concrete beams with 100% recycled concrete aggregate. *Engineering Structures*, 88, 154-162. doi:10.1016/j.engstruct.2015.01.043
2. Birol, T. ve Yavaş, A. (2018) Betonarme kirişlerde ultra yüksek dayanımlı beton kullanımının eğilme performansına etkisi. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 20(1), 219-233. doi:10.25092/baunfbed.369062
3. Celep, Z. (2018) Betonarme Yapılar, *Beta Dağıtım*, İstanbul, Türkiye.
4. Cengiz, S., Kamanlı, M. ve Ünal, A. (2020) Investigation of flexural behavior of reinforced concrete beams produced with self compacting and normal concrete. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 8(2), 429-438. doi:10.21923/jesd.672314
5. Demir, F., Korkmaz, K. A., Gençoğlu, M. ve Tekeli, H. (2007a) Beton Basınç Dayanımın Yapısal Davranışa Etkisi, 7. *Ulusal Beton Kongresi*, İstanbul, 323-332.
6. Demir, F., Korkmaz, A., Gençoğlu, M. ve Tekeli, H. (2007b) Beton Dayanımının Betonarme Yapıların Güçlendirilmesi Açısından Değerlendirilmesi, *TMMOB Antalya Şube Bülteni*, 50, 7-12.
7. Doğangün, A. (2004) Performance of Reinforced Concrete Buildings During the May 1, 2003 Bingol Earthquake in Turkey, *Engineering Structures*, 26(6), 841-856. doi:10.1016/j.engstruct.2004.02.005.
8. Ersoy, U. (1998). Betonarme Kiriş ve Kolonların Moment Kapasitelerinin Saptanması, *Teknik Dergi*, 9(4), 1781-1797.
9. Ersoy, U. ve Özcebe, G. (1998) Sarılmış Betonarme Kesitlerde Moment Eğrilik İlişkisi Analitik Bir İrdeleme, *Teknik Dergi*, 129, 1799-1827.
10. Ersoy, U. ve Ünal, M. E. (2018). Betonarme Kesitlerin Kapasite Momentlerinin Yaklaşık Hesabı, *Teknik Dergi*, 29 (5), 8669-8674. doi:10.18400/tekderg.369100
11. Henriksen, M. S., Brincker, R. and Heshe, G. (1999). Appendix A: Test Programme for Bending Failure of Reinforced Concrete Beams of Different Scale. In *European Structural Integrity Society*, 24, 138-149. doi:10.1016/S1566-1369(99)80065-X
12. Jabir, H. A., Mhalhal, J. M., Al-Gasham, T. S. and Abid, S. R. (2020) Mechanical characteristics of deep beams considering variable a/d ratios: an experimental investigation. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 988(1). doi:10.1088/1757-899X/988/1/012030
13. Kaltakçı, M. Y. ve Kamanlı, M. (1999) Değişken Kesitli Kirişlerin Davranışının Teorik ve Deneysel Olarak İncelenmesi, *Selçuk Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 14(2), 20-42.
14. Kaltakçı, M. Y., Korkmaz, H. H. ve Korkmaz, S. Z. (2001) Basit Eğilme Etkisindeki Betonarme Elemanların Moment-Eğrilik ve Tasarım Değişkenleri Üzerine Bir İnceleme, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(1), 71-80.
15. Kamanlı, M. ve Ünal, A. (2018). Investigation of shear behavior of reinforced concrete beams under simple and fixed support conditions. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 6(2), 218-226. doi:10.15317/Scitech.2018.128

16. Kiracı, S., Erdem, R.T. ve Bağcı, M. (2010) Betonarme Bir Elemanda Eğrilik Sünekliğinin İncelenmesi, *C.B.Ü. Fen Bilimleri Dergisi*, 141-154.
17. Meral, E. (2018) Yapısal Parametrelerin Betonarme Kolonların Eğrilik Sünekliğine Etkileri, *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 1(1), 28-43.
18. Ozbolt, J. and Bruckner, M. 1999. Minimum reinforcement requirement for RC beams. In *European Structural Integrity Society*, 24, 181-201. doi: 10.1016/S1566-1369(99)80069-7
19. Özhan, V. K. (2012) Farklı Beton Sınıfına Bağlı Betonarme Kirişlerin Eğilme Kapasitelerinin Deneysel Olarak İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.
20. Sezen, H., Whittaker, A. S., Elwood, K.J. and Mosalam, K. M. (2003) Performance of Reinforced Concrete Buildings During the August 17, 1999 Kocaeli, Turkey Earthquake, and Seismic Design and Construction Practice in Turkey, *Engineering Structures*, 25(1), 103–114. doi:10.1016/S0141-0296(02)00121-9
21. Sokolov, A., Rumsys, D., Sakalauskas, K., Bacinskas, D. and Kaklauskas, G. (2021) Experimental Investigations of Cracking in Reinforced Concrete Beams of Different Depth, In *International RILEM Conference on Early-age and Long-term Cracking in RC Structures*, 89-100. Springer, Cham. doi:10.1007/978-3-030-72921-9_8
22. Tekeli, H., Demir, F., Korkmaz, A., Gençoğlu, M. ve Ay, Z. (2007) Büyük Açıklıklı ve Az Katlı Yapıların Performanslarının Değerlendirilmesi, *International Symposium on Advances in Earthquake & Structural Engineering*, Isparta-Antalya.
23. Topçu, İ. B. ve Gürer, C. (2005) Hasarlı Betonarme Kirişlerin Epoksi ile Onarılması, *Deprem Sempozyumu*, Kocaeli.
24. TS 3530 EN 933–1, 1999. Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneysel Bölüm 1; Tane Büyüklüğü Dağılımı – Eleme Metodu, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
25. Ünal, A., Kamanlı, M. ve Cengiz, S. (2018) Effect of stirrup ratio on the shear behavior of 1/2 scale RC beams. *International Journal of Structural and Civil Engineering Research*, 7(4), 309-313. doi:10.18178/ijscer.7.4.309-313