



## FARKLI a/d ORANINA SAHİP BETONARME KİRİŞLERİN EĞİLME DAVRANIŞLARI ÜZERİNE DENEYSEL VE NÜMERİK BİR ÇALIŞMA

Serkan Sağıroğlu<sup>1</sup>, Fikrat Almahdia<sup>1</sup>, İsmail Vardar<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Uludağ Üniversitesi, Bursa

<sup>2</sup>Antalya

### ABSTRACT

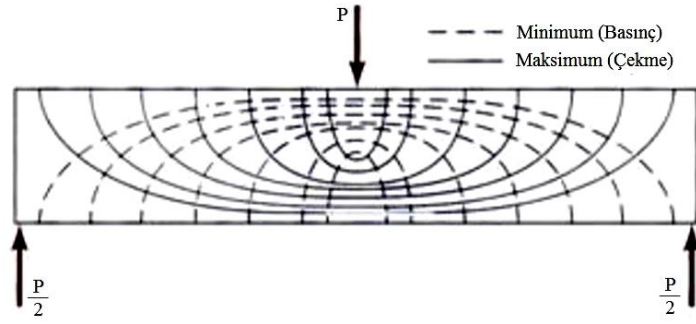
The eight small scale reinforced concrete beams with different a/d (shear span/effective depth) ratios are tested under 3 point bending. Four of the eight beams are with lateral reinforcement where the other four were without. In the experimental part, the force displacement curves of the beams are obtained. Also the crack formation during the loading and the failure mechanisms of the beams are observed. The numerical models of the beams are developed using the finite element method, and the results of the analyses of these models are compared with the experimental data. The effect of a/d ratio in the behavior and the failure type of the beams under bending is examined. The failure mechanisms of the beams are explained using the experimental and numerical results. The effect of using lateral reinforcement on the behavior and the failure type of the beams is also discussed.

### ÖZET

Farklı a/d (kesme açıklığı / etkili derinlik) oranına sahip dört adet enine donatılı ve dört adet enine donatısız olmak üzere toplamda sekiz adet küçük ölçekli betonarme kirişe 3 nokta eğilme testi uygulanmıştır. Deneysel kısımda kirişlere ait yük deplasman eğrileri elde edilmiş ve yükleme boyunca çatlak oluşumu ve kırılma türü gözlemlenmiştir. Aynı kirişlere ait nümerik modeller sonlu elemanlar metodu ile oluşturulmuş, modellerin analizlerinden elde edilen sonuçlar deneysel verilerle kıyaslanmıştır. a/d oranının kirişlerin eğilme altındaki davranışına ve kırılma biçimine olan etkisi irdelenmiş, kirişlerin kırılma mekanizmaları deneysel ve nümerik sonuçlardan yola çıkılarak tanımlanmaya çalışılmıştır. Enine donatı kullanılmasının kirişlerin davranışına ve kırılma türüne olan etkisi irdelenmiştir.

### GİRİŞ

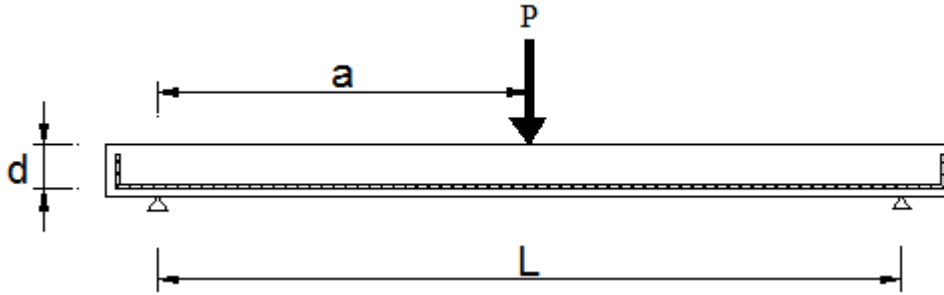
Mevcut yönetmelikler kirişlerde kesme kuvveti ne kadar küçük olursa olsun minimum enine donatı kullanmayı şart koymuştur. Eğer kirişteki kesme kuvveti minimum enine donatı ile karşılanamayacak mertebede ise, kesme donatısı hesabı yönetmeliklerde öngörüldüğü şekilde yapılmaz. Bu çalışmada kesme kuvvetinden doğan kayma gerilmelerinin ve eğilmeden doğan normal gerilmelerin ve bunların neticesinde oluşan asal gerilmelerin etkisi altındaki kirişlerin davranışını daha iyi irdeleyebilmek için enine donatısı bulunmayan kirişler enine donatılı kirişlerle birlikte test edilmiştir. Bu ayırım bu çalışmadaki birinci sınıflandırmadır. Tekil yük etkisindeki basit kirişte oluşan asal eksen eğrileri Şekil 1'de görülmektedir. Çalışmadaki ikinci sınıflandırma ise kirişlerin a/d (kesme açıklığı / etkili derinlik) oranlarıdır.



Şekil 1. Tekil yük altındaki basit kirişte asal eksen eğrileri

### DENEYSEL YÖNTEM

Kirişlerin eğilme altındaki davranışları iki mesnetin tam ortasından uygulanan tekil yük altında denenilen kirişler üzerinde incelenmiştir (Şekil 2). Kirişler basit mesnetli kirişlerdir. Şekil 2'den görüldüğü gibi  $a$  mesnet ile yük arasındaki mesafeyi göstermektedir. Bu mesafe kesme açıklığı olarak adlandırılır.  $d$  ise kiriş kesitinin etkili derinliğidir.



Şekil 2. Test edilen kirişlerin mesnetlenme ve yükleme durumu

Kesme kuvvetinin etkisindeki bir kirişin kırılma biçimi oldukça karmaşık olup, yüklemeye, yükün mesnede olan uzaklığına, kiriş derinliğine, beton basınç dayanımına, çekme ve kesme donatıları miktar ve düzenine bağlı olarak değişmektedir (Doğangün, 2016). Yirminci yüzyıl ortalarında yapılmış deneysel araştırmalarda, kesme açıklığının faydalı yüksekliğe oranının ( $a/d$ ) davranışı etkileyen en önemli değişkenlerden biri olduğu saptanmıştır (Ersoy, 2001). Bu deneysel çalışmalardan bazıları Leonhardt (1965), Kani(1967) olarak sıralanabilir. Kesme donatısız kirişler için  $a/d$  oranlarına göre bir sınıflandırma aşağıdaki şekilde yapılabilir (Nawy, 2009):

- (i) Derin Kirişler (Deep Beams) :  $1 < a/d < 2.5$
- (ii) Orta Seviye Narin Kirişler (Intermediate Beams) :  $2.5 < a/d < 5.5$
- (iii) Narin Kirişler (Slender Beams) :  $a/d > 5.5$

Bu çalışmada  $a/d$  oranı olarak 1.4, 2.8, 5.2 ve 8.3 olmak üzere dört farklı değer seçilmiştir. Kirişlere ait boyutlar Tablo 1'de görülmektedir.

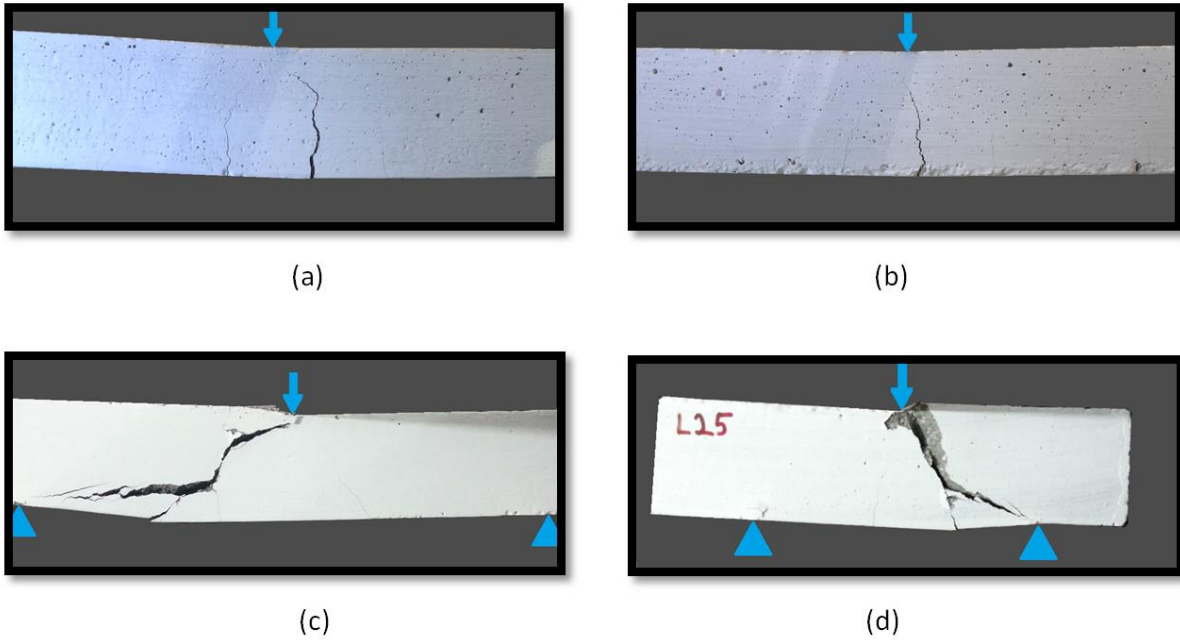
Tablo 1. Kirişlerin Boyutları ve  $a/d$  Oranları

Kiriş Uzunluğu(cm)	Temiz Açıklık(cm)	$a$ (cm)	$d$ (cm)	$a/d$
100	88	44	5.3	8.3
65	55	27.5	5.3	5.2
40	30	15	5.3	2.8
25	15	7.5	5.3	1.4

Tüm kirişler 5 cm genişliğe ve 6 cm yüksekliğe sahiptir. Kirişlerin üretiminde kullanılan betondaki maksimum agrega dane boyutu ve agregaların granülometri dağılımı ölçeğe (yaklaşık 1/8) uygun şekilde seçilmiştir. Kirişler denge altı donatı oranına sahip olacak şekilde donatılandırılmıştır. Boyuna donatı olarak tüm kirişlerde altta 2 adet 4.2 mm çapında 500 MPa akma dayanımına sahip nervürlü donatı kullanılmıştır. Enine donatılı kirişlerde etriye donatısı olarak çapı 1.5 mm, dayanımı 435 MPa olan tel kullanılmıştır. Kirişlerde kullanılan betonun karakteristik basınç dayanımı test gününde yaklaşık 26 MPa olarak ölçülmüştür.

### SONUÇLAR

Kirişlerin eğilme altındaki davranışları iki mesnetin tam ortasından deplasman kontrollü hidrolik pres ile uygulanan tekil yük altında incelenmiştir. Yükleme kirişler yük taşıma kapasitelerini yitirinceye kadar devam etmiştir. Şekil 3'de enine donatısız kirişlerin deney sonundaki durumları görülmektedir.



Şekil 3. Enine Donatısız Kirişlerin Kırılma Durumları  
(a)  $a/d=8.3$  (b)  $a/d=5.2$  (c)  $a/d=2.8$  (d)  $a/d=1.4$

Test edilen enine donatısız kirişlerden  $a/d$  oranı 8.3 ve 5.2 olan kirişlerde (Şekil 3 (a) ve (b)) eğilme kırılması gözlemlenmiştir. Kirişte sadece yükün uygulandığı kesitte (maksimum momentin olduğu kesit) dikey çatlaklar görülmüştür. Çatlak sayısının az olması maksimum momente sahip tek bir kesit olması ve donatının pekleşmeye sahip olmaması olarak açıklanabilir. Bu iki kiriş daha önce  $a/d$  oranı baz alınarak yapılan sınıflandırmaya göre narin sayılabilecek kirişlerdir.

$a/d$  oranı 2.8 olan enine donatısız kirişte (Şekil 3 (c)) başlangıçta kiriş orta alt bölgesinde çok ince dikey eğilme çatlakları gözlemlenmiştir. Kirişin alt tarafında dikey olan çatlak kirişin üst kısmına doğru eğimi azalarak ilerlemiştir. Çatlağın eğimindeki azalma, kiriş yüksekliği boyunca asal çekme gerilmelerinin meydana geldiği açının değişimi ile açıklanabilir. Testin devamında alt donatı ile donatıyı saran beton arasındaki bağın koptuğunu gösteren aderans çatlakları gözlemlenmiştir. Bu kiriş daha önce  $a/d$  oranı baz alınarak yapılan sınıflandırmaya göre orta seviye narin sayılabilecek kirişlerdendir.

$a/d$  oranı 1.4 olan enine donatısız kirişte (Şekil 3 (d)) başlangıçta kiriş orta alt bölgesinde çok ince dikey eğilme çatlakları gözlemlenmiştir. Daha sonra alt taraftaki dikey eğilme

atlaklarından bağımsız olarak, kiriş uzunluğu doğrultusunda yk ile mesnet arasında, kiriş yüksekliği doğrultusunda tarafsız eksen seviyesinde eğik çatlak oluşumu gözlemlenmiştir. Bu atlak artan deplasmanlarda kirişin alt ve st yüzüne kadar uzamıştır. İlerleyen deplasmanlarda, bu çatlağın alt donatı seviyesinden mesnete kadar uzanan ve alt donatı ile donatıyı saran beton arasındaki bağın koptuğunu gösteren aderans çatlağı gözlemlenmiştir. Bu kiriş daha önce a/d oranı baz alınarak yapılan sınıflandırmaya göre derin kiriş sayılabilecek kirişlerdendir.

#### KAYNAKLAR

- [1] Doğangün A, *Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı*, Birsen Yayınevi, 2016.
- [2] Ersoy U, Özcebe G, *Betonarme*, Evrim Yayınevi ve Tic. Ltd. şti., 2001.
- [3] Kani, G.N.J., How Safe Are Our Large Reinforced Concrete Beams?, *ACI Journal*, Vol. 64, March 1967
- [4] Leonhardt F, Reducing the Shear Reinforcement in Reinforced Concrete Beams and Slabs, *Magazine of Concrete Research*, Vol. 17, No. 53 December 1965, pp. 187-198.
- [5] Nawy EG, *Reinforced Concrete – A Fundamental Approach*, Sixth edition, Prentice Hall, New Jersey, 2009