

Kirişlerde Bindirme Boyu Değişiminin Davranış Üzerindeki Etkinliğinin Deneysel Olarak İncelenmesi

*¹Sıla Yaman, ²Mouad Bensaoud, ¹Abdullah Gündoğay, ¹Hamide Tekeli Kabaş ve ¹Fuat Demir
¹İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye
²İnşaat Mühendisliği Bölümü, Tripoli Üniversitesi, Tripoli, Libya

Özet

Mevcut betonarme binaların büyük çoğunluğu düşük beton dayanımı, enine ve boyuna donatı yetersizliği, yetersiz bindirme boyu gibi zayıflıklara sahiptir. Bu çalışmada, bindirme uygulanan betonarme kiriş elemandaki bindirme boyu değişiminin eleman davranışı üzerindeki etkinliği deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel sırasındaki düşey yük ve kiriş orta seviyesindeki yerdeğiştirme değerleri ölçülmüş ve elde edilen sonuçlar grafiklerle sunulmuştur. Grafiklerden yararlanılarak kiriş elemanların yük taşıma kapasitesi, rijitliği, sünekliği ve enerji tüketme kapasitesi hesaplanmış ve kıyaslamalar yapılmıştır. Referans numune ile yeterli bindirme uzunluğu bulunan numunelerde sünek hasar gözlenirken, yetersiz bindirme uzunluğu bulunan numunede gevrek ani hasar oluşmuştur. Bindirme boyunun yetersiz olması durumunda numune eğilme kapasitesine bile ulaşmadan ani olarak güç tükenmesine ulaşmıştır. Dolayısıyla yük taşıma kapasitesinde %28, enerji tüketme kapasitesinde %96 ve sünekliğinde %84 azalma ortaya çıkmıştır. Bu durum betonarme yapı elemanlarında özellikle kaçınılması gereken gevrek hasara neden olmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Betonarme, bindirme boyu, kiriş

Experimental Investigation of the Effect of Overlap Length Change on Behavior in Beams

Abstract

Most of the existing reinforced concrete buildings have weaknesses such as low concrete strength, insufficient transverse and longitudinal reinforcement, insufficient overlap length. In this study, the effect of overlapping length change in reinforced concrete beam element on the behavior of that was investigated experimentally. During the experiments, the vertical load and the displacement values at the mid beam level were measured. Obtained results are presented with graphics. The load carrying capacity, stiffness, ductility and energy consumption capacity of the beam elements were calculated by using the graphics and comparisons were made. While ductile damage was observed in the reference specimen and specimen with sufficient overlap length, brittle damage occurred in the sample with insufficient overlap length. In case of insufficient overlap length, the specimen occurred a sudden damage before it could even reached its bending capacity. Therefore, the load capacity, energy consumption capacity and ductility values of the specimen decreased in 28%, 96% and 84% ratios, respectively. This situation causes brittle damage in reinforced concrete structural elements, which should be avoided in particular.

Keywords: Reinforced concrete, overlapping length, beam

1. Giriş

Depreme güvenli betonarme binaların yeterli dayanım, süneklik ve rijitlik değerlerine sahip olması gerekir. Bu koşulların sağlanması için hem projelendirme hem de uygulama aşamasında

*Corresponding author: Address: Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü Süleyman Demirel Üniversitesi, 32260, Isparta TÜRKİYE. E-mail address: silayaman@sdu.edu.tr, Phone: +902462110910

yönetmelik ve şartname koşullarına uyulmalıdır. Bir binanın güvenliği ancak taşıyıcı sistemi oluşturan elemanların güvenliğinin sağlanması ile mümkündür. Mevcut betonarme binalar incelendiğinde büyük çoğunluğunun düşük beton dayanımı, enine ve boyuna donatı yetersizliği, yetersiz bindirme boyu gibi zayıflıkların bir veya birçoğunu bünyesinde bulundurduğu bilinmektedir.

Betonarme, beton ve donatı olmak üzere iki bileşenden oluşmaktadır. Donatıların boyu genellikle 12 metre olarak imal edilmektedir. Taşıyıcı sistem elemanlarında bazen 12 metreden daha büyük uzunluklarda donatı gerekebilmektedir. Bazı durumlarda ise kesilerek kısaltılmış boy demirleri kullanılmak istenmektedir. Donatı boyunun yetersiz olduğu durumlarda ve/veya zayıflığı azaltmak için zorunlu olarak donatının eklenmesi yoluna gidilmektedir [1]. Donatıların eklenmesi, kaynakla, manşon ilavesi ile yapılabildiği gibi iki donatı arasında yeterli bindirme boyu uygulanarak da sağlanabilir. Bu yöntemler arasında uygulamada en çok tercih edilen iki donatının birbirine kuvvet aktarımı sağlanacak şekilde üst üste ya da yan yana eklenerek bindirmenin uygulanmasıdır. Bindirme boyunun uzunluğu TS500-2000 [2]'de kenetlenme boyuna bağlı olarak tanımlanmıştır.

Literatürde, bindirmeli eke sahip kirişlerin aderans davranışına etki eden parametrelerin incelendiği çalışmalar yer almaktadır [3-5]. Mabrouk ve Mounir [6], betonarme kirişlerde çekme donatısında yapılan bindirme eki boyunca enine donatı kullanmanın etkisini incelerken, Najafgholipour vd. [7] ise bindirme eki bulunan kirişin davranışına farklı donatı sınıfı, donatı çapı ve donatı konfigürasyonlarının etkisini incelemiştir. Abdel-Kareem vd. [8], çekme bölgesinde bindirmeli ekler bulunan betonarme kirişin davranışına, beton basınç dayanımı, bindirmeli ek uzunluğu, ek bölgesi içinde yer alan enine donatının miktarı ve şeklinin etkisini incelemiştir. Bindirme boyu azaldıkça hasar gevrekleşmekte ve ani hasar oluşmaktadır. El Azab vd. [9] ise yüksek dayanımlı kendiliğinden yerleşen beton kullanılan çekme bölgesinde bindirme ekine sahip kirişlerin davranışına donatı çapı, oranı, bindirme boyu uzunluğu ve betonun kiriş üzerindeki döküm konumunun etkisini incelemiştir.

Bu çalışmada, bindirme uygulanan betonarme kiriş elemandaki bindirme boyu değişiminin eleman davranışı üzerindeki etkinliği deneysel olarak incelenmiştir. Bu amaçla 150×300 mm kesit boyutuna ve 2700 mm uzunluğa sahip üç adet betonarme kiriş numune üretilmiştir. Kirişlerden biri tam uzunlukta bir donatı kullanılarak bindirme uygulanmadan üretilen referans numunedir. Diğer iki adet numune ise kirişin açıklık ortasında bindirme uygulanan numunelerdir. Bu numunelerden bir tanesinde yetersiz diğerinde ise yeterli bindirme uzunluğunu temsil etmek amacıyla sırasıyla 300 mm ve 750 mm uzunluğunda bindirme uygulanmıştır. Tüm kiriş elemanlar dört noktalı eğilme testine maruz bırakılmıştır. Deneyler yerdeğiştirme kontrollü yapılmıştır. Deneyler sırasında düşey yük ve kiriş orta seviyesindeki yerdeğiştirme değerleri ölçülmüş ve elde edilen sonuçlar grafiklerle sunulmuştur. Grafiklerden yararlanılarak kiriş elemanların yük taşıma kapasitesi, rijitliği, sünekliği ve enerji tüketme kapasitesi hesaplanmış ve kıyaslamaları yapılmıştır. Deneysel çalışmanın sonuçları, uygulamada sıklıkla rastlanan bindirme boyu yetersizliğinin davranış üzerindeki etkinliğinin anlaşılmasında ve bu konudaki deneysel verilerin artırılmasına katkı sağlayacaktır.

2. Materyal ve Metod

2.1. Bindirme Boyu Uzunluğu

Betonarme elemanlarda donatıların birbirine eklenmesinde bindirmeli, manşonlu ve kaynaklı yöntemlerin uygulanmasına izin verilmektedir [2]. Bu yöntemler içerisinde en çok uygulanan yöntem ise donatılar arasında bindirme yapılmasıdır. TS 500-2000 [2], ACI 318-14 [10] ve BS 8110-1 [11]'de çekme donatıları için bindirme boyunun uzunluğunun hesabı kenetlenme boyuna ve bindirme boyu katsayısına bağlı olarak tanımlanmıştır.

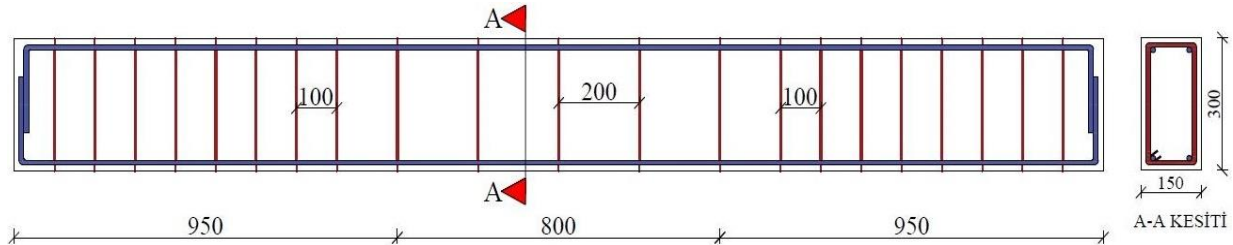
Tablo 1. TS 500-2000 [2], ACI 318-14 [10] ve BS 8110-1 [11]'e göre bindirme boyu denklemleri

TS 500-2000 [2]	ACI 318-14 [10]	BS 8110-1 [11]
$l_b = \left(\frac{0.12 * f_{yd} * \emptyset}{f_{ctd}} \right) \geq 20 * \emptyset$ $\alpha_1 = 1 + 0.5 * r$ $l_o = \alpha_1 * l_b$	$l_d = \left(\frac{f_y * \Psi_t * \Psi_e}{25 * \lambda * \sqrt{f_c^i}} \right) * d_b$ $l_{st} = 1.3 * l_d$	$l_b = \frac{f_{yd}}{4f_{bu}} * \emptyset$ $l_o = 1.4 * l_b$

Tablo 1'de verilen denklemler kullanılarak yapılan hesaplamalar sonucunda TS 500-2000 [2]'e göre en az 399 mm, ACI 318-14 [10]'e göre en az 582 mm, BS 8110-1 [11]'e göre ise en az 662 mm bindirme boyu gereklidir. Deney numunelerinden birinde yetersiz bindirme boyu uzunluğunu temsil etmesi için 300 mm, diğerinde ise yeterli bindirme boyu uzunluğunu temsilen 750 mm bindirme uygulanmasına karar verilmiştir.

2.2. Deney Numunelerinin Hazırlanması

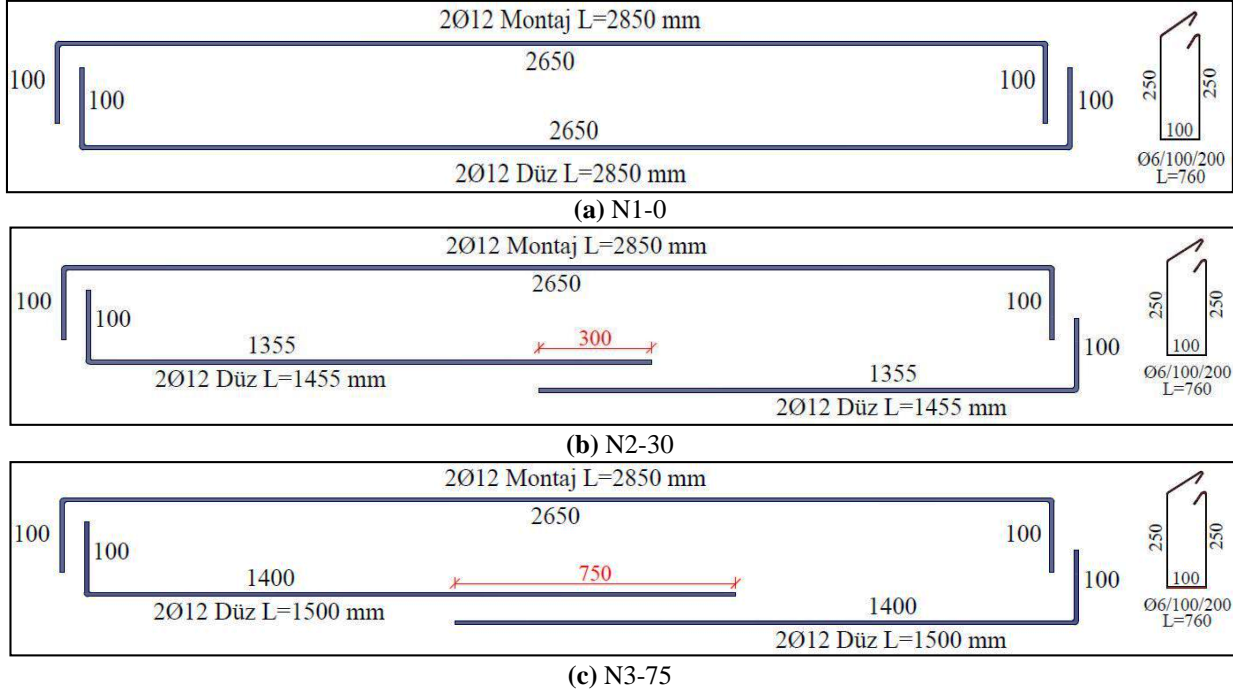
Yapılan deneysel çalışma kapsamında bindirme uygulanan betonarme kiriş elemandaki bindirme boyu değişiminin eleman davranışı üzerindeki etkinliği incelenmiştir. Bu amaçla 150x300x2700 mm boyutlarında ½ ölçekli üç adet betonarme kiriş numunesi üretilmiştir (Şekil 1). Kiriş numunelerin çekme ve basınç bölgelerinde 2Ø12 boyuna donatı kullanılmıştır. Sarılma bölgesinde enine donatı Ø6/100 mm, orta bölgede ise Ø6/200 mm olarak uygulanmıştır. Enine donatı kancaları 135° olacak şekilde bükülmüştür.



Şekil 1. Kiriş numunelerin boyut ve kesit detayı

Üretilen üç adet betonarme kirişten bir adedi bindirme uygulanmayan referans numunedir. Diğer iki adet numune ise kirişin açıklık ortasında çekme donatısında yetersiz ve yeterli uzunlukta bindirme uygulanan numunelerdir. Bu numunelerden bir tanesinde 300 mm, diğerinde ise 750 mm uzunluğunda bindirme uygulanmıştır. Kiriş numunelerin enine ve boyuna donatı detayları Şekil

2’de sunulmuştur. Şekilde verilen kiriş numunelerinin adlandırılmasında N harfi “Numune” ifadesinin kısaltmasını, N harfinden sonra gelen rakamlar sırasıyla numune numarasını ve bindirme boyu uzunluğunu (cm) göstermektedir. N1-0, bindirmenin uygulanmadığı referans numuneyi; N2-30, yetersiz bindirmeyi temsil eden numuneyi ve N3-75 ise yeterli bindirmeyi temsil eden numuneyi belirtmektedir.



Şekil 2. Kiriş numunelerinin donatı detayı

2.3. Malzeme Özellikleri

Kiriş numunelerin üretiminde beton sınıfı C35/45 olan hazır beton kullanılmıştır. Beton basınç dayanımının belirlenebilmesi için beton dökümü esnasında 150x150x150 mm boyutlarında dokuz adet küp numune alınmıştır. 28 gün boyunca küp numunelere kür işlemi yapılmış ve test edilen küp numunelerin ortalama beton basınç dayanımı 43 MPa olarak elde edilmiştir.

Kiriş numunelerin donatı kafeslerinde kullanılan 6 ve 12 mm çapındaki nervürlü donatılardan üçer adet numune alınarak çekme deneyleri yapılmıştır. Deneyler sonucunda ortalama akma dayanımı 6 mm çapındaki donatı için 336 MPa, 12 mm çapındaki donatı için ise 455 MPa olarak elde edilmiştir.

2.4. Deney Düzenegi

Kiriş numunelerinin kür işleminin tamamlanmasının ardından sabit ve hareketli mesnetlerin üzerine yerleştirilerek dört noktalı eğilme testleri gerçekleştirilmiştir. Hidrolik silindir ve 300 kN kapasiteli yük hücresinin (Load cell) yardımıyla düşey yük numunelere uygulanmıştır. Numunelerin yerdeğiştirme ölçümleri için 0.01 mm hassasiyetli yerdeğiştirme ölçerler (Linear

Variable Differential Transformer) kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan yükleme düzeneği ve ölçüm aletlerinin konumları Şekil 3’te verilmiştir. Deneyler yerdeğiştirme kontrollü olarak yapılmıştır.



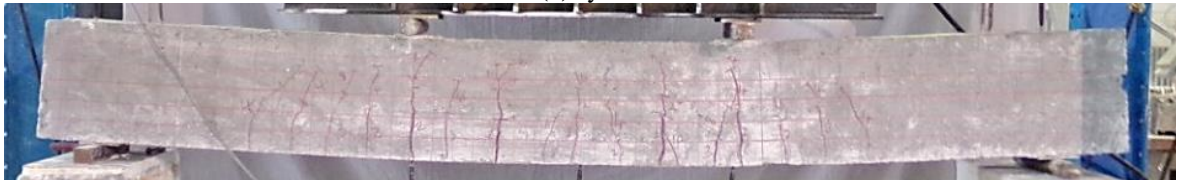
Şekil 3. Yükleme düzeneği ve ölçüm aletlerinin konumları

3. Deneysel Sonuçları

Üretimi tamamlanan numunelerin dört noktalı eğilme deneyleri yerdeğiştirme kontrollü olarak yapılmıştır. Yük, hasarın kontrol edilebilmesi için çevrimsel olarak uygulanmıştır. Bindirmenin uygulanmadığı referans numune (N1-0) ile yeterli bindirmeyi temsil eden numunenin (N3-75) deneyi yerdeğiştirme miktarının 80 mm olduğu çevrimden sonra durdurulmuştur. N1-0 kirişi bu seviyeye kadar sünek bir davranış sergilemiş ve kiriş üzerinde çok sayıda eğilme çatlaklarının oluştuğu görülmüştür. Benzer hasar N3-75 numunesinde de gözlenmiştir. Yetersiz bindirme boyunu temsil eden numunede (N2-30) ise yerdeğiştirme miktarının 30 mm olduğu çevrimde, bindirmenin bittiği yerde başlayan çatlaklar donatıya paralel olarak ilerlemiş ve kiriş üstüne doğru geniş bir çatlak oluşturarak devam etmiştir; bu aşamada deney sonlandırılmıştır. N2-30 numunesinde 10 mm yerdeğiştirme seviyesinde yükte ani bir düşüş meydana gelmiştir. Her çevrimde meydana gelen hasar, kiriş üzerinde çevrim numarasına göre işaretlenmiştir. Şekil 4, Şekil 5 ve Şekil 6’da sırasıyla N1-0, N2-30 ve N3-75 numunelerinin farklı yerdeğiştirme seviyeleri için hasar fotoğrafları verilmiştir.



(a) $y = 2$ mm



(b) $y = 34$ mm



(c) $y = 80$ mm

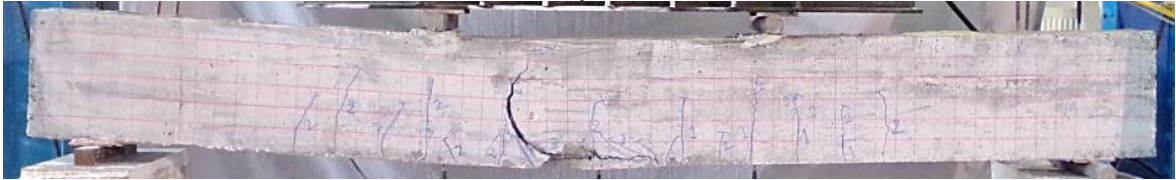
Şekil 4. Referans kirişe (N1-0) ait hasar fotoğrafları



(a) $y = 4$ mm



(b) $y = 10$ mm

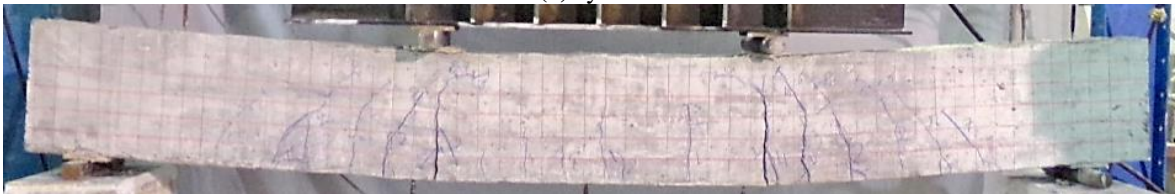


(c) $y = 30$ mm

Şekil 5. Bindirme boyu 300 mm olan kirişe (N2-30) ait hasar fotoğrafları



(a) $y = 2$ mm



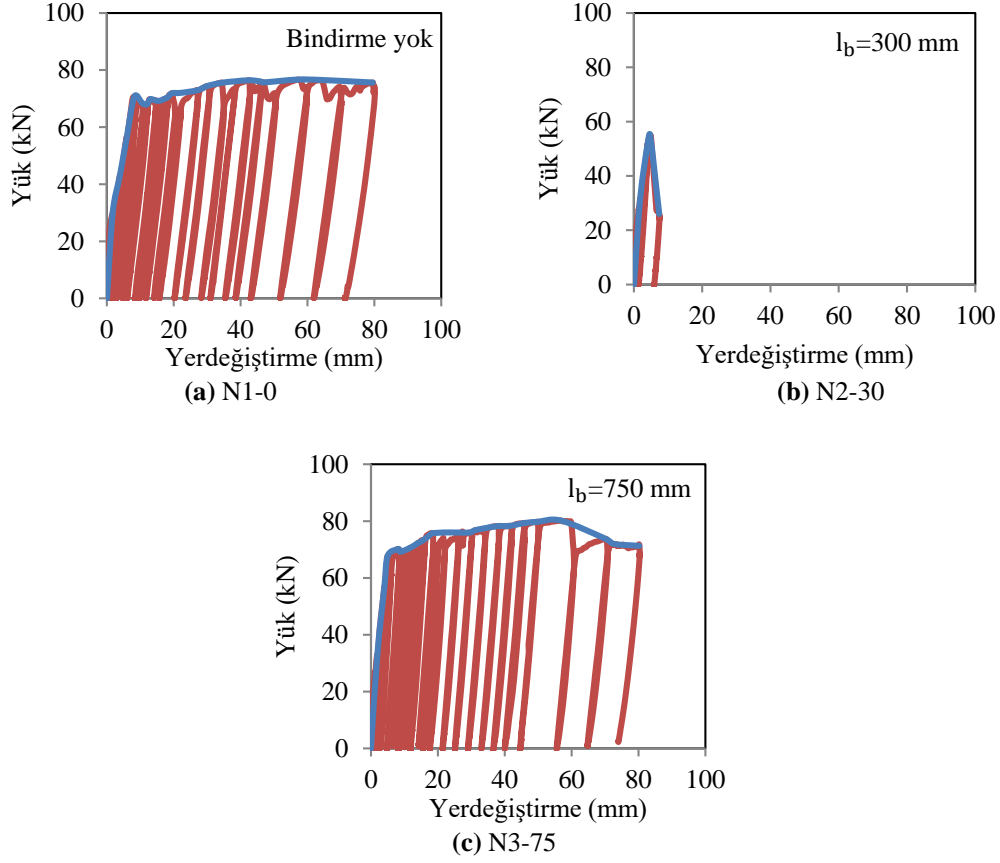
(b) $y = 34$ mm



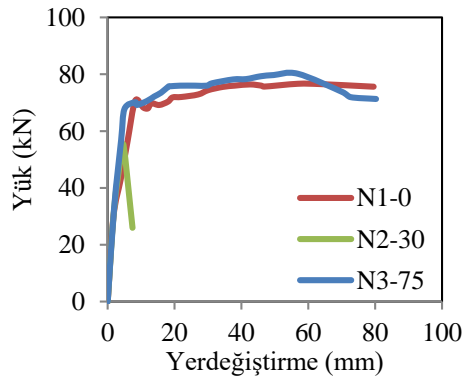
(c) $y = 80$ mm

Şekil 6. Bindirme boyu 750 mm olan kirişe (N3-75) ait hasar fotoğrafları

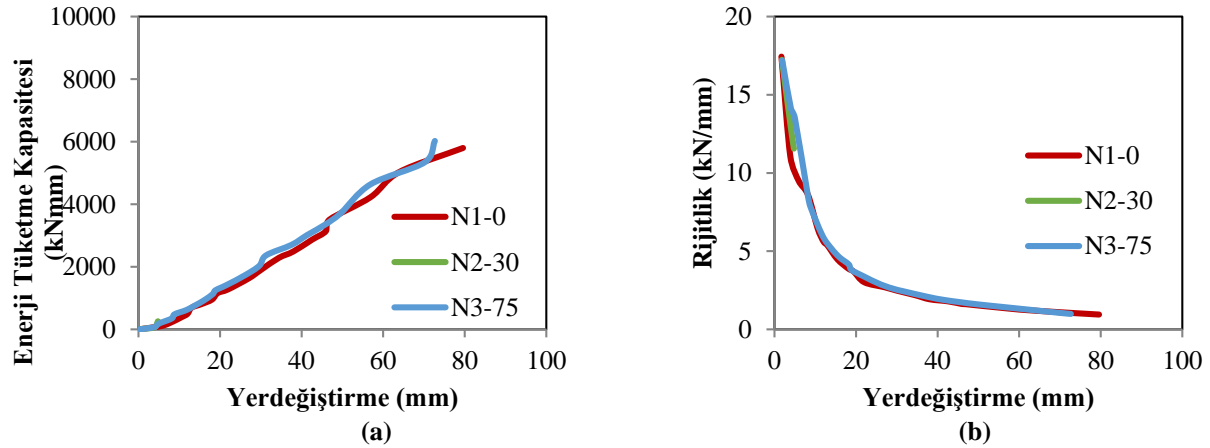
Deney sonucunda üç numune için elde edilen yük-yerdeğiştirme grafikleri, buna bağlı oluşturulan zarf eğrileri Şekil 7’de, zarf eğrilerinin kıyası ise Şekil 8’de, enerji tüketme kapasiteleri ve rijitliklerinin kıyası ise Şekil 9’da verilmiştir.



Şekil 7. Numunelere ait yük-yerdeğiştirme grafikleri



Şekil 8. Numunelere ait zarf eğrileri



Şekil 9. Numunelere ait (a) enerji tüketme kapasitesi ve (b) rijitlik grafikleri

Grafikler incelendiğinde N2-30 numunesinin enerji tüketme ve rijitlik değerlerinin oldukça küçük olduğu için diğer numunelerin eğrileri altında kaldığı ve yük taşıma kapasitesinin ani şekilde düştüğü görülmektedir. Referans numune ile yeterli bindirme boyunun olduğu numunede enerji tüketme kapasitesi, yük taşıma kapasitesi ve rijitlik eğrileri yaklaşık olarak aynı elde edilmiştir.

4. Tartışma

Betonarme elemanların toplam enerji tüketme kapasiteleri, yük-yerdeğiştirme grafiklerindeki her bir çevrimin altında kalan alanların kümülatif toplamı ile hesaplanmaktadır. Deney esnasında numunenin ulaştığı en büyük yük değeri, yük taşıma kapasitesi olarak değerlendirilmiştir. Bu yöntemler ile belirlenen her bir numunenin toplam enerji tüketme kapasitesi (E), yük taşıma kapasitesi (P), 4 mm yerdeğiştirme için rijitliği (K), akma anındaki yerdeğiştirmesi (Δy), göçme anındaki yerdeğiştirmesi (Δu) ve bu iki değer oranından elde edilen sünekliği (μ) Tablo 2’de verilmiştir. Bu parametrelerin değişimini daha kolay değerlendirmek için referans numunesine (N1-0) göre yüzdesel değişimleri Tablo 3’te verilmiştir. Burada “-” işareti referans numuneye göre azalmayı gösterirken “+” işareti ise artışı göstermektedir.

Tablo 2. Numunelere ait deney sonuçları

Numune Adı	P (kN)	E (kNmm)	K (kN/mm)	Δy (mm)	Δu (mm)	μ
N1-0	76.65	5797.75	11.25	8.23	79.57	9.67
N2-30	54.97	261.33	12.93	4.76	7.43	1.56
N3-75	80.19	6022.87	14.14	8.22	80.29	9.77

Tablo 3. Referans numuneye göre yüzdesel değişimler

Numune Adı	P (%)	E (%)	K (%)	μ (%)
N1-0	-	-	-	-
N2-30	-28.29	-95.50	+14.93	-83.87
N3-75	+4.62	+3.88	+25.69	+1.03

Yeterli bindirmeyi temsil eden N3-75 numunesinde referans numuneye göre yük taşıma kapasitesi,

enerji tüketme kapasitesi, rijitlik ve süneklik açısından oldukça benzer değerler elde edilmiştir. Yetersiz bindirmeyi temsil eden N2-30 numunesinde yük taşıma kapasitesi, enerji tüketme kapasitesi ve sünekliğinde azalma görülmüştür.

TBDY [12]'ye göre bindirme boyunun yetersiz olduğu durumlarda kesit kapasite momenti hesaplanırken donatının akma gerilmesi, bindirme boyunun eksikliği oranında azaltılmalıdır. Deney numuneleri için TS500 [2]'e göre en az 399 mm bindirme boyu kullanılması gerektiği önceki bölümlerde belirtilmiştir. N2-30 numunesi için bindirme boyu %25 oranında eksik kullanılmıştır. Tablo 2'de verilen N1-0 ve N2-30 numuneleri için yük taşıma kapasiteleri oranlandığında; bindirme boyu yetersiz numunenin, referans numunenin taşıdığı yükün %72'sini taşıdığı görülmektedir.

Tablo 3 incelendiğinde yetersiz bindirme boyunun, elemanın enerji tüketme kapasitesi ve sünekliğini önemli oranda azalttığı görülmektedir.

5. Sonuçlar

Bu çalışmada, betonarme kiriş elemanlarda bindirme boyu değişiminin elemanın davranışına olan etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Yeterli ve yetersiz bindirmeyi temsil edecek şekilde 300 mm ve 750 mm uzunluğunda bindirme ekleri uygulanmış ve enerji tüketme kapasitesi, yük taşıma kapasitesi, rijitlik ve süneklik açısından referans numuneye göre kıyaslamaları yapılmıştır.

Referans numunede, çok sayıda kılcal eğilme çatlaklarının oluşması ile sünek eğilme hasarı ortaya çıkmıştır. Yeterli bindirme boyu sağlanan numunede de benzer hasarlar gözlenirken yetersiz bindirme boyu bulunan numunede derin bir çatlama ile ani yük düşüşü meydana gelmiştir. Dolayısıyla referans numune ile yeterli bindirme uzunluğu bulunan numunelerde sünek hasar gözlenirken, yetersiz bindirme uzunluğu bulunan numunede gevrek ani hasar oluşmuştur.

Referans numuneye kıyasla yeterli bindirme boyu uygulanan numunede yük taşıma kapasitesi, enerji tüketme kapasitesi ve süneklik açısından oldukça yakın değerler elde edilmiştir. Dolayısıyla numunelerde yeterli uzunlukta bindirme boyunun sağlanması ile davranış sürekli donatı kullanılan numuneye çok benzer olarak ortaya çıkmıştır.

Bindirme boyunun yetersiz olması durumunda ise numune eğilme kapasitesine bile ulaşmadan ani olarak güç tükenmesine ulaşmıştır. Dolayısıyla yük taşıma kapasitesinde %28, enerji tüketme kapasitesinde %96 ve sünekliğinde %84 azalma ortaya çıkmıştır.

Dolayısıyla bindirme boyunun yetersiz olması, elemanın enerji tüketme kapasitesi ve sünekliğini önemli ölçüde azaltarak gevrek kırılmaya neden olmuştur. Bu durum betonarme yapı elemanlarında özellikle kaçınılması gereken gevrek hasara neden olmaktadır. Bindirme boyunun yetersizliği eleman davranışını olumsuz yönde etkileyerek gevrek kırılmaya sebep olmaktadır.

Kaynaklar

- [1] Doğangün A. Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı. 16. Baskı. İstanbul; 2019.
- [2] TS500. Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları. Türk Standardları Enstitüsü. Ankara, 2000.
- [3] Benli A, Türk K, Calayır Y. Kendiliğinden Yerleşen Betondan Üretilmiş Kirişlerin Aderans Dayanımının Deneysel ve Sayısal Olarak İncelenmesi. Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 2008, 20.4: 599-607.
- [4] Türk K, Benli A, Calayır Y. Bond strength of tension lap-splices in full scale self-compacting concrete beams. Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences, 2008, 32.6:377-386.
- [5] Arslan ME, Arslan T. Kenetlenme Boyu ve Donatı Çapının Beton-Donatı Aderansına Etkisinin Mafsallı Kiriş Deneyiyle İncelenmesi. Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 2018, 30,2: 1-11.
- [6] Mabrouk RTS, Mounir A. Behaviour of RC beams with tension lap splices confined with transverse reinforcement using different types of concrete under pure bending. Alexandria Engineering Journal, 2018, 2018.57:1727-1740.
- [7] Najafghholipour MA, Denghan SM, Khani M, Heidari A. The performance of lap splices in RC beams under inelastic reversed cyclic loading. Structures, 2018, 15.2018:279-291.
- [8] Abdel-Kareem AH, Abousafa H, El-Hadidi OS. Effect of transverse reinforcement on the behavior of tension lap splice in high-strength reinforced concrete beams. World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Bioengineering and Life Sciences, 2013, 7.12:989-996.
- [9] El-Azab MA, Mohamed HM, Farahat A. Effect of tension lap splice on the behavior of high strength self-compacted concrete beams. Alexandria Engineering Journal, 2014, 2014.53:319-328.
- [10] ACI 318-14. Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary. American Concrete Institute. Farmington Hills, 2014.
- [11] BS 8110-1. Structural Use of Concrete-Part 1: Code of Practice for Design and Construction. British Standard Institute. 1997.
- [12] TBDY. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı. Ankara, 2018.