

DÜZENLİ ÜÇGEN VEYA DAİRESEL BOŞLUKLARA SAHİP BETONARME KİRİŞLERİN DAVRANIŞ VE DAYANIMI

Sabahattin AYKAÇ¹ ve Mahmut Cem YILMAZ¹

¹ Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, , Maltepe 06570, Ankara
saykac@gazi.edu.tr, mcvilmaz@gazi.edu.tr

(Geliş/Received: 07.04.2011; Kabul/Accepted: 06.06.2011)

ÖZET

Bu çalışma kapsamında düzenli gövde boşluklarına sahip betonarme kirişlerin tekdüze yükler altındaki davranışı deneysel olarak araştırılmıştır. Deneylerde, gövdesinde daire veya üçgen şeklinde düzenli büyük boşluklar bulunan altı adet kiriş ile karşılaştırma amacıyla boşluksuz üç adet kiriş hazırlanmış ve test edilmiştir. Deney değişkenleri olarak, “boşluk geometrisi” ve “çekme bölgesindeki donatı oranı” seçilmiştir. Deneysel çalışmanın sonunda az ve normal çekme donatısı oranına sahip kirişlerin yeterli bir dayanım ve süneklik gösterdiği görülmüştür. Dayanım ve süneklik bakımından dairesel boşluklu kirişler, üçgen boşluklu kirişlere göre daha iyi sonuçlar vermiştir.

Anahtar Kelimeler: Boşluklu kiriş, boşluk, delik, betonarme

BEHAVIOUR AND STRENGTH OF RC BEAMS WITH REGULAR TRIANGULAR OR CIRCULAR WEB OPENINGS

ABSTRACT

The behavior of RC beams with regular web openings subjected to monotonic loading is investigated experimentally. Thus, six beams with regular triangular or regular circular big openings and three reference beams without openings are tested. The test parameters are chosen as the geometries of the openings and the reinforcement ratios at the tension zone. The test results show that beams with low reinforcement or normally reinforced at the tension zone behave in a sufficiently ductile manner. A general observation is that, beams having circular openings yielded better results than the beams with triangular web openings.

Keywords: Beams with openings, opening, hole, reinforced

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Uygulamada betonarme kirişlerin gövdesinde delik açılması sıklıkla rastlanılan bir durumdur. Çoğu durumda bu delikler tesisat borularının, havalandırma veya elektrik tavalalarının geçirilmesi için kullanılmaktadır. Söz konusu tesisatın kiriş altından geçirilmesi durumunda net kat yüksekliği azalacağından uygulamacılar genellikle böyle bir çözüme tercih etmektedirler. Kiriş gövdesindeki bu delikler önceden oluşturulabildiği gibi, kiriş yan yüzünün sonradan geliş güzel kırılarak delik oluşturulduğu da sıklıkla görülmektedir. İkinci uygulamanın son derece sakıncalı olacağı ve kabul edilemez olduğu bilinen bir gerçektir. Doğru olan yol, içinden tesisatın geçeceği bölgelerde döküm sırasında boşluklar bırakılmasıdır. Boşluğu, üretim sırasında

oluşturulmuş kirişlerin nasıl davranacağı üzerine çok sayıda araştırma yapılmıştır. Bu konudaki değerli çalışmalardan biri M.A. Mansur ve Kiang-Hwee Tan tarafından yapılmış ve edinilen bilgiler bir kitapta toplanmıştır [1]. Yapılmış olan çalışmaların önemli bir kısmında deliğin büyük veya küçük olması durumu [2-7], deliğin derin kirişlerdeki etkisi [8-10], delik geometrisi [11-13], eğilme ile birlikte burulmanın da olması durumları incelenmiştir [13-15]. Ancak bugüne kadar yapılmış çalışmalarda genellikle kiriş gövdesinde bir ya da birkaç delik olduğu durumlarda davranış ve dayanımın nasıl değiştiği araştırılmıştır. Bu çalışmalarda gerilmelerin delik civarında yoğunlaştığı ve kırılmaların genellikle eğilme taşıma gücüne ulaşmadan çok önce kesme taşıma gücünün yitirilmesi ile gerçekleştiği

görülmüştür. Bilindiği gibi kesme kırılması son derece sakıncalı ve oldukça gevrek bir kırılma türüdür. Bu nedenle bu çalışmada, delikli kirişlerin gevrek olarak kırılmasını önleyecek tasarım yöntemlerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada kesme dayanımından önce eğilme taşıma gücüne ulaşan ve yeterince sünek bir davranış gösteren boşluklu kirişlerin üretimi hedeflenmiştir. Bunun için kiriş üzerindeki delik sayılarının artırılarak gerilmelerin bir yerine, birden çok delik üzerine yayılarak gerilme yığılmalarının önüne geçilebileceği düşünülmüştür. Çalışma deneysel olarak yürütülmüş, boşluk geometrisi ve çekme donatısı oranı parametre olarak ele alınmıştır [16]. Deney elemanları; davranış, kirişlerin göçme karakterleri, süneklik, dayanım ve eğilme rijitlikleri bakımından karşılaştırılmış ve yorumlar yapılmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL WORK)

2.1. Deney Elemanları (Test Specimens)

Çalışmada 3 adet üçgen boşluklu, 3 adet daire boşluklu ve 3 adet de boşluksuz (karşılaştırma kirişi) olmak üzere toplam 9 adet kiriş test edilmiştir. Çizelge-1’de deney elemanlarına ait tüm özellikler topluca sunulmuştur. Laboratuvar koşulları göz önünde bulundurularak deney elemanı ölçeğinin ½ olmasına karar verilmiştir. Buna göre tüm elemanlarda kesit genişliği 150 mm, kesit yüksekliği 400 mm ve kiriş boyu 4 m olarak seçilmiştir. Çalışmada delik yüksekliğinin kiriş yüksekliğine oranı ½ olarak seçilmiştir. Literatürde bu kirişler büyük boşluklu olarak anılmaktadır [17]. Üçgen ve daire boşluklu kirişler ile boşluksuz karşılaştırma kirişlerinde çekme donatısı; az, çok ve normal (olağan) olmak üzere üç farklı oranda seçilmiştir. Donatı oranları; çekme donatısı alanının, kirişin dolu kesit alanına bölünmesiyle hesaplanmıştır. Tanımlamalardaki az donatı minimum donatıya, çok donatı maksimum donatıya ve normal donatıda bu iki donatının yaklaşık olarak ortalamasına karşı gelmektedir [18].

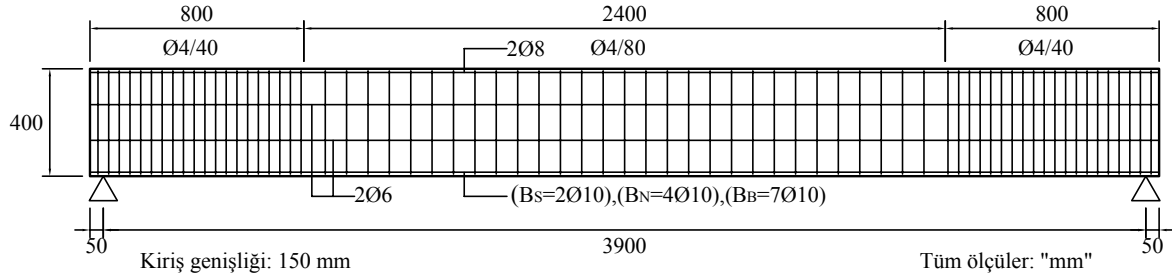
Çizelge 1.’de deney elemanı adındaki ilk harf boşluk tipini göstermektedir. “B” boşluksuz kirişi, “T” üçgen boşluklu kirişi, “C” daire boşluklu kirişi

simgelemektedir. Eleman adındaki ikinci harf ise donatı oranını göstermektedir. “S” az donatılı, “N” normal donatılı ve “B” de çok donatılı kirişler için kullanılmıştır. Üçgen boşluklu kirişlerde kiriş gövdesinde, yüksekliği 200 mm ve kenar uzunluğu 231 mm olan 15 adet eşkenar üçgen boşluk oluşturulmuştur. Üçgenler arasındaki çapraz kolların genişliği ise 100 mm olarak seçilmiştir. Daire boşluklu kirişlerde ise kiriş gövdesinde, çapı 200 mm olan 12 adet daire boşluk oluşturulmuştur. Bu elemanlarda da delikler arası mesafe 100 mm olarak seçilmiştir. Boşluksuz kirişlerde basınç donatısı olarak 2φ8 kullanılmıştır. Çekme donatısı olarak; az donatılı kirişte 2φ10, normal donatılı kirişte 4φ10 ve çok donatılı kirişte ise 7φ10 boyuna donatı kullanılmıştır. Bu elemanlarda kiriş ağırlık ekseninin altında ve üstünde 2φ6 gövde donatısı kullanılmıştır. Elemanların sargı bölgesinde φ4/40 mm, orta bölgesinde ise φ4/80 mm kesme donatısı kullanılmıştır. Boşluksuz referans kirişlerin donatı detayı Şekil-1’de gösterilmiştir.

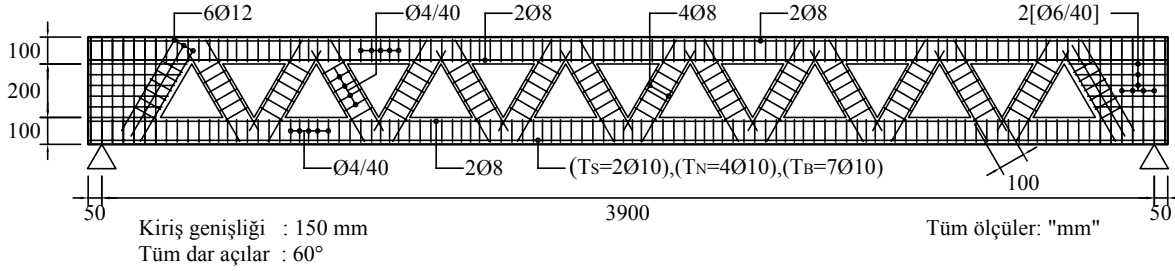
Üçgen boşluklu kirişlerde basınç donatısı olarak üst başlıkta 2 sıra halinde 2φ8 boyuna donatı konulmuştur. Çekme donatısı olarak; az donatılı kirişte 2φ10, normal donatılı kirişte 4φ10 ve çok donatılı kirişte ise 7φ10 boyuna donatı kullanılmıştır. Ayrıca üçgen boşluklu kirişlerin hepsinde çekme donatısı olarak alt başlığın üst sırasında 2φ8 boyuna donatı kullanılmıştır. Üçgen boşluklu kirişlere ait donatı detayı Şekil-2’de gösterilmiştir. Daire boşluklu kirişlerin alt ve üst başlıklarındaki boyuna ve enine donatı düzenlemeleri üçgen boşluklu kirişler ile aynıdır. Daire boşluklu kirişlere ait donatı detayı Şekil-3’te gösterilmiştir. Hem daire, hem de üçgen boşluklu kirişlerde; alt ve üst başlıklar ile boşluklar arasındaki çapraz ve dikmelerde 40 mm ara ile 4 mm çaplı etriyeler (φ4/40 mm) kullanılmıştır. Bu elemanların mesnet bölgelerinde hem yatay hem de düşey doğrultuda 40 mm ara ile 6 mm çapında donatılar (φ6/40 mm) kullanılmıştır. Ayrıca bu elemanlarda mesnetlere yakın dikme ve çaprazlarda 6φ12, diğer dikme ve çaprazlarda ise 4φ8 boyuna donatı kullanılmıştır.

Çizelge 1. Deney elemanlarının özellikleri (Properties of test specimens)

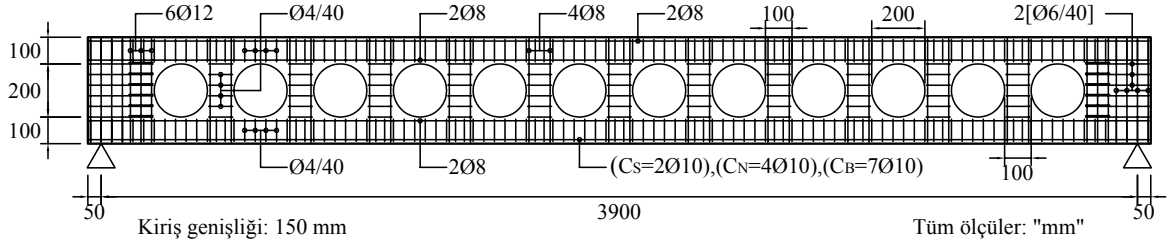
Deney Elemanı Numarası	Deney Elemanı Adı	Boşluk Geometrisi	Çekme Donatısı	Basınç Donatısı	Çekme Donatısı Oranı
1	BS	Boşluksuz	2Ø10	2Ø8	0,0026
2	BN	Boşluksuz	4Ø10	2Ø8	0,0052
3	BB	Boşluksuz	7Ø10	2Ø8	0,0092
4	TS	Üçgen	2Ø10+2Ø8	4Ø8	0,0043
5	TN	Üçgen	4Ø10+2Ø8	4Ø8	0,0069
6	TB	Üçgen	7Ø10+2Ø8	4Ø8	0,0108
7	CS	Daire	2Ø10+2Ø8	4Ø8	0,0043
8	CN	Daire	4Ø10+2Ø8	4Ø8	0,0069
9	CB	Daire	7Ø10+2Ø8	4Ø8	0,0108



Şekil 1. Karşılaştırma kirişlerinin boyut ve donatı detayı (Dimension and reinforcement details of reference beams)



Şekil 2. Üçgen boşuklu kirişlerin boyut ve donatı detayı (Dimension and reinforcement details of beams with triangle web openings)



Şekil 3. Daire boşuklu kirişlerin boyut ve donatı detayı (Dimension and reinforcement details of beams with circular web openings)

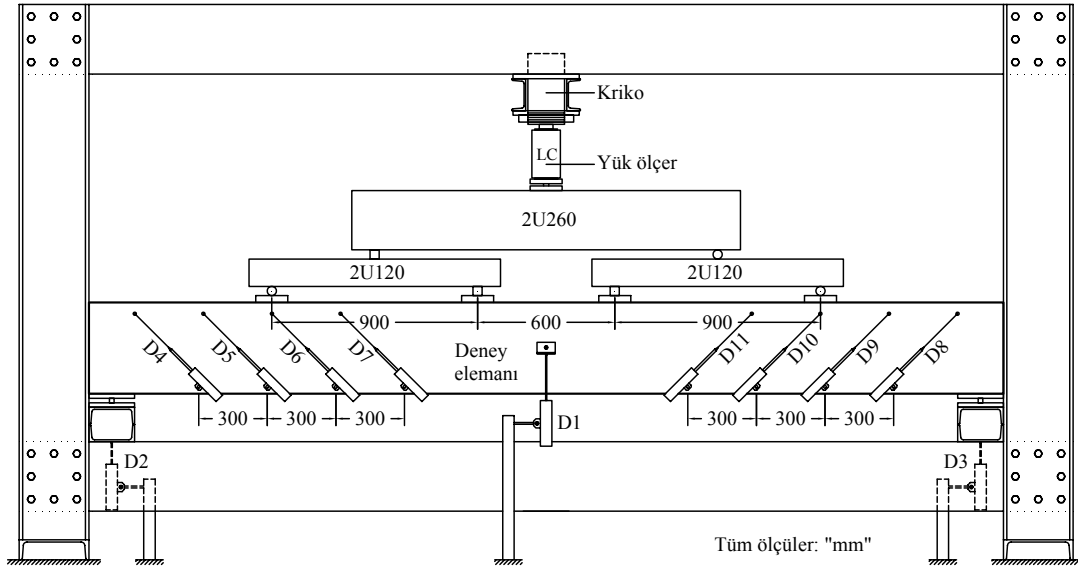
2.2. Malzeme Özellikleri ve Dayanımları (Material Properties and Strengths)

Deney elemanlarının beton dökümü sırasında, 300 mm yüksekliğinde ve 150 mm çapında standart silindirik numuneler alınmıştır. Numunelerin hepsi deney elemanları ile aynı ortamdaki küre tabii tutulmuşlardır. Elemanların basınç dayanımlarının; çekme donatısı az olan kirişlerde 22 MPa, normal olan kirişlerde 20 MPa ve çok olan kirişlerde ise 21 MPa olduğu belirlenmiştir. Tüm elemanlarda 8 mm'den küçük çaplı donatılar düz yüzeyli, diğer donatılar ise nervürlü çubuklar kullanılmıştır. Düz yüzeyli donatıların akma dayanımlarının 250 MPa civarında olduğu belirlenmiştir. Nervürlü çubukların akma dayanımları ise 420 MPa olarak bulunmuştur.

2.3. Deney Düzeni (Test Setup)

Deneyler Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü'nün Yapı Mekanığı

Laboratuvar'ında bulunan kapalı bir çelik çerçevede gerçekleştirilmiştir. Kullanılan deney düzeni Şekil-4'de gösterilmiştir. Birçok durumda kirişler üzerinde yayılı yükler bulunmaktadır. Çalışmada yayılı yük ile benzer moment diyagramı oluşturacak bir yükleme sistemi seçilmiştir. Bu nedenle kirişe simetri ekseninden 0,30 m ve 1,20 m mesafelerde 4 adet eşit noktasal yük uygulanarak yayılı yük etkisi oluşturulmuştur. Bunun için hidrolik bir krika ile yük, önce basit bir ana çelik kirişe uygulanmış, daha sonra bu kirişin reaksiyonları yine iki basit çelik kiriş ile dörde bölünerek betonarme kirişe aktarılmıştır. Deneyler sırasında uygulanan yükün büyüklüğü yük-hücre (LC) ile ölçülmüştür. Deney elemanları üzerinde çeşitli yön ve doğrultulardaki yer değiştirmeler (kayma deformasyonu, mesnet çökmesi, kiriş orta noktasının sehim) ise elektronik deplasman ölçerler (LVDT) ile ölçülmüştür.



Şekil 4. Deney düzeneği (Test Setup)

3. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Boşluklu kirişlerde, karşılaştırma kirişlerinden farklı olarak çekme bölgesindeki donatıların hemen üstünde fazladan 2φ8 boyuna donatı kullanılmıştır. Benzer şekilde basınç donatılarının hemen altında da fazladan 2φ8 boyuna donatı konulmuştur. Donatılardaki bu artıma bağlı olarak boşluklu kirişler karşılaştırma kirişlerine göre olması gerekenden daha büyük dayanım göstermişlerdir. Deneylerde elde edilen yük-deplasman grafiklerinin bu haliyle kullanılması yanıltıcı olabileceğinden, değerlendirmeler boşluklu kirişlerin yük değerleri normalize edildikten sonra yapılmıştır. Burada verilmiş olan yük-deplasman grafiklerinin ve değerlendirmelerin hepsinde normalize edilmiş değerler kullanılmıştır. Değerlendirmeler kirişlerin göçme karakterleri, süneklikleri, eğilme rijitlikleri ve dayanımları üzerinden yapılmıştır. Süneklik kıyaslaması yapılırken kirişin dayanımında önemli bir kayıp olmadan yapabildiği maksimum deformasyonlar göz önünde bulundurulmuştur. Değerlendirmelerde önemsenmeyecek dayanım kaybı %15 olarak ele alınmıştır. Bu nedenle süneklik oranı; kirişin ulaştığı

maksimum yükün %85'ine karşı gelen deplasman değerinin (δ_u), akma anındaki deplasman değerine (δ_y) oranından bulunmuştur. Bu oranın sünek bir kiriş için olması gereken minimum değeri 4~5'dir. Normalde eğilme rijitliği, moment-eğrilik grafiğinin doğrusal kısmının eğimidir. Ancak eğrilik ölçümlerinin betonarmede doğru bir biçimde elde edilmesi genellikle zordur. Bu nedenle değerlendirmelerde gerçek eğilme rijitlikleri yerine görece eğilme rijitlikleri kullanılmıştır. Görece eğilme rijitlikleri ise yük-deplasman grafiğinin çıkış kolunun eğiminden hesaplanmıştır. Çizelge-2'de tüm kirişlere ait çeşitli büyüklükler verilmiştir. Bu çizelgede; P_y ve P_{max} akma ve ulaşılan maksimum yükleri göstermektedir. δ_y ve δ_u ise sırasıyla akma anındaki deformasyon ile $P_u=0.85P_{max}$ değerine karşı gelen deformasyonu göstermektedir.

Çizelge-3'te ise süneklik, dayanım ve eğilme rijitliklerinin elemanlar arası değişimi, oransal olarak verilmiştir. Bu çizelgede elemanlar arasındaki süneklik oranları doğrudan δ_u değerlerinin oranları ile bulunmuştur.

Çizelge 2. Deney elemanlarına ait çeşitli büyüklükler (Various variables of specimens)

Kiriş Adı	P_y (kN)	P_{max} (kN)	P_u (0,85 P_{max}) (kN)	δ_u (mm)	δ_y (mm)	Süneklik Oranı (δ_u/δ_y)	Görelî Eğilme Rijitliği (kN/mm)
BS	64	76,3	64,9	≥ 182	17	$\geq 10,71$	3,06
TS	54	64,2	54,6	$\geq 200,6$	20	$\geq 10,03$	2,77
CS	50	73,3	62,3	≥ 193	19,5	$\geq 9,90$	2,64
BN	110	145,9	124,0	196	17,6	11,14	5,67
TN	113	136,5	116	114	22,5	5,07	4,98
CN	115	146,0	124	320	31,7	10,09	3,84
BB	170	210,1	178,6	122	17,5	6,97	9,16
TB	-	167,3	142,2	43	-	-	8,14
CB	-	176,3	150	29,4	-	-	6,54

Çizelge 3. Elemanlar arası çeşitli büyüklüklerin karşılaştırılması (Comparison of various variables between the specimens)

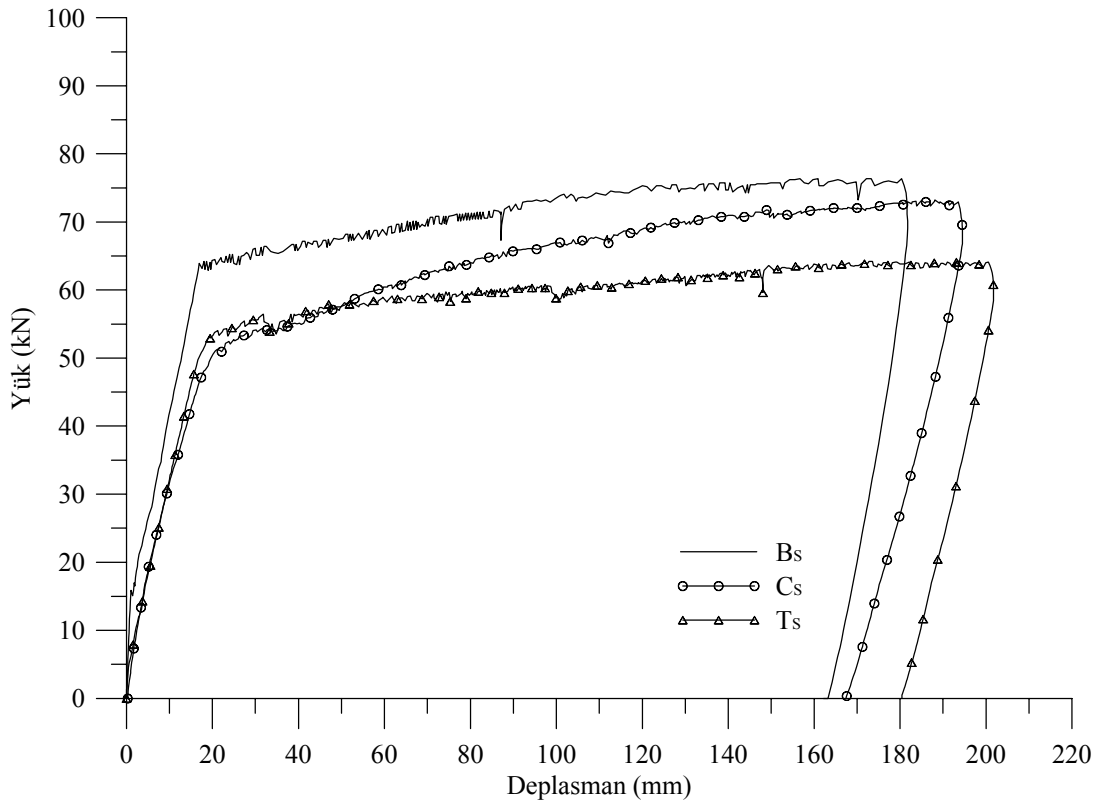
Karşılaştırılan elemanlar	Süneklik oranları			Dayanımlar			Eğilme rijitlikleri		
	C/B	T/B	C/T	C/B	T/B	C/T	C/B	T/B	C/T
S (az donatılı)	-*	-*	-*	0,96	0,84	1,14	0,86	0,91	0,95
N (olağan donatılı)	1,63	0,58	2,81	1,00	0,94	1,07	0,68	0,88	0,77
B (çok donatılı)	-	-	-	0,84	0,80	1,05	0,71	0,89	0,80

(*) Bu elemanlar oldukça sünek davranmışlardır ve elemanlar yeterli sünekliktedir. Deneyin sonuna kadar dayanımda bir kayıp oluşmamıştır. Yük hücrenin genlik kapasitesi bittiğinden deneye devam edilmemiş ve bu yüzden oran hesaplanamamıştır.

3.1. Az Donatılı Boşluklu Kirişler ile Az Donatılı Boşluksuz Kirişin Karşılaştırılması (Comparison of "s" Type Beams with Reference Beam)

Ts kirişi ile Bs kirişinin göçme şekli eğilme karakterinde olmuştur. Her iki kirişe ait yük-deplasman grafiği Şekil-5'de gösterilmiştir. Her iki kiriş deneyinde de hidrolik krikonun genlik kapasitesi bittiği ve yeterince sünek davranış elde edildiği için deneye devam edilmemiştir. Dolayısıyla deneylerde devam edilmiş olması durumunda grafiklerdeki eğrilerin daha ne kadar yatay bir şekilde devam edeceği bilinmediğinden bu yük-deplasman grafiklerine göre süneklik kapasitelerinin yorumlanması olası değildir. Ancak tüm elemanların, beklenenden ötede, oldukça sünek bir davranış

gösterdiği açıktır. Ts kirişinin Bs kirişine olan dayanım oranı 0,84 olarak, eğilme rijitliği oranı ise 0,91 olarak bulunmuştur. Bu oranlardan da anlaşılacağı üzere Ts kirişinin dayanım ve eğilme rijitliği, Bs kirişinin dayanım ve eğilme rijitliğinden daha küçüktür. Bununla birlikte aradaki farklar kabul edilebilir düzeydedir ve referansa benzer bir davranış elde edilmiştir. Cs kirişinin de göçme şekli eğilme karakterinde olmuştur (Şekil-5). Cs kirişinde de Bs'de olduğu gibi betonda ezilme meydana geldikten sonra yeterince sünek davranış elde edildiğine kanaat edilmiş ve hidrolik krikonun genlik kapasitesi bittiği için deneye devam edilmemiştir. Bu elemanda referans kiriş dayanımının %96'sına, eğilme rijitliğinin ise %86'sına ulaşılmıştır (Çizelge-3).

**Şekil 5.** Az donatılı kirişlerin yük-deplasman grafikleri (Load-deflection graph of "S" type Beams)

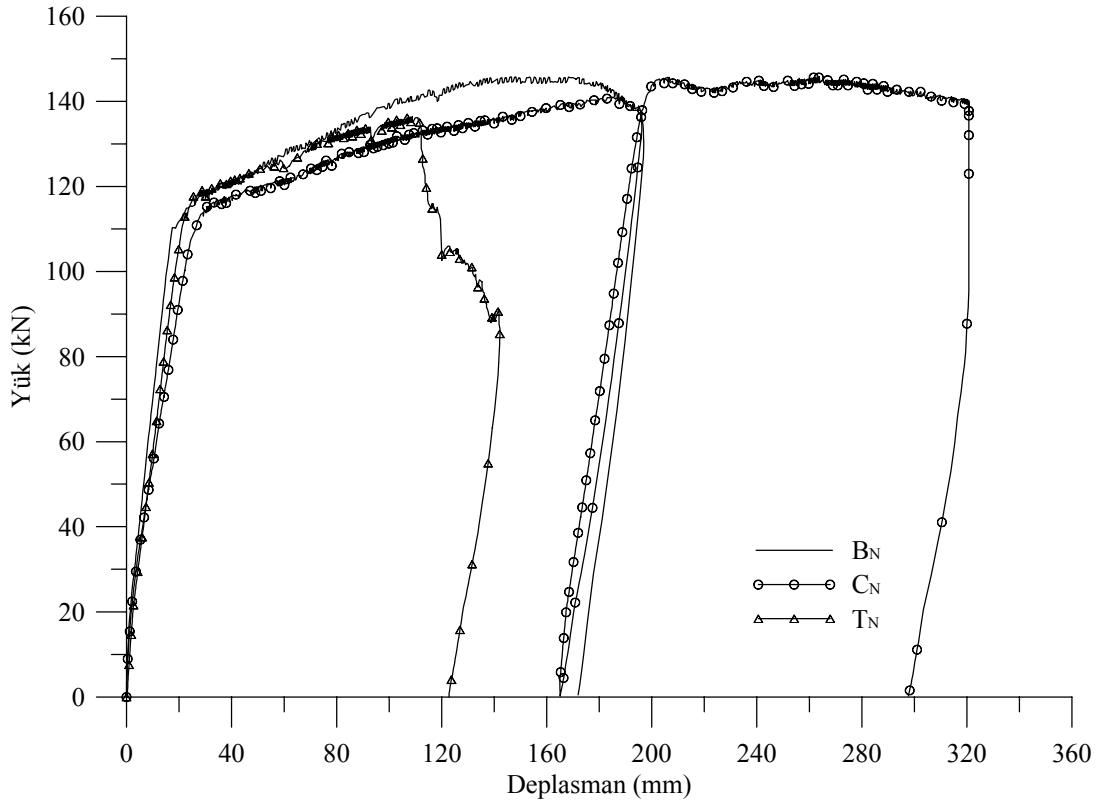
Cs kirişinin Ts kirişine olan dayanım oranı 1,14 ve eğilme rijitliği oranı ise 0,95 olarak bulunmuştur (Çizelge-3). Cs kirişi, Ts kirişinden farklı olarak, 35-40 mm'lik deplasman değerinden sonra tekrar yük almaya başlamıştır. Genel olarak Cs kirişi, Ts kirişinden daha iyi bir davranış göstermiş ve daha büyük yük değerlerine ulaşılmıştır.

3.2. Normal Donatılı Boşluklu Kirişler ile Normal Donatılı Boşuksuz Kirişin Karşılaştırılması (Comparison of "N" Type Beams with Web Openings and "N" Type Reference Beam)

BN kirişinin göçme şekli eğilme karakterinde olmuştur. CN kirişinin de göçme şekli eğilme karakterinde olmuştur (Şekil-6).

CN kirişi BN kirişine göre oldukça sünek bir davranış göstermiştir. Bu elemanda krikonun genlik kapasitesi bittikten sonra yük boşaltılmış ve krikonun altı beslendikten sonra kirişe tekrar yük verilmiştir. CN kirişi için 180 mm deplasmanda yapılmış olan bu boşaltma-yükleme işlemi Şekil-6'da aynen gösterilmiştir. Buna rağmen dayanımda önemli bir kayıp gözlenmemiştir. Ayrıca bu elemanda belirli bir deplasmandan sonra deplasman ölçen aletin genlik kapasitesi bitmiş ve deneye zorunlu olarak son verilmiştir. Deplasman ölçerin genlik kapasitesi bittiği için belirli bir bölgede (son boşaltma bölgesinde) sabit deplasman ölçümleri alınmıştır.

Her iki kirişin taşıma güçleri aynı olmasına karşın CN kirişinin eğilme rijitliği, BN kirişininkinden %32 daha küçük çıkmıştır (Çizelge-3). Eğilme rijitliği dışında CN kirişi oldukça iyi bir davranış sergilemiştir. TN kirişi de hedeflenen taşıma gücüne ulaşmıştır. Ancak eleman, kesme dayanımının son anda ve aniden yitirilmesi ile, mevcut taşıma gücünü hızlı bir şekilde yitirmiştir. Deney sonunda eleman üzerinde yapılan incelemelerde çapraz boyuna donatılarının hatalı üretildiği ve bu donatıların aderans boylarının öngörülenden az olduğu tespit edilmiştir. Buna rağmen alt sınırdan da olsa, eleman yeterince sünek bir davranış göstermiştir (Çizelge-2). Bu elemanda hem dayanım hem de rijitlik bakımından referans kirişe oldukça yakın değerlere ulaşılmıştır (Çizelge-3). Genel olarak CN kirişi, TN kirişine göre daha iyi bir davranış göstermiştir. Ancak eğilme rijitliği bakımından TN kirişi CN kirişinden daha iyi sonuç vermiştir. Deneyler sırasında TN kirişinin kafes kiriş gibi davrandığı, alt ve üst başlıklar arasındaki yük aktarımında çapraz eksenel rijitliklerinin ön plana çıktığı ve buna bağlı olarak da eleman eğilme rijitliklerinin yüksek değerlere ulaştığı görülmüştür. Ancak üçgen boşluklu elemanların çapraz kollarındaki eksenel yüklerin, daire boşluklu kirişlere göre, daha dar bir alana aktarılmış olması bu kirişleri özellikle aderans ve kesme dayanımı bakımından daha zayıf bir hale getirdiği görülmüştür.

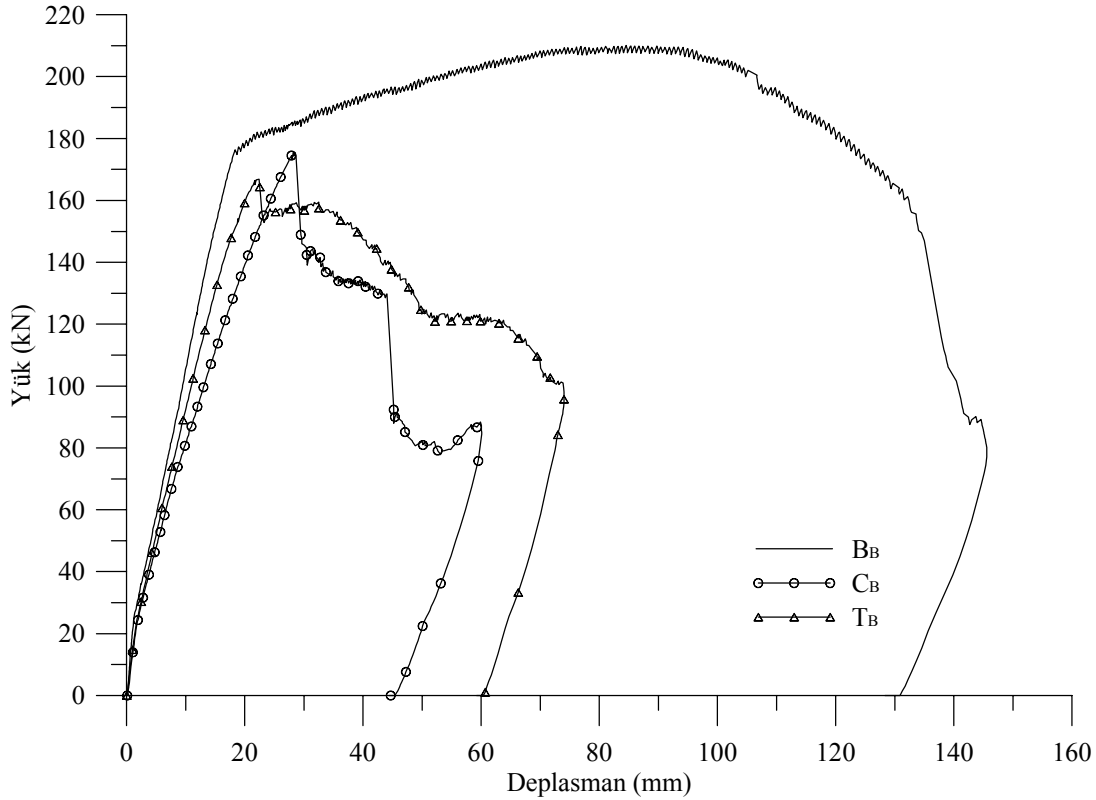


Şekil 6. TN, CN ve BN kirişlerine ait yük-deplasman grafikleri (Load-deflection graph of TN, CN and BN Beams)

3.3. Çok Donatılı Boşluklu Kirişler ile Çok Donatılı Boşluksuz Kirişin Karşılaştırılması (Comparison of "B" Type Beams with Web Openings and "B" Type Reference Beam)

Çok donatılı CB ile çok donatılı TB kirişlerinin eğilme rijitlikleri referansa göre sırasıyla 0,71 ve 0,80 olarak hesaplanmıştır. Ancak her iki eleman referans kiriş dayanımının %80'i civarında aniden taşıma gücünü yitirmiştir (Şekil-7). Her iki elemenda da mekanizmaları benzer şekillerde olmuştur. Bu

elemanlarda önce mesnete yakın boşluklarda plastik mafsallar oluşmuş daha sonra bu bölgelerin mekanizmaya dönüşmesi ile kirişlerde ani kesme kırılmaları oluşmuştur. Bu elemanlarda yeterli bir başarı elde edilememiş ve çok donatılı boşluklu kirişler için çalışmaların değişik donatı düzenleme teknikleri ile yürütülmesine karar verilmiştir. Ancak bu elemanların aşırı donatılı olduğu ve birçok durumda donatı oranının daha düşük değerlerde kalacağı unutulmamalıdır.



Şekil 7. TB, CB ve BB kirişlerine ait yük-deplasman grafikleri (Load-deflection graph of TB, CB and BB Beams)

4. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE ÖNERİLER (ASSESSMENT OF CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS)

Bundan önce yapılmış çalışmalarda gövdesinde büyük boşluklar bulunan kirişlerin davranışları araştırılmış ve bu çalışmalarda delik çevresindeki gerilme yığılmalarına bağlı olarak kırılmanın genellikle delik çevresinde ve aniden gerçekleştiği belirlenmiştir. Bu deneysel çalışmada ise kiriş gövdesinde çok sayıda düzenli delikler oluşturularak gerilmelerin bir yerine, birden çok noktaya dağıtılması ve davranışın sünekleştirilmesi hedeflenmiştir. Çalışmada gövdesinde düzenli daire veya üçgen boşluklar bulunan toplam altı adet delikli kiriş test edilmiş ve sonuçlar üç adet referans kiriş ile karşılaştırılmıştır. Çalışmada delik geometrisi ve çekme donatısı oranları parametre olarak ele alınmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir. Varılan

sonuçların deneysel çalışmanın kapsamı ile sınırlı olduğu unutulmamalıdır.

1. Gerilme yığılmalarının zayıf bir bölgede yoğunlaşmasını engellemek amacıyla çok sayıda ve düzenli delik oluşturma fikri, çok donatılı kirişler dışında oldukça başarılı olmuştur. Bu kirişlerin hepsinde taşıma gücünü eğilme kapasitesi belirlemiştir.
2. Az donatılı daire boşluklu ve üçgen boşluklu kirişler beklenenden ötede sünek bir davranış göstermiş ve bu elemanlarda referans kiriş davranışına yakın bir davranış gözlenmiştir. Çalışmada az donatı oranına sahip kirişlerin güvenle kullanılabilmesi anlaşılmıştır. Bu kirişlerin eğilme taşıma gücü hesaplanırken kayma deformasyonlarının ihmal edilebileceği ve dolu kesit gibi hesap yapılabileceği görülmüştür. Ancak hesap sonunda bulunan taşıma güçlerinin

bir miktar azaltılması gerekmektedir. Yazarlar azaltma miktarlarının daire boşluklu elemanlarda %10, üçgen boşluklularda ise %20 alınmasının uygun olacağını düşünmektedirler.

- Olağan donatılı daire ve üçgen boşluklu kirişlerde de yeterli bir sünek davranış gözlenmiştir. Bu elemanlardan daire boşluklu kiriş oldukça sünek davranmıştır. Üçgen boşluklu kirişte ise gerekli asgari süneklik şartları sağlanmıştır. Her iki elemanda da referans kiriş dayanımına yaklaşık olarak ulaşılmıştır. Buna rağmen az donatılı kirişlerde önerilen dayanım azaltma katsayılarının burada da kullanılması önerilmektedir.
- Çok donatılı kirişlerde ise yeterli bir başarı elde edilememiştir. Bu nedenle aşırı donatılı kirişler için değişik donatı düzenleme teknikleri ile çalışmaların devam ettirilmesine karar verilmiştir.
- Çalışmalarda kiriş eğilme rijitliklerinde %10 ile %30 arasında bir azalma gözlenmiştir. Bu nedenle sehim hesaplarında eğilme rijitliklerindeki bu azalma göz önüne alınmalıdır.
- Çalışmada işçilik kalitesinin çok önemli olduğu görülmüştür. Hem yapım kolaylığı hem de daha iyi bir davranış göstermiş olması bakımından uygulamada zorunlu durumlar dışında daire boşluklu kirişlerin kullanımının daha uygun olabileceği sonucuna varılmıştır.

SEMBOLLER (SYMBOLS)

δ_u	En büyük yükün %15 azaldığı noktadaki deplasman
δ_y	Akma anındaki deplasman değeri
ϕ	Donatı çeliği çapı
P_y	Akma yükü
P_{max}	Maksimum yük
P_u	Maksimum yükün %85'ine karşılık gelen değer

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Mansur, M.A. ve Tan, K.H., **Concrete Beams with Openings Analysis and Design**, Chen,W.F., CRC Pres LLC, A.B.D., 1999.
- Tan, K.H., Mansur, M.A., Huang, L.M., "Reinforced concrete T-beams with large Web openings in positive and negative moment regions", **Structural Journal**, Cilt 93, No 3, 277-289, 1996.
- Mansur, M.A., Tan, K.H., Lee, S.L., "Design Method for Reinforced Concrete Beams with Large Openings", **American Concrete Institute Journal**, Cilt 82, No 4, 517-524, 1985.
- Mansur, M.A., Tan, K.H., Lee, S.L., "Collapse Loads of R/C Beams with Large Openings",

- Journal of Structural Engineering**, Cilt 110, No 11, 2602-2618, 1984.
- Mansur, M.A., "Design of Reinforced Concrete Beams with Small Openings under Combined Loading", **ACI Structural Journal**, Cilt 96, No 5, 675-683, 1999.
- Mansur, M.A., Lee, Y.F., Tan, K.H., Lee, S.L., "Tests on R/C continuous beams with openings", **Journal of Structural Engineering**, Cilt 117, No 6, 1593-1606, 1991.
- Mansur, M.A., "Effect of openings on the behavior and strength of R/C beams in shear", **Cement and Concrete Composites**, Cilt 20, No 6, 477-486,1998.
- Yang, K.H., Eun, H.C., Chung, H.S., "The influence of web openings on the structural behavior of reinforced high-strength concrete deep beams", **Engineering Structures**, Cilt 28, No 13, 1825-1834, 2006.
- Ashour, A.F., Rishi, G., "Tests of reinforced concrete continuous deep beams with web openings", **Structural Journal** , Cilt 97, No 3, 418-426, 2000.
- Eun, H.C., Lee, Y.H., Chung, H.S., Yang, K.H., "On the shear strength of reinforced concrete deep beam with web opening", **The Structural Design of Tall and Special Buildings**, Cilt 15, No 4, 445-466, 2006.
- Tan, K.H., Mansur, M.A., Wei, W., "Design of reinforced concrete beams with circular openings", **Structural Journal**, Cilt 98, No 3, 407-415, 2001.
- Mansur, M.A., Huang, L.M, Tan, K.H., Lee, S.L., "Deflections of Reinforced Concrete Beams with Web Openings", **ACI Structural Journal**, Cilt 89, No 4, 391-397, 1992.
- Mansur, M.A., "Combined Bending and Torsion in reinforced Concrete Beams With Rectangular Openings", **Concrete International**, Cilt 5, No 11, 51-58, 1983.
- Mansur, M.A., Paramasivam, P., "Reinforced Concrete Beams with Small Opening in Bending and Torsion", **American Concrete Institute Journal**, Cilt 81, No 2, 180-185, 1984.
- Mansur, M.A., Ting, S.K., Lee, S.L., "Torsion Tests of R/C Beams with Large Openings", **Journal of Structural Engineering**, Cilt 109, No 8, 1780-1791, 1983.
- Yılmaz, M.C., **Düzenli Üçgen veya Dairesel Boşluklara Sahip Betonarme Kirişlerin Davranış ve Dayanımı**, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2008.
- Mansur, M.A. ve Tan, K.H., "Beams with Small Openings", **Concrete Beams with Openings Analysis and Design**, Chen,W.F., CRC Pres LLC, A.B.D., 7-68, 1999.
- TS 500, "Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları", **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara, 24 s., 2000