



**KTO KARATAY
ÜNİVERSİTESİ**

T.C.

**KTO Karatay Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü**

İNŞAAT ANABİLİM DALI TEZLİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

**KESME DONATISI TÜRLERİ FARKLI OLAN BETONARME KİRİŞLERİN
DAVRANIŞLARI**

Nagihan ARITÜRK

KONYA

EYLÜL 2019

KESME DONATISI TÜRLERİ FARKLI OLAN BETONARME KİRİŞLERİN
DAVRANIŞLARI

Nagihan ARITÜRK

KTO Karatay Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Anabilim Dalı Yüksek Lisans Programı

Yüksek Lisans Tezi

KONYA

Eylül, 2019

Fen Bilimleri Enstitü Onayı



Prof. Dr. Hüseyin Bekir YILDIZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Bu tezli yüksek lisans tezinin yapılması gereken bütün gerekliliklerinin yerine getirdiğini onaylıyorum.



Prof. Dr. Atila ÖZÜTOK

Anabilim Dalı Başkanı

Nagihan ARITÜRK tarafından hazırlanan **KESME DONATISI TÜRLERİ FARKLI OLAN BETONARME KİRİŞLERİN DAVRANIŞI** başlıklı bu çalışma 19.09.2019 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jüri tarafından tezli yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.



Dr. Öğr. Üy. Abdulkerim İLGÜN

Tez Danışmanı

Jüri Üyeleri

Başkan: Dr. Öğr. Üy. Fatih BAHADIR

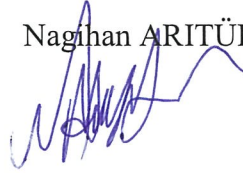
Üye : Dr. Öğr. Üy. Abdulkerim İLGÜN

Üye : Dr. Öğr. Üy. Süleyman Kamil AKIN

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu bildirir aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak ve kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Nagihan ARITÜRK



ÖZET

KESME DONATI TÜRLERİ FARKLI OLAN BETONARME KİRİŞLERİN DAVRANIŞLARI

ARITÜRK, Nagihan

Yüksek Lisans- İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Abdülkerim İLGÜN

Eylül 2019

Yapılan çalışmada farklı kesme donatısı dizilimleri ile tasarlanmış betonarme kirişlerin kesme kuvveti üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu çalışmada beş farklı dikdörtgen kesitli betonarme kirişlere iki noktadan tekil yük uygulanarak, kirişlerin eğilme altındaki davranışları incelenmiştir. Elde edilen sonuçlarda kirişlerin eğilme dayanımı, kesme dayanımı ve basınç kırılması anındaki, eğilme bölgesinde ve mesnetlerde meydana gelen deplasmanlar ölçülmüştür. Yükleme ve deplasman değerleri incelenerek etriye diziliminin kirişin karakteristik davranışına ve taşıma kapasitesine olan etkisi karşılaştırılmıştır. Deney sonuçlarına göre rijitlik, süneklik ve enerji tüketimleri incelenmiştir. Yapılan çalışmada CB1 ve CB3 deney elemanları benzer davranış sergileyerek kesme bölgesinde oluşan çatlaklardan kesme kırılması gözlemlenmiştir. CBRE2, CB4 ve CB5 kirişlerinde ise beklendiği gibi kesme çatlakları oluştuğu gözlenmiş, ancak bu kirişlerin eğilme yükü taşıma kapasitesine ulaşarak kesme bölgesinde göçme meydana gelmeden önce basınç bölgesinde ezilmeler ve eğilme bölgesinde çekme donatılarında akma oluşmuştur.

Anahtar Kelimeler: Kesme donatısı, Donatı dizilimi, Eğik etriye

ABSTRACT
**BEHAVIOR OF REINFORCED CONCRETE BEAMS WITH DIFFERENT
TYPES OF
SHEAR REINFORCEMENT**

ARITÜRK, Nagihan

Department of Civil Engineering

Asts. Prof. Abdülkerim İLGÜN

September 2019

This dissertation examines the effect of reinforced concrete beams designed with different rebar arrangements on shear force. In the present study, the behaviour of the RC beams under bending was investigated by applying point load at two different locations for five different rectangular reinforced concrete beams. In the results obtained, the flexural strength, shear strength of the beams and the deflections occurred at the bending areas at the time of the failure of the beams were measured. The loading and displacement values were examined and the effect of stirrup arrangement on the characteristic behaviour and bearing capacity of the beam was compared. Stiffness, ductility and energy consumption were examined according to the results of the experiment. In this study, CB1 and CB3 test elements exhibited similar behaviour and the shear fracture was observed from the cracks in the cutting zone. CBRE2, CB4, and CB5 beams were observed to produce shear cracks as expected; however, before reaching the bending load-bearing capacity of these beams, crushing in the pressure zone and flowing in the tensile reinforcement occurred in the bending zone before the collapse occurred in the cutting zone.

Keywords: Shear reinforcement, Reinforcement alignment, Inclined stirrup

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren hocam Dr. Öğr. Üyesi Abdülkerim İLGÜN' e ve kıymetli tecrübelerinden faydalandığım KTO Karatay Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerine teşekkür ederim.

Laboratuvar deney elemanlarının hazırlanmasında, deney aşamasında ve tez yazımında her an destekleyen ve beni bu süreçte yalnız bırakmayan sevgili eşim Metin ARITÜRK'e ve çalışmam boyunca anlayışla beni bekleyen oğlum İsa Murat ARITÜRK'e teşekkür ederim.

Her daim yanımda olan en büyük destekçilerim aileme teşekkür ederim.

Nagihan ARITÜRK

2019

İÇİNDEKİLER

ÖZET	v
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
ÇİZELGELER LİSTESİ	x
ŞEKİLLER LİSTESİ	xi
SEMBOL LİSTESİ	xiii
1.GİRİŞ	1
2.KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
3. KESME DONATISI BULUNMAYAN VE BULUNAN BETONARME KİRİŞLERİN DAVRANIŞLARI	7
4. MATERYAL METOD	11
4.1. Kiriş Özellikleri	11
4.2. Kullanılan Deney Elamanlarını Hazırlanması	17
4.3. Malzeme Dayanımları	18
4.3.1.Donatı Dayanımları	18
4.3.2. Beton Dayanımları	19
4.4. Deney Düzeneği	20
4.5. Deney Hazırlık Aşamaları ve Yönetimi	22
4.5.1. Ölçüm Aletlerin Hazırlanması	22
4.5.2 Deney Yönetimi	23
5. DENEYSEL ÇALIŞMA	24
5.1.Deney Süreci	24
5.1.1. Betonarme Kiriş-2 Referans Elemanı (RCB-RE2)	24
5.1.2. Betonarme Kiriş-1 (RCB-1)	25
5.1.3. Betonarme Kiriş-3 (RCB-3)	26
5.1.4. Betonarme Kiriş-4 (RCB-4)	27
5.1.5. Betonarme Kiriş -5 (RCB-5)	28
6. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	33
6.1.Deney Elemanlarının Davranışı	33
6.2 Rijitlik	35

6.3 Süneklik	35
6.4 Enerji Tüketimi	36
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	37
KAYNAKLAR	38
ÖZGEÇMİŞ	39



ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1. Donatı dayanım sonuçları	18
Çizelge 4.2. Beton dayanım sonuçları	19
Çizelge 5.1. Betonarme Kiriş-2 Referans Elemanı (RCB-RE2) yük-deplasman grafiği	24
Çizelge 5.2. Betonarme Kiriş-1 (RCB-1) yük-deplasman eğrisi	25
Çizelge 5.3. Betonarme Kiriş-3 (RCB-3) yük-deplasman eğrisi	26
Çizelge 5.4. Betonarme Kiriş -4 (RCB-4) yük-deplasman grafiği	27
Çizelge 5.5. Betonarme Kiriş-5 (RCB-5) yük-deplasman grafiği	28
Çizelge 6.1. Deney elemanları verileri	33
Çizelge 6.2. Hesaplanan ve ölçülen kesme kuvvetleri	34
Çizelge 6.3. Tüm deney elemanları yük-deplasman grafiği	34
Çizelge 6.4. Deney elemanlarının rijitlik değerleri	35
Çizelge 6.5. Deney elemanlarının süneklik oranları	36
Çizelge 6.6. Deney elemanları enerji tüketimleri	36

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Kiriş sınır değerleri	9
Şekil 3.2. TS500 ve TBDY-2018 yönetmeliğine göre etriye aralığı değerleri	10
Şekil 4.2. Betonarme Kiriş -1 (RCB-1) Deney Elemanı	12
Şekil 4.2. Betonarme Kiriş -2 Referans Elemanı (RCB-RE2)	13
Şekil 4.3. Betonarme Kiriş -3 (RCB3) Deney Elemanı	14
Şekil 4.4. Betonarme Kiriş -4 (CB4) Deney Elemanı	15
Şekil 4.5. Betonarme Kiriş -5 (RCB5) Deney Elemanı	16
Şekil 4.6. Beton döküme hazır olan numune kirişler	17
Şekil 4.7. Beton döküm aşaması	18
Şekil 4.8. Donatı çekme deneyi	19
Şekil 4.9. Beton basınç deneyi	20
Şekil 4.10. Deney düzeneği	21
Şekil 4.11. Deney düzeneği	23
Şekil 5.1. Deney sonrası RCB-RE2 deney elemanı	25
Şekil 5.2. Deney sonrası RCB-1 deney elemanı	26
Şekil 5.3. Deney sonrası RCB-3 deney elemanı	27
Şekil 5.4. Deney sonrası RCB-4 deney elemanı	28
Şekil 5.5. Deney sonrası RCB-5 deney elemanı	29
Şekil 5.6. Çatlak haritası-RCB-RE2	30
Şekil 5.7.Çatlak haritası-RCB-1	30
Şekil 5.8. Çatlak haritası-RCB-3	31
Şekil 5.9. Çatlak haritası-RCB-4	31
Şekil 5.10. Çatlak haritası-RCB-5	32

KISALTMALAR

Kısaltma	Açıklama
ACI	American concrete institute
RCB-1	Betonarme kiriş-1
RCB-RE2	Betonarme kiriş-2 referans elemanı
RCB-3	Betonarme kiriş-3
RCB-4	Betonarme kiriş-4
RCB-5	Betonarme kiriş-5
CFRP	Karbon lifli polimer
FRP	Fiber takiyeli polimer
LVDT	Linear variable displacment transducer
TS500	Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları - Türk Standardı
TBDY- 2018	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği

SEMBOL LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
a	Kesme açıklığı
d	Faydalı yükseklik
fcd	Beton tasarım basınç dayanımı
fck	Beton karakteristik basınç dayanımı
fctd	Beton tasarım eksenel çekme dayanımı
fctk	Beton karakteristik eksenel çekme dayanımı
fsu	Donatı çeliği kopma dayanımı
fyd	Donatı çeliği tasarım akma dayanımı
fyk	Donatı çeliği karakteristik akma dayanımı
s	Enine donatı aralığı
Vd	Tasarım kesme kuvveti
Vmax	Maksimum kesme kuvveti
Ø	Donatı çeliği çapı
δy	Akma deplasman değeri
δu	%15 değer düşürülmüş deplasman değeri
ρmin	Minimum donatı oranı

1.GİRİŞ

Dünyada ve ülkemizde hızla artan nüfus, değişen mimari kavramlar daha geniş açıklıkların geçilmek istenmesi yapı tasarım ilkeleri ve mimari estetik ilkeler olarak betonarme statik tasarımları da etkilemektedir. Değişen talepler karşısında hem tasarım hem de çözümlerin gereken özenin gösterilerek yapılması gerekmektedir. Ancak çözümler her ne kadar olması gereken gibi yapılsa da, yapım aşamasında gereken özenin gösterilmemesi ya da kontrollerin yeterince yapılmamasından kaynaklanan sorunlarla karşılaşmaktadır.

Yapısal çelik ile betonun kompozit olarak çalıştığı betonarme sistemler; bu iki yapı malzemesinin güçlü aderans sağlayacak şekilde tasarlanarak bir araya getirilmesi ile elde edilen, iç ve dış kuvvetlere karşı oldukça dayanıklı olan bir yapı sistemi olarak tanımlanabilir.

Ersoy, U. [1], Betonarmenin içindeki bileşenlerden donatı(çelik) çekmeye, beton ise basınca çalışır. Betonarme yapılardaki kiriş ve döşeme gibi yatay taşıyıcı elemanlar düşey ve yatay yükler nedeni ile eğilmeye çalışırlar. Bu elemanlar genelde eğilmeye ek olarak kesme kuvveti de taşımaktadır. Kesme donatısı bulunmayan kirişlerde kesme etkisi ani ve gevrek olur. Kirişlerde kesme donatısı genellikle üç şekilde uygulanabilir. Bunlar etriyeler, pilyeler ve hasır donatılardır. Kesme donatısının temel işlevi, asal çekme gerilmelerini karşılamak ve bu nedenle oluşacak kırılmaları önlemektir.

Pilyelerin kesme kuvvetinden daha ziyade boyuna donatı olarak çalışması yani kesme kuvvetine olan katkısı etriyelerin yanında ihmal edildiğinden artık kesme donatısı olarak isimlendirilmemektedir. Pilyeler kesit içinde tek bir yönde kırıldıklarından dolayı deprem gibi yön değiştiren kuvvetlerde asal çekme gerilmelerine karşı etkisiz kalmaktadırlar.

Hasır donatılar ise uygulamada zor olduğu için kesme donatısı olarak kullanılması tercih edilmemektedir.

Tez kapsamında, 5 farklı betonarme kirişlerdeki etriye dizilimlerinin kesme kuvvetine etkisi incelenmiştir.

Yapılan çalışmada betonarme deney elemanlarının hazırlanan düzenekte iki farklı noktadan uygulanan tekil yük sonucunda elde edilen veriler incelenmiştir. Her bir deney elemanı için ayrı ayrı hazırlanan yük-deformasyon eğrileri oluşturularak dayanımları incelenecektir. Rijitlik, süneklik değerleri ile enerji tüketimleri ile ilgili çizelgeler oluşturularak, yorumlanacaktır.



2.KAYNAK ARAŞTIRMASI

Yapılan çalışmalarda genel olarak kesme kuvveti yetersiz kirişlerde, kirişlerin kesme kuvveti kapasitesinin artırılması için güçlendirme çalışmaları yapılmıştır.

Altın, S. ve Arkadaşları [2], yapılan çalışma çelik levhalar ile onarılmış/güçlendirilmiş betonarme kirişlerin eğilmeye karşı rehabilitasyonudur. Yedi adet deney elemanı hazırlanmıştır. Bu deney elemanlarının üçü güçlendirilerek diğer üç tanesi ise hasar sonrasında onarılarak deneye tabi tutulmuştur. Yapılan deneysel çalışmada 200x500mm en kesitli ve 4500 mm uzunluğunda kirişler kullanılmıştır. Deney elemanları iki noktalı tek düze yükler altında test edilmiştir. Kullanılan çelik levhanın kalınlığı, levhanın düz veya delikli olması durumu, yan yüz levha kullanılması ve bulon ile desteklemenin yanı sıra yapıştırma yönteminin etkinliğinin davranış üzerine etkileri ele alınmıştır.

Deneysel çalışmada elde edilen sonuçlar; dayanım, süneklik, enerji tüketimi ve rijitlik bakımından irdelenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda çelik levhalar ile güçlendirme yönteminin davranış üzerine iyi sonuçlar verdiği, onarımda çelik levha kullanımının da başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür.

Sayyad, S. [3], çalışmada etriye yönünün betonarme derin kirişlerde iki farklı kesme-açıklık-derinlik (A/d) oranları ile eğilme kapasitesine etkisi sunulmuştur. Aynı kesme ve eğilme takviyeleri içeren derin kirişler için, kesme yetmezliği; normal kirişler yerine derin kirişlerde gerçekleşmesi muhtemeldir. Bu yüzden kesme eksiklikleri olan derin kirişler için çözüm büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle iki farklı kesme-açıklı-derinlik (A/d) oranına sahip yanal, dikey ve eğimli bir etriye tasarımı yapılmıştır. Önerilen tasarımın etkisini göstermek için bir dizi deney yapılmıştır. Önerilen yanal etriye tasarımının test sonuçları, yük taşıma kapasitesi arttırdığı gözlemlenmiştir. Bu çalışmada, 'A/d' oranının kesme kapasitesi üzerinde daha fazla etkiye sahip olduğu, 'A/d' oranı arttıkça, kısa derin kiriş durumunda kesme mukavemetinin de arttığı gözlemlenmiştir. Yatay, dikey ve eğimli etriye donatıları taşıma kapasitesinde 'A/d' oranı gibi ana etkenlerden birisidir. Yapılan çalışmada 700x150x150 mm kiriş numuneleri kullanılmıştır. 28 gün boyunca kürlenmiş ve 2 noktadan yük uygulanmıştır.

Deneysel çalışma sonucunda, 'A/d' oranı 0,50 olan dikey etriye durumunda, kirişin sünek davranışını gösteren tarafsız eksen yakınında kesme çatlaklarını

önlemektedir. Yatay ve eğimli etriyelerde ise eğilme kapasitesi artar ama süneklik azalır. Yatay ve eğimli etriye durumu dikey etriyeye göre daha etkili kesme çatlaklarını karşılamaktadır. Eğimli etriyeler mesnet bölgesindeki yatay çatlakları engellemiştir. Çoğu durumda, ilk çatlakların her iki destek üzerinde geliştiği, ancak yalnızca bir tarafta nihai başarısızlığın olduğu görülmektedir.

Özkal, F.M. [4], incelenen çalışmada genel olarak eğilme ve kesme etkilerinin dikkate alındığı iki eksenli bir gerilme durumu incelenmektedir. Yapı elemanlarının kesme kapasitelerinin sağlanmasında ise kesme donatısı olarak da tanımlanan etriyeler kullanılmaktadır. Bu çalışma kapsamında, kesme açıklığı küçük olan betonarme kirişler ele alınarak kesme etkisinin yanı sıra kiriş içerisinde oluşan gergili bir kemer davranışının da etkileri ve bu etkileri sınırlama adına farklı etriye tasarımlarının ne seviyede katkı sağlayacağı deneysel olarak incelenmiştir. 1500 mm uzunlukta ve 250 mm x 400 mm kesite sahip 9 adet betonarme kiriş, muhtelif yerleşim ve kenetlenme özelliklerine sahip etriyelerle donatılarak dört noktalı yükleme deneyine tabi tutulmuştur. Mesnetlerden 400 mm içeride belirlenen simetrik noktalara tek yönlü ve artırımlı olarak tekil yük uygulanmıştır.

Yapılan çalışma sonucunda, genel kabullere uygun olarak, betonarme kirişlerdeki etriyelerin asal çekme gerilmeleri doğrultusunda yerleştirilmeleri taşıma gücü ve süneklik açısından yapısal başarıyı artıran en önemli etken olup ardından ise kenetlenme etkisi gelmektedir. Zira 135° kancalı etriyeler 90° kancalı etriyelere nazaran daha etkili olmuş, düz bindirmeli etriyelerde ise katkı daha düşük seviyelerde kalmıştır. 180° kanca bulunan etriyelerde ise gerek bükme esnasında donatının mekanik yönde zayıflaması ve gerekse kancaları ayrı boyuna donatılar üzerinde bulunduğundan tek başına çalışmak zorunda kalması ve gerilme yığılmalarının tesirini artırması sebebiyle yapısal davranışta daha da olumsuz sonuçlar görülmesini getirmiştir.

Betonarme kirişlerde kesme açıklığının küçük olması ve dolayısıyla gergili kemer davranışının ortaya çıkması, kesme davranışını tamamen ortadan kaldırmamakta ve enine donatının yapısal davranışı üzerindeki önemini azaltmamaktadır. Enine donatının yerleştirilme açısı ve kenetleme özellikleri davranışta gözle görülür farklar yaratırken özellikle kesme etkisinin hakim olduğu betonarme elemanlarda ilave hassasiyet gerektirmektedir.

Tokgöz, H. ve Dündar, B. [5], yapılan çalışmada betonarme kirişlerin eğilme etkisi sebebiyle çekme gerilmelerinin meydana geldiği alt yüzeylerde ve kesme gerilmelerinin meydana geldiği L/4 mesafedeki yan yüzeylerde karbon lifli polimerler (CFRP) tekstilleri ile güçlendirme amacıyla sarılma yapılmıştır. Deneysel çalışmada, C20 betonu ve S420 inşaat çeliği kullanılarak, 150x250x2200 mm boyutlarında 9 adet kiriş numunesi üretilmiştir. Bütün numunelerde her bir kiriş için 100 mm aralıklarla 21 adet etriye yerleştirilmiştir. Kiriş numunelerinde düz donatı olarak 8 mm'lik nervürlü ve etriye olarak 6 mm'lik inşaat çeliği kullanılmıştır. Deney kirişlerinde CFRP tekstilleri kullanılarak güçlendirme yapılmıştır. CFRP tekstilleri dıştan epoksi ile yapıştırılmıştır.

Sonuç olarak, kesme yönünde yetersiz olarak üretilen 3'er adet kiriş kesme bölgelerinde 90° ve 45°'lik açılarla CFRP tekstilleri yapıştırılmıştır. Güçlendirme sonrasında kirişlerde %60 kesme kapasitesinin arttığı gözlemlenmiştir. 45°'lik ve 90°'lik CFRP uygulamaları arasında anlamlı bir fark olmadığı tespit edilmiştir.

Tureyen, A.K. ve Frosch, R.J. [6], fiber takviyeli polimer (FRP) çubukları ile güçlendirilmiş beton kirişlerin kesme gücünü ve davranışlarını incelemek için, enine takviye olmaksızın dokuz büyük ölçekli betonarme kiriş test edilmiştir. Deneyde üç çeşit FRP takviyeli (iki tip cam FRP ve bir tür Aramid FRP) ve iki çeşit çelik takviye ile farklı verim gücü kullanılmıştır. Nominal beton gücü 34,5 MPa ve boyuna takviye oranı yaklaşık olarak %0,36 ile %2 arasında değişmektedir. Numuneler sade bir şekilde desteklenip açıklığın ortasından yük uygulanmıştır. Numuneler hem ACI Committee 440 göre önerilen kesme tasarımı prosedürleri hem de ACI 318-99 kesme tasarım hükümleri kullanılarak incelenmiştir. Bu sonuçlar test sonuçlarıyla daha sonra karşılaştırılmıştır. FRP- çubuk takviyeli kirişler için, ACI 440 tasarım yöntemi iyi sonuçlanırken, ACI 318-99 metoduna göre olumsuz sonuçlanmıştır.

Can, H. ve Arkadaşları [7], yapılmış olan çalışmada boyutlar betonarme yapılarda yaygın olan 6,5 m açıklıklı ve 200 mm x 600 mm kesitli betonarme kirişin 3/5 ölçeğine karşılık gelmektedir. Bütün kirişlerde çekme donatısı olarak 20mm'lik çapında nervürlü donatı, basınç donatısı olarak da 8 mm'lik çapında düz donatı kullanılmıştır. Etriye donatı olarak 6 mm'lik çapında donatı kullanılmış olup 7 adet kiriş numunesi hazırlanmıştır. Güçlendirilen deney elemanlarında, dıştan

yapıştırılacak çelik levhalar önce hazırlanmıştır. Deney programında kalınlığı $t=3$ mm olan iki türde L biçiminde bükülmüş ve aynı iki türde düz levhalar kullanılmıştır. 40 x 200 mm boyutlarında levhalar kullanılmıştır. Yetersiz kesme donatılı 2 adet kiriş için, 2 farklı geometri ve yerleştirme düzeninde düz çelik şerit ile güçlendirilmiştir. Diğer 2 kirişte birbirine ortagonal olacak şekilde L bükülmüş levhalar farklı boyut ve aralıklarla yerleştirilmiştir.

Deney sonuçlarında; dıştan yapıştırılan çelik levhaların elemanların dayanımlarını artırmada başarılı olduğunu göstermiştir. Ancak deney elemanlarının süneklikleri aynı ölçüde artmamıştır.



3. KESME DONATISI BULUNMAYAN VE BULUNAN BETONARME KİRİŞLERİN DAVRANIŞLARI

Eğilme etkilerini karşılamak için betonarme kirişlerde önce boyuna donatı hesabı sonrasında ise kesme etkilerini karşılamak için de enine donatı yani etriye hesabı yapılır. Ancak kesme donatılı kiriş davranışın anlaşılması için önce donatısız kirişin davranışı incelenmiş ve bununla ilgili çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarda a/d oranı olarak bahsedilen kesme açıklığının faydalı yüksekliğe oranının kirişin davranışını etkilediği saptanmıştır. Yapılan çalışmalarda noktasal iki adet P yükü yüklenerek yapılmıştır.

ERSOY, U. [1], Yaklaşık olarak $a/d > 7$ durumunda, eğik çatlamlar oluşmayacağından, kırılma üzerinde kesme kuvvetinin etkisi olmayacağı, bunun nedenin kesme açıklığının büyük olmasından dolayı kirişi eğilme kapasitesine ulaştıran kesme kuvvetinin düşük düzeyde kalması olarak değerlendirilmiştir.

a/d oranının 7 ve 3 arasında ($3 < a/d < 7$) durumunda, önce kiriş eksenine dik eğilme çatlakları oluşacak ve yük arttıkça kesme açıklığında oluşan eğilme çatlakları tarafsız eksene doğru uzamaya başlayacaktır. Çatlaklardan bazıları asal çekme gerilmelerine dik yönde eğikleşmeye başlayacaktır. Eğik çatlak oluştuğunda, çekme donatısındaki birim uzamada ani bir sıçrama olur. Eğik çatlama donatıda ani bir gerilme artışına neden olduğundan, donatıya paralel aderans çatlakları oluşturur.

a/d oranının 3 ve 1,5 arasında ($1,5 < a/d < 3$) durumunda, eğik çekme çatlaklarının diğer örneklerdeki gibi ilerlemesine noktasal yükün oluşturduğu yerel basınç gerilmeleri engel olacaktır. Bu nedenle eğik çatlamlar oluştuğundan sonra yük yöresine ulaşınca ilerleyemeyecektir. Aynı şekilde, mesnet yöresindeki yerel basınç gerilmelerinden oluşacak çatlak, donatı da yarılmaya uğratmayacaktır. Eğik çatlamanın olmasına rağmen kiriş aniden kırılmaz ve yük taşımaya devam eder. Bunun nedeni ise uygulanan P yükünün asal basınç gerilmeleri yönünde yükünü mesnetlere aktarmasıdır. Bu aktarmadan dolayı yük ve mesnet arasında adeta bir basınç çubuğu oluşur. Oluşan bu durum gergili kemer davranışın gözlemlendiğini gösterir. Çekme donatısı gergi görevi görürken, asal basınç gerilmeleri yönündeki beton da kemer gövdesini oluşturur. Artan yük altında, yükleme noktasındaki beton basınç dayanımına ulaşarak ezilmeye başlar. Kiriş artık yük taşıma yetisini kaybeder.

Kesme-ezilme olarak adlandırılan bu tür kırılmada, kırılma yükü çatlama yükünden büyüktür.

a/d oranının çok küçük 1'den küçük olduğu ($a/d \leq 1$) durumunda, eğik çatlak oluşuktan sonra eğilme önemini kaybeder ve kiriş tamamen gergili kemer gibi davranır. Donatıda kesme açıklığı boyunca gerilme hemen hemen sabit kalırken, yük ve mesneti birleştiren basınç gerilmeleri, tüm yükün bu yönde aktarıldığını göstermektedir. Donatıda gerilme sabit kaldığından, aderans ve eğilme davranışı söz konusu değildir. Bu tür kirişlerde, kiriş kırılma konumuna ulaşmadan donatı akar. Kırılma iki şekilde gerçekleşebilir. Gövdenin basınç gerilmeleri nedeniyle ezilmesi ve ya basıncın aktarılması sırasında donatıda oluşan yüksek gerilmeler nedeniyle mesnet ötesinde kenetlenmenin yok olmasıyla gerçekleşebilir. Gergili kemer davranışının doğal bir sonucu olarak, kiriş üst yüzeyinde çekme çatlaklarında oluşabilir.

Daha önce bahsedildiği gibi donatısız kirişin davranışı incelenmiş ve donatılı kirişin davranışı incelenecektir. Çekme gerilmelerinin donatı çubukları ile karşılanması için çekme gerilmeleri yönünde donatılar yerleştirilir. Kesme donatısının temel işlevi, elamanın kesmeden kırılmasını önleyerek, eğilme kapasitesine ulaşmasını sağlamaktır. Kesme donatısı eğik çatlama önlemeyecektir. Ancak gerektiği gibi yerleştirilen donatı, eğik çatlakları kılcal düzeyde bırakacak ve kiriş eğilmedi taşıma gücüne erişebilecektir. ERSOY, U. [1], Yapılan araştırmalarda, kesme donatılı bir kirişin, eğik çatlama oluşuncaya kadar donatısız kiriş gibi davrandığı gözlemlenmiştir. Eğik çatlağın oluşması ile çatlakla kesişen etriyelerde aniden büyük gerilmeler oluşmaktadır. Yeterli etriye bulundurulmaması veya etriyelerin çok seyrek yerleştirilmesi durumunda eğik çatlamanın oluşması ile kiriş daha önce de anlatıldığı sanki donatısız kiriş gibi davranarak gevrek kırılma sergileyecektir. Bu nedenle TS500-2000 yönetmeliklerinde en büyük etriye aralığı $d/2$ olması gerektiği ifade edilmiştir. Bahsi geçen aralığa uygun yerleştirilen donatılar sayesinde eğik çatlak birden fazla etriye ile karşılaşacağından etriyeler görevlerini yerine getireceklerdir. Ancak etriyeyi sınırsız aktararak kırılmaları önlemek mümkün değildir. Çünkü donatılar dolaylı gövdede oluşan asal basınç gerilmeleri büyücek ve beton asal basınç gerilmeleri yönünde ezilerek gevrek kırılma

gerçekleştirecektir. Bu nedenle de kesme kuvveti için üst sınır konulmuş ve $V_d \leq V_{max}$ olmalıdır.

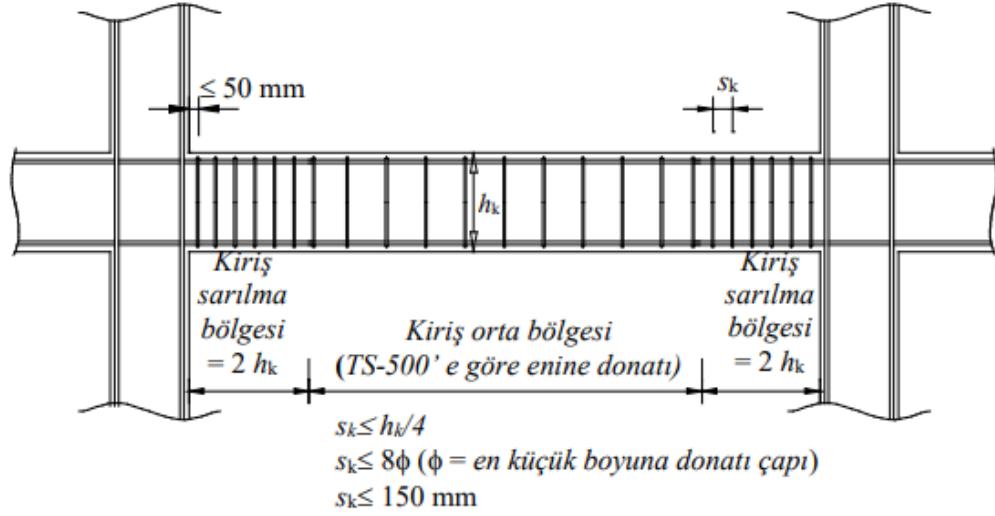
TS500 ve TBDY-2018 yönetmeliklerine göre kirişlerde sınır değerleri Şekil 3.1 'de verilmiştir.

Tanım	Zorunlu koşullar		Ek öneri	Açıklama
	TS 500:2000	TBDY-2018		
min b_w	20 cm	25 cm	25 cm	
max b_w	b_k+h	b_k+h	-	1
min h	30 cm , 3t, $L_n/10$	30 cm , 3t	40 cm	2
max h	$L_n/2.5$ (sürekli kirişlerde) $L_n/1.5$ (basit kirişte)	$3.5 b_w$, $L_n/4$	-	3
min ρ	$0.8 f_{cd}/f_{yd}$	-	-	
max ρ	0.02	0.02	-	
min ρ_1	$0.8 f_{cd}/f_{yd}$	$0.8 f_{cd}/f_{yd}$	-	
max ρ_1	0.02	0.02	-	
min ρ'	-	$\rho_1/4$	-	Montaj donatısı alt sınırı
min ρ'_1	-	$0.5\rho_1$, $0.8 f_{cd}/f_{yd}$	-	Mesnet altı donatısının alt sınırı
max ρ'_1	-	0.02	-	
max $(\rho-\rho')$	$0.85 \rho_b$	-	$\rho_1 = 0.235 f_{cd}/f_{yd}$	2
max $(\rho_1-\rho'_1)$	$0.85 \rho_b$	$0.85 \rho_b$	ρ_1	2
min L_c	2h	2h	-	Sarıma bölgesi
max s	0.5 h	0.5 h	20 cm	
min s	-	-	10 cm	
max s'	$h/4$, 15 cm	$h/4$, 15 cm , $8\phi_{min}$	$s/2$, 10 cm	ϕ_{min} : boyuna donatı min çapı
min s'	-	-	5 cm	
max e	-	35	-	4
min ϕ	12 mm	12 mm	-	
max ϕ	-	-	24 mm	
min ϕ_w	8 mm	8 mm	-	
max ϕ_w	-	-	12 mm	
min ρ_w	$0.3f_{cd}/f_{ywd}$	Bak: 7.4.5.2	-	f_{ywd} :etriye çeliği tasarım dayanımı
min $\phi_{gövde}$	10 mm	12	12	
min $\rho_{gövde}$	0.001	$0.3(\rho_1+\rho'_1)$	-	5

Şekil 3.1. Kiriş sınır değerleri

Kiriş mesnetlerinde kolon yüzünden itibaren kiriş yüksekliğinin iki katı kadar uzunluktaki bölge, Sarılma Bölgesi olarak tanımlanır. Bu bölge özel deprem etriyeleri kullanılacaktır. Bu etriyelerin aralıkları kiriş yüksekliğinin 1/4'ünü ve 100 mm'yi aşmayacaktır. Sarılma bölgelerinde $\phi 8$ 'den küçük çaplı enine donatı kullanılmayacak ve ilk etriyenin kolon yüzüne uzaklığı en çok 50 mm olacaktır. Etriye aralıkları kiriş etkili yüksekliğinin 1/4'ünü, en küçük boyuna donatı çapının

sekiz katını ve 150 mm'yi aşmayacaktır. Sarılma bölgesi dışında, TS 500'de verilen enine donatı koşullarına uyulacaktır. TS500'e göre etriye aralığı kiriş faydalı yüksekliğinin yarısından fazla olamaz ($s \leq d/2$), etriye aralığı 8Ø'den fazla olamaz ($s \leq 8\text{Ø}$) ve 150mm'den büyük olamaz ($s \leq 150\text{mm}$).



Şekil 3.2. TS500 ve TBDY-2018 yönetmeliğine göre etriye aralığı değerleri

4. MATERYAL METOD

4.1. Kiriş Özellikleri

Çalışma kapsamında 3000 mm uzunlukta ve 150x300 mm kesitinde, C20 beton sınıfında hazırlanmış 5 adet etriye dizilimleri ve eğilme donatıları farklı düzenlenmiş betonarme kirişler kullanılmıştır. Deney elemanları betonarme kiriş olarak adlandırılmıştır.

Şekil 3.1'de verilen koşullara göre ρ_{min} koşulu ve TS500 ile TBDY-2018 yönetmeliklerinde verilen s donatı aralığı ve kesit alanı donatı miktarına uygun olarak tasarlanmıştır.

Betonarme Kiriş-1 (RCB-1) numunede eğilme donatısı olarak 3Ø10, montaj donatısı olarak 2Ø8, etriye olarak sadece mesnet bölgesinde (ilk 130 mm içerisinde) Ø6/40 mm sağ tarafta 4 sol tarafta 4 adet olmak üzere 8 adet etriye kullanılmıştır.

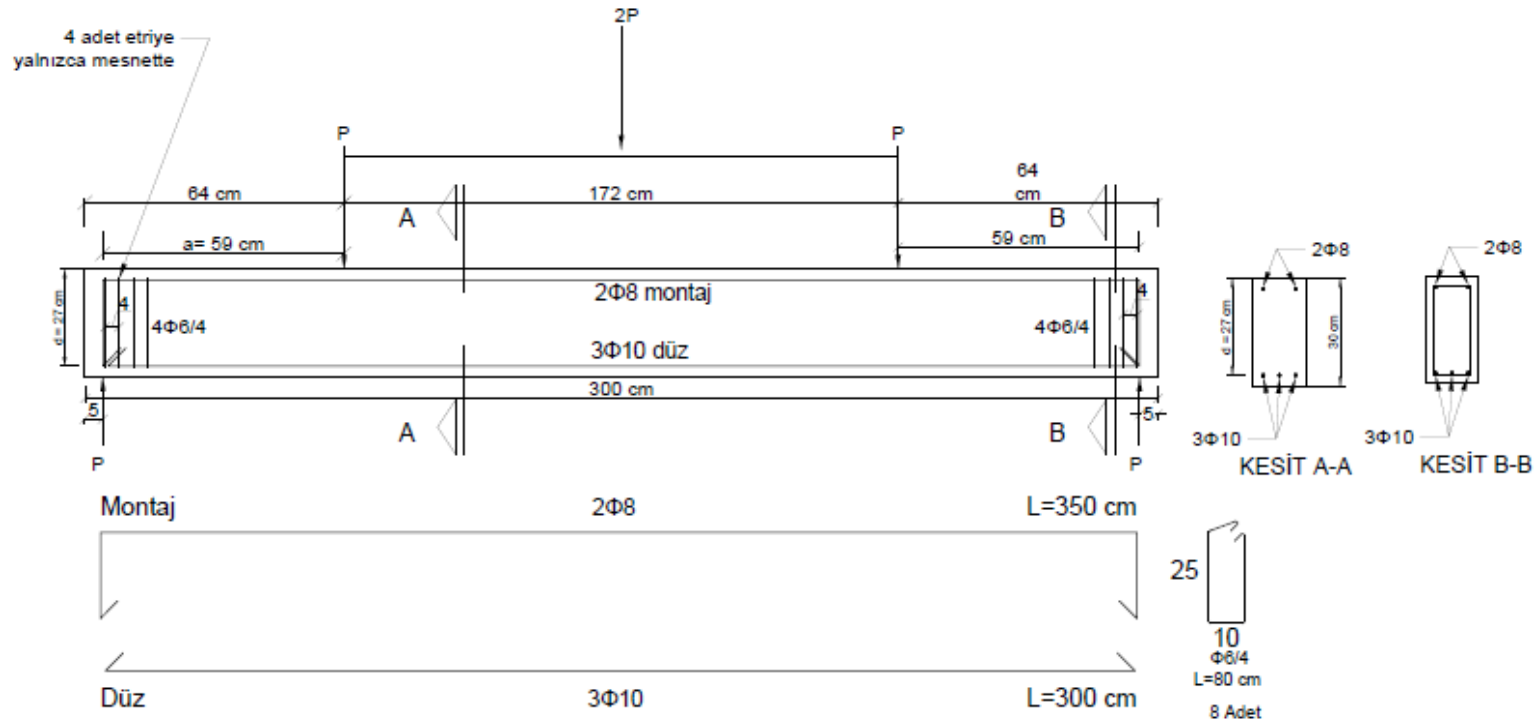
Deney kirişlerinin daha önce bahsedilen a/d oranı kesme açıklığının faydalı yüksekliğe oranı 2,092'dir.

Betonarme Kiriş-2 Referans Elemanı (RCB-RE2) numunede eğilme donatısı olarak 3Ø10, montaj donatısı olarak 2Ø8, etriye olarak 6Ø75 mm eşit aralıklarla tüm kiriş boyunca 40 adet etriye sarılmıştır.

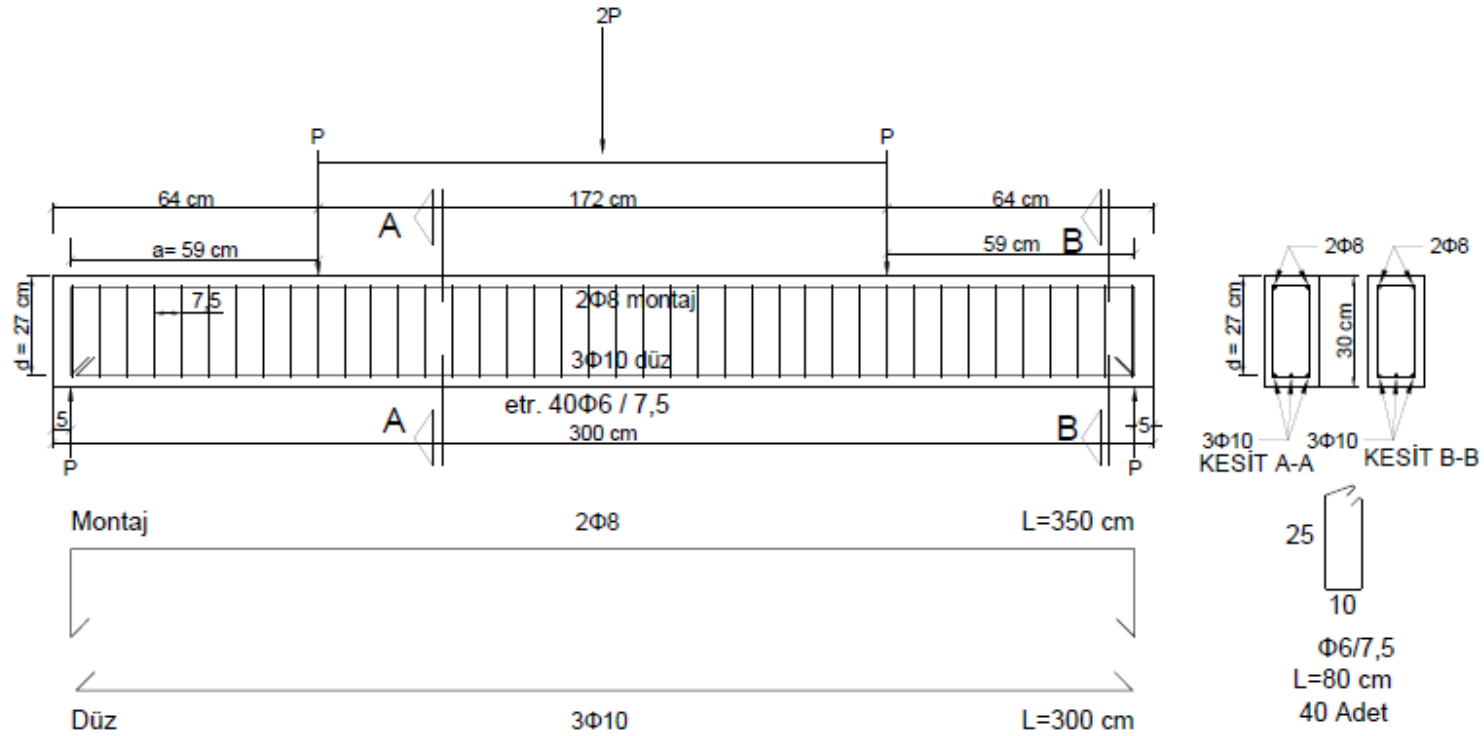
Betonarme Kiriş -3 (RCB-3) numunede eğilme donatısı olarak 3Ø10 pilye, montaj donatısı olarak 2Ø8, etriye olarak sadece mesnet bölgesinde (sağdan ve soldan ilk 130 mm içerisinde) Ø6/40 mm sağda 4 adet solda 4 adet olmak üzere toplam 8 adet etriye, mesnet takviyesi ve etriye montajı yapılabilmesi için 2Ø10 L=780 mm uzunluğunda donatı kullanılmıştır.

Betonarme Kiriş-4 (RCB-4) numunede eğilme donatısı olarak 3Ø10, montaj donatısı olarak 2Ø8, etriye olarak dış kenarlardan yükleme noktasına kadar Ø6/75 mm, sağ tarafta 10 sol tarafta 10 adet olmak üzere 20 adet etriye kullanılmıştır.

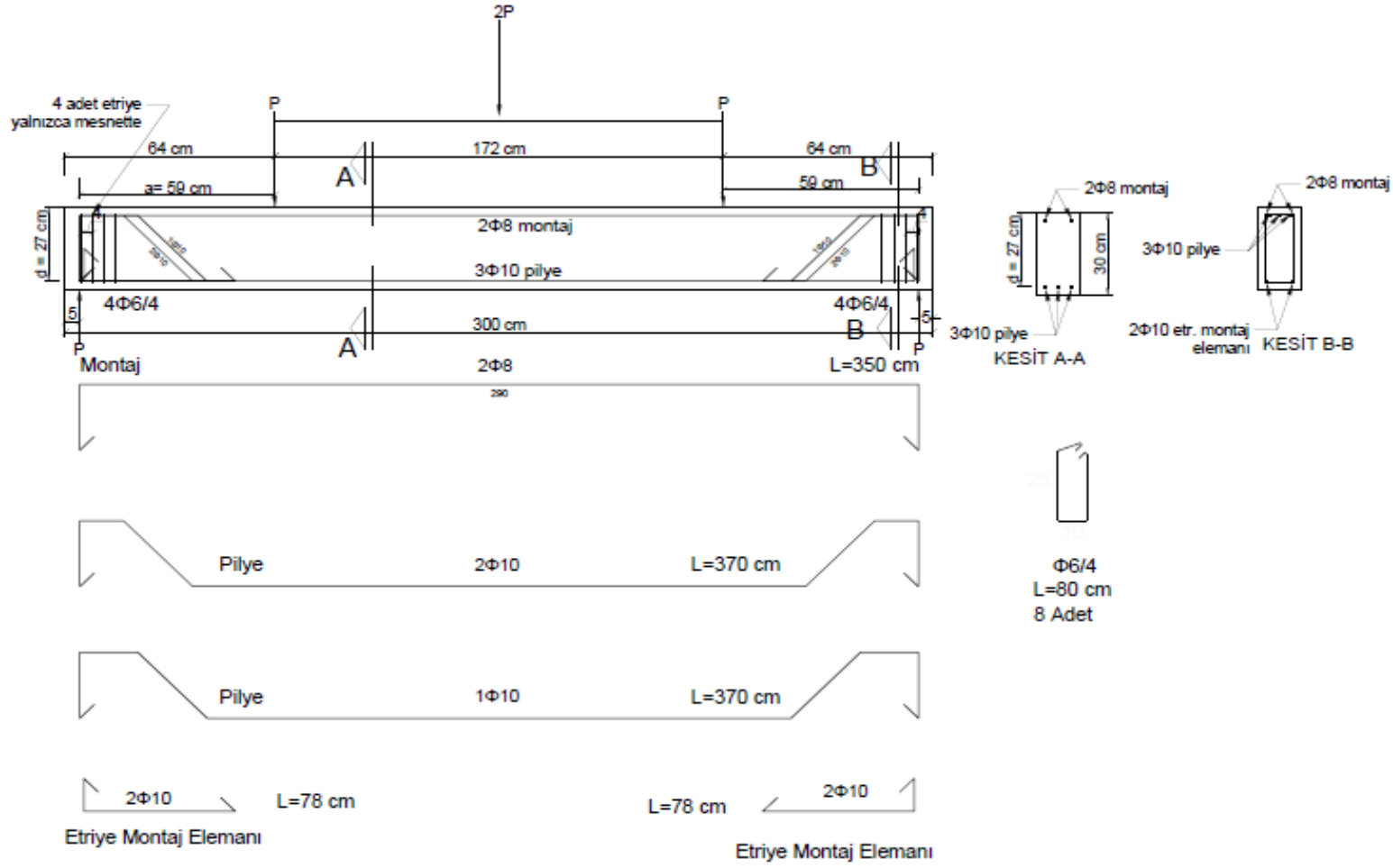
Betonarme Kiriş-5 (RCB-5) numunede eğilme donatısı olarak 3Ø10, montaj donatısı olarak 2Ø8, etriye olarak sadece mesnet bölgesinde (ilk 130 mm içerisinde) Ø6/40 mm sağ tarafta 4 adet sol tarafta 4 adet olmak üzere 8 adet etriye kullanılmıştır. Ayrıca araştırma konumuz olan diyagonal dizilimle yatayda 45° açıyla yerleştirilmiş Ø6/75 mm L=1000 mm olan kancalı etriyeler 13 adet sağda 13 adet solda olmak üzere kiriş donatıları olarak kullanılmıştır.



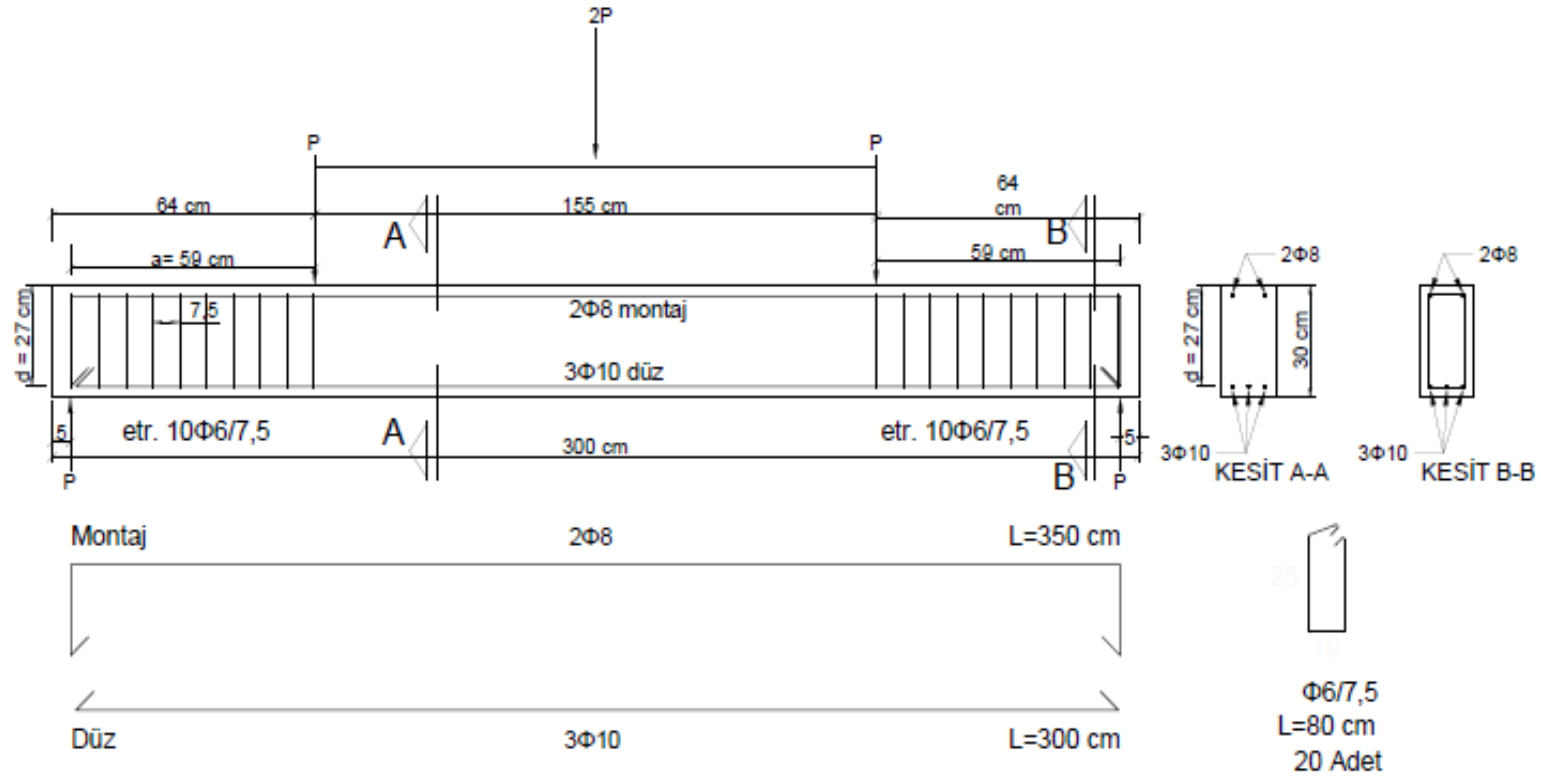
Şekil 4.1. Betonarme Kiriş -1 (RCB-1) Deney Elemanı



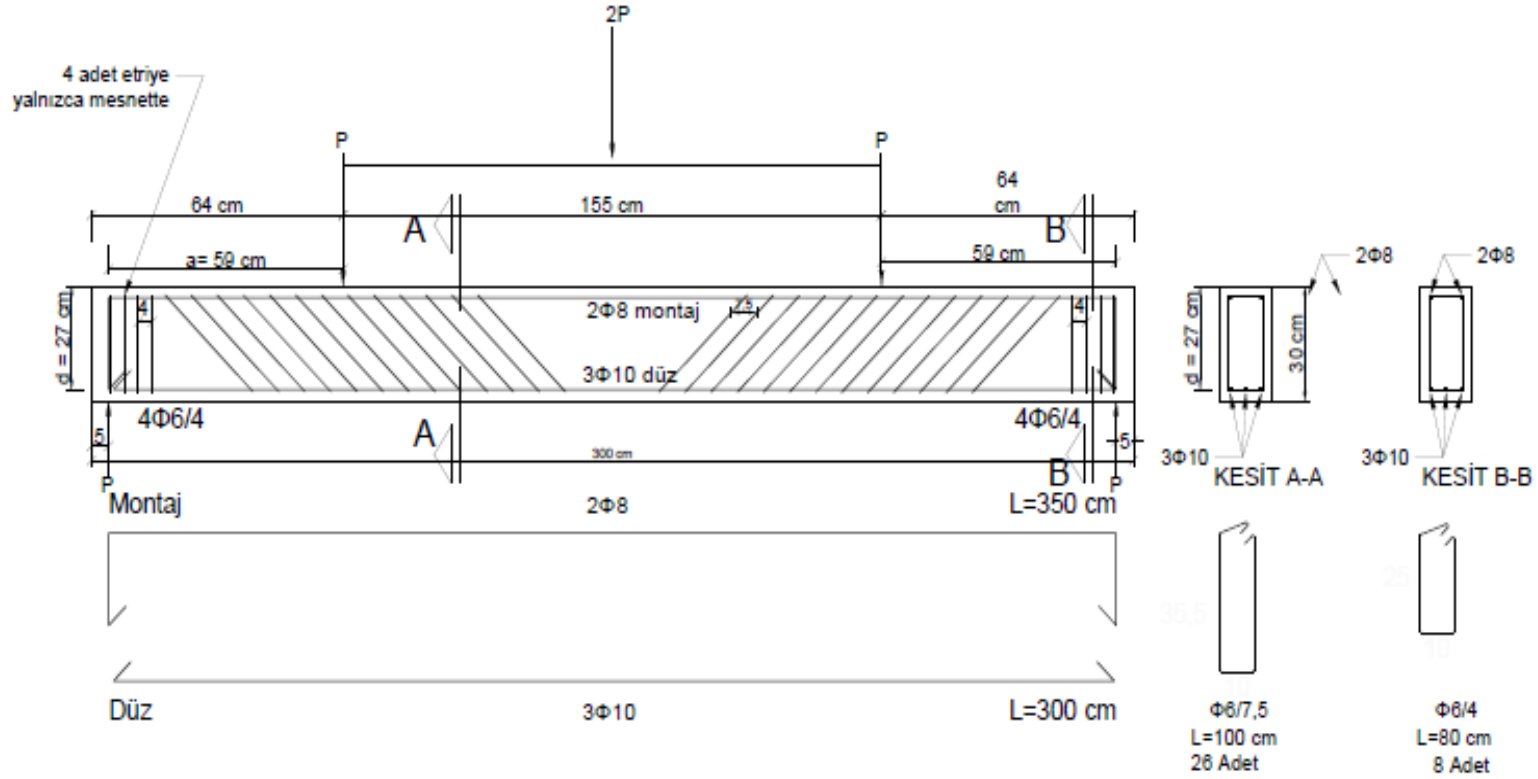
Şekil 4.2. Betonarme Kiriş -2 Referans Elemanı (RCB-RE2)



Şekil 4.3. Betonarme Kiriş -3 (RCB3) Deneysel Elemanı



Şekil 4.4. Betonarme Kiriş -4 (CB4) Deney Eleman



Şekil 4.5. Betonarme Kiriş -5 (RCB5) Deney Elemanı

4.2. Kullanılan Deney Elamanlarını Hazırlanması

Deney numune hazırlıklarına ilk olarak kiriş kalıplarından başlanmıştır. Kalıplar ahşap malzemeler kullanılarak hazırlanmıştır. Belirlenen donatılar, Ø6, Ø8 ve Ø10, kiriş ebatlarına göre kesilmiş ve gerekli olanlar bükülmüştür.



Şekil 4.6. Beton döküme hazır olan numune kirişler

Beton dökümü yapımı devam eden bir inşaatın şantiye sahasında yapılmıştır. 5 adet kiriş yan yana konularak dıştaki iki adet kiriş desteklenmiştir. Beton dökümünde vibratör kullanılmış ve hava boşlukları minimuma indirgenmiştir. Beton sınıfının tespiti için küp numuneler alınmış ve küp numuneler 7 günlük ve 28 günlük değerlerinin tespiti için gerekli sürelerde kürlenmiştir.



Şekil 4.7. Beton döküm aşaması

4.3. Malzeme Dayanımları

4.3.1. Donatı Dayanımları

Yapılan deneysel çalışmada $\emptyset 6$, $\emptyset 8$ ve $\emptyset 10$ luk nervürlü demir kullanılmış olup donatılardan alınan numuneler test edilmiştir. Her bir donatı türü için üçer adet numune alınmış ve sonuçların ortalamaları çizelgede verilmiştir.

Çizelge 4.1. Donatı dayanım sonuçları

Donatı Çapı	f_{yk} (MPa)	f_{su} (MPa)	f_{yd} (MPa)
$\emptyset 6$	543,33	581,33	472,46
$\emptyset 8$	479,33	586,67	416,81
$\emptyset 10$	462,33	586,67	402,03



Şekil 4.8. Donatı çekme deneyi

4.3.2. Beton Dayanımları

Kullanılan beton için küp numuneleri alınmış ve 28 gün boyunca kürlenmiştir. Beton numuneleri 7 günlük ve 28 günlük olarak üçer adet kırılmış ve sonuçları çizelgede verilmiştir.

Çizelge 4.2. Beton dayanım sonuçları

7 günlük				
Beton Sınıfı	f_{ck} (MPa)	f_{cd} (MPa)	f_{ctk} (MPa)	f_{ctd} (MPa)
C20	35,74	23,83	2,09	1,39
28 günlük				
Beton Sınıfı	f_{ck} (MPa)	f_{cd} (MPa)	f_{ctk} (MPa)	f_{ctd} (MPa)
C20	37,67	25,12	2,15	1,43

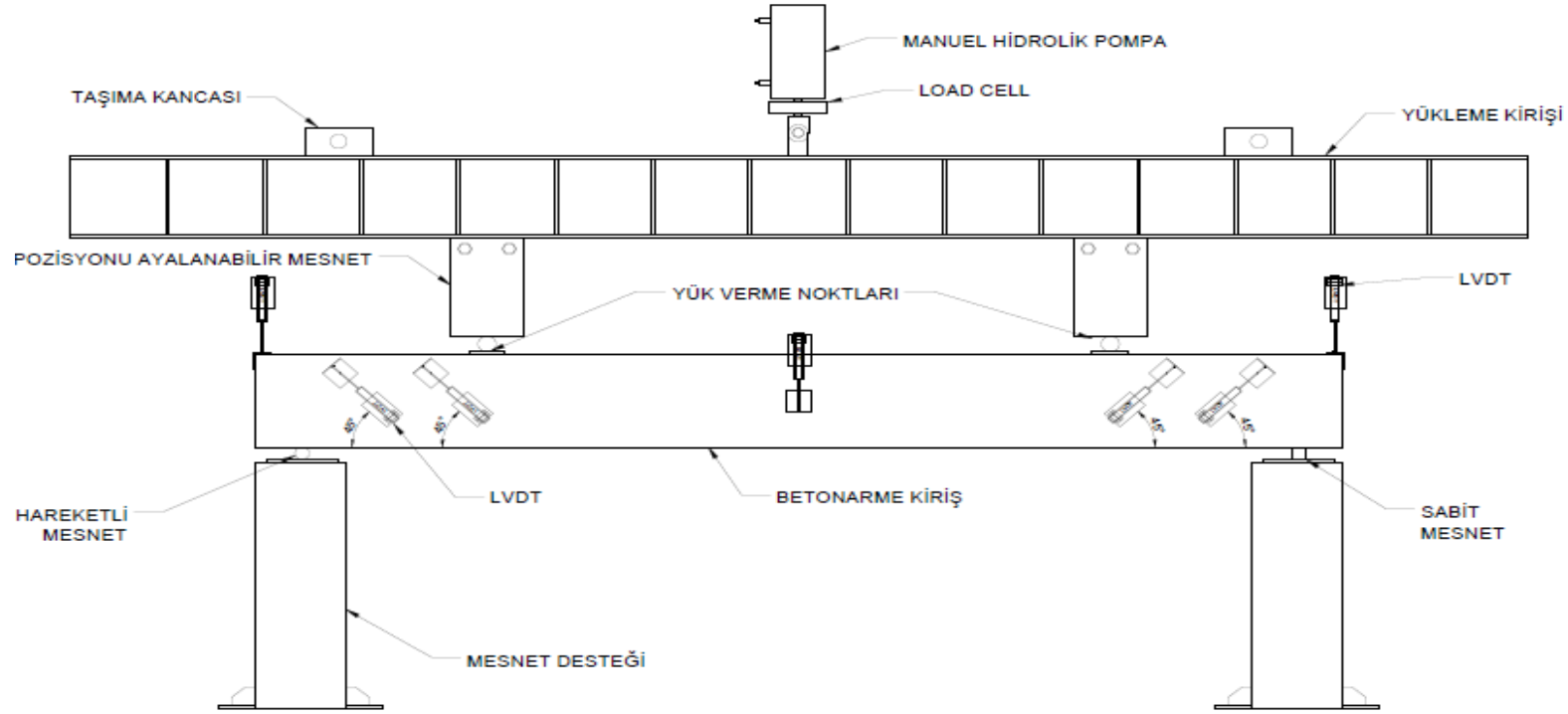


Şekil 4.9. Beton basınç deneyi

4.4. Deney Düzenegi

Deney Konya Ticaret Odası (KTO) Karatay Üniversitesi laboratuvarında yapılmıştır. Deney elemanları olarak rijit çerçeve, hidrolik kriko, hidrolik pompa, mafsal, yük hücresi (load cell), reaksiyon kirişi, deplasman okuyucu (Linear Variable Displacement Transducer – LVDT), kiriş numunesi ve basit mesnet kullanılmıştır.

Kullanılan kiriş numuneler, rijit çerçeveye dik olarak yerleştirilmiştir. Mevcuttaki reaksiyon kirişinin kiriş numunesine ileteceği yükler için mesnet aralığı 1720 mm alınmıştır. Kiriş numunesi basit mesnetler üzerine kirişlerin uç noktalarından 640 mm'lik mesafeye yerleştirilmiştir. Reaksiyon kirişinin orta noktasından 2P uygulanan yük kiriş numunesine P büyüklüğünde iki tekil yük olarak aktarılmıştır. Yerleştirilen yük hücresi (Load cell) yaklaşık olarak 600 kN'dur. Deneyde yükleme yapmak için hidrolik kriko ve el kontrollü pompa kullanılmıştır.



Şekil 4.10. Deney düzeneği

4.5. Deney Hazırlık Aşamaları ve Yönetimi

4.5.1. Ölçüm Aletlerin Hazırlanması

Deney düzeneğinin oluşturulması ardından deney elemanına yerleştirilecek olan LVDT elemanlarının sabitlenmesi için özel aparatlar kiriş yüzeyine 45° açı ile 2 noktadan monte edilmiştir. Kesme ve eğilme bölgelerinde LVDT lerin okuma yapabilmesi için dayanacağı yüzeylerin teşkilinde 2 mm'lik çelik sacdan 90° bükümlendirilmiş aparatlar kullanılmıştır. Mesnet dönmelerinin ölçülebilmesi için mesnet bölgelerinde kirişin üst kısmına 50*50*5 mm'lik 30 cm uzunluğunda çelik L profiller ile mesnetlerde okuma yapılması sağlanmıştır. Orta noktada ve mesnetlerde oluşacak deplasmanların ölçülebilmesi için ayaklı bağlantı aparatları hazırlanmıştır. Beyaza boyanan kirişlere bükülmüş saclar ve çelik L profiller sabitlenmiştir. Bükülmüş saclar kesme çatlaklarını ölçebilmek için yerleştirilen LVDTlerin uç noktalarının sabit kalabilmesi için mesnetlere yakın sağ ve sol yüzeylere 45° lik açı ile ikişer adet, bir adet orta deplasmanı ölçebilmek için kiriş orta noktasına ve kiriş uzun kenarına paralel olacak şekilde toplamda beş adet , L profiller ise mesnetlerdeki doğrusal deplasmanı ölçebilmek için kiriş üst yüzeyine ikişer adet sabitlenmiştir. Hazırlanan kiriş rijit çerçeveye dik olacak şekilde yerleştirilmiştir.

Verilen okunabilmesi için LVDT ve Load Cell numara etiketleri yapıştırılmış ve tüm deney elemanlarında aynı düzende monte edilerek deneyler yapılmıştır. Doğrusal deplasman okumak için yerleştirilen LVDTlerde sağ mesnet için 1, sol mesnet için 2 ve orta mesnet için 7 numara kullanılmıştır. Kirişlerin kesme çatlağı için yerleştirilen LVDTlerde sol yüzeye yerleştirilenler sırasıyla 4 ve 3, sağ tarafa yerleştirilenler ise sırasıyla 6 ve 5 olarak numaralandırılmıştır. Load cell ise 8 numara olarak adlandırılmıştır.



Şekil 4.11. Deney düzeneği

4.5.2 Deney Yönetimi

Ölçüm aletleri ve yükleme aletlerinin deney öncesi kalibrasyonları tamamlanmış ve hazır şekilde deney elamanlarına monte edilmiştir. Tüm hazırlıkların tamamlanmasının ardından verilerin bilgisayara aktarılması için bağlantılar yapılmıştır. Yapılan bağlantı sonrasında elektronik ölçüm aletlerinin başlangıç okumaları kontrol edilerek deneye başlanmıştır. Ölçülen değerler, tanımlanmış olan programa aktarılarak elde edilen verilerden kesme kuvveti-deplasman grafiği çizilmiştir.

5. DENEYSEL ÇALIŞMA

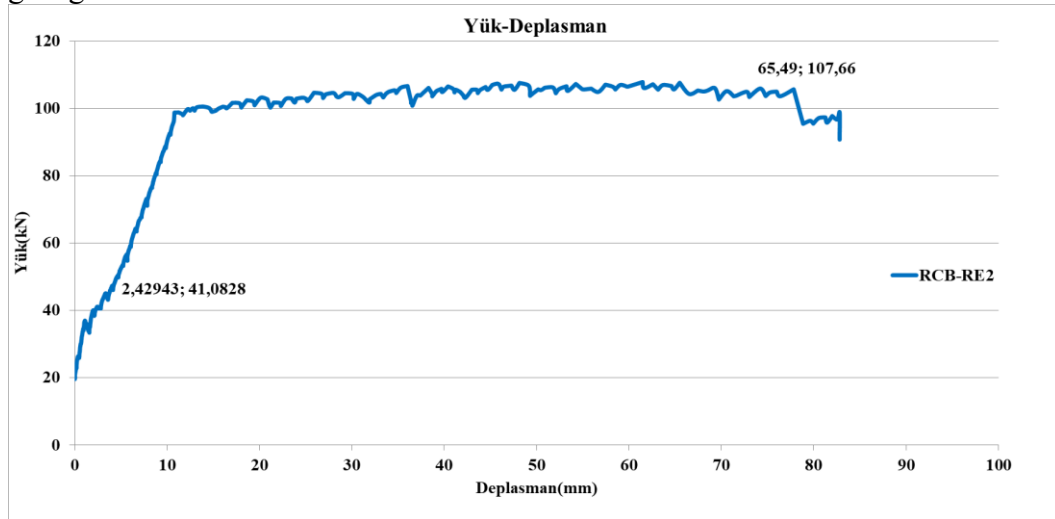
5.1. Deney Süreci

Deney sürecinde ilk olarak referans elemanı olarak belirlenen RCB-RE2 deney kirişi ile başlanmıştır. Ardından sırasıyla diğer kirişlere yük uygulanmış ve süreç tamamlanmıştır. Her bir kiriş için ayrı ayrı çatlak dağılımları fotoğrafları alındıktan sonra, çatlak uzunlukları ölçülmüş ve bilgisayar ortamına aktarılarak çizilmiştir.

5.1.1. Betonarme Kiriş-2 Referans Elemanı (RCB-RE2)

Referans elemanı olarak seçilen RCB-RE 2 donatı düzeninde $\text{Ø}6/7,5$ cm diziliminde tüm kiriş boyunca yerleştirilen etriyeler ile tasarlanmış ve deneye bu eleman üzerinden başlanmıştır. Yükleme sırasında LoadCell üzerinde okunan yük 35 kN'ın Moment bölgesinde kesme ve eğilme çatlakları gözlemlenmiştir. Loadcell üzerindeki okunan yük 41,08 kN'da iken ana çekme donatısı akmıştır. Akma değerinde okunan deplasman değeri 2,42 mm'dir. Eğilmeden dolayı basınç bölgesinde çatlamlar olduğu anda okunan değer 107,66 kN'dur ve bu anda basınç bölgesinde ezilme meydana gelmiştir. Bu yükleme durumunda okunan deplasman değeri 65,49 mm'dir.

Çizelge 5.1. Betonarme Kiriş-2 Referans Elemanı (RCB-RE2) yük-deplasman grafiği



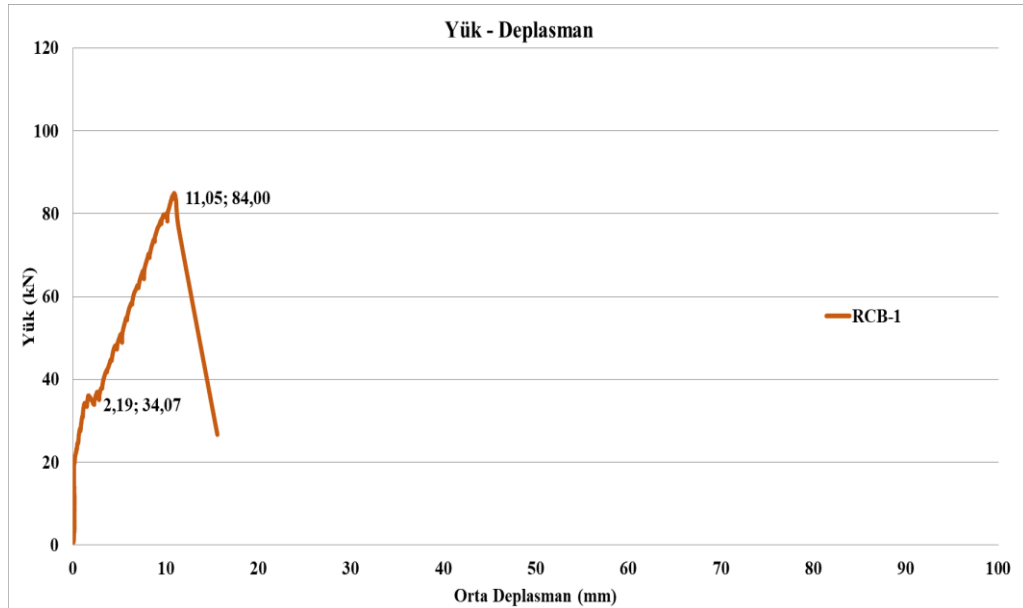


Şekil 5.1. Deney sonrası RCB-RE2 deney elemanı

5.1.2. Betonarme Kiriş-1 (RCB-1)

Yalnızca mesnet bölgelerinde yer alan dört adet etriye toplamda sekiz adet etriyeli olarak dizayn edilen kiriş için yükleme yapılmıştır. Eğilme çatlakları ilk olarak loadcell de okunan veri 49 kN u gösterirken oluşmuştur. Okunan yük 34 kN'da ve eğilme bölgesinde bulunan LVDT'den alınan verilere göre deplasman 2,19 mm değerini gösterirken akma görüldü. Loadcell üzerinde okunan değer 60 kN iken kirişin sol tarafında eğik kesme çatlakları oluştu. Yükleme devam ederken 84 kN değerinde kiriş mesnet bölgesinden ani kırılma ile yük alamayacak şekilde kırıldı. Ani kırılma anında eğilme bölgesinde konuşlandırılmış LVDT'den alınan verilere göre kırılma öncesi en yüksek deplasman değeri 11.05 mm'dir.

Çizelge 5.2. Betonarme Kiriş-1 (RCB-1) yük-deplasman eğrisi



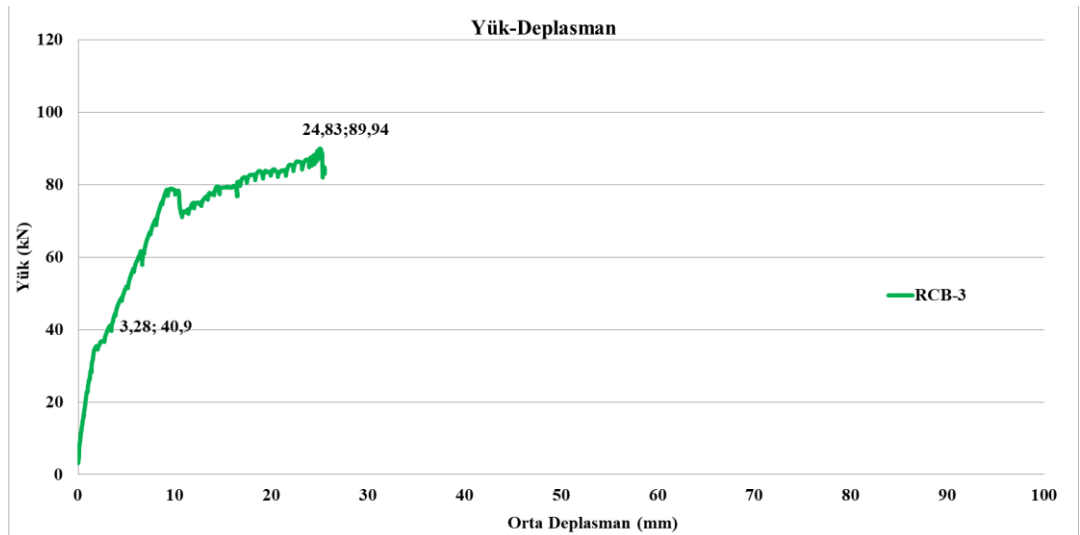


Şekil 5.2. Deney sonrası RCB-1 deney elemanı

5.1.3. Betonarme Kiriş-3 (RCB-3)

Referans elemanından farklı olarak sağ ve sol mesnette dört adet olmak üzere toplam 8 adet Ø6 etriye ve iki adet Ø10 pilye olmak üzere tasarlanan kirişin taşıma kapasitesi ve deplasman değerlerinin tespiti için gerekli yüklemeler yapılmıştır. Loadcell de okunan 28 kN luk yüklemde ilk eğilme çatlakları görülmüştür. Yaklaşık olarak 40 kN civarında eğilme bölgesine konuşlandırılmış LVDT üzerinde okunan deplasman değeri 3.28 mm okunmuştur. Kirişin sol mesnet bölgesinde kesme çatlakları 78 kN'da iken gözlemlenmiştir. Loadcell'de okunan değer 89,9 kN iken mesnetten başlayan kesme çatlaklarının büyüyerek ani kırılma sonucu kirişin kırıldığı ve taşıma gücünü yitirdiği gözlemlenmiştir.

Çizelge 5.3. Betonarme Kiriş-3 (RCB-3) yük-deplasman eğrisi



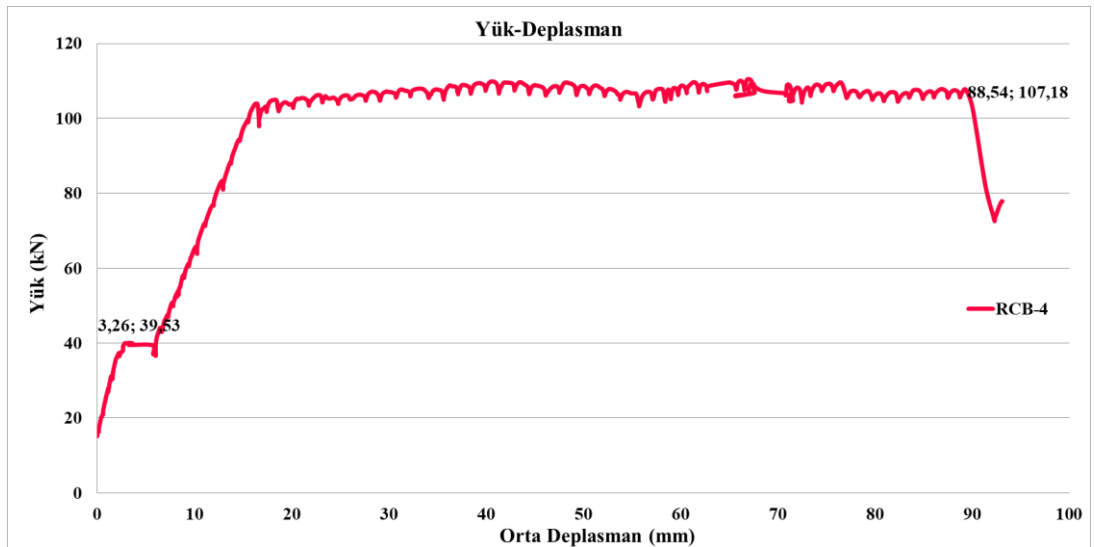


Şekil 5.3. Deney sonrası RCB-3 deney elemanı

5.1.4. Betonarme Kiriş-4 (RCB-4)

CB 4 kirişinde kiriş başlangın ve bitiş noktalarından orta noktasına doğru 64 cm uzunluğundaki bölgelere (aynı zamanda yükleme noktalarına kadar olan kısımdır) Ø6/7,5 cm olacak şekilde 10 adet sağ 10 adet sol tarafta olmak üzere 20 adet etriye kullanılmıştır. İlk eğilme çatlakları loadcell üzerinde okunan değer 27kN iken oluşmuştur. Eğilme bölgesine konuşlandırılan LVDT üzerinde 3,26 mm deplasman görüldüğü ve loadcell üzerinde 39,53 kN yük olduğu anda akma gerçekleşti. Kiriş üzerinde 40 kN yük olduğu anda kesme çatlakları gözlemlendi. Yük 107,18 kN iken eğilme bölgesinde bulunan LVDT’de 88,54 mm deplasman değeri okundu ve basınç bölgesinde oluşan ezilmelerden dolayı basınç bölgesindeki betonun parçalara ayrıldığı gözlemlendi.

Çizelge 5.4. Betonarme Kiriş -4 (RCB-4) yük-deplasman grafiği



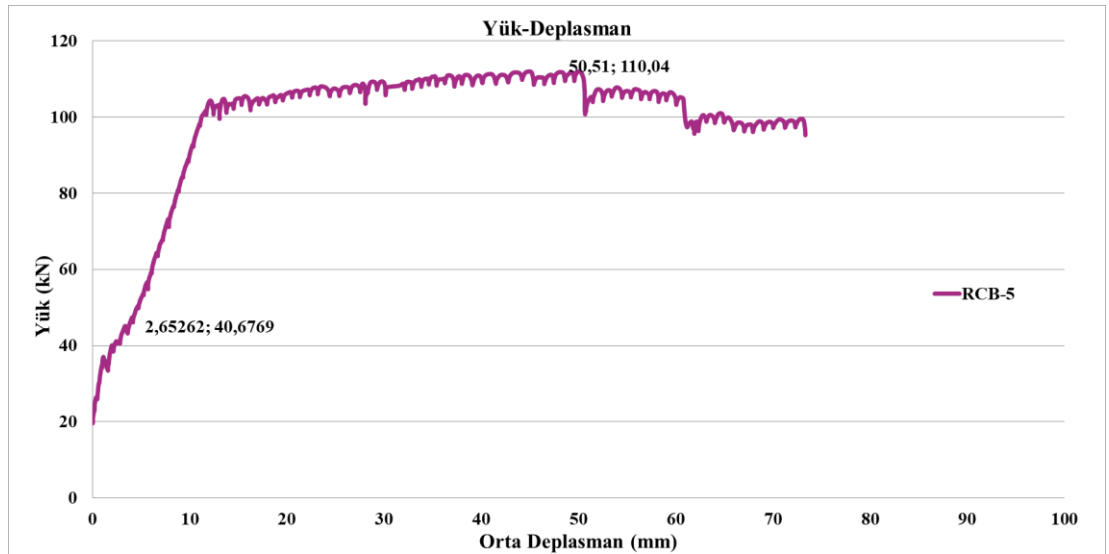


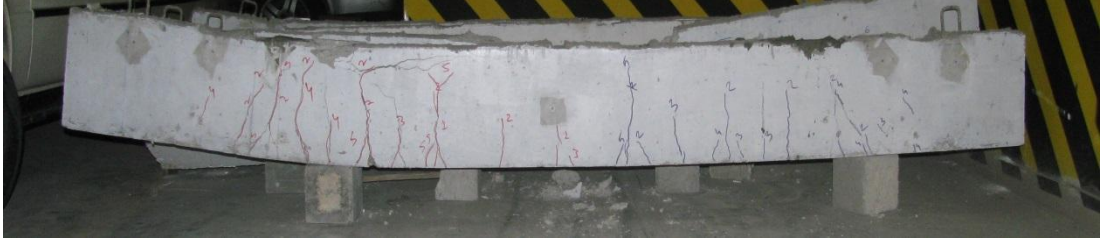
Şekil 5.4. Deney sonrası RCB-4 deney elemanı

5.1.5. Betonarme Kiriş -5 (RCB-5)

Referans kirişinden farklı olarak mesnetlerde 4Ø6/4 diziliminde toplamda sekiz adet etriye, kirişin sağında ve solunda 13Ø6/7,5 diziliminde toplamda yirmi altı adet eğik etriye ile tasarlanmış olan kiriş incelenmiştir. 35 kN'da eğilme çatlakları görüldü. 72 kN'da kirişin sol tarafında kesme çatlakları oluşmaya başlamıştır. 40,67 kN'da iken akma gerçekleşmiştir. Okunan deplasman değeri 2,65 mm'dir. 100 kN'da yeni kesme çatlağı oluştu ve bu değerde 11,70 mm deplasman değeri okunmuştur. 110,04 kN iken deplasman değeri 50,51 mm ve kesme çatlakları oluşmasında rağmen kiriş kırılmamış ve eğilme yükü kapasitesine eriştikten ve yük düşmeye başladıktan sonra deneye son verilmiştir.

Çizelge 5.5. Betonarme Kiriş-5 (RCB-5) yük-deplasman grafiği



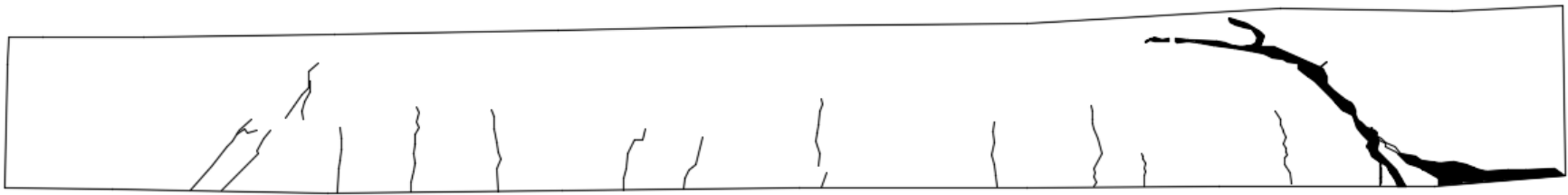


Şekil 5.5. Deney sonrası RCB-5 deney elemanı

Tüm deney elemanlarının deney sonrasında fotoğrafları çekilerek gerçeğine uygun olarak çatlak haritası oluşturulmuştur.



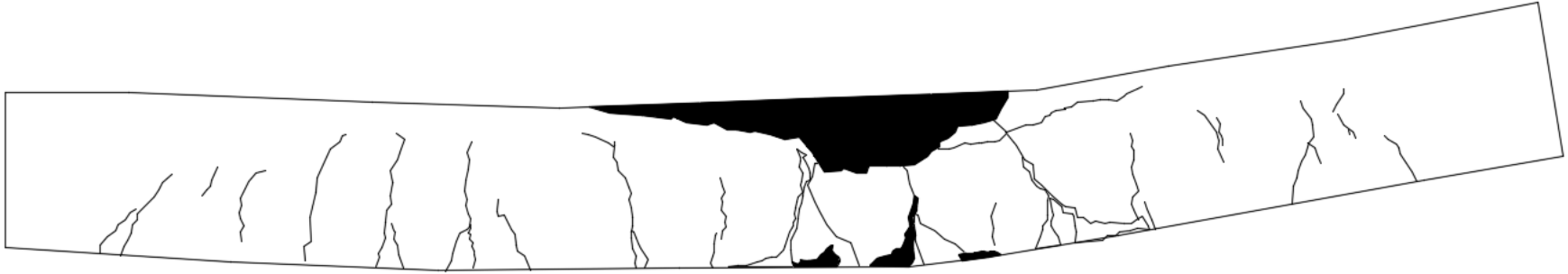
Şekil 5.6. Çatlak haritası-RCB-RE2



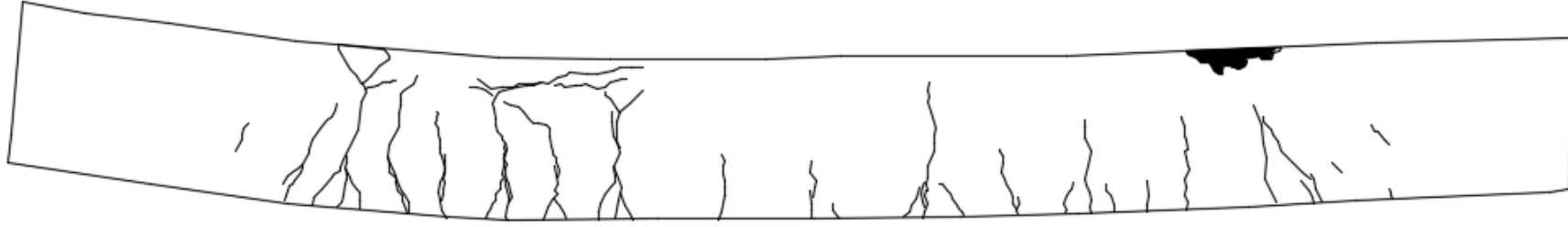
Şekil 5.7.Çatlak haritası-RCB-1



Şekil 5.8. Çatlak haritası-RCB-3



Şekil 5.9. Çatlak haritası-RCB-4



Şekil 5.10. Çatlak haritası-RCB-5

6. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Deney sonuçları değerlendirilirken deney elemanlarının davranışı, rijitlik, süneklik oranı ve enerji tüketimi sonuçları değerlendirilmiştir. Yapılan hesaplamalarda kullanılan veriler, KTO Üniversitesi laboratuvarında yapılmış olan çekme ve basınç deneyi sonuçları verileridir.

Çizelge 6.1. Deney elemanları verileri

Deney Elemanı	b(m)	h(mm)	d'(mm)	d(mm)	a(mm)	a/d
RCB-1	150	300	30	270	590	2,19
RCB-RE2	150	300	30	270	590	2,19
RCB-3	150	300	30	270	590	2,19
RCB-4	150	300	30	270	590	2,19
RCB-5	150	300	30	270	590	2,19

6.1. Deney Elemanlarının Davranışı

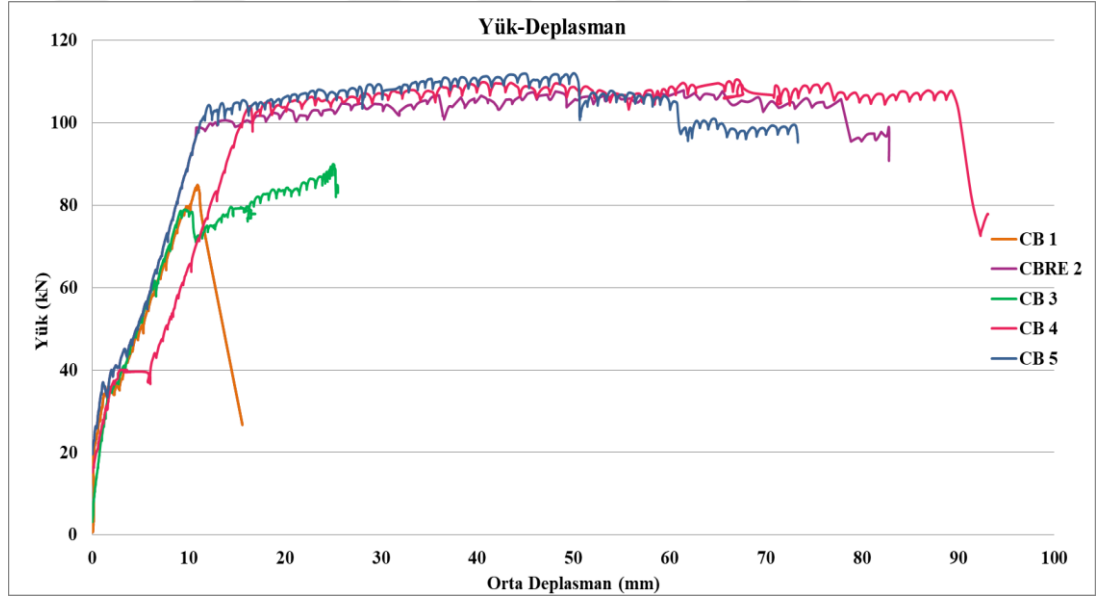
Tüm deney elemanlarının Yük-Deplasman grafikleri incelendiğinde RCB-1 kirişi kesme kuvvetine karşı yetersiz kalarak kirişin sol tarafında, kesme çatlağının olduğu yerde kesme kuvvetinden, çabuk ve gevrek bir kırılma sergilemiştir. Bahsi geçen kirişte sadece mesnet bölgelerinde etriye olup kesme bölgesinde donatı bulunmamaktadır. Bu nedenle donatısız kiriş gibi davranış sergilemiştir RCB-3 deney elemanında ise RCB-1 deney elemanından farklı olarak kesme bölgesinde pilye kullanılmıştır. Ancak RCB-1 deney elemanına göre daha sünek bir davranış sergilemiş olsa da gevrek kırılma sergilemiştir. Kesme çatlağının olduğu yerden kiriş kırılmıştır. Çizelge 6.2'de görüldüğü gibi RCB-1 ve RCB-3 deney elemanları kesme kuvvetleri bir birlerine yakın değerlerdir.

RCB-RE2 referans elemanında tüm kiriş boyunca etriyeli olarak tasarlanmıştır. RCB-4 deney elemanında sadece kesme bölgesinde etriye tasarlanmış ve RCB-5 deney elemanında ise diyagonal etriye kullanılmıştır. RCB-RE2, RCB-4 ve RCB-5 deney elemanları için ölçülen kesme kuvvetleri birbirine yakın değerler olup, en yüksek değer RCB-5 deney elemanında görülmüştür.

Çizelge 6.2. Hesaplanan ve ölçülen kesme kuvvetleri

Deney Elemanı	Hesaplanan Kesme Kuvveti(kN)	Ölçülen Kesme Kuvveti (kN)	Ölçülen Kesme Kuvveti/Hesaplanan Kesme Kuvveti
RCB-1	40,00	84,00	2,10
RCB-RE2	150,50	107,66	0,72
RCB-3	65,52	89,90	1,37
RCB-4	150,50	107,18	0,71
RCB-5	195,80	110,04	0,56

Çizelge 6.3. Tüm deney elemanları yük-deplasman grafiği



6.2 Rijitlik

Yük-deplasman grafikleri dikkate alınarak elde edilen sonuçlar Çizelge 6.4’de verilmiştir. RCB-1 deney elemanının göçme rijitliği akma rijitliğinden %51 daha küçüktür. RCB-RE2 ve RCB-4 deney elemanlarının göçme deplasmanları yakın değerler sergilemektedir. Ancak RCB-RE2 deney elemanın göçme rijitliği akma rijitliğinden %90,3 küçük iken, RCB-4 deney elemanında bu değer %90’dır. RCB-3 kirişinde %70,96 ve RCB-5 kirişinde ise %85,8’dir. Bu durumda daha önce yapılan RCB-1 deney elemanın daha gevrek olduğu yorumu yeniden yapılabilir. Bu durumda en sünek davranış sergileyen deney elemanları RCB-RE2 ve RCB-4 deney elemanıdır.

Çizelge 6.4. Deney elemanlarının rijitlik değerleri

Deney Elemanı	Akma Yüğü (kN)	Akma Deplasmanı (mm)	Göçme Yüğü (kN)	Göçme Deplasmanı (mm)	Rijitlik Değerleri(kN/mm)	
					Akma	Göçme
RCB-1	34,00	2,19	84,00	11,05	15,53	7,60
RCB-RE2	41,08	2,42	107,66	65,49	16,98	1,64
RCB-3	40,90	3,28	89,90	24,83	12,47	3,62
RCB-4	39,53	3,26	107,18	88,54	12,13	1,21
RCB-5	40,67	2,65	110,04	50,51	15,35	2,18

6.3 Süneklik

Süneklik oranı hesaplanırken taşıma kapasitesi yük değeri %15 azaltılarak okunan deplasman değerinin akma deplasman değerine oranı kullanılmıştır. Karşılaştırma yapmak için göreceli süneklik değerleri hesaplanmıştır.

Göreceli süneklik değerleri hesaplanırken referans elemanı olan RCB-RE2 deney elemanın değeri 1 kabul edilmiş ve diğer değerler buna göre hesaplanmıştır. Bu durumda RCB-4 deney elemanı, referans elemanına en yakın süneklik oranına sahiptir. Ardından RCB-5 deney elemanı gelmektedir. RCB-1 deney elemanı da RCB-5 deney elemanına yakın değerde süneklik değeri sergemiş olsa da yük-deplasman grafiğı incelendiğinde daha gevrek bir kırılma sergilemişlerdir. RCB-3 deney elemanı ise hem süneklik değerleri hem de yük-deplasman grafiğıne göre gevrek kırılma gerçekleştirdiğı yorumu yapılabilir.

Çizelge 6.5. Deney elemanlarının süneklik oranları

Deney Elemanı	Süneklik Oranı(δ_u/δ_y)	Göreceli Süneklik
RCB-1	3,82	0,92
RCB-RE2	4,16	1,00
RCB-3	2,74	0,66
RCB-4	4,33	1,04
RCB-5	3,87	0,93

6.4 Enerji Tüketimi

Deney elemanlarının enerji tüketimleri yük-deplasman eğrisi altında kalan alan hesaplanarak bulunmuştur. Çizelge 6.6'da ki verilere göre en fazla enerji tüketimi RCB-4 deney elemanında görülmüştür. Diğer tüm deney elemanlarında referans elemanına göre azalma görülürken RCB-4 deney elemanında %12 değerinde artış görülmüştür. En fazla azalma RCB-1 ve RCB-3 deney numunelerinde görülmüştür. Bu değerler sırasıyla %90 ve %82'dir. Bu değerler de göstermektedir ki RCB-1 ve RCB-3 deney numuneleri gevrek bir kırılma sergilemiştir. Kullanılan pilyenin kesme donatısı niteliğinde bir etkisi olmadığı ifade edilebilir. RCB-5 deney elemanı ise %10 azalma sergilemiştir.

Çizelge 6.6. Deney elemanları enerji tüketimleri

Deney Elemanı	Enerji Tüketimleri (Joule)
RCB-1	832,56
RCB-RE2	8140,43
RCB-3	1448,70
RCB-4	9116,86
RCB-5	7314,68

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Referans deney elemanı olan RCB-RE2'ye en yakın değerleri sağlayan RCB-4 deney elemanıdır. RCB-RE2 deney elemanında 40 adet etriye kullanılmışken, RCB-4 deney elemanında 20 adet etriye kullanılmıştır. RCB-4 deney elemanı hem sonuçlar hem de ekonomik olarak en ideal betonarme kiriş gibi görünse de TS500 ve TBDY-2018 yönetmeliklerine göre sıklaştırma ve gövde bölgesinde etriye aralıklarına uyulması gereken kurallar vardır. Bu nedenle reel uygulamalarda deney elemanın kullanılması uygun değildir. RCB-5 deney elemanı da hem referans deney elemanı RCB-RE2 hem de RCB-4 deney elemanına yakın değerler sergilemiştir. 45° açılı etriye ile tasarlanan RCB-5, çatlak haritası incelendiğinde diyagonal çatlakların oluşmadığı görülmektedir. Bu deney elemanında ise 26 adet etriye kullanılmış olup, RCB-4 deney elemanı için yapılan yorumlar, RCB-5 için de yapılabilir.

Deney elemanlarının sünekliği düşünüldüğünde, RCB-4 ve RCB-5 deney elemanlarının, referans elemanına en yakın süneklik oranına değerlerine sahiplerdir. RCB-1 ve RCB-3 deney elemanları ise deney esnasında ve yük-deplasman grafiği incelendiğinde daha gevrek bir kırılma sergilemişlerdir. RCB-1 ve RCB-3 deney elemanlarında deney sonuçlarında gevrek kırılma sergilendiğinden dolayı uygulama da kullanılması uygun değildir.

Enerji tüketim değerleri değerlendirildiğinde, tüm deney elemanlarında referans elemanına göre azalma görülürken RCB-4 deney elemanında %12 değerinde artış görülmüştür. En fazla azalma RCB-1 ve RCB-3 deney numunelerinde görülmüştür. Bu değerler sırasıyla %90 ve %82'dir. Bu değerler de göstermektedir ki RCB-1 ve RCB-3 deney numuneleri gevrek bir kırılma sergilemiştir. Kullanılan pilyenin kesme donatısı niteliğinde bir etkisi olmadığı ifade edilebilir.

KAYNAKLAR

- [1]. Ersoy, Uğur, ve Özcebe, Güney. Betonarme, Evrim Yayınevi, İstanbul, 2001
- [2]. Altın, S., Anıl, Ö. ve Gökten, Y. Betonarme Kirişlerin Kesmeye Karşı Güçlendirilmesinde Bir Kelepçe Uygulaması, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi, Cilt 49, No 4, 415-422, 2004
- [3]. Sayyad, S. ve Patankar, V. Effect of Stirrups Orientation on Flexural Response of RC Deep Beams, American Journal of Civil Engineering and Architecture, 2013, Vol. 1, No. 5, 107-111
- [4]. Özkal, F. Mehmet, Kesme Açıklığı Küçük Olan Betonarme Kirişlerin Etriye Düzeni Ve Kenetlenme Yönünden İncelenmesi, 20. Ulusal Mekanik Kongresi 05 - 09 Eylül 2017
- [5]. Tokgöz, H. ve Dündar, B. Kesme Yönünden Yetersiz Dikdörtgen Kesitli Betonarme Kirişlerin CFRP İle Güçlendirilerek Kesme Kapasitelerinin Arttırılması, Journal of Advanced Technology Sciences, Vol 3 No 2 87-97, 2014
- [6]. Tureyen, K. Ve Frosch J. Frosch, Shear Tests of FRP-Reinforced Concrete Beams without Stirrups, ACI Structural Journal, Temmuz Ağustos 2002
- [7]. Can H., Altın S., Anıl Ö. ve Kara E. Betonarme Kirişlerin Dıştan Yapıştırılan Çelik Levhalarla Kesmeye Karşı Güçlendirilmesi, Proje No: 06/2004-14
- [8]. Sinan KAYAR, Güçlendirilmiş/Onarılmış Betonarme Kirişlerin Rehabilitasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Temmuz 2008
- [9]. Atteshamuddin S. Sayyad*, Subhash V. Patankar, Effect of Stirrups Orientation on Flexural Response of RC Deep Beams, American Journal of Civil Engineering and Architecture, 2013, Vol. 1, No. 5, 107-111
- [10]. Hasan ÖZKAYNAK, Deprem Bölgelerindeki Betonarme Yapılarda Donatı Düzenleme İlkeleri, Yüksek Lisans Tezi, Mayıs 2002
- [11]. Mehmet Said SERTKAYA, Betonarme Ve Öngerilmeli Beton Kirişlerin Kesme Kapasitelerinin Tahminine Yönelik Bir Araştırma, Yüksek Lisans Tezi, Ekim 2017
- [12]. TS500,200. Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara
- [13]. TBDY-2018, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı Adı : ARITÜRK, Nagihan
Uyruğu : T.C.
Doğum Tarihi ve Yeri: : 27.03.1988 Ilgın, KONYA
Telefon : +90 539 352 85 35
e-mail : nagihanariturk@gmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet
Lisans	Selçuk Üniversitesi / İnşaat Mühendisliği	2013
Yüksek Lisans	KTO Karatay Üniversitesi	Devam Ediyor

Yabancı Dil : İngilizce