



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**LİF TAKVİYELİ POLİMER (FRP) DONATILI
BETONARME KİRİŞLERİN EĞİLME ETKİSİ
ALTINDAKİ DAVRANIŞI**

İsmet Emre KAŞIKCI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

**Haziran-2018
KONYA
Her Hakkı Saklıdır**

TEZ KABUL VE ONAYI

İsmet Emre KAŞIKCI tarafından hazırlanan “Lif takviyeli polimer (FRP) donatılı betonarme kirişlerin eğilme etkisi altındaki davranışı” adlı tez çalışması 20/06/2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Dr. Öğr. Üyesi Nail KARA

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Nebi ÖZDÖNER

Üye

Dr. Öğr. Üyesi M. Alpaslan KÖROĞLU

İmza

.....

.....

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Mehmet KARALI
FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İsmet Emre KAŞIKCI

20/06/2018

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

LİF TAKVİYELİ POLİMER (FRP) DONATILI BETONARME KİRİŞLERİN EĞİLME ETKİSİ ALTINDAKİ DAVRANIŞI

İsmet Emre KAŞIKCI

Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Nebi ÖZDÖNER

2018, 95 Sayfa

Jüri

Dr. Öğr. Üyesi Nail KARA
Dr. Öğr. Üyesi Nebi ÖZDÖNER
Dr. Öğr. Üyesi M. Alpaslan KÖROĞLU

Bu çalışmada FRP donatılı betonarme kirişlerin eğilme etkisi altındaki davranışı ile ilgili olarak bir araştırma yapılmıştır. Öncelikle analitik olarak hesapların nasıl yapıldığı anlatılmıştır. Ayrıca önceden hazırlanmış deneysel çalışmalar araştırılarak bu çalışmalarda bulunan sonuçlar aktarılmaya çalışılmıştır. Kirişlerde oluşan deplasmanlar ile taşıma gücü momentleri üzerinde FRP donatının etkisi üzerinde durulmuştur. FRP donatısının tipi ve miktarının ilgili elemanlar üzerindeki deplasmanlar hakkında önemli sonuçlara neden olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Beton, betonarme, çelik, deplasman, lif takviyeli polimer donatı

ABSTRACT

MS

BENDING BEHAVIOUR OF FRP REINFORCED CONCRETE BEAMS

İsmet Emre KAŞIKCI

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN CIVIL ENGINEERING**

**Advisor: Asst. Prof. Dr. Nebi ÖZDÖNER
2018, 95 Pages**

**Jury
Asst. Prof. Dr. Nail KARA
Asst. Prof. Dr. Nebi ÖZDÖNER
Asst. Prof. Dr. M. Alpaslan KÖROĞLU**

In this study, bending behaviour of FRP reinforced concrete beam is investigated. Firstly, the bearing capacity moment calculations carried out according to bearing capacity assumptions. Three-point flexural tests were carried out on two beam samples reinforced with GFRP (Glass Fibre Reinforced Polymer) and another two beam samples reinforced with regular reinforcement steel which both reinforced against deflection and result obtained comparatively.

Keywords: Beam, Concrete, Fibre reinforced polymer

ÖNSÖZ

Bu yaşıma kadar üzerimde sınırsız emeği olan, her anımda en büyük desteği kendilerinden gördüğüm ve hiçbir zaman haklarını ödeyemeyeceğim saygıdeğer anneme ve babama, mesleğimi yerine getirebilmem için kıymetli bilgi ve birikimlerini benimle paylaşıp ufkumu genişleten ve mesleğimi daha çok sevmemi sağlayan muhterem lisans hocalarıma ve yüksek lisans eğitim ve öğretim süresince desteğini esirgemeyen Sayın Dr. Öğr. Üyesi Nebi ÖZDÖNER hocam ile Sayın Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Alparslan KÖROĞLU hocama ve emeği geçen tüm hocalarıma en içten duygularıyla teşekkür eder, kendilerinin sağlıklı, huzurlu, başarılı ve mutlu bir ömür geçirmelerini temenni ederim.

İsmet Emre KAŞIKCI
KONYA-2018

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	3
3. MATERYAL VE METOD	7
3.1. Giriş	7
3.2. Betonu Oluşturan Malzemeler	9
3.2.1. Agrega.....	9
3.2.2. Çimento.....	12
3.2.3. Karışım suyu	13
3.2.4. Donatı çeliği (S420).....	13
3.2.5. GFRP donatısı.....	14
3.3. Deneyleer.....	17
Kalıpların hazırlanması.....	17
Donatıların bağlanıp yerleştirilmesi.....	19
Hazır beton dökümü ve yerleştirilmesi	21
Hazır betondan numune alınması	23
3.3.1. Çökme deneyi (Slump deneyi)	24
3.3.2. Üç nokta eğilme deneyleri	25
Üç nokta deneyinin yapıldığı deney aleti	27
4. DENEYSSEL ÇALIŞMA.....	29
4.1. Beton Sınıfının Belirlenmesi	29
4.1.1. Beton basınç dayanımının belirlenmesi	29
4.1.2. Beton çekme dayanımının belirlenmesi.....	35
4.1.3. Donatı çeliği ve GFRP elemanların çekme dayanımlarının belirlenmesi.....	40
4.2. Kirişlerin Moment Taşıma Kapasiteleri	41
4.3. Kirişlerin Yük Kapasiteleri	44
4.4. Kirişlerdeki Üç Nokta Deneyi	46
4.4.1. K1Ç kirişinde üç nokta deneyi.....	46
4.4.2. K3Ç kirişinde üç nokta deneyi.....	52
4.4.3. K1F kirişinde üç nokta deneyi	58
4.4.4. K3F kirişinde üç nokta deneyi	64

5. DENEY SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI.....	73
5.1. Kiriş Yük – Moment Kapasitelerinin Karşılaştırılması	73
5.1.1. K1Ç ve K3Ç kirişlerinin karşılaştırılması	74
5.1.2. K1F ve K3F kirişlerinin karşılaştırılması	75
5.1.3. K1Ç ve K1F kirişlerinin karşılaştırılması.....	76
5.1.4. K3Ç ve K3F kirişlerinin karşılaştırılması.....	77
5.2. Kirişler Arasında Süneklik Karşılaştırması	78
5.3. Kirişler Arasında Deplasman Karşılaştırması.....	79
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	80
6.1. Sonuçlar	80
6.2. Öneriler	81
KAYNAKLAR	82
ÖZGEÇMİŞ	84

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

α_1	Kompozit çubukların boyuna yöndeki ısı genleşme katsayısı
α_t	Kompozit çubukların enine yöndeki ısı genleşme katsayısı
f_c	Basınç etkisi altında betonda oluşan gerilme
f'_c	Beton silindir basınç dayanımı
ϵ_c	Basınç etkisi altında betonda oluşan şekil değiştirme
ϵ_{co}	Maksimum gerilmeye karşılık gelen şekil değiştirme
ϵ_{cu}	Betonun basınç etkisi altında kırılma anındaki şekil değiştirme
E_c	Betonun başlangıç elastisite modülü
f_t	Betonda oluşan çekme kuvveti
ϵ_t	Betonda çekme gerilmesi sonucunda oluşan şekil değiştirme
f_{tu}	Betonun eğilmedeki çekme dayanımı
ϵ_{ct}	Betonun eğilmedeki çekme dayanımına karşılık gelen şekil değiştirme
μ	Çekme dayanımındaki azalmayı kontrol eden bir parametre
E_t	Çekme etkisi altındaki betonun elastisite modülü
f_f	FRP donatısındaki gerilme değeri
ϵ_f	FRP donatısındaki şekil değiştirme
E_f	FRP donatısının elastisite modülü
f_{fu}	FRP donatısının kırılma konumuna ulaştığı andaki gerilme
ϵ_{fu}	FRP donatısının kırılma konumuna ulaştığı andaki şekil değiştirme
ϵ_f'	Kesitin alt bölgesindeki FRP donatısında oluşan şekil değiştirme
ϵ_f''	Kesitin üst bölgesindeki FR donatısında oluşan şekil değiştirme
d	Çekme bölgesindeki donatının beton üst yüzüne olan uzaklığı

d'	Basınç bölgesindeki donatının beton üst yüzüne olan uzaklığı
ε_i	Çekme veya basınç bölgesindeki her bir beton şeridin ağırlık merkezindeki şekil değiştirme
f_{ci}	i numaralı beton şeridin ağırlık merkezinde oluşan çekme veya basınç gerilmesi
h_i	i numaralı beton şeridin kalınlığı
b	Kesit genişliği
A_f	Kesitin çekme bölgesindeki FRP donatılarının kesit alanı
E_f	Kesitin çekme bölgesindeki FRP donatılarının elastisite modülü
A'_f	Kesitin basınç bölgesindeki FRP donatısının kesit alanı
E'_f	Kesitin basınç bölgesindeki FRP donatısının elastisite modülü
F_{ci}	i numaralı beton şeridin ağırlık merkezine etkiyen çekme ve basınç kuvveti
EI_{eff}	Eğilme rijitliği değeri
Δ	Basit mesnetli bir kirişin orta noktasında oluşan deplasman
L	Kiriş açıklığı
a	Yükün uygulandığı noktanın mesnede olan uzaklığı
ρ_f	Kesit içerisindeki FRP donatı oranı
c_b	Dengeli durumdaki tarafsız eksen derinliği
β_1	Beton dayanımı azaltma katsayısı
I_1	Kesitin çatlama öncesi atalet momenti
I_2	Kesitin tamamen çatlamış haldeki atalet momenti
M	İlgili kesitteki eğilme momenti
M_{cr}	Çatlama anındaki eğilme momenti
ε_s	Çekme bölgesindeki çelik donatıda oluşan şekil değiştirme
ε'_s	Basınç bölgesindeki çelik donatıda oluşan şekil değiştirme
d_s	Çekme bölgesine yerleştirilen çelik donatı ile beton en dış yüzü arasındaki mesafe

d_s'	Basınç bölgesine yerleştirilen çelik donatı ile beton en dış yüzü arasındaki mesafe
T_f	Çekme bölgesindeki FRP donatısında oluşan kuvvet
C_f	Basınç bölgesindeki FRP donatısında oluşan kuvvet
T_s	Çekme bölgesindeki çelik donatıda oluşan kuvvet
A_s	Çekme bölgesindeki çelik donatıya ait alan
E_s	Çekme bölgesindeki çelik donatıya ait elastisite modülü
C_s	Basınç bölgesindeki çelik donatıda oluşan kuvvet
A'_s	Basınç bölgesindeki çelik donatıya ait alan
E'_s	Basınç bölgesindeki çelik donatıya ait elastisite modülü
$C_{f(s)}$	Basınç bölgesindeki FRP veya çelik donatıya ait kuvvet
\emptyset	Hibrit betonarme elemanda oluşan eğrilik
M_f	Kesitin taşıma gücü momenti
a	Kesme açıklığı
d	Faydalı yükseklik

Kısaltmalar

SD	Standart sapma
AAE	Standart hata
COV	Değişkenlik katsayısı
ACI	American Concrete Institute
BISE	British Institution of Structural Engineers
CAN/CSA	Canadian Standards Association
ISIS	International School of Interdisciplinary Studies/Canada
JSCE	Japan Society of Civil Engineers

1. GİRİŞ

Betonarme yapılarda oluşabilen kesme, çekme, basınç, burulma vb. etkilere maruz kalan elemanlarda sadece basınca dayanıklı olan beton yetersiz kalmış, böylece süneklik sağlayan çelik ile bir arada kullanılarak kompozit malzeme olan betonarme elde edilmiştir. Betonarme yapılarda çevresel faktörlerin etkisi ile donatı çeliğinin korozyona uğraması sektörde karşılaşılabilecek önemli problemlerden bir tanesidir. Donatıda korozyon oluşmaya başladığı zaman önce korozyona uğrayan kesit hacimce genişlemeye başlayarak beton örtüsünü çatlatıp dökmekte, korozyonun ilerlemesi sonucu donatının etkili kesiti küçülmekte, beton - çelik arasındaki aderans yok olmakta ve beton donatısız kalmaktadır. Bu problem sonucunda betonarme yapının ömrü kısalmakta ve zaman alan yüksek maliyetli onarım ve güçlendirme gerekmektedir. Bu durumda yapılarda meydana gelebilecek hasarlar veya ani göçmeler ile oluşacak can-mal kayıplarının önüne geçmek amacıyla korozyona dayanıklı malzeme arayışına gerek duyulmuştur.

GFRP (Glass Fiber Reinforced Polymer) donatı elemanı cam lif takviyeli polimerden oluşan ve bu soruna çözüm getirebilecek alternatif bir yapı malzemesidir. Donatıların içeriğinde bulunan cam elyaf kombinasyonları sonucu S420 çeliği mukavemetinin yaklaşık 3 katına ulaşan, kullanım kolaylığı bakımından hafif olan malzeme korozyona oldukça dayanıklıdır. Çelik donatılara kıyasla yüksek çekme dayanımına sahip olan malzeme aynı zamanda daha düşük bir elastisite modülüne sahiptir. Bu nedenle yük altında bulunan GFRP donatılı kirişlerde hasar sonucu önemli rijitlik kaybı ve buna bağlı olarak taşıyabileceği yük düzeyinde bile büyük deplasmanlar oluşur.

Betonun ve GFRP donatı elemanının gevrek davranışa sahip olmaları sebebiyle yük etkisi altında bulunan GFRP donatı ile eğilmeye karşı güçlendirilmiş betonarme kirişlerde ani göçmeler gözlenir. Buna bağlı olarak en önemli aşama olan tasarım aşamasının doğru bir şekilde tamamlanabilmesi için taşıma gücü kapasitelerinin gerçeğe yakın olarak hesap edilmesi gerekmektedir. En önemli sorunlardan olan gevreklik ve korozyon faktörleri göz önünde bulundurularak çelik ve GFRP donatının kirişlerin eğilme etkisi altındaki davranışlarının birbirleri ile kıyaslanmaları üzerinde çalışmalar yapılmaya başlanmıştır.

Elde edilen veriler ışığında yapılan bu çalışmada GFRP donatılı betonarme kirişlerin eğilme etkisi altındaki davranışları, donatıların kirişte oluşan deplasmanlar ve taşıma kapasitesine olan etkileri incelenmiştir. Bununla birlikte kirişlerde kullanılan çelik ve GFRP donatı oranlarının kirişin davranışı üzerindeki etkisi de araştırılmıştır. Dayanım etkileri göz önünde bulundurularak gerekli kıyaslamalar yapılmıştır.



2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

FRP (Fiber Reinforced Polymer) donatılı betonarme elemanların eğilme etkisi altındaki davranışlarını inceleyen birçok çalışma yapılmıştır. Fakat yapılan çalışmalar normal çelik donatılı kirişlerin eğilme dayanımı ile ilgili olarak yapılan çalışmalarla karşılaştırıldığında yeterli düzeyde değildir. Bu bölümde FRP donatılı betonarme kirişlerin eğilme ve kesme dayanımına yönelik olarak yapılan çalışmalara yer verilecektir.

Almusallam (1997), FRP donatılı betonarme kirişlerde oluşan deplasmanların hesabını artımsal deformasyon yöntemine dayandırarak, numerik bir çözüm yöntemi geliştirmiştir. Geliştirilen bu yöntemde, betonun en dış basınç lifinde oluşan kısalma değeri için sayısal bir kabul yapılarak çözüme başlanıp, kesitte oluşan tarafsız eksenin yeri iterasyonlar aracılığı ile bulunmaktadır. Geliştirilen bu çözüm yöntemi FRP donatılı eğilmeye çalışan elemanların analiz ve tasarımı için genel bir çözüm yöntemi değildir.

Barris vd. (2009), GFRP (Glass Fiber Reinforced Polymer) donatı elemanları ile eğilmeye karşı güçlendirilmiş dört nokta eğilme deneyine tabi tutarak; kirişlerdeki donatı en kesit alanı / kiriş faydalı en kesit alanı oranının ve etkili derinlik / kesit yüksekliği (d / h) oranının eğilme davranışına olan etkisini araştırmıştır. Bununla birlikte ACI 440-06 (2006)'nın önerdiği etkili atalet momentleri aracılığı ile elde edilen deplasman değerlerini deneysel sonuçlarla karşılaştırmıştır. Deney sırasında yapılan yüklemenin değeri taşıma kapasitesine yaklaştıkça beklenen sonuca ulaşamadığı fakat servis yükleri altında elemanların uygun davranış sergilediği gözlemlenmiştir.

Chakib vd. (2011), CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer), GFRP, AFRP (Aramid Fiber Reinforced Polymer) donatı elemanları ile güçlendirilmiş 24 adet betonarme kirişi deneysel olarak yüklemeye tabi tutmuş ve bu kirişlerin eğilme etkisi altındaki davranışını karşılaştırmalı olarak ayrıntılı bir şekilde incelemiştir. Bu çalışma sonunda eğilme deneyine tabi tutulan 24 adet kirişlerin tümünde betonun basınca çalışan en dış liflerinin ezilme birim kısalmasına eriştiği anda taşıma gücüne ulaştıkları gözlemlenmiştir. Benzer şekilde çeşitli yönetmelikler tarafından önerilen taşıma gücü momenti değerlerinin hesap kabullerinin yapılan 24 adet eğilme deneyinin sonuçlarıyla uyum içinde olduğu sonucuna ulaşmıştır. Aynı zamanda basit mesnetli eğilmeye karşı

çalışan elemanların orta kesitindeki tarafsız eksen derinliğinin, çatlamış kesit analizine dayandırılarak elde edilen numerik sonuçlarla uyum içerisinde olduğu sonucuna ulaşmıştır.

Gravina ve Smith (2008), FRP donatı elemanları ile eğilmeye karşı güçlendirilmiş sürekli betonarme kirişlerin hesap ve analizi için analitik bir yöntem geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri bu yöntemde, uygulanan yüklerin etkisi altında eğilme momentlerinin sebep olduğu çatlamaları modellemiş ve sonuç olarak adersans (kenetlenme) etkisinin ve beton örtü tabakasının (paspayı) eğilme davranışı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu ifade etmişlerdir.

Habeeb ve Ashour (2008), betonarme kirişlerde eğilmeye karşı güçlendirme elemanları olarak GFRP (Glass Fiber Reinforced Polymer) donatının kullanılabilirliğini incelemişleridir. Her biri eğilme deneyine tabi tutulan GFRP donatılı sürekli kirişlerden elde edilen sonuçları aynı donatı oranına ve donatı tipine sahip basit mesnetli kiriş elemanlar ve normal donatı çeliği ile güçlendirilmiş sürekli kirişlerden elde edilen sonuç değerleri ile karşılaştırmışlardır. Yapılan bu çalışmada kirişlerin nasıl ve hangi etki altında kırıldıkları, oluşan çatlakların şekilleri ve yükleme boyunca boyutlarının nasıl değiştiği, donatılardaki gözlenen şekil değiştirmeler ve yüklerin sürekli kiriş elemanlar üzerindeki dağılımı parametreleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Yapılan bu çalışmada ayrıca basit mesnetli ve sürekli kirişlerin taşıma gücü kapasitelerinin ve deplasmanlarının hesabı için ACI 440.1.R-06 (2006) yönetmeliği tarafından önerilen hesap ve analiz yöntemlerinin uygulanabilirliğini de değerlendirmişlerdir.

Tautanji ve Deng (2000), cam lif takviyeli polimerden (GFRP) retilmiş donatı elemanları ile güçlendirilen basit mesnetli betonarme kirişlerde eğilme etkisi altında oluşan deplasmanların hesap kabulleri aracılığı ile elde edilmesi için ACI 440.1.R-06 (2006) tarafından önerilen denklemlerin uygulanabilirliğini irdelemişler ve yönetmelikte belirtilen bu hesap yöntemlerinin deney sonuçları ile uyum içerisinde olduğunu ifade etmişlerdir.

Vijay ve GangaRao (2001), GFRP donatısı ile eğilme etkisine karşı güçlendirilmiş betonarme eğilme elemanlarının moment kapasitelerini hesaplamak için ACI 318-99 (1999) ve ACI 440.1.R-01 (2001) yönetmeliklerinde önerilen hesap

yöntemlerine benzeyen basit bir hesap modeli geliştirmiş ve bu hesap modelinden elde ettikleri sonuçlarla deneysel çalışmadan elde ettikleri sonuçları kıyaslayarak oldukça uyumlu değerler elde etmişlerdir.

El-Sayed vd. (2006), eğilmeye karşı lifli polimerlerden elde edilmiş donatılar kullanılarak güçlendirilmiş, yüksek dayanımlı, a / d oranı 2,5 değerinden büyük olan betonarme kirişlerin eğilme kesme etkileri altındaki dayanımlarını ve davranışlarını incelemek amacıyla deneysel bir çalışma yapmıştır. Yapılan bu deneysel çalışma kapsamında donatı çeliğine kıyasla oldukça yüksek çekme dayanımına sahip CFRP ve GFRP donatılarla güçlendirilmiş betonarme kiriş elemanlarda betonun, kesme dayanımına olan katkısı irdelenmiştir. Deneysel olarak elde ettikleri kesme dayanımı verilerini ACI 440.1R-03 tarafından önerilen hesap ve analiz yöntemlerinden elde edilen sonuçlarla kıyaslamışlar ve bu hesap modelinin oldukça güvenli yönde sonuçlar verdiği sonucuna ulaşmışlardır. Bunun yanı sıra yüksek basınç dayanımına sahip betondan üretilmiş betonarme kiriş elemanlarda gözlemlenen kesme kırılmasının, normal basınç dayanımına sahip betondan üretilmiş betonarme kiriş elemanlarla dayanım farklılıkları haricinde benzerlik gösterdiği sonucuna ulaşmışlardır. Yüksek basınç dayanımına sahip betondan imal edilmiş kiriş elemanların kesme dayanımlarının da yüksek olduğu belirtilmiştir.

Joseph vd. (2000), kiriş elemanlarda betonun, kesme etkisi altındaki dayanıma olan katkısını belirlemek için farklı eğilme donatısı oranına sahip, GFRP donatı ile güçlendirilmiş ve kayma donatısı buldurmeyen betonarme kiriş elemanları, dört nokta eğilme deneyine tabi tutmuştur. Deneysel çalışmaların sonucunda tüm kiriş numuneler üzerinde eğik çekme kırılması meydana gelmesi ile taşıma kapasitelerine ulaştıklarını gözlemlemiştir. Deneysel olarak elde ettiği kesme etkisi kapasite değerlerini, gerek normal çelik donatılı kirişlerin kesme kapasitesinin hesap ve analizi için verilen hesap modelleri, gerekse literatürde GFRP donatı elemanlarıyla güçlendirilmiş betonarme kirişlerin kesme kapasitesinin hesabı için önerilen hesap modelleriyle kıyaslamıştır. Yapılan bu karşılaştırmaların neticesinde, ACI 318-99 yönetmeliğinde normal çelik donatılı kirişlerin kesme dayanımı için önerilen hesap modelinin deneysel sonuçlara göre oldukça güvenli tarafta kaldığı sonucuna varılmıştır. Bunun altında yatan temel nedenin GFRP donatı elemanlarının kullanıldığı kirişlerde oluşan çatlakların, çelik donatı elemanlarının kullanıldığı kirişlerde oluşan çatlaklara göre daha geniş

olmasından ve bu numunelerin basınca çalışan etkili kesit alanının daha küçük bir değere sahip olmasından kaynaklandığını ifade etmiştir. Çalışmalarında ayrıca kesme dayanımının GFRP boyuna donatısından bağımsız olduğunu belirtmiştir.

Rozapqur vd. (2004), eğilmeye karşı lifli polimerlerden elde edilmiş donatılar kullanılarak güçlendirilmiş kirişlerde betonun kesme dayanımına olan katkısını belirlemek amacıyla deneysel çalışma yapmıştır. Deneysel olarak elde ettikleri kesme kapasite dayanımı değerlerini birçok ülkede kullanılan farklı yönetmelikler tarafından önerilen hesap yöntemleri ile karşılaştırmıştır. Yapılan deneysel çalışmada, betonun kesme dayanımına olan katkısının; betonun aksenal basınç dayanımına, boyuna donatının aksenal rijitliğine ve kirişe ait kesme açıklığının faydalı yüksekliğe olan oranına (a / d) bağlı olduğunu ifade etmiştir. ACI 440.R1-03 (2003) tarafından lif takviyeli polimerlerden imal edilmiş donatı elemanlarını içeren kirişlerin kesme kapasitelerinin belirlenmesi için önerilen hesap modellerinin oldukça güvenli yönde sonuçlar verdiği belirtilmiştir.

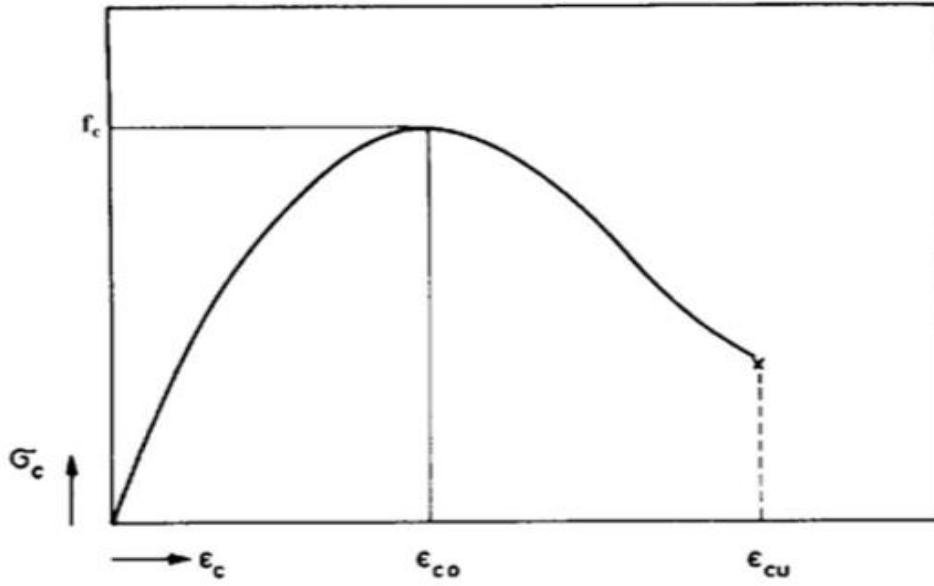
3. MATERYAL VE METOD

3.1. Giriş

Beton, kum-çakıl gibi agrega diye ifade ettiğimiz maddeler ile bir bağlayıcı madde olan çimento ve bunların yanı sıra suyun belirli oranda birleştirilmesiyle meydana gelen, inşaat sektöründe oldukça yaygın olarak kullanılan bir yapı malzemesidir.

Betonun baraj, yol, köprü, bina vb. birçok kullanım alanlarına göre hedeflenen mukavemeti ve işlenebilirliği, yapımda kullanılacak olan çimento, su, agrega ve tercihe bağlı olarak kimyasal katkı maddesinin doğru karışım oranları ile ancak elde edilebilir. Çünkü betonun dayanım ve dayanıklılığı kullanılan malzemeler, su/çimento oranı, yapılan tasarım, betonun üretim koşulları, yerleştirme-sıkıştırma-kür işlemleri sonucunda oldukça değişiklik göstermektedir. Ayrıca beton, taşıyıcı bir inşaat malzemesi olmasının yanı sıra, dekoratif bir malzeme olarak da kullanılmaktadır. Beton malzemesinin yangına dayanıklı olması, su geçirmez özelliğe sahip olması ve ses yalıtımına sahip olması gibi özellikleri mevcuttur. Bu bakımından da bazı modern yapılarda ya da nükleer radyasyona karşı bir önlem olarak da tercih edilmektedir.

İyi bir beton, basınç dayanımı ile değil, bütün ömrü boyunca maruz kaldığı etki ve çevresel etkilere karşı direnci ve yüklere karşı gösterdiği mukavemet ile belirlenir. Ömrü boyunca fiziksel ve kimyasal bütünlüğünü koruyabilen, dayanımı yüksek ve geçirimsiz beton iyi betondur. Betonun iyi bir dayanıma sahip olması ve dayanıklılığını, kullanılan malzeme (agrega, çimento, su ve kimyasal ve mineral katkıları), uygun tasarım, su/çimento oranı, üretim teknolojisi, bakım(kür) ve yerleştirme, sıkıştırma işlemleri oldukça etkilemektedir. Beton için genel gerilme-birim deformasyon eğrisi Şekil3.1.1 'de verilmiştir. (Açıkel H., 2015)



Şekil 3.1.1. Beton gerilme – şekil değiştirme grafiği

Tablo 3.1.1. TS beton sınıfları ve karakteristik dayanımları

Beton Dayanım Sınıfı				Karakteristik Dayanım f_{ck}							
TS 500 (1)	TS EN 206 (3)	TS 11222 (2)	TS 10465 (4)	Silindir Numune (15 x 30) cm				Küp Numune (15 x 15 x 15) (20 x 20 x 20)			
				TS 500	TS EN 206	TS 11222	TS 10465	TS 500	TS EN 206	TS 11222	TS 10465
	C 8/10				8				10		
	C 12/15				12				15		
	-	C 14	BS 14		-	14	14		-	16	16
C 16	C 16/20	C 16	BS 16	16	16	16	16	20	20	20	20
C 18	-	C 18	-	18	-	18	-	22	-	22	-
C 20	C 20/25	C 20	BS 20	20	20	20	20	25	25	25	25
C 25	C 25/30	C 25	BS 25	25	25	25	25	30	30	30	30
C 30	C 30/37	C 30	BS 30	30	30	30	30	37	37	37	35
C 35	C 35/45	C 35	BS 35	35	35	35	35	45	45	45	40
C 40	C 40/50	C 40	BS 40	40	40	40	40	50	50	50	45
C 45	C 45/55	C 45	BS 45	45	45	45	45	55	55	55	50
C 50	C 50/60	C 50	BS 50	50	50	50	50	60	60	60	55
	C 55/67	C 55			55	55			67	67	
	C 60/75	C 60			60	60			75	75	
	C 70/85	C 70			70	70			85	85	
	C 80/95	C 80			80	80			95	95	
	C 90/105	C 90			90	90			105	105	
	C 100/115	C 100			100	100			115	100	

3.2. Betonun Oluşturan Malzemeler

Beton, çimento, su, agrega ve kimyasal veya mineral katkı maddelerinin homojen olarak karıştırılmasından oluşan, başlangıçta plastik kıvamda olup, şekil verilebilen ve zamanla katılaşıp sertleşerek mukavemet kazanan bir yapı malzemesidir. Genel olarak beton karışımı içerisinde %70 oranda agrega (kum-çakıl), %20 oranda çimento, %10 oranda su bulunur. Kullanım amacına göre gerekli görüldüğü takdirde çimento ağırlığının %5'inden fazla olmamak şartı ile katkı malzemeleri kullanılabilir. TS beton sınıfları Tablo 3.1.1 'de verilmiştir.

3.2.1. Agrega

Beton hacminin yaklaşık %70-75'ini oluşturan agrega, beton yapımında su ve çimento ile birlikte kullanılan kum, çakıl, kırmataş gibi taneli malzemedir. Maliyeti çimentoya göre düşük olan agreganın, istenilen kalitedeki betonu elde etmek şartı ile betonda mümkün olduğu kadar çok kullanılması oldukça ekonomiklik sağlar. Ancak agrega kullanımının tek nedeni ekonomi değildir. Agreganın sağladığı teknik yararlar özetlenirse:

- Çimento hamuru, zamanla kuruyarak büzülme gösteren bir malzemedir. Agrega taneleri bu hacim değişikliğini belirli ölçüde engellemektedir. Bu nedenle, sadece çimento hamurundan oluşmuş bir malzemeye oranla, betonun göstereceği hacim değişikliği ve buna bağlı oluşacak çatlaklar daha az olmaktadır.
- Beton yapımında kullanılan agregalar genelde sert ve dayanımı yüksek malzemelerdir. Bu, beton dayanımının da yüksek olmasını sağlar. Ayrıca betonun aşınmaya ve çevreden gelecek diğer yıpratıcı etkilere karşı daha dayanıklı olmasına yardımcı olur.

Agregaları daha iyi tanımlamak ve değişik sınıflara ait agregaları beton üretiminde daha doğru tarzda kullanabilmek amacı ile yapılan sınıflandırmalar aşağıdaki gibidir:

- Kaynağına göre: Doğal, yapay
- Özgül ağırlık ve birim ağırlıklarına göre: Normal ağırlıklı, hafif, ağır
- Tane büyüklüğüne göre: İri, ince
- Tane şekline göre: Yuvarlak, köşeli (kırmataş gibi), yassı, uzun

- Üretimine (elde edilişlerine) göre: Doğal, yan ürün, ısıtılma tabii tutulmuş
- Jeolojik yapısına göre: Volkanik, tortul, metamorfik
- Mineralojik yapılarına göre: Silis mineralli, karbonat mineralli, mikalı, vb.
- Reaktif özelliklerine göre (agregaların yapısında, çimento içerisindeki alkalilerle reaksiyona girerek betonda genişleme yaratabilecek reaktif silis ve reaktif karbonat içerip içermediklerine göre) : Reaktif, reaktif olmayan (Açıkkel H., 2015)

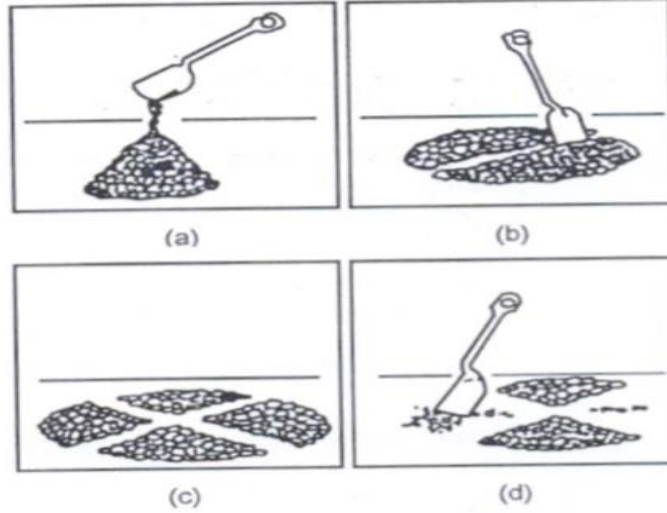
3.2.1.1. Elek analizi

Elek analizi deneyi ile bir agrega örneğinin tane boyut dağılımı belirlenebilir. Bu deneyi yapmak için kullanılan elekler, belirli boyutlarda, dairesel veya kare şeklinde gözleri bulunan metal araçlardır. Agrega karışımlarının elek analizi için deney metodunu tanımlayan TS-EN 933-2’de kare delikli elek dizisinin kullanımı öngörülmüştür (Tablo 3.2.1). Elek analizine tabii tutulacak olan numune çeyrekleme (dörde bölerek küçültme) yöntemi ile hazırlanır. (Açıkkel, 2015)

Tablo 3.2.1. Standartlara göre temel elek serisi

	Elek açıklığı(mm)
Kaba Agrega	125
	63
	31,5
	16
	8
İnce Agrega	4
	2
	1
	0,5
	0,25
	0,125
	0,063

Çeyrekleme yöntemi: Bu yöntemde sert, düzgün ve temiz bir yüzey üzerine konik şekilli bir yığın oluşturacak tarzda toplanmış olan agrega, her tarafı eşit yükseklikte olacak şekilde dairesel bir alana yayılır. Daire şeklindeki alan planda yaklaşık dört eşit kısma bölünür. Çeyrek parçalardan karşılıklı ikisi, yeni numuneyi oluşturmak üzere tekrar karıştırılır. İstenilen miktarda numune kalıncaya kadar bu işlem devam ettirilir. (Şekil 3.2.1)



Şekil 3.2.1. Çeyrekleme yöntemi ile numune küçültme

Elek analizi üç aşamada gerçekleştirilir ;

- Örneğin alınması : Çeyrekleme metodu ile deney ince agregada en az 1 kg, iri agregada en az 3 kg örnek üzerinde yapılır.
- Eleme İşlemi : Laboratuvara getirilen örnek etüvde kurutulur, büyük delikliden küçük delikliye doğru sıralanmış elek dizisinin üstüne konur ve sarsılarak elenir. Genel olarak bu işlem elde sarsma şeklinde yapılır. (Resim 3.2.1.1)
- Tartma İşlemi : Eleme işlemi sonunda her elek ve son elekten geçen malzeme miktarları, 0,1 g hassasiyette ölçüm yapabilen terazide tartılır.

Son olarak yatay eksende elek çapları, düşey eksende elekten geçen malzeme yüzdesi gösterilerek granülometri eğrisi çizilir. (Açıkel H., 2015)



Resim 3.2.1.1. Elek analizi

3.2.2. Çimento

Bağlayıcı madde olan çimento, agrega adı verilen taneli malzemeyi birbirine bağlayarak, yapay taş oluşumuna imkan sağlayan malzemedir. Suyla karıştırılan bu madde önce viskoz bir sıvı, sonra hamur haline dönüşerek, daha sonra katılaşp zaman içinde de sertleşerek dayanım kazanan maddedir. Bu sıvı halden katı hale geçiş aşamasına ‘PRİZ’ adı verilir. Priz olayı üç aşamada gerçekleşir;

- **Hidratasyon Olayı:** Çimento tanelerinin su ile yaptığı kimyasal reaksiyondur. Bu olayın iki önemli özelliği vardır. İlk olarak, çimento tam öğütülmemiş iken su ile bir reaksiyon yapmaz. Çimentonun hidratasyonu için, tane çapının 20 mikron civarında olması gerekir. Durum böyle iken bile ilk zamanlarda hidratasyona katılan çimento miktarı toplam malzemenin yarısından az olabilmektedir. İkinci olarak, bu olay zamanın bir fonksiyonudur. Böylece, hidratasyon yapan çimento miktarı, su ile temasa geçildiği andan itibaren geçen zamanla birlikte artış gösterir. Hidratasyon olayı genelde senelerce devam eder. Hidratasyon hızının artması ile mukavemet artışı da hızlanır.
- **Katılaşma Olayı:** Hidratasyonun gelişmesi sonunda bağlayıcı madde hamurunun plastiklik özelliğinde önemli bir azalma meydana gelir. Olayın sonunda hamurun tamamen plastikliğini kaybetmesi ile priz tamamlanmış olur.
- **Sertleşme Olayı:** Hidratasyon olayının sürekliliğinden dolayı sertleşme, dayanım kazanma olayı devam eder. Bu durumun bir sonucu olarak çimentoların ve

çimento kullanılarak üretilen betonların mukavemeti zamanın artan bir fonksiyonu olur. Genelde yapılarda betonların 28 günlük mukavemetleri esas alınarak statik hesapları yapılır. Mukavemet artışı basınç halinde 15 sene, çekme halinde 3 sene devam edebilir.

Şu anda yürürlükte olan standartlara göre, çimentolar TS EN 197-1 'de 'CEM Çimentosu' olarak adlandırılır. Ülkemizde TS EN 197-1'e göre son şekliyle 32.5, 42.5, 52.5 MPa olmak üzere üç standart dayanım sınıfı bulunmaktadır. Ayrıca her dayanım sınıfı için iki erken dayanım sınıfı tanımlanmıştır. (Açıkel H., 2015)

Tablo 3.2.2.1 Gerekli mekanik ve fiziksel özellikler için karakteristik değerler

Dayanım sınıfı	Basınç Dayanımı (MPa)				Priz Başlama Süresi (dk)	Genleşme (mm)
	Erken dayanım		Standart dayanım			
	2 günlük	7 günlük	28 günlük			
32.5 N	-	≥16.0	≥32.5	≤52.5	≥75	≤ 10
32.5 R	≥10.0	-				
42.5 N	≥10.0	-	≥42.5	≤62.5	≥60	
42.5 R	≥20.0	-				
52.5 N	≥20.0	-	≥52.5	-	≥45	
52.5 R	≥30.0	-				

3.2.3. Karışım suyu

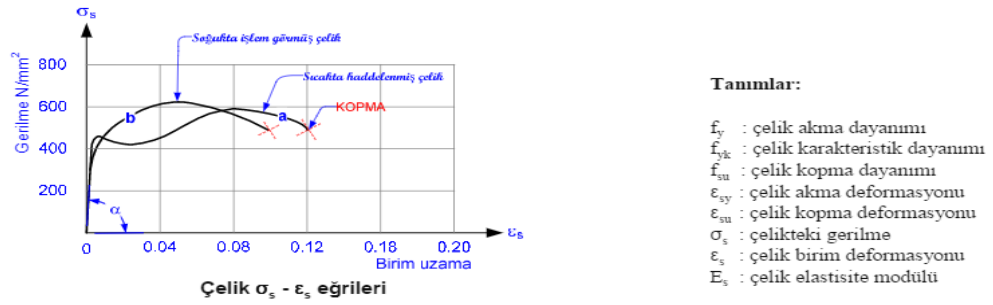
Agrega ve çimento ile birlikte beton için gerekli olan bir diğer temel malzeme sudur. Karışım suyunun:

- Çimento ile birleşerek hidrasyon oluşmasını sağlamak
- Agregada ve çimento tanelerinin yüzeyini ıslatarak üretilen betonun karışımında segregasyon olmadan istenilen işlenebilirliği sağlamak üzere iki önemli görevi vardır. (Açıkel H., 2015)

3.2.4. Donatı çeliği (S420)

Beton, basınç dayanımı çok yüksek olduğu halde çekme kuvvetlerinin etkisine karşı oldukça zayıftır. Bunun sonucunda, betonun çekme bölgelerinde çatlakları ve aşırı yüklenme halinde oluşabilecek ani göçmeleri önlemek amacıyla çekme bölgelerine donatı çeliği yerleştirilerek betonarme elemanlar oluşturulur. Ayrıca basınç kuvvetini

almak için ve sargı donatısı olarak da kullanılır. Beton çeliğinin gerilme-birim deformasyon grafiği Şekil 3.2.4.1 'deki gibidir.

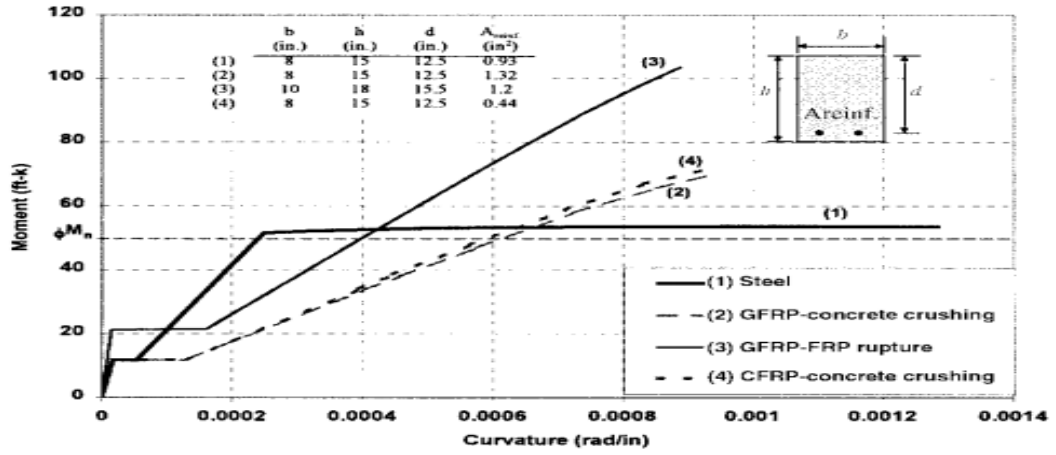


Şekil 3.2.4.1. Beton çeliği – gerilme deformasyon grafiği (Ersoy ve Özcebe, 2012)

3.2.5. GFRP donatısı

Betonarme yapılarda yaygın olarak kullanılan çelik donatının çevresel koşullar sebebiyle korozyona uğraması, istenmeyen bir durumdur. Korozyona karşı dayanıksız olan çelik donatı yerine betonarme elemanda GFRP donatı kullanılması oluşabilecek korozyon hasarlarını önlemekle birlikte, elemanda yükler altında gevrek kırılmaya sebep olur.

Günümüzde GFRP donatılar düz-nervürlü çubuklar veya burulmuş tendonlar şeklindedir. Bu donatıların hafif olması işçilik bakımından fazlaca kolaylık sağlamakla birlikte, çekme dayanımları da çelik donatılara göre oldukça yüksektir.



Şekil 3.2.5.1 GFRP moment – eğrilik grafiği (ACI 440. 1R-06)



Resim 3.2.5.1 GFRP



Resim 3.2.5.2 Donatı çeliği – GFRP

Tablo 3.2.5.1. GFRP donatıların avantaj ve dezavantajları (ACI 440. 1R-06)

Avantajları	Dezavantajları
Yüksek boyuna çekme dayanımı.	Gevrek kopmadan önce akma olmaması.
Korozyon dayanıklılığı.	Düşük enine dayanım.
Manyetik olmaması.	Elastisite modülü düşük.
Yüksek yorulma dayanımı.	Cam ve aramid lifler alkalin bölgelerinde düşük dayanıma sahiptir.
Hafif.	Betona kıyasla, termal genişleme katsayısı liflere dik doğrultuda yüksek.
Isı ve elektrik iletkenliğinin düşük olması.	

3.3. Deneyler

Bu bölümde yapımı anlatılacak deneyler, sipariş edilen hazır beton ve tasarımı yapılan donatı çeliği ve GFRP elemanlar ile güçlendirilmiş kiriş numuneleri üzerinde uygulanacaktır. Bu numunelerin yapım aşamaları sırasıyla:

- Kalıpların hazırlanması
- Donatıların bağlanıp yerleştirilmesi
- Hazır beton dökümü ve yerleştirilmesi
- Hazır betondan numune alınması şeklindedir.

Kalıpların hazırlanması

Boyutları belirlenip sipariş edilen kalıp malzemelerinin, laboratuvarında birleşimi yapıldı (Resim 3.3.1). Hazırlanan kalıp boyutları 15x20x230 cm'dir. Hazırlanan kalıpların içleri basınçlı hava ile temizlendi. Kalıba yerleştirilecek betonun, prizini aldıktan sonra kalıptan kolay ayrılabilmesi için kalıp içleri yağlandı. Beton dökümü sırasında, betonun kendi ağırlığı ve yerleşimi için uygulanacak vibrasyonun etkisi ile kalıpların ayrılmaması için bağ yerleri vidalanarak, açıklık bölgeleri de ilave parçalar bağlanarak güçlendirildi (Resim 3.3.2).



Resim 3.3.1. Kalıpların hazırlanması



Resim 3.3.2. Kalıpların temizlenmesi ve yağlanması

Donatıların bağlanıp yerleştirilmesi

Tasarlanan kiriş numunelerinde amaç korozyon etkisini önlemede kullanılan GFRP donatının donatı çeliğine kıyasla eğilmedeki davranışının incelenmesidir. Üzerinde deney yapılacak her kiriş farklı sayıda ve oranda GFRP ve çelik donatı içermektedir. Önceden boyutlandırılmış kirişlerde hesap için öngörülen paspayları 2 cm 'dir. Dışarıda, belirlenen kalıp boyutlarına göre kesilen donatılara paspayları bağlanarak kalıp içine yerleştirilmiştir (Resim 3.3.3). Beton dökümü esnasında donatılar konumlarını korumaları için birbirlerine uygun elemanlarla bağlanmıştır (Resim 3.3.4).



Resim 3.3.3. Donatıların kesilmesi



Resim 3.3.4. Donatların kalıplara yerleştirilmesi



Resim 3.3.5. Kalıpların isimlendirilmesi

Hazır beton dökümü ve yerleştirilmesi

Sipariş edilmiş 4 m³, 28 günlük basınç dayanımı C20-25 olan beton, önceden birleştirilmiş ve donatıları yerleştirilmiş olan kalıba döküldü (Resim 3.3.8). Dökülen betonun boşluksuz ve homojen yerleşmesi için vibrasyon işlemi uygulandı (Resim 3.3.9). Doldurulan kalıpların üst yüzeyleri düzlenerek kurumaya bırakıldı (Resim 3.3.10). Dökülen betonun ihtiva ettiği suyu kaybedip rötre çatlaklarının oluşmaması için üzeri muşamba ile kapatıldı. Deneylerin başlayacağı 28. güne kadar su ile kür işlemi uygulandı.



Resim 3.3.6. Beton dökümü



Resim 3.3.7. Beton dökümü – vibrasyon



Resim 3.3.8. Beton yüzeyinin düzlenmesi

Hazır betondan numune alınması

Deneylerin uygulanacağı kirişlerde kullanılacak olan betonun basınç dayanımının belirlenmesi için döküm esnasında 10x10 cm, 15x15 cm küp ve 10-20 cm, 15-30 cm silindir numuneler alındı. Numunelerin alımı esnasında kalıp yüksekliğinin 1/3 oranında kademeli olarak 3 aşamada beton dökülüp her aşamada 30 kere şişlenerek kalıplar dolduruldu. 24 saat kalıpta prizini alan numuneler kalıptan çıkarılıp kür havuzuna yerleştirildi. 7. ve 28. günlerin sonunda kür havuzundan çıkarılan numunelerin bünyelerinde bulundukları su basınç dayanımı belirlenmesinde sonuçları etkileyeceğinden numuneler bir gün dışarıda bekletildi. Sonuçların ortalaması alınarak sipariş edilen beton sınıfı ile karşılaştırma yapıldı.



Resim 3.3.9. Betonun kademeli olarak doldurulması



Resim 3.3.10. Betondan numune alınması

3.3.1. Çökme deneyi (Slump deneyi)

Çökme deneyi, dökülecek betonun işlenebilirlik, kohezyon ve kararlılık gibi özelliklerini ölçmeye yarayan deneydir. Deneyde, üst çapı 10 cm, alt çapı 20 cm ve yüksekliği 30 cm olan koni (abrams konisi) yükseklikleri eşit olacak şekilde üç tabaka halinde, her aşamada 30 defa çelik çubukla şişlenerek doldurulur (Resim 3.3.1.1). Doldurma işlemi bittikten sonra betonu sarsmadan koni yukarı çekilerek kaldırılır ve deney tablasına konur. Beton, kendi ağırlığı ile bir miktar çöker. Çökme miktarı beton ve koni arasında cetvelle ölçülerek yerleştirme işlemi için değerlendirme Tablo 3.3.1.1 e göre yapılır.

Tablo 3.3.1.1. Çökme deneyi sınıflandırılması (Açıkel H., 2015)

Sınıf	Çökme Değeri cm	Tolerans cm	Kıvam	Yerleştirme Aracı
S1	0-4	±1	Kuru	Vibrasyon
S2	5-9	±2	Plastik	Vibrasyon veya şişleme
S3	10-15	±3	Plastik	Vibrasyon veya şişleme
S4	16-21	±3	Akıcı	Şişleme veya kendiliğinden yerleşme
S5	≥22	±3	Çok Akıcı	Kendiliğinden yerleşme

Sipariş edilen hazır beton üzerinde yapılan çökme deneyinden elde edilen sonuç Resim 3.3.1.2 'deki gibi ölçülmüş 15 cm olup vibratör yardımıyla kalıplara yerleştirilmiştir.



Resim 3.3.1.1 Betonun koniye doldurulması



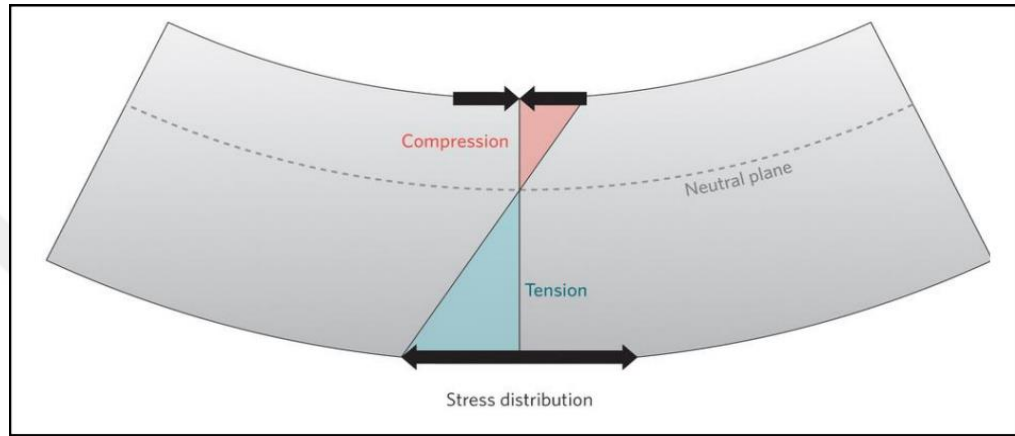
Resim 3.3.1.2 Slump değerinin ölçülmesi

3.3.2. Üç nokta eğilme deneyleri

Eksenel yük taşımayan kiriş gibi elemanların üzerine etkiyen düşey doğrultudaki yükler kirişi eğilmeye maruz bırakarak her bir bölgesinde eğilme momentleri

oluşmasına sebep olur. Bu eğilme gerilmelerinin büyüklüğünün tespit edilebilmesi için yapılan eğilme deneyleri sonucunda eğme momenti (M_e), elastisite modülü (E_e), sehim miktarı (δ) gibi değerler hesaplanır.

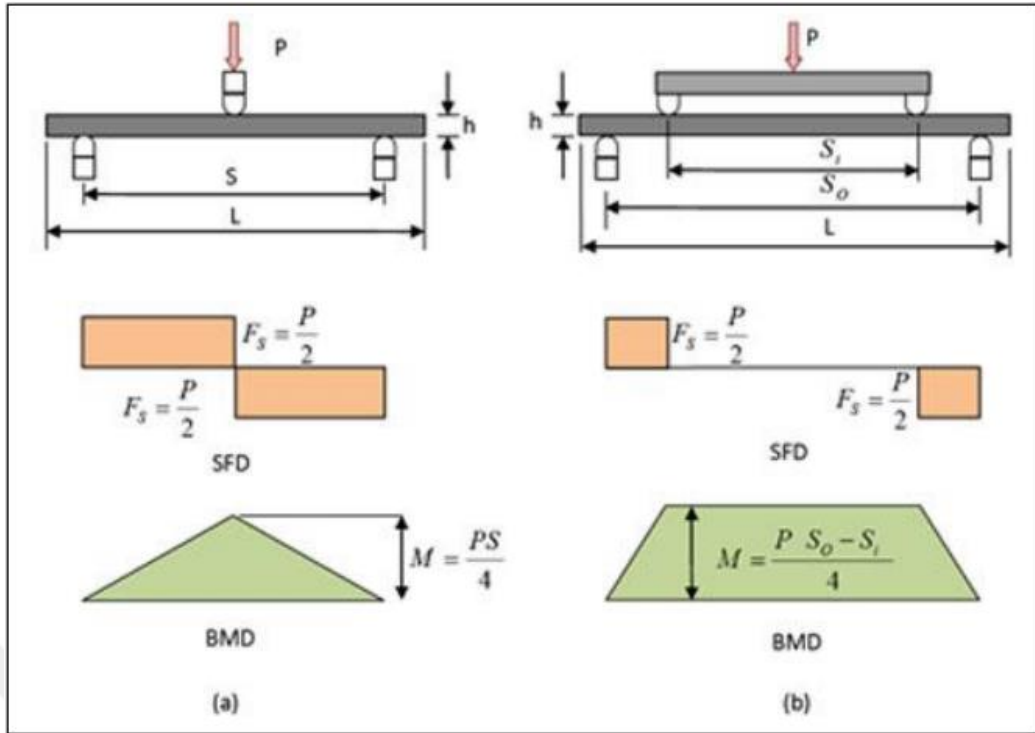
Eğilme deneylerinin yapılacağı kirişlerde, yükleme yapılan üst kısma yakın bölgede basınç gerilmeleri, mesnetlerin olduğu alt kısmın orta açıklığında ise çekme gerilmeleri Şekil 3.3.2.1' deki gibi meydana gelir.



Şekil 3.3.2.1. Eğilme halindeki çubuk üzerindeki gerilme dağılımı (BTÜ deney föyü, 2016)

Elemanın basit kiriş modeli olarak kabul edildiği deneyde, elemanda oluşacak kayma gerilmelerinin normal gerilmelere kıyasla ihmal edilebilir büyüklükte olması istenmektedir. Eleman uzunlamasına yatay bir şekilde mesnetler üzerine, hesabın yapıldığı ölçülere göre dikkatlice yerleştirilir. Üç nokta deneyi için tam ortadan, dört nokta deneyi için ise belirlenen noktalardan kuvvet uygulanır. Deney süresince bu kuvvet sürekli artırılarak yapılan gözlemler sonucunda; sehim değerleri, farklı yüklere göre oluşan çatlak yerleri, çatlak büyüklükleri ve türleri ölçülür. Donatıların akma gerilmesine ulaştığı, kirişin taşıma kapasitesini kaybettiği yük değeri kaydedilir. Ölçülen sehim değeri numune üzerinde en yüksek sehim ve momentin oluştuğu orta noktadan belirlenir.

Deney sonucunda elde edilen bütün veriler, daha önce modellenmiş kirişin serbest cisim diyagramları kullanılarak yapılan hesaplarla karşılaştırılır. Uygunluğu kontrol edilerek rapor edilir.



Şekil 3.3.2.2. Üç nokta ve dört nokta düzenekleri ve serbest cisim diyagramları (BTÜ deney föyü, 2016)

Üç nokta deneyinin yapıldığı deney aleti



Resim 3.3.2.1. Üç ve dört nokta deneylerinin yapılacağı yükleme çerçevesi

Deneylerin yapıldığı yükleme çerçevesi; 6 m açıklığında, tek ve çok açıklıklı kiriş deneyleri yapabilecek şekilde tasarlanmıştır. (Resim 3.3.2.1). Mesnetlerde, sabit ve hareketli mesneti modelleyebilecek bir sistem düzenlenmiştir. Mesnet bölgelerinde betonda lokal ezilmelerin oluşmaması için 10 cm genişliğinde ve uzunluğu en az kirişin b uzunluğuna eşit olmak üzere kullanılan çelik plakalar beton yüzeyine yük aktarmaktadır. Çerçevenin güvenli sınırlar içerisinde uygulayabileceği yük kapasitesi 50 tondur. Deney sırasında sistem 1 metreye kadar deplasman ölçebilmektedir.



4. DENEYSEL ÇALIŞMA

4.1. Beton Sınıfının Belirlenmesi

4.1.1. Beton basınç dayanımının belirlenmesi



Resim 4.1.1.1. Basınç dayanımı deneyi

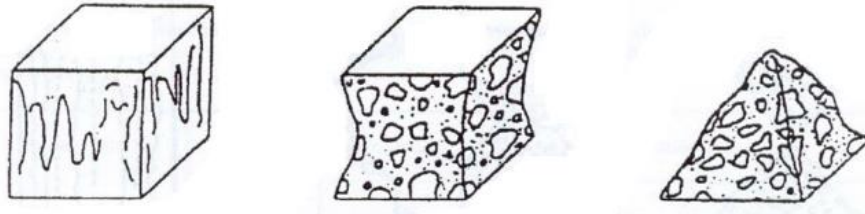
Yükleme çerçevesine; üstte oynar başlık ve hareketli alt tabla arasında deney yapılacak numune yerleştirilerek, yüklenme hızı ve numune boyutları ayarlandı. Örneğe uygulanan gerilmenin üniform dağılabilmesi için örnek yüzeylerinin pürüzlü olmamasına dikkat edilmelidir. Gerekirse alt ve üst tablaya temas eden yüzeylere başlık yapılır. Yağ basıncı, örneğin kırılması için alt tablayı yukarı doğru iterken, dinamometre ile basınç kuvveti ölçülür. Elde edilen bu kuvvet yüklenme alanına bölünerek beton sınıfı belirlenmiş olur. Bu deney 7 ve 28 günlük numuneler üzerinde yapıldı. ($\sigma = P/A$)



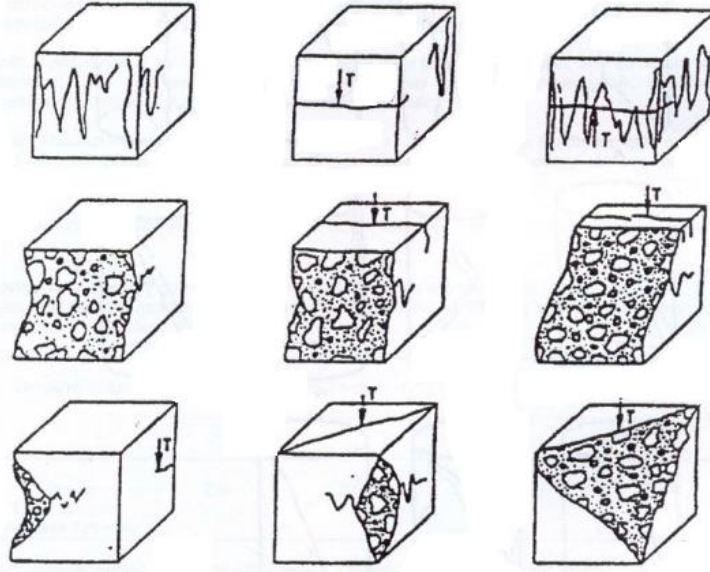
Resim 4.1.1.2. Pürüzlü yüzeye başlık yapılması

Tablo 4.1.1.1. Numune boyutları ve boyutların basınç dayanımına etkisi (Ersoy ve Özcebe, 2012)

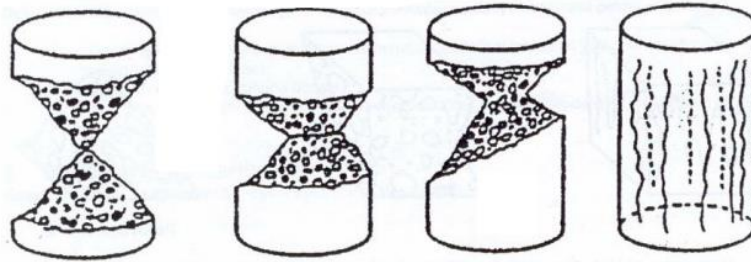
KÜP	Boyut	10x10 cm	15x15x15 cm	20x20 cm
	Bağıl Dayanım(%)	120	100	90
SİLİNDİR	Boyut	10x20 cm	15x30 cm	25x50
	Bağıl Dayanım(%)	105	100	95



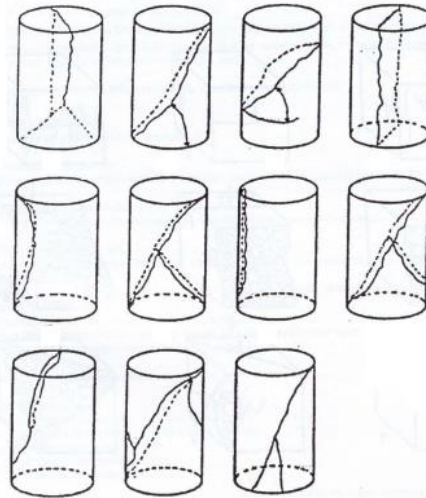
Şekil 4.1.1.1. Küp numunelerin düzgün kırılması



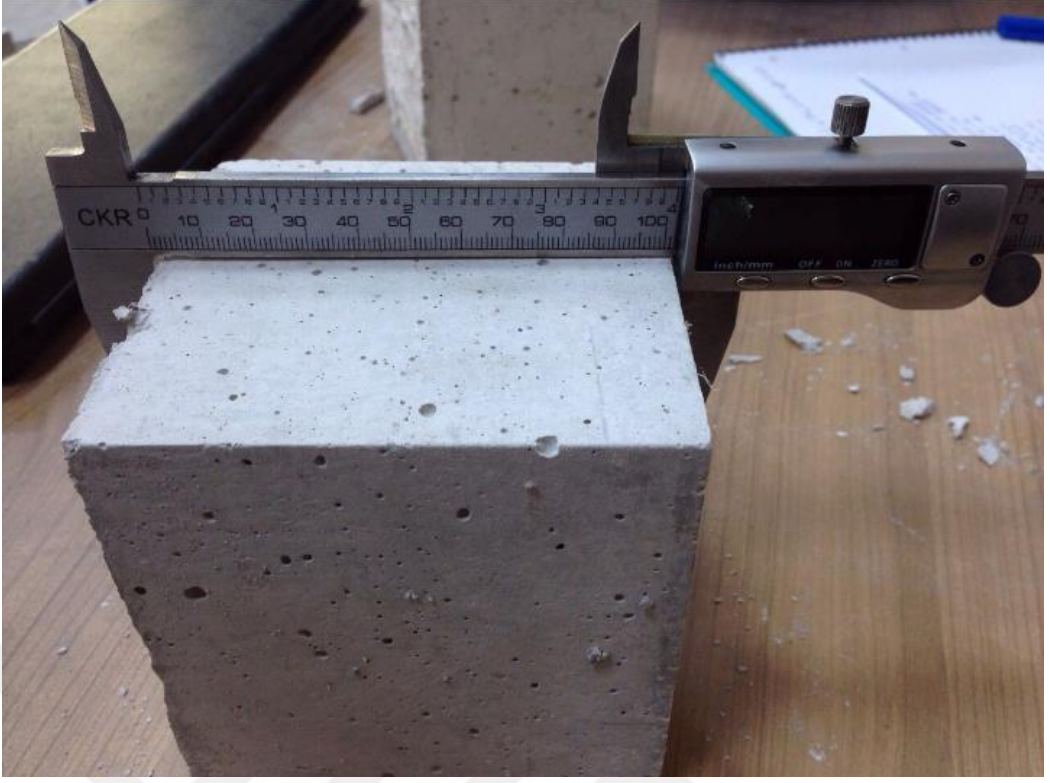
Şekil 4.1.1.2. Küp numunelerin düzgün olmayan kırılması



Şekil 4.1.1.3. Silindir numunelerin düzgün kırılması



Şekil 4.1.1.4. Silindir numunelerin düzgün olmayan kırılması



Resim 4.1.1.3. Laboratuvarda yapılan basınç deneyinde kullanılacak küp numunenin boyutlarının belirlenmesi



Resim 4.1.1.4. Laboratuvarda yapılan basınç deneyine tabii tutulan küp numune

Şekil 4.1.1.5 'de küp numunenin basınç deneyinde kum saati şeklinde kırıldığı görülmektedir.



Resim 4.1.1.5. Laboratuvarında yapılan basınç deneyinde düzgün kırıldığı gözlenen küp numune



Resim 4.1.1.6. Laboratuvarında yapılan basınç deneyine tabii tutulan silindir numune

Betonun yaşı, kullanılan çimentonun tipi, sıkıştırma koşulları, kür işlemleri ve deney koşulları beton sınıfının belirlenmesinde etkili faktörlerdir.

Tablo 4.1.1.2. 7 günlük numunelerin basınç dayanımının belirlenmesi

Boyut	Numune No	Okunan Kuvvet	Basınç Dayanımı	Bağıl Dayanım (%100)
10x10x10 cm Küp Numune	1	213 kN	21.3 MPa	17.75 MPa
	2	184.3 kN	18.4 MPa	15.33 MPa
	3	187 kN	18.7 MPa	15.58 MPa
	4	195.9 kN	19.59 MPa	16.33 MPa
15x15x15 cm Küp Numune	1	424.6 kN	18.87 MPa	18.87 MPa
	2	408.6 kN	18.16 MPa	18.16 MPa
10x20 cm Silindir Numune	1	172.4 kN	21.95 MPa	26.12 MPa

Yapılan dönüşümler sonucunda, ortalama beton sınıfının 7 günlük numuneler için C18-22 olduğu gözlenmiştir.

Tablo 4.1.1.3. 28 günlük numunelerin basınç dayanımının belirlenmesi

Boyut	Numune No	Okunan Kuvvet	Basınç Dayanımı	Bağıl Dayanım (%100)
10x10x10 cm Küp Numune	1	305.4 kN	30.54 MPa	25.45 MPa
	2	276.4 kN	27.64 MPa	23.03 MPa
	3	276.7 kN	27.67 MPa	23.06 MPa
15x15x15 cm Küp Numune	1	574.1 kN	25.45 MPa	25.45 MPa
	2	600.2 kN	26.675 MPa	26.675 MPa
	3	605.4 kN	26.906 MPa	26.906 MPa
	4	622.1 kN	27.648 MPa	27.648 MPa
	5	607 kN	26.978 MPa	26.978 MPa
	6	614.9 kN	27.328 MPa	27.328 MPa
10x20 cm Silindir Numune	1	283.6 kN	20.06 MPa	20.06 MPa
	2	332 kN	22.525 MPa	22.525 MPa
	3	273.1 kN	19.31 MPa	19.31 MPa

Yapılan dönüşümler sonucunda, ortalama beton sınıfının 28 günlük numuneler için C20-25 olduğu gözlenmiştir.

4.1.2. Beton çekme dayanımının belirlenmesi

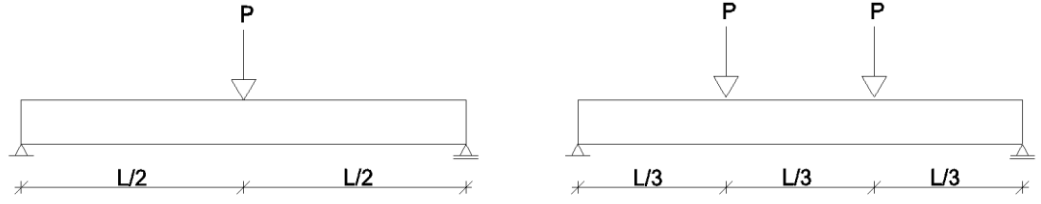
Betonun çekme dayanımı, basınç dayanımının yaklaşık olarak %10'u kadardır. Bu değer basınç dayanımına kıyasla oldukça küçük bir değer olduğundan, betonarme hesaplarda betonun çekme dayanımına etkisi ihmal edilir. Betonun çekme etkisi altındaki dayanımının doğrudan belirlenmesini hedefleyen deneylerin çoğu başarısızlıkla sonuçlanmıştır. Çünkü yapılan bu deneyler, uzunluğu boyunca kesiti sabit olan prizma ve silindir numuneler üzerine, donatı çekme deneyinin yapıldığı deney düzeneğine benzeyen bir mekanizma içerisinde yapılmıştır (Şekil 4.1.2.1). Deney düzeneğinin uyguladığı çekme kuvvetinin, numunenin kesit alanına oranı beton çekme gerilmesini vereceği düşünülerek yapılan bu deneyde press çenelerinin neden olduğu yerel gerilmeler sonucunda elemanlar çenenin numuneyi kavradığı yerden kırılmıştır. (Ersoy ve Özcebe, 2012)



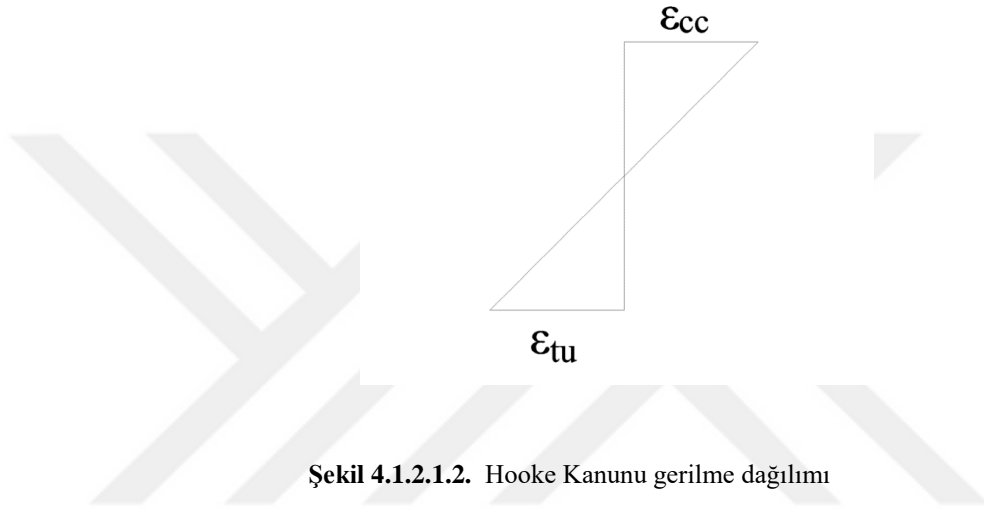
Şekil 4.1.2.1. Elema doğrudan çekme etkisi uygulayan deney düzeneği

4.1.2.1. Eğilme deneyleri ile betonun çekme dayanımının belirlenmesi

Yapılan deneylerden elde edilen başarısızlıklar sonrasında çekme dayanımının dolaylı olarak saptanması yoluna gidilmiştir. Öngörülen bu yeni yöntemde göre; kesitleri genellikle 100x100 mm veya 150x150 mm olan donatısız kirişlere tek ya da simetrik iki noktadan olmak üzere yük yüklenerek deneye tabi tutulmuştur (Şekil 4.1.2.1.1). Kırılma anındaki çekme dayanımının belirlenmesi için de Hooke Kanununun geçerliliği varsayılmıştır. Buna göre şekil 4.1.2.1.2 deki gibi ağırlık merkezi ile tarafsız eksen çakışacak ve kesitteki gerilme dağılımı doğrusal olacaktır. Yapılacak hesap; $\sigma = f_{ctf} = M(y) / I$ şeklinde olacaktır. Ancak yapılan araştırmalar, kırılmaya neden olan faktörün en dış lifin kırılma gerilmesine ulaşmasının değil, kırılma birim uzamasına ulaşması olduğunu göstermiştir. Bu durumda tarafsız eksen yukarı kaymış ve dayanım Hooke Kanunu kullanılarak hesaplanan dayanıma kıyasla yaklaşık iki kat artış göstermiştir.(Ersoy ve Özcebe, 2012)



Şekil 4.1.2.1.1. Üç ve dört nokta deneyleri



Şekil 4.1.2.1.2. Hooke Kanunu gerilme dağılımı

Yapılan deneyler ile :

$$\sigma_x = f_{cts} = M(y) / I = (PL/b^3) \quad (4 \text{ nokta deneyi (Resim 4.1.2.1.1)})$$

10x10x40 cm boyutlarındaki hazır beton kirişe uygulanan 4 nokta eğilme deneyinden elde edilen çekme değeri (Resim 4.1.2.1.2):

$$\sigma_x = f_{cts} = (13240 \times 300) / (100^3) = 3.972 \text{ Mpa}$$



Resim 4.1.2.1.1. Laboratuvarda yapılan 4 nokta eğilme deney düzeneği



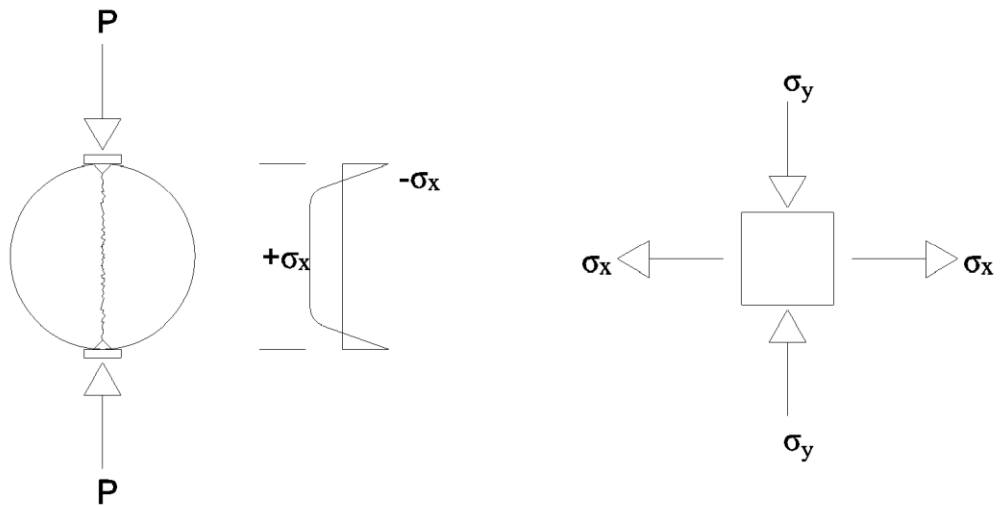
Resim 4.1.2.1.2. Laboratuvarda yapılan 4 nokta eğilme deneyi

4.1.2.2. Silindir yarma deneyi (Brezilya deneyi)

Betonun çekme dayanımını belirlemek amacı ile yapılan bir diğer deney de silindir yarma deneyidir (Brezilya Deneyi). Silindir yarma deneyinden elde edilen sonuçların gösterdiği sapma ve dağılım, eğilme deneylerine kıyasla daha az olduğundan son yıllarda bu deney daha çok tercih edilmektedir.

Bu deney şekil 4.1.2.2.2 deki gibi basınç tablasına yatay olarak yerleştirilen ve boyutları genellikle 100x200 mm veya 150x300 mm olan silindir numunelerin altına ve üstüne çelik levhalar konularak basınç uygulanması ile gerçekleştirilir. Kırılma, silindirin çapından geçerek alt ve üstteki iki levhayı birleştiren sanal bir eksen boyunca gerçekleşir (Şekil 4.1.2.2.2). Elastisite teorisine göre bu sanal eksen üzerindeki herhangi bir nokta ele alındığında, bu noktaya etkiyen normal gerilmeler şekil 4.1.2.2.2 de görülmektedir. Oluşan σ_y basınç gerilmeleri altındaki eleman yanlarında genişleme eğilimi gösterecek, dolayısıyla σ_x çekme gerilmeleri oluşacaktır. (Ersoy ve Özcebe, 2012)

Bahsedilen σ_x ve σ_y gerilmeleri kırılma ekseninde oluşan ve kırılmaya neden olan birbirine dik asal çekme ve basınç gerilmeleridir.



Şekil 4.1.2.2.2. Silindir yarma deneyinde oluşan kırılma ve gerilmeler

Betonun tek yönlü gerilme altındaki dayanımı, çok yönlü gerilme altındaki dayanımından farklı olduğu için deney elemanındaki kırılma çekme gerilmelerinden meydana gelmesine rağmen sonuçlar betonun gerçek çekme dayanımını vermemektedir. Bu nedenle silindir yarma deneyi de beton çekme dayanımının dolaylı olarak belirlendiği bir deneydir. (Ersoy ve Özcebe, 2012)

Yapılan deneyler ile betonun çekme dayanımı :

$$\sigma_x = f_{cts} = 2P / (\pi D l)$$

f_{cts} : silindir yarma çekme dayanımı

P : yarıma yükü

D : silindir çapı

l : silindir boyu

28 günlük 150x300 mm boyutlarındaki hazır beton silindir numune için (Resim 4.1.2.2.1)

$$\sigma_x = f_{cts} = 2 \times 135100 / (\pi \times 300 \times 150) = 1.91 \text{ Mpa}$$



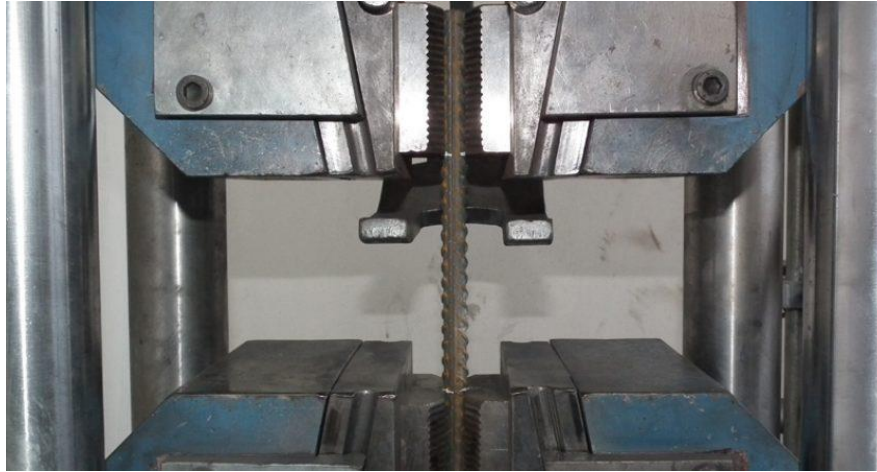
Resim 4.1.2.2.1. Yarma deneyine tabii tutulmuş hazır beton numunesi

4.1.3. Donatı çeliği ve GFRP elemanların çekme dayanımlarının belirlenmesi

Deneysel çalışma öncesi boyutları belirlenen dört adet deney elemanından iki tanesinde donatı çeliği, iki tanesinde ise GFRP donatı kullanılacağı kararlaştırılmıştır. Eğilme etkisi altındaki betonarme elemanlarda aksel çekmeye maruz kalacak olan donatıların mukavemetleri Resim 4.1.3.1 ve Resim 4.1.3.2 'de görülen aksel çekme deneyleri ile belirlenmiştir. Aksel çekme deneyi uygulanan S420 donatı çeliğinin mukavemeti 426,65 MPa, GFRP donatının ise 7,96 MPa olarak bulunmuştur. TS500-2000 yönetmeliğine göre S420 donatı çeliğinin hesap dayanımı 1.15 emniyet katsayısına bölünerek 371 MPa bulunmuştur. GFRP donatının hesap dayanımının bulunması için de bu deneyler kapsamında aynı emniyet katsayısı kullanılmış ve hesap dayanımı 692 MPa olarak kabul edilmiştir.



Resim 4.1.3.1. GFRP aksel çekme deneyi



Resim 4.1.3.2. Çelik donatının aksel çekme deneyi

4.2. Kirişlerin Moment Taşıma Kapasiteleri

Beton sınıfı : C20-25

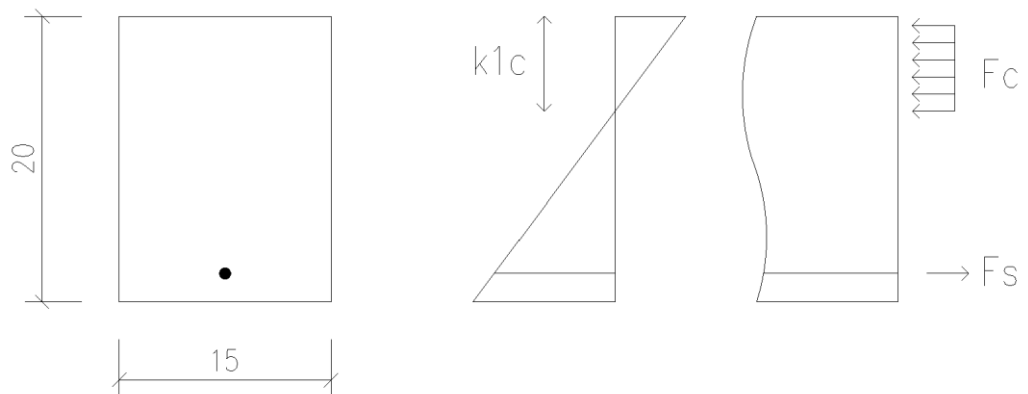
Donatı Sınıfı : S420

Pas payı(d')=2 cm

$f_{cd}=0.13 \text{ t/cm}^2$

$f_{yd}=3.71 \text{ t/cm}^2$

K1Ç (1Ø8 Çelik Donatı)



Şekil 4.2.1. K1Ç kiriş kesiti

$$F_C = 0.85 \times f_{cd} \times b_w \times k_{1c}$$

$$F_{st} = A_s \times f_{yd}$$

$$\sum F = 0$$

$$F_C - F_s = 0$$

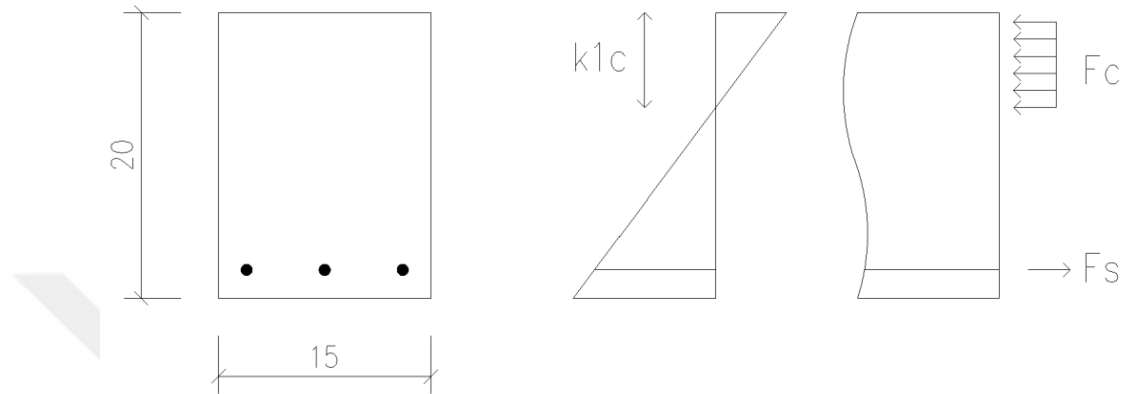
$$z = d - k_{1c}/2$$

$$(0.85 \times 0.13 \times 15 \times k_{1c}) - (0,5 \times 3.71) = 0 \quad k_{1c} = 1,119\text{cm}$$

$$z_{st} = 18 - 1,119/2 = 17,44\text{cm}$$

$$M_r = (0,5 \times 3.71) \times 17,44 = \mathbf{32,35 \text{ tcm} = 3,29 \text{ kN.m}}$$

K3Ç (3ø8 Çelik Donatı)



Şekil 4.2.2. K3Ç kiriş kesiti

$$F_C = 0.85 \times f_{cd} \times b_w \times k_{1c}$$

$$F_{st} = A_s \times f_{yd}$$

$$\sum F = 0$$

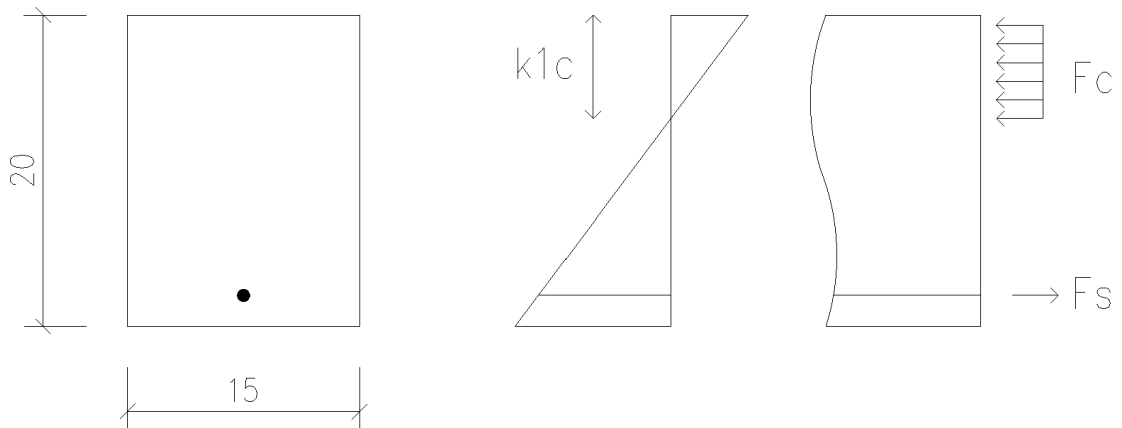
$$F_C - F_s = 0$$

$$z = d - k_{1c}/2$$

$$(0.85 \times 0.13 \times 15 \times k_{1c}) - (1,5 \times 3.71) = 0 \quad k_{1c} = 3,357\text{cm}$$

$$z_{st} = 18 - 3,303/2 = 16,32\text{cm}$$

$$M_r = (1,5 \times 3.71) \times 16,32 = \mathbf{90,827 \text{ tcm} = 9,26 \text{ kN.m}}$$

K1F (1Ø8 GFRP Donatı)**Şekil 4.2.3.** K1F kiriş kesiti

$$F_C = 0.85 \times f_{cd} \times b_w \times k_{1c}$$

$$F_{st} = A_s \times f_{yd}$$

$$\sum F = 0$$

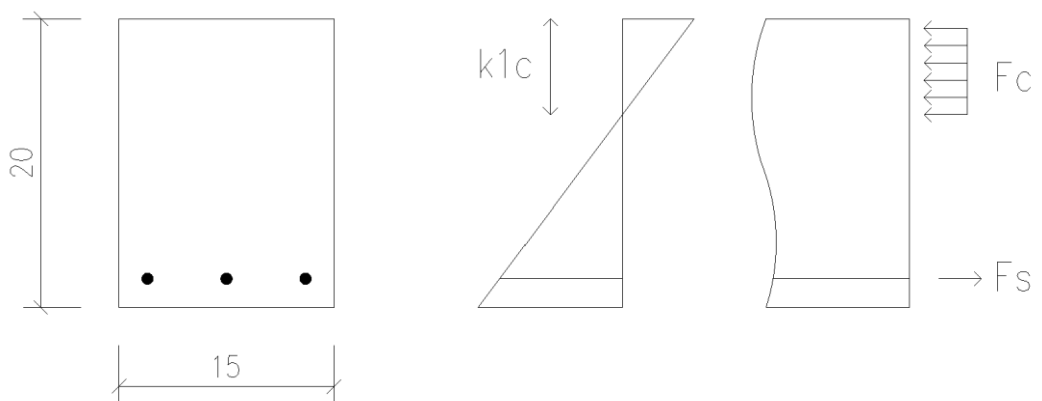
$$F_C - F_s = 0$$

$$z = d - k_{1c}/2$$

$$(0.85 \times 0.13 \times 15 \times k_{1c}) - (0,5 \times 6,92) = 0 \quad k_{1c} = 2,09\text{cm}$$

$$z_{st} = 18 - 2,09/2 = 16,95\text{cm}$$

$$M_r = (0,5 \times 6,92) \times 16,95 = 58,64 \text{ tcm} = 5,86 \text{ kN.m}$$

K3F (3Ø8 GFRP Donatı)**Şekil 4.2.4.** K3F kiriş kesiti

$$F_C = 0.85 \times f_{cd} \times b_w \times k_{1c}$$

$$F_{st} = A_s \times f_{yd}$$

$$\sum F = 0$$

$$F_C - F_s = 0$$

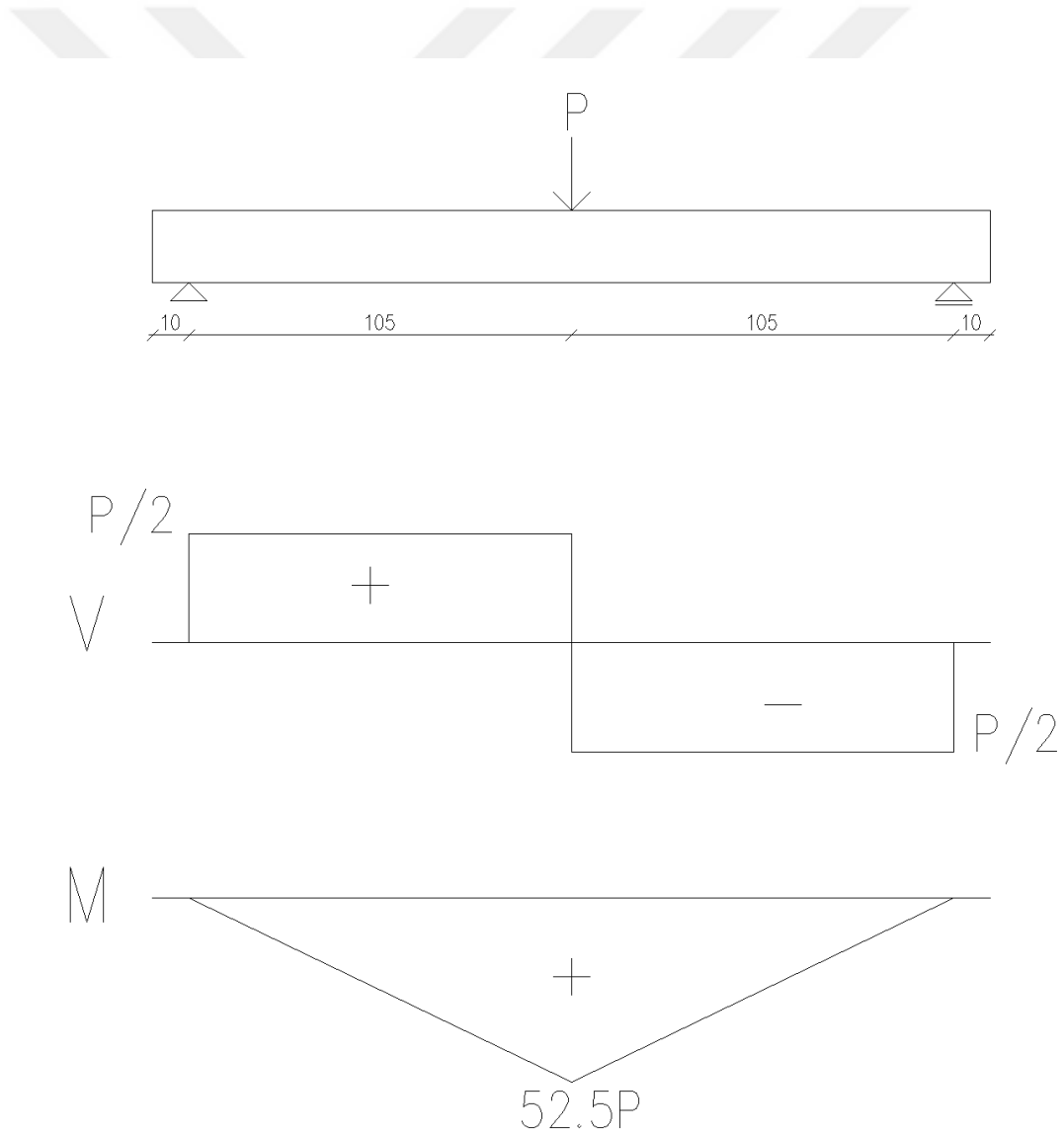
$$z = d - k_{1c}/2$$

$$(0.85 \times 0.13 \times 15 \times k_{1c}) - (1.5 \times 6.92) = 0 \quad k_{1c} = 6.26 \text{ cm}$$

$$z_{st} = 18 - 6.26/2 = 14.87 \text{ cm}$$

$$M_r = (1.5 \times 6.92) \times 14.87 = \mathbf{154.35 \text{ tcm} = 15.44 \text{ kN.m}}$$

4.3. Kirişlerin Yük Kapasiteleri



Şekil 4.3.1. 3 nokta deneyi serbest cisim diyagramı

K1Ç (1ø8 Çelik Donatı)

$$M_r = 32,351 \text{ tcm} \dots\dots\dots P = 32,351/52.5 = \mathbf{0,616 \text{ ton} = 6,04 \text{ kN}}$$

K3Ç (3ø8 Çelik Donatı)

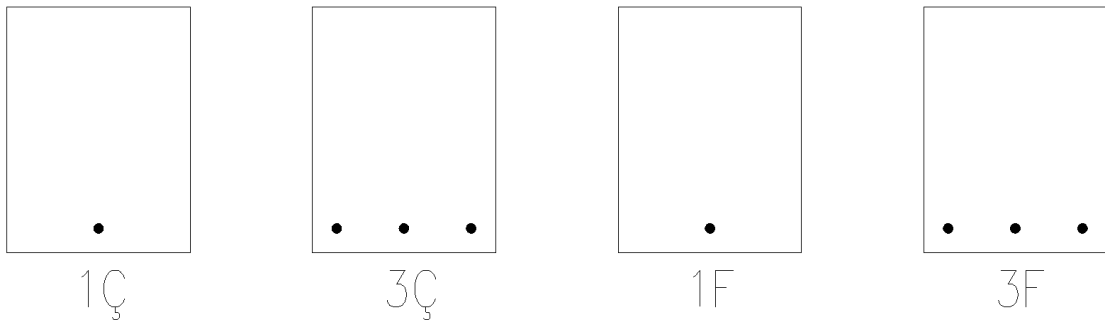
$$M_r = 90,827 \text{ tcm} \dots\dots\dots P = 90,827/52.5 = \mathbf{1,73 \text{ ton} = 16,97 \text{ kN}}$$

K1F (1ø8 GFRP Donatı)

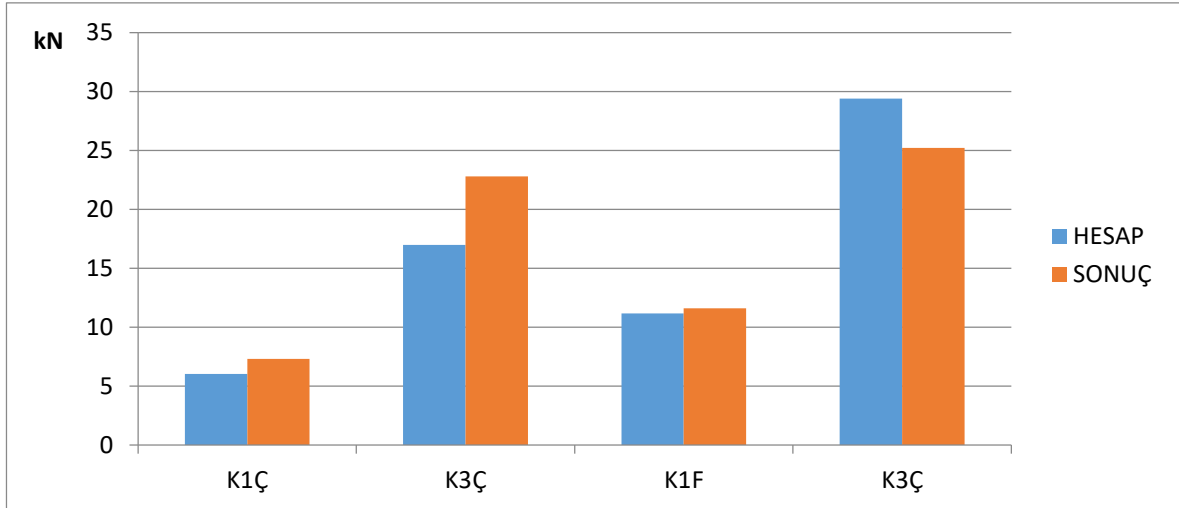
$$M_r = 58,64 \text{ tcm} \dots\dots\dots P = 58,64/52.5 = \mathbf{1,117 \text{ ton} = 11,17 \text{ kN}}$$

K3F (3ø8 GFRP Donatı)

$$M_r = 154,35 \text{ tcm} \dots\dots\dots P = 154,35/52.5 = \mathbf{2,940 \text{ ton} = 29,40 \text{ Kn}}$$

**Şekil 4.3.2.** Deneylerde kullanılan kirişlerin kesitleri**Tablo 4.3.1.** Kirişlerin hesaplanan yük taşıma kapasitelerinin deney sonuçları ile karşılaştırılması

KİRİŞ	HESAP (kN)	SONUÇ (kN)
K1Ç	6,04	7,3
K3Ç	16,97	22,8
K1F	11,17	11,6
K3F	29,40	25,2

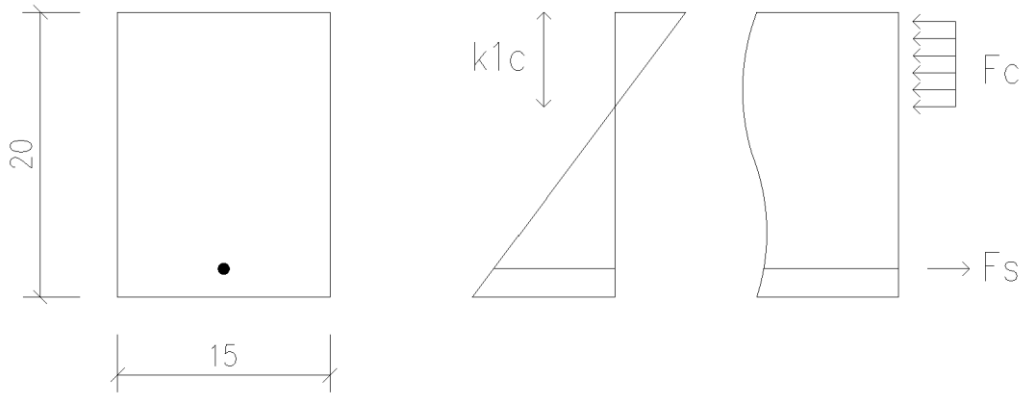


Şekil 4.3.3. Deneylerde kullanılan kirişlerin yük taşıma kapasitelerinin karşılaştırılması

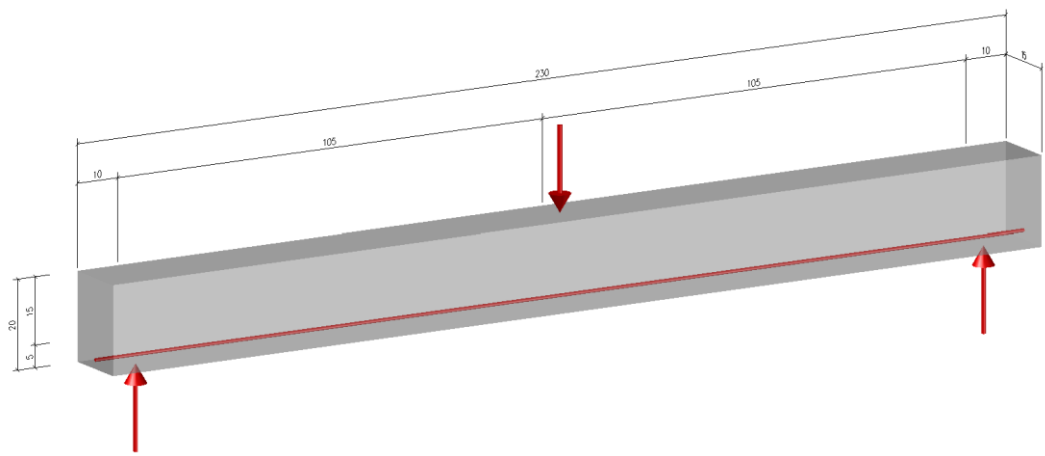
4.4. Kirişlerdeki Üç Nokta Deneyi

4.4.1. K1Ç kirişinde üç nokta deneyi

Genişliği 15 cm, yüksekliği 20 cm ve boyu 230 cm olan; çekme bölgesinde aşağıdan yukarı 2 cm içerde bir adet çapı 8 mm olan çelik donatı bulunan, 28 günlük dayanımını almış kirişte yapılacak olan dört nokta deneyi için öncelikle kiriş, mesnetlere kenardan 10 cm taşacak şekilde yerleştirilmiştir. Daha sonra yükleme yapılacak noktalar kiriş üzerinde işaretlenmiştir. Yükleme noktalarında oluşabilecek ezilme hasarını geciktirmek amacıyla, bu noktalarda boyu 20 cm olan IPE180 profili ile yükleme alanı genişletilmiştir. Gerekli düzenek kurulduktan sonra yüklemeye başlanarak, deney süresince her yük değeri için gerçekleşen olaylar kaydedilmiştir. Kirişin deney sonunda kaydedilen taşıyabildiği maksimum yük, Bölüm 4.3’ de hesaplanan kiriş yük taşıma kapasitesi ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen yük-deplasman grafiği Şekil 4.4.5.3 ‘ deki gibidir.



Şekil 4.4.1.1. K1Ç kiriş kesiti



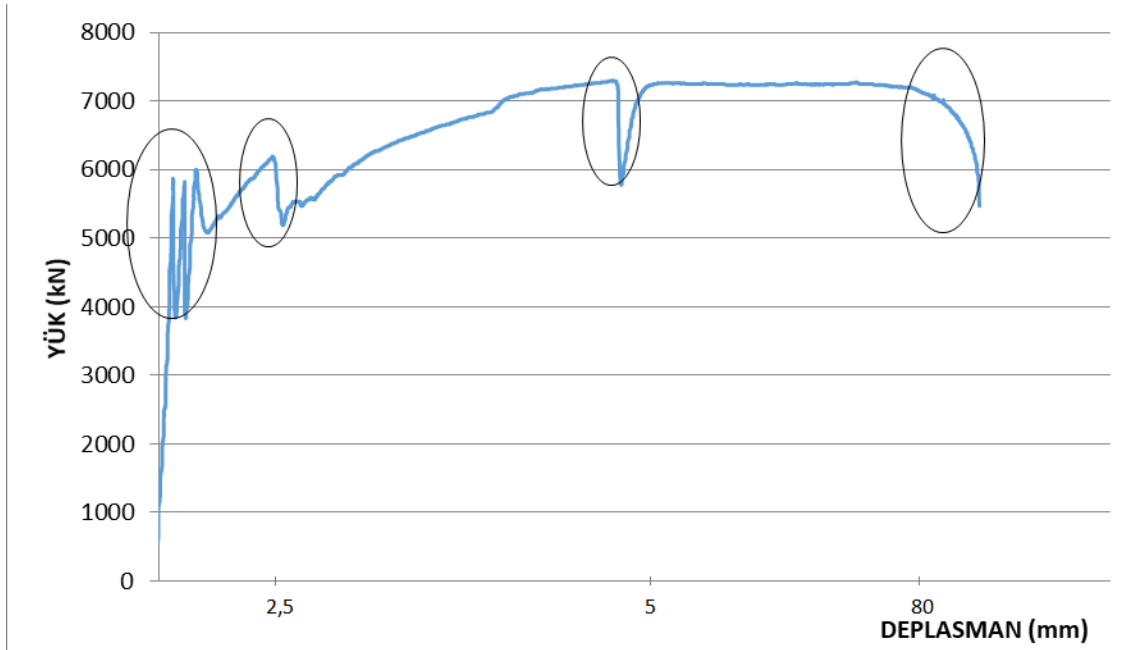
Şekil 4.4.1.2. K1Ç kiriş deney düzeneği



Resim 4.4.1.1. K1Ç kiriş 3 nokta deneyi

Tablo 4.4.1.1. K1Ç kiriş 3 nokta deney sırasında yapılan gözlemler

Yük Değerleri (kN)	Deplasman (mm)	Gözlenen Olaylar
5	2,119	-
5,7	2,442	İlk çatlağın oluştuğu gözlemlendi
5	2,488	İkinci çatlak oluştu
6	3,547	-
5	4,745	Yük azaldı üçüncü çatlak oluştu
6	9,582	-
6,3	21,008	-
6,5	24,186	-
6,8	30,221	-
7	40,495	-
7,25	45,240	-
7,3	51,598	Basınç ezilmesi oluşmaya başladı
7,3	60,443	Yük sabit deplasman arttı
7,1	72,79	-
6,75	75,554	-
6,5	78,041	Çelik donatı koptu deney sonlandırıldı

**Şekil 4.4.1.3.** K1Ç kiriş 3 nokta deneyi yük deplasman grafiği

1 Numaralı Bölge:

Numune üzerinde ilk çatlağın oluştuğu bölgedir. Bu bölgede eğilme etkisindeki eleman elastik sınırı aşmış plastik deformasyonlar göstermeye başlamıştır. Bu noktada yük değeri 5.7 kN ve deplasman 2.442mm olarak ölçülmüştür.



Resim 4.4.1.2. Grafik üzerinde 1 numaralı bölgede çekilmiş deney fotoğrafı

2 Numaralı Bölge:

Numune üzerinde ikinci çatlağın gözlemlendiği bölgedir. Bu bölgede yük değeri 5 kN değerine gerilerken ölçülen orta nokta deplasmanı 2,488mm 'ye ilerlemiştir.



Resim 4.4.1.3. Grafik üzerinde 2 numaralı bölgede çekilmiş deney fotoğrafı

3 Numaralı Bölge:

Numune üzerinde üçüncü çatlak oluştuğu bölgedir. İkinci çatlak oluşumunun ardından yük değeri 6 kN üzerine çıkmış fakat bu noktada yeni bir çatlak oluşması ile tekrar 5kN değerine gerilemiştir. Bu konumda ölçülen deplasman 4.745 mm 'dir.



Resim 4.4.1.4. Grafik üzerinde 3 numaralı bölgede çekilmiş deney fotoğrafı

4 Numaralı Bölge:

Donatının koptuğu ve deneyin sonlandırıldığı noktada çekilen fotoğraf. Bu noktada numune içerisinde bulunan bir adet çelik donatı kopmuş ve deneye son verilmiştir. Deney sırasında ulaşılan maksimum yük değeri 7,3 kN, kopma anında ölçülen yük değeri 6,5 kN ve deplasman 78,041mm 'dir.



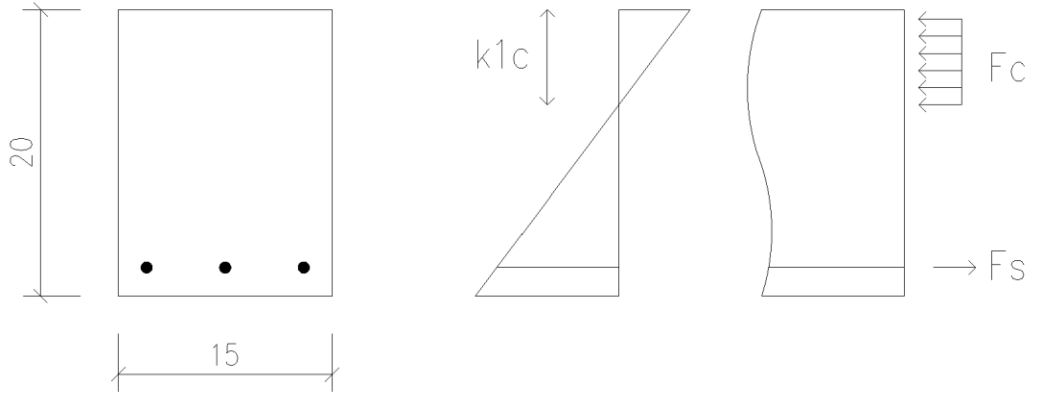
Resim 4.4.1.5. Grafik üzerinde 4 numaralı bölgede çekilmiş deney fotoğrafı



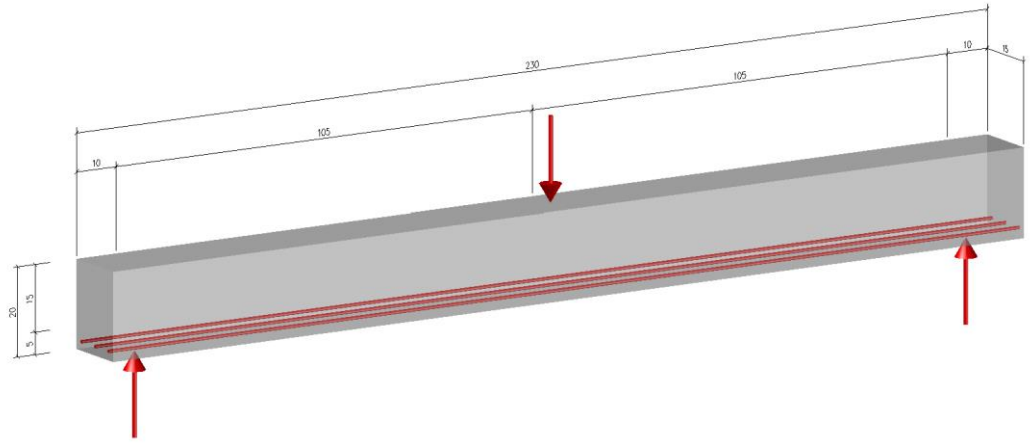
Resim 4.4.1.6. Kırılan numunenin çekilmiş fotoğrafı

4.4.2. K3Ç kirişinde üç nokta deneyi

Genişliği 15 cm, yüksekliği 20 cm ve boyu 230 cm olan; çekme bölgesinde aşağıdan yukarı 2 cm içerde üç adet çapı 8 mm olan çelik donatı bulunan, 28 günlük dayanımını almış kirişte yapılacak olan dört nokta deneyi için öncelikle kiriş, mesnetlere kenardan 10 cm taşacak şekilde yerleştirilmiştir. Daha sonra yükleme yapılacak noktalar kiriş üzerinde işaretlenmiştir. Yükleme noktalarında oluşabilecek ezilme hasarını geciktirmek amacıyla, bu noktalarda boyu 20 cm olan IPE180 profili ile yükleme alanı genişletilmiştir. Gerekli düzenek kurulduktan sonra yüklemeye başlanarak, deney süresince her yük değerini için gerçekteşen olaylar kaydedilmiştir. Kirişin deney sonunda kaydedilen taşıyabildiği maksimum yük, Bölüm 4.3' de hesaplanan kiriş yük taşıma kapasitesi ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen yük-deplasman grafiği Şekil 4.4.6.3 ' deki gibidir.



Şekil 4.4.2.1. K3Ç kiriş kesiti



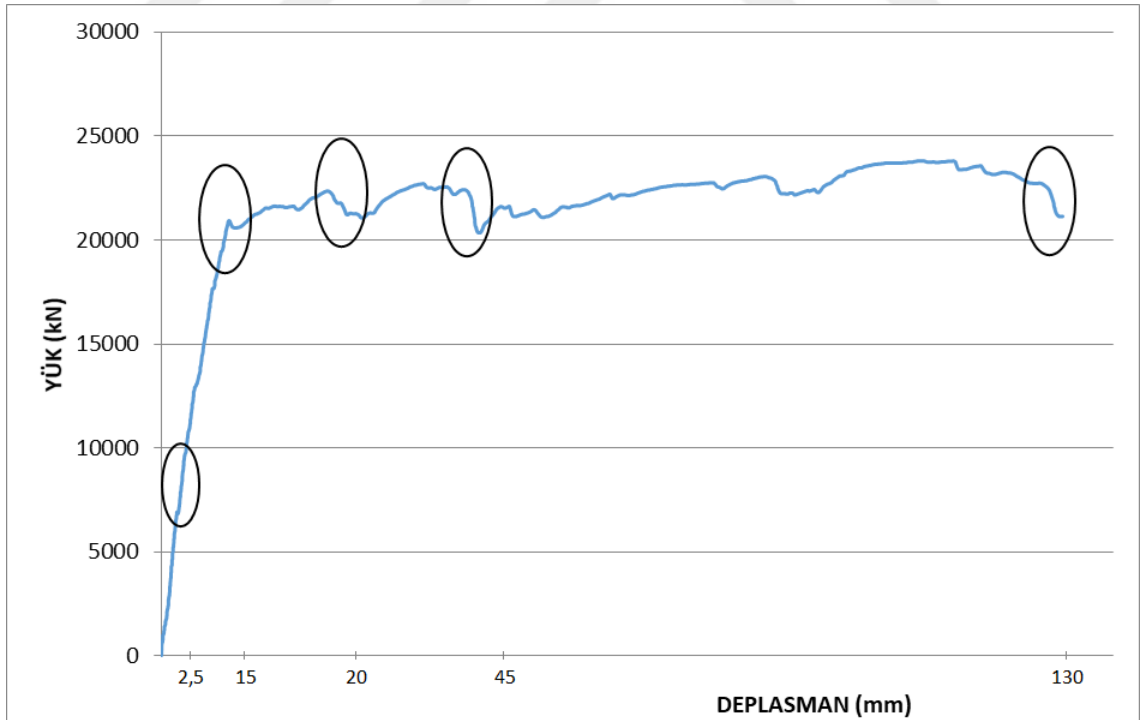
Şekil 4.4.2.2. K3Ç kiriş deney düzeneği



Resim 4.4.2.1. K3Ç kiriş 3 nokta deneyi

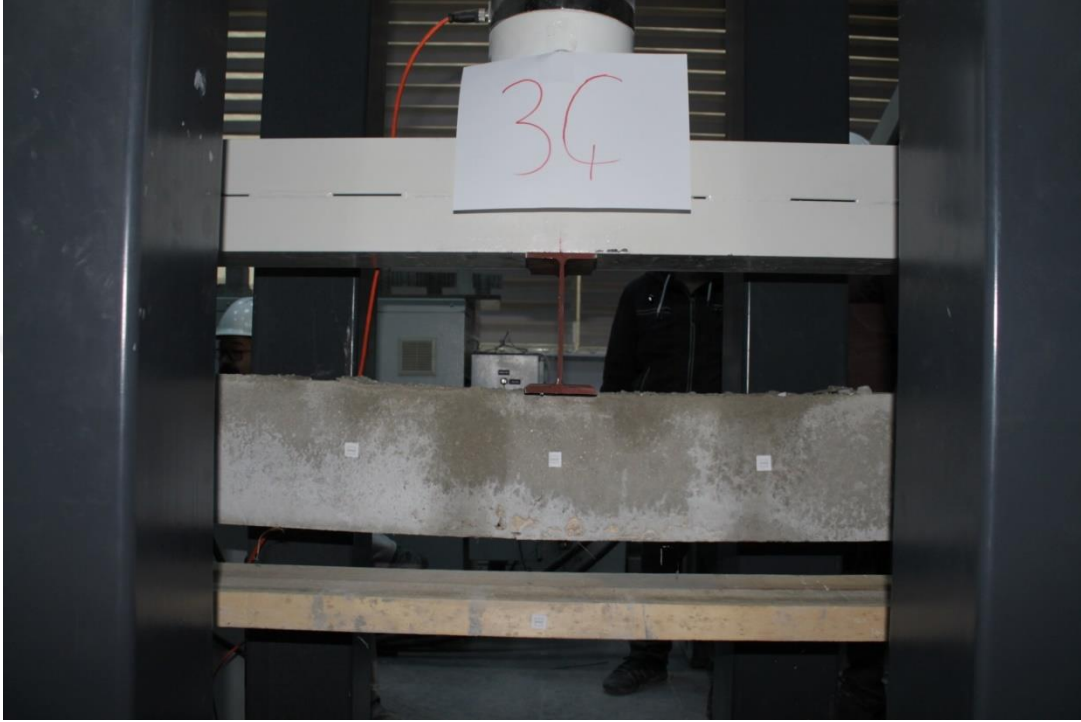
Tablo 4.4.2.1. K3Ç kiriş 3 nokta deney sırasında yapılan gözlemler

Yük Değerleri (kN)	Deplasman (mm)	Gözlenen Olaylar
5	1,474	-
8	2,488	İlk çatlak oluştuğu gözlemlendi
12	3,871	-
15	5,344	-
18	6,726	-
21	11,011	Çelik donatılar aktı
22	18,888	İkinci çatlak oluştu
22	19,533	Basınç ezilmesi oluşmaya başladı
21,5	43,305	Yük azaldı üçüncü çatlak oluştu
22,5	62,47	-
22,8	76,798	Maksimum yük değerine ulaşıldı
20	112,713	-
21,7	120,456	-
22	127,522	Deney sonlandırıldı

**Şekil 4.4.2.3.** K3Ç kiriş 3 nokta deneyi yük deplasman grafiği

1 Numaralı Bölge:

Numune üzerinde ilk çatlağın oluştuğu bölgedir. Bu noktada yük değeri 8 kN ve deplasman 2.488 mm olarak ölçülmüştür.



Resim 4.4.2.2. Grafik üzerinde 1 numaralı bölgede çekilmiş deney fotoğrafı

2 Numaralı Bölge:

Numune içerisindeki çelik donatıların aktığı bölgedir. Bu bölgede eğilme etkisindeki eleman elastik sınırı aşmış plastik deformasyonlar göstermeye başlamıştır. Bu noktada ölçülen yük değeri 21 kN, deplasman ise 11,011mm 'dir.



Resim 4.4.2.3. Grafik üzerinde 2 numaralı bölgede çekilmiş deney fotoğrafı

3 Numaralı Bölge:

Numune üzerinde ikinci çatlağın oluştuğu bölgedir. Bu bölgede yük değeri 22 kN değerine gerilerken ölçülen orta nokta deplasmanı 18,888 mm 'ye ilerlemiştir.



Resim 4.4.2.4. Grafik üzerinde 3 numaralı bölgede çekilmiş deney fotoğrafı

4 Numaralı Bölge:

Numune üzerinde üçüncü çatlak oluştuğu bölgedir. İkinci çatlak oluşumunun ardından yük değeri 22,5 kN üzerine çıkmış fakat bu noktada yeni bir çatlak oluşması ile tekrar 21,5 kN değerine gerilemiştir. Bu konumda ölçülen deplasman 43,305 mm 'dir.



Resim 4.4.2.5. Grafik üzerinde 4 numaralı bölgede çekilmiş deney fotoğrafı

5 Numaralı Bölge:

Deneyin sonlandırıldığı deplasmanın 127.5mm değerine ulaştığı bölgedir. Bu noktada numune içerisinde bulunan üç adet çelik donatı kopmadan ve deneye son verilmiştir. Deney sırasında ulaşılan maksimum yük değeri 22,8 kN, kopma anında ölçülen yük değeri 22 kN'dir.



Resim 4.4.2.6. Kırılan numunenin çekilmiş fotoğrafı

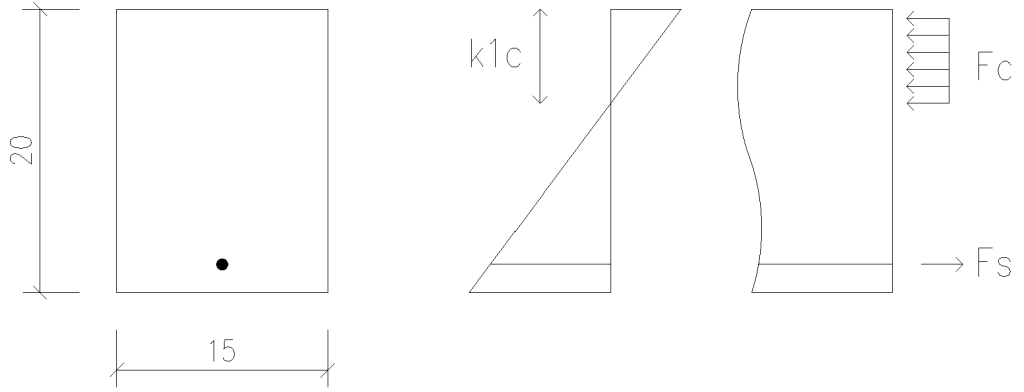


Resim 4.4.2.7. K3Ç kirişine ait deney sonrası fotoğrafı

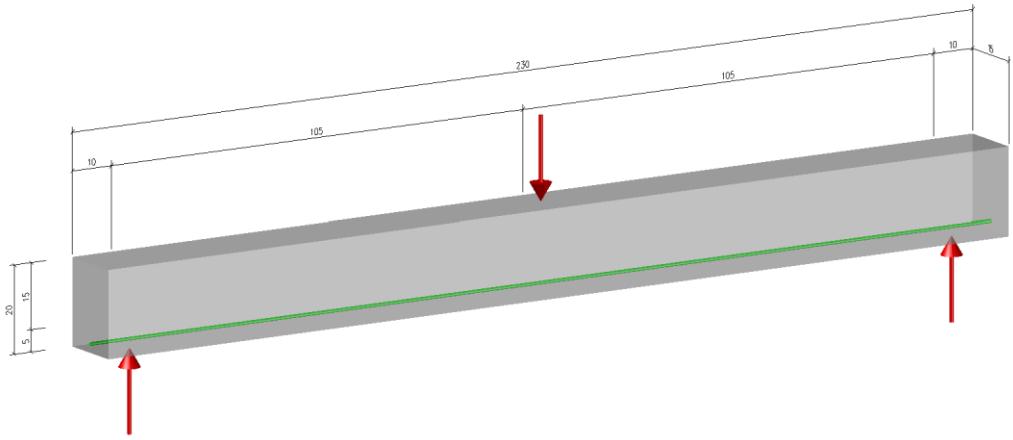
4.4.3. K1F kirişinde üç nokta deneyi

Genişliği 15 cm, yüksekliği 20 cm ve boyu 230 cm olan; çekme bölgesinde aşağıdan yukarı 2 cm içerde bir adet çapı 8 mm olan GFRP donatı bulunan, 28 günlük dayanımını almış kirişte yapılacak olan dört nokta deneyi için öncelikle kiriş, mesnetlere kenardan 10 cm taşacak Şekilde yerleştirilmiştir. Daha sonra yükleme yapılacak noktalar kiriş üzerinde işaretlenmiştir. Yükleme noktalarında oluşabilecek ezilme hasarını geciktirmek amacıyla, bu noktalarda boyu 20 cm olan IPE180 profili ile

yüklemeye alanı genişletilmiştir. Gerekli düzenek kurulduktan sonra yüklemeye başlanarak, deney süresince her yük değeri için gerçekleşen olaylar kaydedilmiştir. Kirişin deney sonunda kaydedilen taşıyabildiği maksimum yük, Bölüm 4.3’ de hesaplanan kiriş yük taşıma kapasitesi ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen yük-deplasman grafiği Şekil 4.4.7.3 ‘ deki gibidir.



Şekil 4.4.3.1. K1F kiriş kesiti



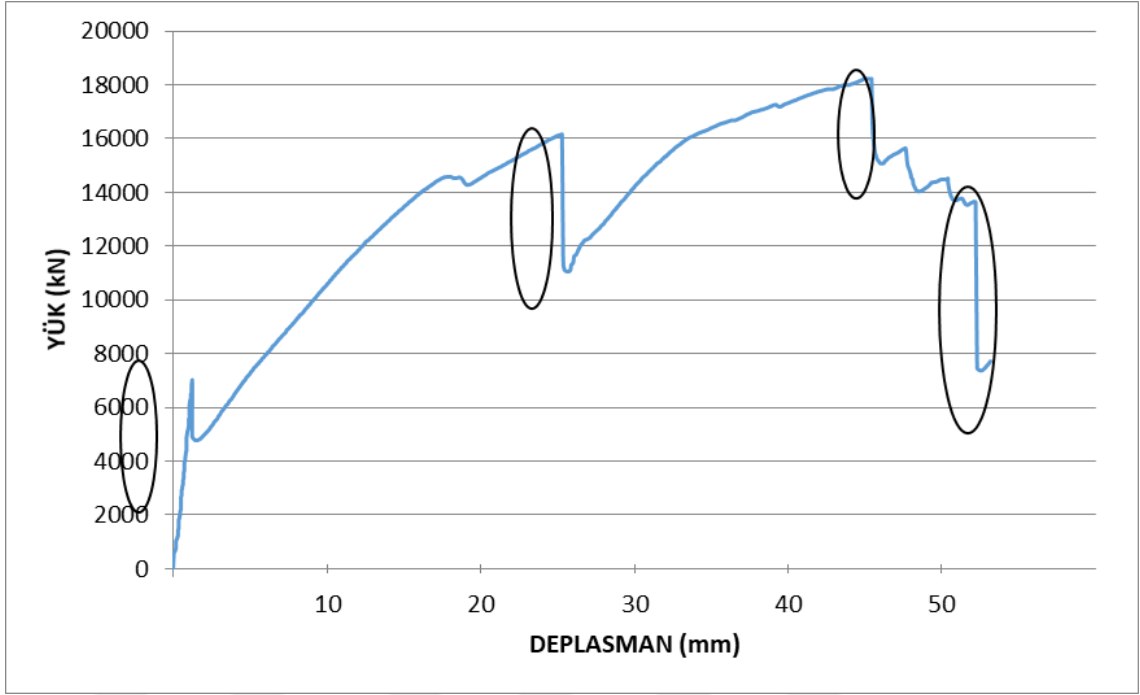
Şekil 4.4.3.2. K1F kiriş deney düzeneği



Resim 4.4.3.1. K1F kiriş 3 nokta deneyi

Tablo 4.4.3.1. K1F kiriş 3 nokta deney sırasında yapılan gözlemler

Yük Değerleri (kN)	Deplasman (mm)	Gözlenen Olaylar
3	0,599	-
5	0,921	-
6	1,244	İlk çatlak oluştuğu gözlemlendi
0	1,245	-
6	13,36	-
8,1	20,134	-
9,2	25,292	İkinci çatlak oluştu
10	35,842	Donatı paspayını sıyırmaya başladı
11,6	45,424	Maksimum yük değerine ulaşıldı
9,1	47,636	Basınç bölgesi koptu
6,8	52,197	GFRP donatı koptu deneye son verildi



Şekil 4.4.3.3. K1F kiriş 3 nokta deneyi yük deplasman grafiği

1 Numaralı Bölge:

Numune üzerinde ilk çatlağın oluştuğu bölgedir. Bu noktada yük değeri 6 kN ve deplasman 1,244 mm olarak ölçülmüştür. Bu bölgede eğilme etkisindeki eleman elastik sınırını aşmış plastik deformasyonlar göstermeye başlamıştır.



Resim 4.4.3.2. Grafik üzerinde 1 numaralı bölgede çekilmiş deney fotoğrafı

2 Numaralı Bölge:

Numune üzerinde ikinci çatlağın oluştuğu bölgedir. Bu bölgede yük değeri 9,2 kN değerine gerilerken ölçülen orta nokta deplasmanı 25,292 mm 'ye ilerlemiştir.



Resim 4.4.3.3. Grafik üzerinde 2 numaralı bölgede çekilmiş deney fotoğrafı

3 Numaralı Bölge:

Maksimum yüke ulaşılan ve paspayının kopup döküldüğü bölgedir. Bu bölgede yük değeri 11,6 kN değerine gerilerken ölçülen orta nokta deplasmanı 45,424 mm 'ye ilerlemiştir.



Resim 4.4.3.4. Grafik üzerinde 3 numaralı bölgede çekilmiş deney fotoğrafı

4 Numaralı Bölge:

Deneyin sonlandırıldığı GFRP donatının koptuğu bölgedir. Bu bölgede yük değeri 6,2 kN değerine gerilerken ölçülen orta nokta deplasmanı 52,197 mm 'ye ilerlemiştir. Bu noktada numune içerisinde bulunan bir adet GFRP donatı kopmuş ve deneye son verilmiştir.



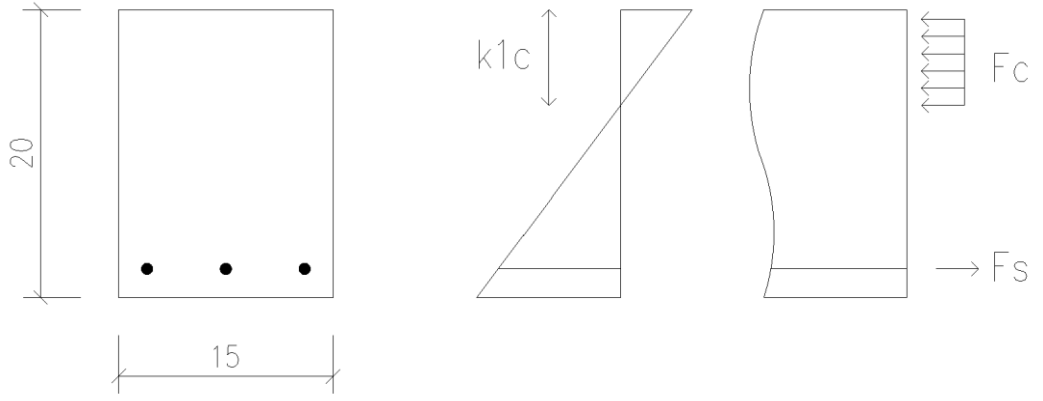
Resim 4.4.3.5. Grafik üzerinde 4 numaralı bölgede çekilmiş deney fotoğrafı



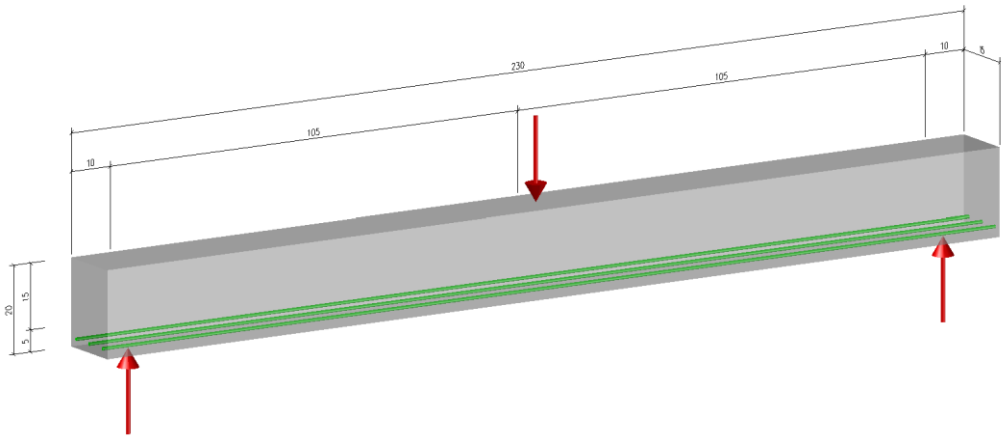
Resim 4.4.3.6. Kırılan numunenin çekilmiş fotoğrafı

4.4.4. K3F kirişinde üç nokta deneyi

Genişliği 15 cm, yüksekliği 20 cm ve boyu 230 cm olan; çekme bölgesinde aşağıdan yukarı 2 cm içerde üç adet çapı 8 mm olan GFRP donatı bulunan, 28 günlük dayanımını almış kirişte yapılacak olan dört nokta deneyi için öncelikle kiriş, mesnetlere kenardan 10 cm taşacak şekilde yerleştirilmiştir. Daha sonra yükleme yapılacak noktalar kiriş üzerinde işaretlenmiştir. Yükleme noktalarında oluşabilecek ezilme hasarını geciktirmek amacıyla, bu noktalarda boyu 20 cm olan IPE180 profili ile yükleme alanı genişletilmiştir. Gerekli düzenek kurulduktan sonra yüklemeye başlanarak, deney süresince her yük değer için gerçekleşen olaylar kaydedilmiştir. Kirişin deney sonunda kaydedilen taşıyabildiği maksimum yük, Bölüm 4.3' de hesaplanan kiriş yük taşıma kapasitesi ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen yük-deplasman grafiği şekil 4.4.6.3 ' deki gibidir.



Şekil 4.4.4.1. K3F kiriş kesiti



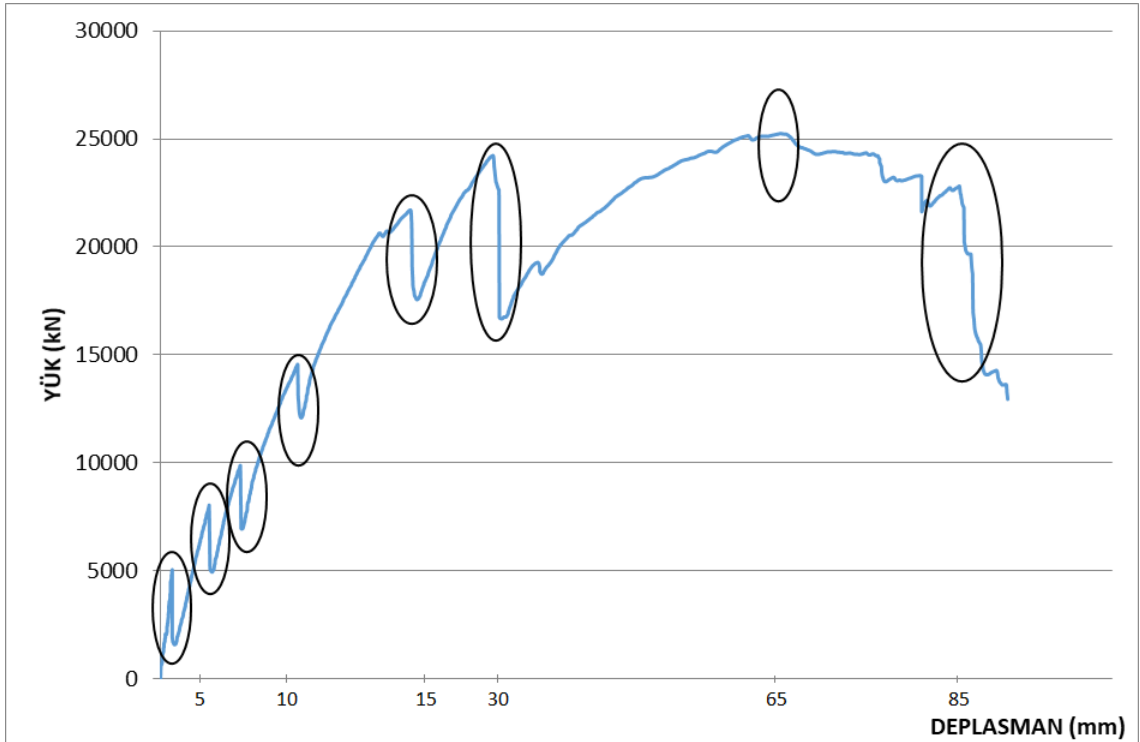
Şekil 4.4.4.2. K3F kiriş deney düzeneği



Resim 4.4.4.1. K3F kiriş 3 nokta deneyi

Tablo 4.4.4.1. K3F kiriş 3 nokta deney sırasında yapılan gözlemler

Yük Değerleri (kN)	Deplasman (mm)	Gözlenen Olaylar
3	0,835	-
5	1,244	İlk çatlak oluştuğu gözlemlendi
8	5,114	İkinci çatlak oluştu
10	8,385	Üçüncü çatlak oluştu
13	11,886	Dördüncü çatlak oluştu
19	14,374	Çelik donatılar aktı
20	18,658	Basınç ezilmesi oluşmaya başladı
21,7	26,26	Basınç ezilmesi ilerledi
21	30,083	Yük azaldı çatlak genişlikleri arttı
23	50,031	-
25,2	65,695	Maksimum yük değerine ulaşıldı
19	85,232	Donatı koptu deneye son verildi

**Şekil 4.4.4.3.** K3F kiriş 3 nokta deneyi yük deplasman grafiği

1 Numaralı Bölge:

Numune üzerinde ilk çatlağın oluştuğu bölgedir. Bu noktada ölçülen yük ve deplasman değerleri sırasıyla 5 kN ve 1,244 mm 'dir.



Resim 4.4.4.2. Grafik üzerinde 1 numaralı bölgede çekilmiş fotoğrafı

2 Numaralı Bölge:

Numunede ikinci çatlağın oluştuğu bölgedir. İlk çatlağın oluşumunun ardından yük değeri 8 kN değerine ulaşmış fakat yeni bir çatlağın oluşumuyla 5 kN değerine gerilemiştir. Bu noktada ölçülen deplasman değeri 5,114 mm 'dir.



Resim 4.4.4.3. Grafik üzerinde 2 numaralı bölgede çekilmiş fotoğrafı

3 Numaralı Bölge:

Numune üzerinde üçüncü çatlakın oluştuğu bölgedir. İkinci çatlakın oluşumunun ardından yük değeri 10 kN değerine ulaşmış fakat yeni bir çatlakın oluşumuyla 6,5 kN değerine gerilemiştir. Bu noktada ölçülen deplasman değeri 8,385 mm 'dir.



Resim 4.4.4.4. Grafik üzerinde 3 numaralı bölgede çekilmiş fotoğrafı

4 Numaralı Bölge:

Numune üzerinde dördüncü çatlağın oluştuğu bölgedir. Üçüncü çatlağın oluşumunun ardından yük değeri 13 kN değerine ulaşmış fakat yeni bir çatlağın oluşumuyla 11,5 kN değerine gerilemiştir. Bu noktada ölçülen deplasman değeri 11,886 mm 'dir.



Resim 4.4.4.5. Grafik üzerinde 4 numaralı bölgede çekilmiş fotoğrafı

5 Numaralı Bölge:

Numune içerisindeki donatılarda akmanın oluştuğu bölgedir. Bu bölgede eğilme etkisindeki eleman elastik sınırı aşmış plastik deformasyonlar göstermeye başlamıştır. Bu noktada ölçülen yük 19 kN deplasman değeri 14,374 mm 'dir.



Resim 4.4.4.6. Grafik üzerinde 5 numaralı bölgede çekilmiş fotoğrafı

6 Numaralı Bölge:

Numune üzerinde oluşan çatlakların yükleme noktasına ulaştığı ve basınç ezilmesinin olduğu bölgedir. Burada ölçülen yük değeri 23 kN deplasman 30,083 mm 'dir.



Resim 4.4.4.7. Grafik üzerinde 6 numaralı bölgede çekilmiş fotoğrafı

7 Numaralı Bölge:

Maksimum yük değerine ulaşılan bölgedir burada ölçülen deplasman 65,695 mm yük değeri ise 25,2 kN.



Resim 4.4.4.8. Grafik üzerinde 7 numaralı bölgede çekilmiş fotoğrafı

8 Numaralı Bölge:

Numune içerisindeki GFRP donatıların kopup deneyin sonlandırıldığı bölgedir. Elemanın kopma anındaki yükü 19 kN ve deplasmanı 85,232 mm olarak ölçülmüştür.



Resim 4.4.4.9. Grafik üzerinde 8 numaralı bölgede çekilmiş fotoğrafı

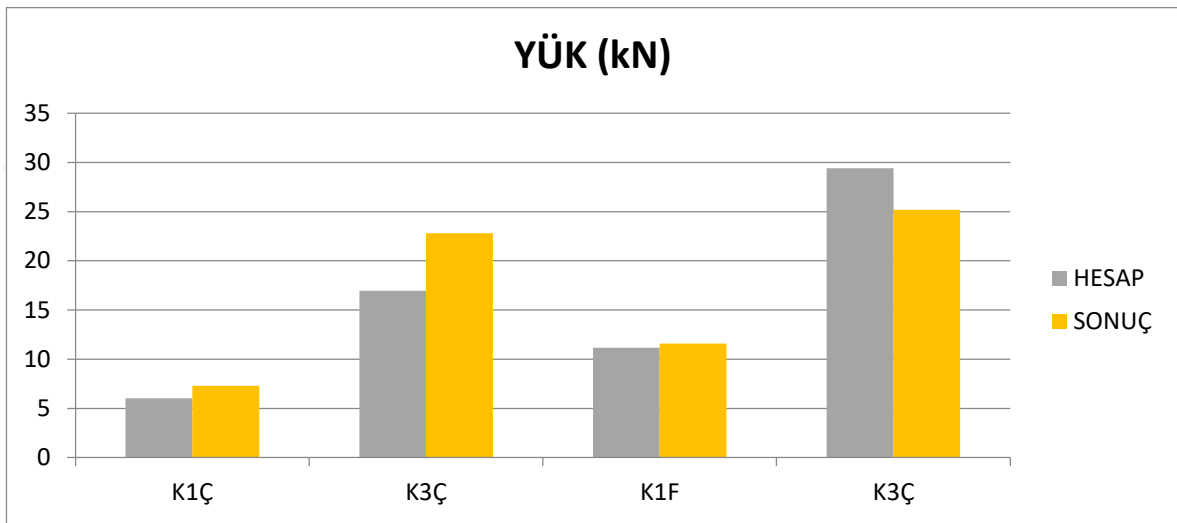


Resim 4.4.4.10. Kırılan numunenin çekilmiş fotoğrafı

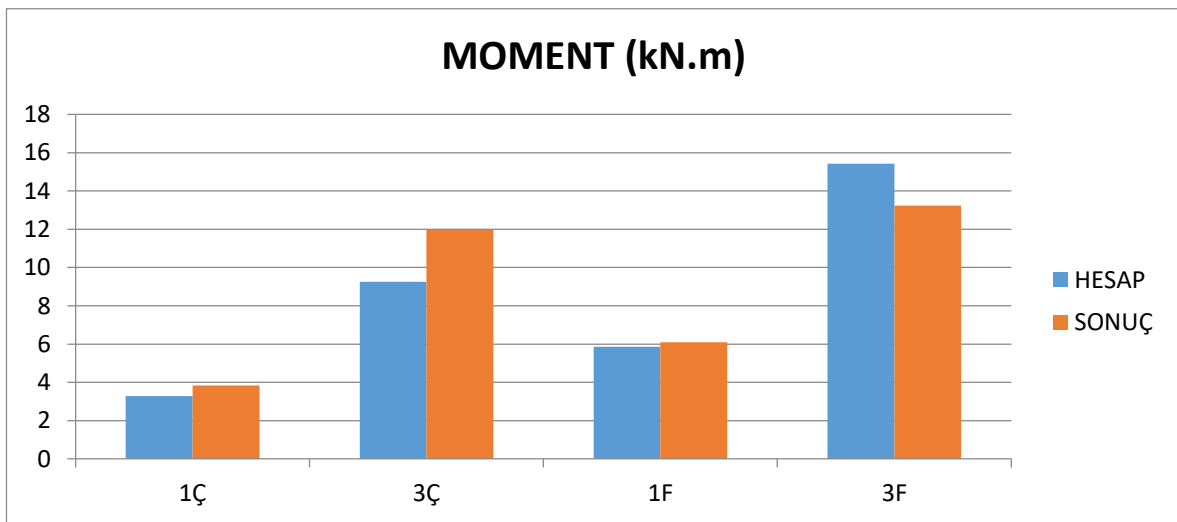
5. DENEY SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

5.1. Kiriş Yük – Moment Kapasitelerinin Karşılaştırılması

Kirişlerin içerdiği güçlendirme elemanlarının kesitte buldukları oranlara göre, her kiriş için ayrı ayrı yapılan deneylerle ölçülen maksimum yük ve moment değerlerinin karşılaştırılması Şekil 5.1.1 ve Şekil 5.1.2 ‘deki gibidir.



Şekil 5.1.1. Kirişlerin taşıdığı maksimum yük değerlerinin karşılaştırılması

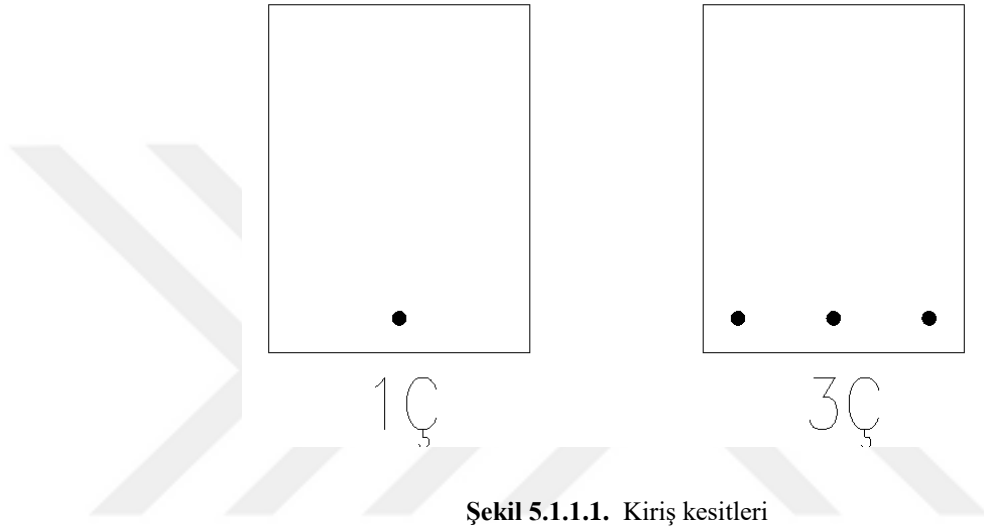


Şekil 5.1.2. Kirişlerin taşıdığı maksimum moment değerlerinin karşılaştırılması

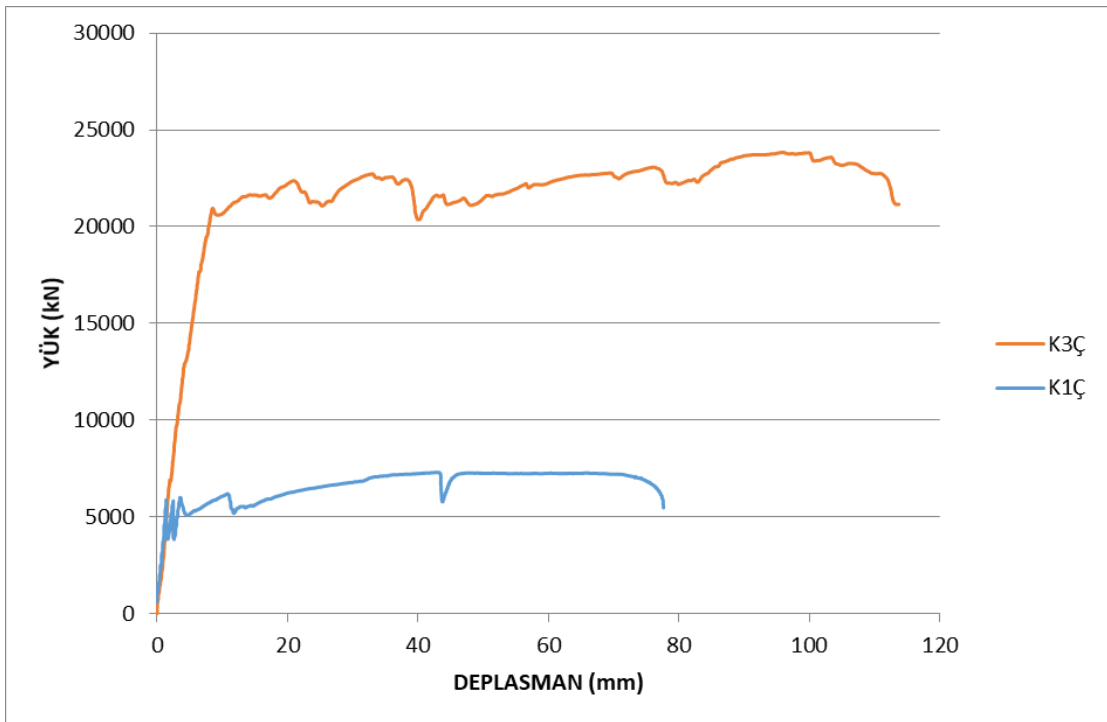
İncelenen grafikler sonucu en yüksek yük ve moment taşıma kapasitesine sahip kirişin; içinde üç adet $\varnothing 8$ mm GFRP içeren K3F kirişi olduğu gözlenmiştir.

5.1.1. K1Ç ve K3Ç kirişlerinin karşılaştırılması

İçerisinde sırasıyla 1 $\varnothing 8\text{mm}$ ve 3 $\varnothing 8\text{mm}$ çelik donatı bulunduran K1Ç ve K3Ç kirişleri kendi aralarında karşılaştırıldıklarında, K1Ç kirişinin K3Ç 'nin taşıdığı yükün yaklaşık %35 'i kadar yük ve dolayısıyla aynı oranda moment taşıma kapasitesine sahip olduğu gözlenmiştir.



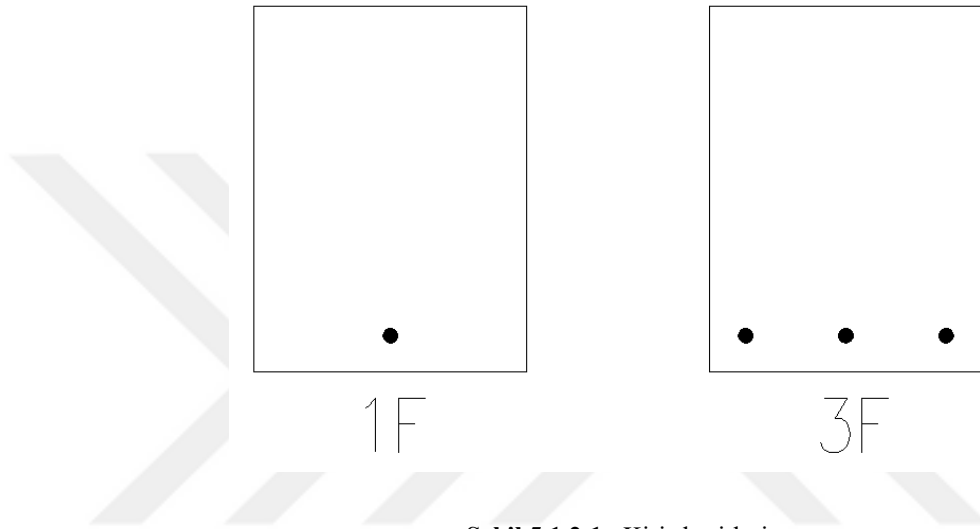
Şekil 5.1.1.1. Kiriş kesitleri



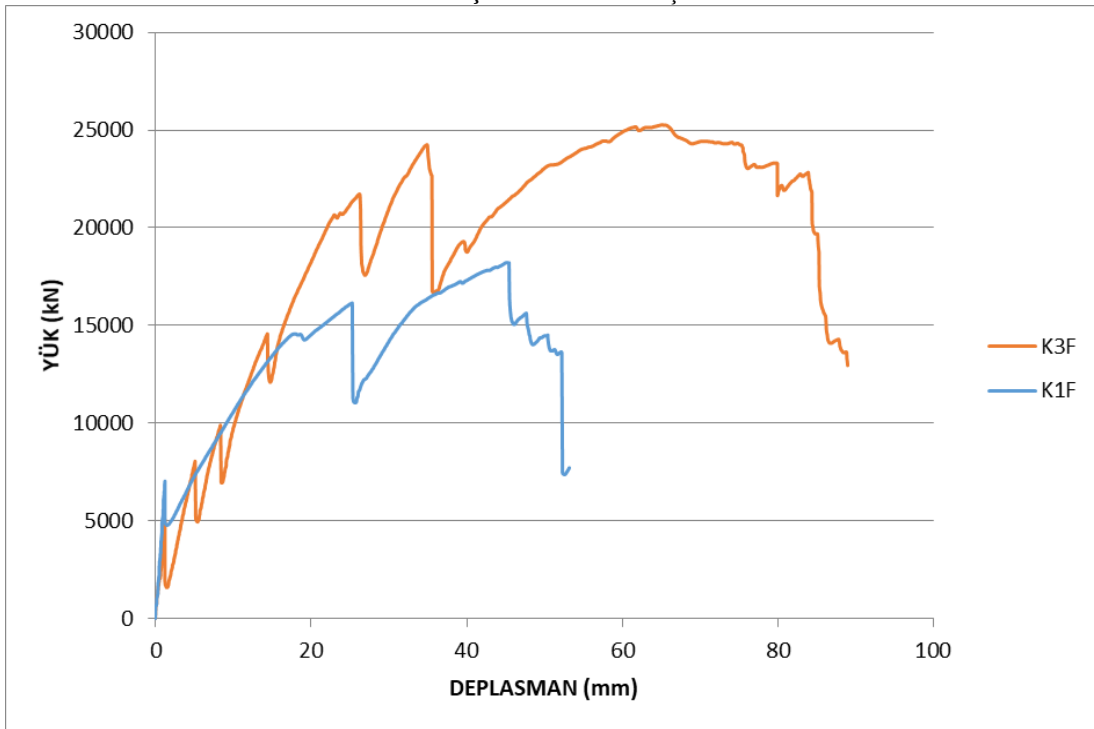
Şekil 5.1.1.2. Kirişlerin yük – deplasman grafikleri

5.1.2. K1F ve K3F kirişlerinin karşılaştırılması

İçerisinde sırasıyla 1 \varnothing 8mm ve 3 \varnothing 8mm GFRP donatı bulunduran K1F ve K3F kirişleri kendi aralarında karşılaştırıldıklarında, K1F kirişinin K3F 'nin taşıdığı yükün yaklaşık %38 'i kadar yük ve dolayısıyla aynı oranda moment taşıma kapasitesine sahip olduğu gözlenmiştir.



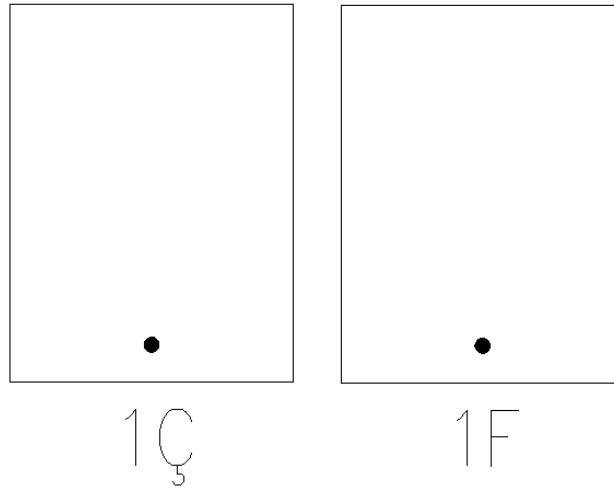
Şekil 5.1.2.1. Kiriş kesitleri



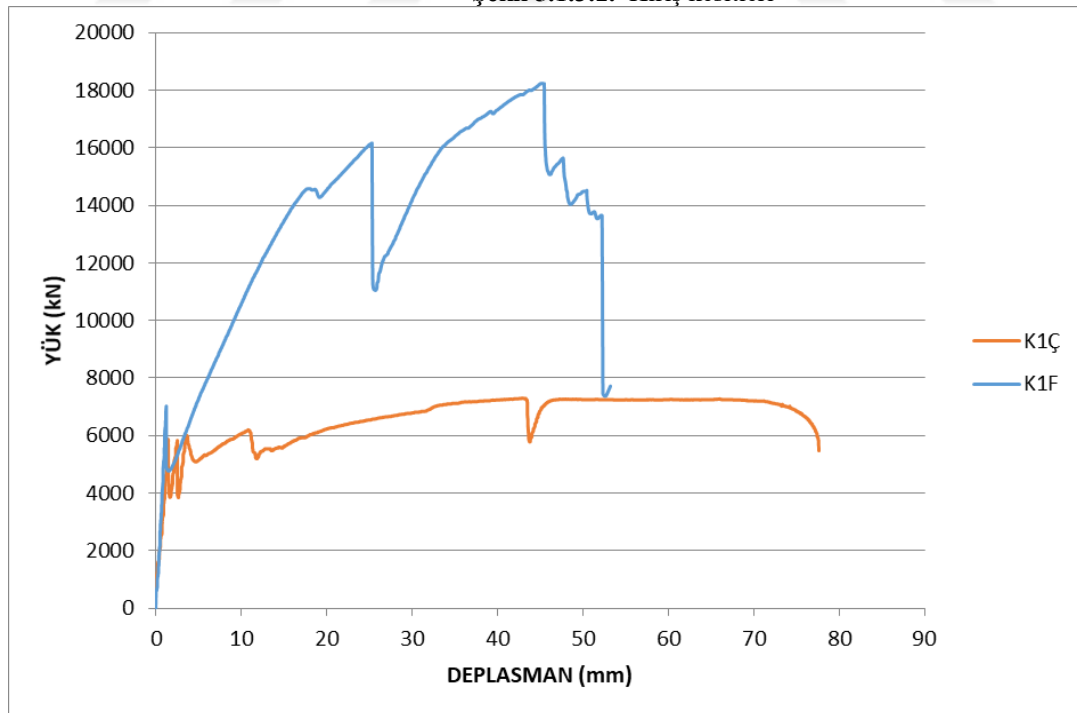
Şekil 5.1.2.2. Kirişlerin yük – deplasman grafikleri

5.1.3. K1Ç ve K1F kirişlerinin karşılaştırılması

İçerisinde sırasıyla 1 \varnothing 8mm çelik donatı ve 1 \varnothing 8mm GFRP donatı bulunduran K1F ve K1Ç kirişleri kendi aralarında karşılaştırıldıklarında, K1F kirişinin K1Ç'nin taşıdığı yükün yaklaşık %54 'i kadar yük ve dolayısıyla aynı oranda moment taşıma kapasitesine sahip olduğu gözlenmiştir.



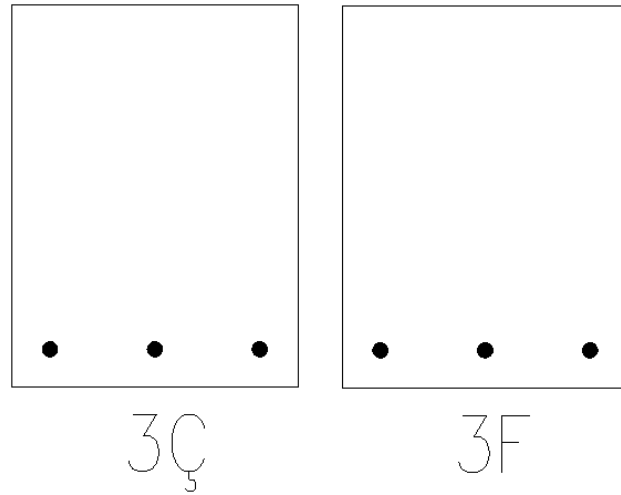
Şekil 5.1.3.1. Kiriş kesitleri



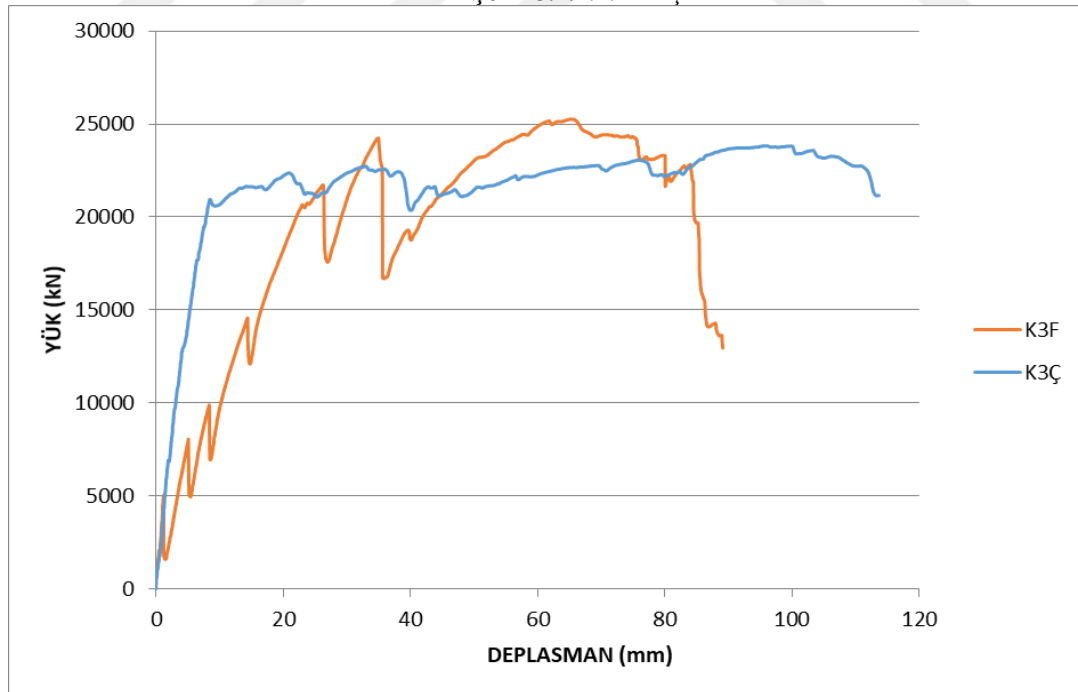
Şekil 5.1.3.2. Kirişlerin yük – deplasman grafikleri

5.1.4. K3Ç ve K3F kirişlerinin karşılaştırılması

İçerisinde sırasıyla 3 $\varnothing 8$ mm çelik donatı ve 3 $\varnothing 8$ mm GFRP donatı bulunduran K3Ç ve K3F kirişleri kendi aralarında karşılaştırıldıklarında, K3Ç kirişinin K3F 'nin taşıdığı yükün yaklaşık %58 'i kadar yük ve dolayısıyla aynı oranda moment taşıma kapasitesine sahip olduğu gözlenmiştir.



Şekil 5.1.4.1. Kiriş kesitleri



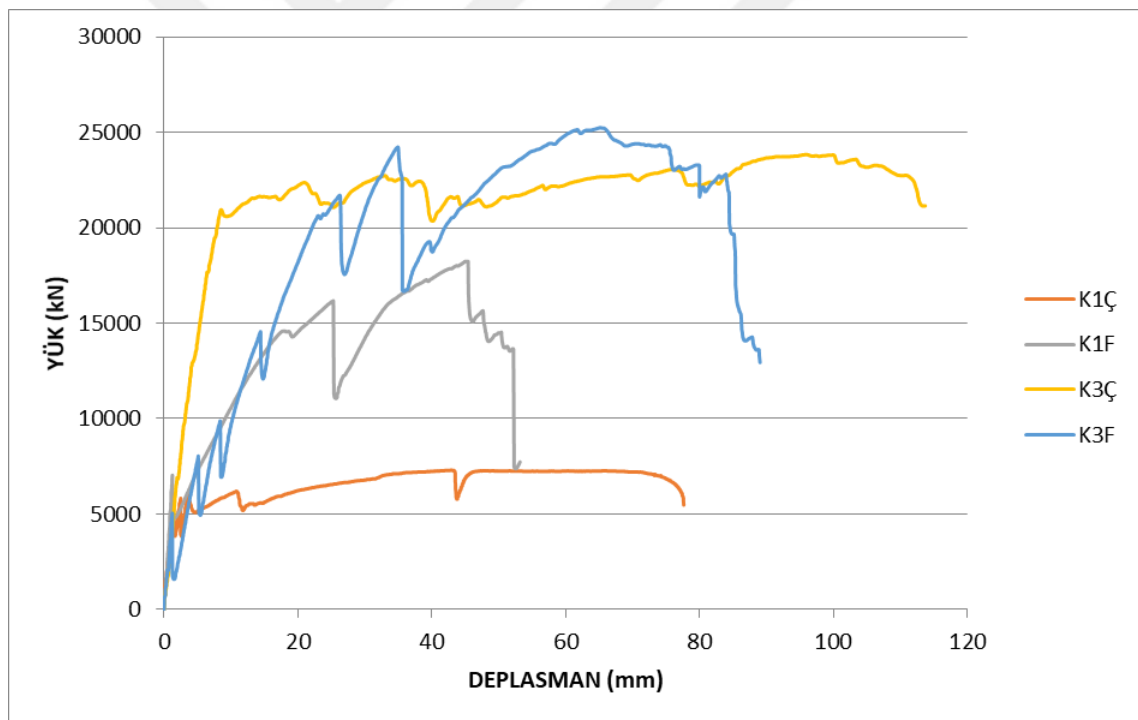
Şekil 5.1.4.2. Kirişlerin yük – deplasman grafikleri

5.2. Kirişler Arasında Süneklik Karşılaştırması

Süneklik; basit bir şekilde tanımlamak gerekirse dayanımda önemli ölçüde bir düşüş olmadan, yükleme altında elemanın elastik ötesi deformasyon yapabilme kabiliyetidir. Bir betonarme kirişte süneklik şartının sağlanabilmesi için ;

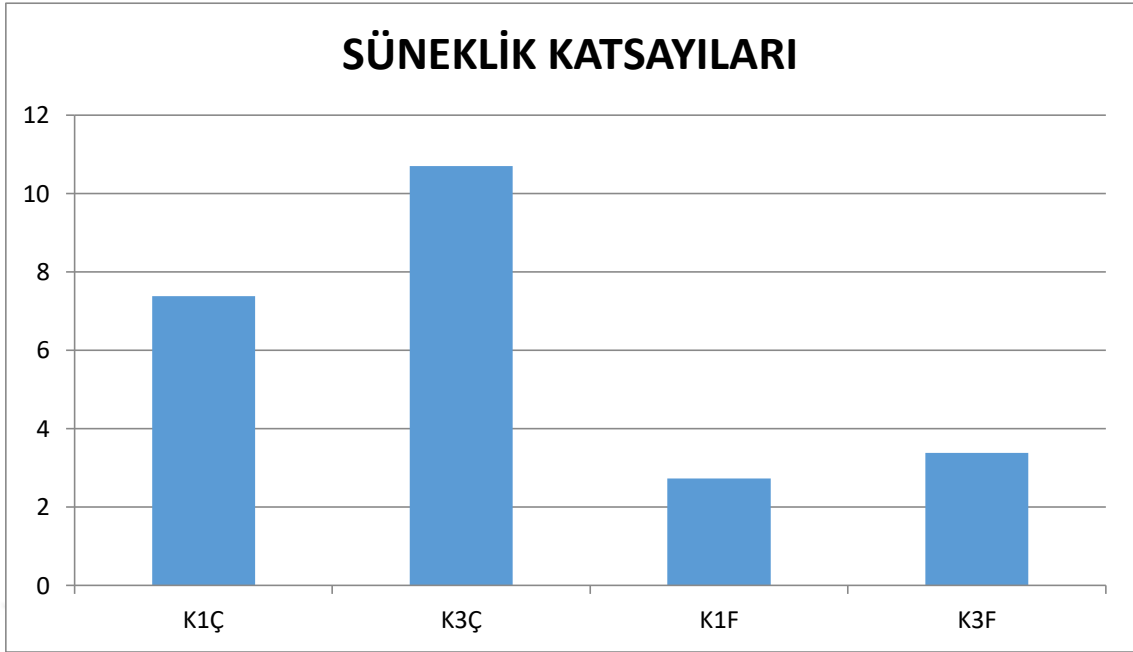
- Basınç donatısı kullanılmalı
- Etriye kullanılmalı
- Kiriş denge altı tasarlanmalı

Beton eğilme birim deformasyona ulaşmadan önce donatının akması sağlanmalı. Bunun için yüksek dayanımlı değil, yumuşak çelik tercih edilmelidir. Minimum donatı oranı şartına ve denge üstü davranışı önlemek için maksimum donatı şartına uyulmalıdır.



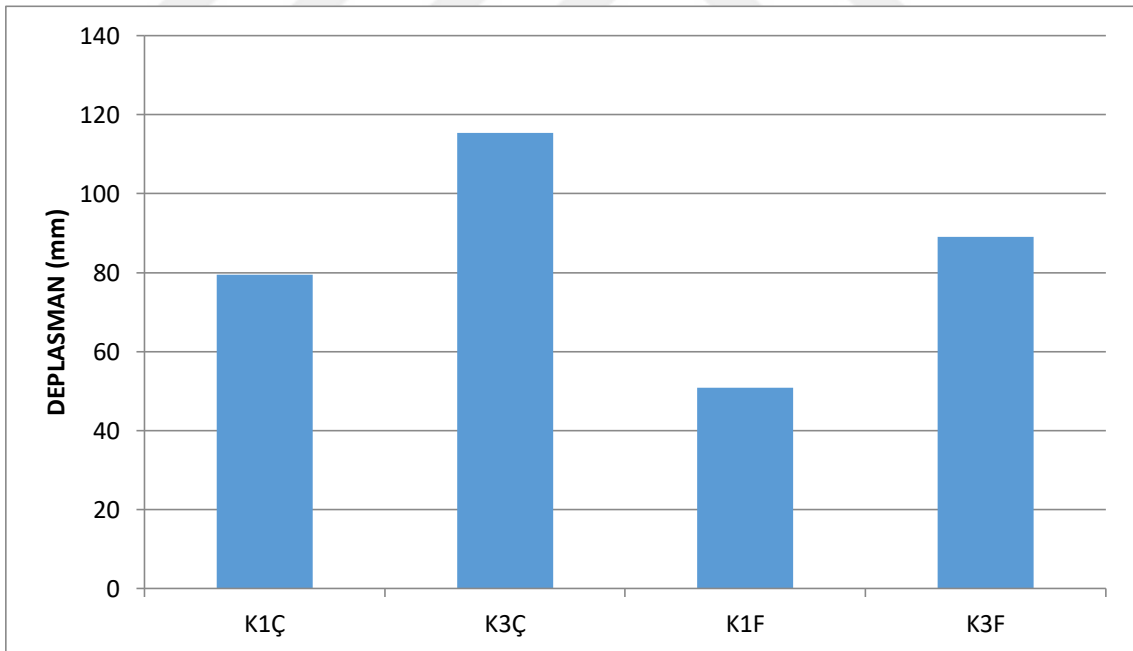
Şekil 5.2.1. Bütün kirişlerin yük – deplasman deformasyonlarının karşılaştırılması

Dört farklı numune için yapılan üç nokta eğilme testleri sonucunda oluşturulan yük-deplasman grafiklerinden, her numune için hesaplanan süneklik katsayılarının karşılaştırılması Şekil 5.3.2 ' deki gibidir. Burada görüldüğü gibi en fazla sünek davranış gösteren numune içerisinde 3 adet çelik donatı bulunan K3Ç numunesidir. En az sünek davranışı sergileyen numune ise beklendiği üzere K1F numunesi olmuştur.



Şekil 5.2.2. Bütün kirişlerin süneklilik katsayıları

5.3. Kirişler Arasında Deplasman Karşılaştırması



Şekil 5.3.1. Bütün kirişlerin deplasmanları

K3Ç kirişi en fazla sünek davranış sergileyen eleman olduğu için kopmadan önce fazla deplasman yapmış; K1F numunesi ise içerisinde 1 adet GFRP donatı bulunduğu için gevrek bir davranış göstermiş fazla deplasman yapamadan göçmüştür. Önceki bölümlerde de belirtildiği üzere K3F dengee üstü davranış sergilediğinden ani ve erken göçme sonucu kapasitesine ulaşmadan göçmüştür.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1. Sonuçlar

Ayrı ayrı tasarlanan GFRP ve çelik donatılı kirişlerin, eğilme dayanımının üç nokta eğilme testleri ile elde edildiği bu deneysel araştırmada kiriş numunelerin eğilme etkisi altındaki davranışları incelenmiştir.

Yapılan üç nokta eğilme deneyleri sonucunda:

- GFRP ve çelik donatılı kirişlerde kesitte aynı oranda çekme elemanı bulunduran numunelerde donatı çeliği ile güçlendirilmiş olan elemanların GFRP ile güçlendirilmiş elemanların taşıdığı yük değerinin %54 ve moment değerinin %58 oranında bir kapasiteye sahip olduğu gözlenmiştir.
- Donatı çeliği bulunan numunelerde çekme donatı oranı 3 katına çıkarıldığında yük taşıma kapasitesinin 2,81 katına çıktığı görülmüştür.
- Buna benzer olacak şekilde GFRP bulunan numunelerde ise çekme donatı oranı 3 katına çıkarıldığında ise yük taşıma kapasitesinin 2,63 kat arttığı sonucuna ulaşılmıştır.
- Kiriş çekme bölgesinde aynı oranda GFRP ve çelik donatı için sonuç ve hesap karşılaştırılmalarının sonucu ise şu şekildedir ;
 - 1 adet çelik donatılı numune için deney sonucunda bulunan değer, hesaplanan değere göre 1,21 kat daha fazla olduğu,
 - 3 adet çelik donatı olduğunda ise bu oranın 1,34 katı olduğu görülmektedir.
- Bunların yanı sıra GFRP için ;
 - 1 adet GFRP donatılı numune için deney sonucunda bulunan değer, hesaplanan değere göre 1,04 kat daha fazla olduğu,
 - 3 adet GFRP donatı olduğunda ise bu oranın 0,85 değerine düştüğü görülmektedir. Bulunan bu değer birden daha küçük olmasının nedeni bu elemanın eğilmeden dolayı değil kesmeden dolayı olduğu sonucuna ulaşılmaktadır.

6.2. Öneriler

Üç nokta eğilme testine tabi tutulan bu elemanlar basınç donatısı ve etriye donatıları ile güçlendirilerek tasarlandığı takdirde tam olarak eğilme altındaki davranışı incelenebilir. GFRP donatılı numunelerde gözlenen gevrek davranışın önüne geçilmesi amacıyla eğilmede etkili olacak bölgeye yerleştirilen GFRP donatıdan daha iç kısımlaradaha sünek olan çelik donatı elemanları yerleştirilerek hibrit donatılı elemanlar oluşturulabilir ve böylece daha sünek davranış gözlenebilir. Farklı (a/d) oranları ile bu deneyler tekrarlanabilir.



KAYNAKLAR

- Açıkl H., 2015 “*Ders Notları*” Necmettin Erbakan Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı A.B.D.
- Kara, Ilker Fatih, Ashraf F. Ashour, and Mehmet Alpaslan Köroğlu., 2015 "Flexural behavior of hybrid FRP/steel reinforced concrete beams." *Composite Structures* 129: 111-121.
- Kara, Ilker Fatih, Ashraf F. Ashour, and Mehmet Alpaslan Köroğlu., 2016 "Flexural performance of reinforced concrete beams strengthened with prestressed near-surface-mounted FRP reinforcements." *Composites Part B: Engineering* 91: 371-383.
- Kara, I. F., Köroğlu, M. A., & Ashour, A. F., 2017 Tests of Continuous Concrete Slabs Reinforced with Basalt Fiber-Reinforced Plastic Bars. *ACI Structural Journal*, 114(5), 1201.
- American Concrete Institute (ACI)., 2006 “*Guide for the design and construction of concrete reinforced with FRP bars*”, Technical Committee Document No. 440.1R-06, Farmington Hills, Mich.
- AlMusallam, T.H., Al-Salloum, Y.A., Alsayed, S.H. and Amjad, M.A., 1997 “*Behavior of concrete beams doubly reinforced by FRP bars*”, Proceedings of the third international symposium on non-metallic (FRP) reinforcement for concrete structures (FRPRCS-3):2, Japonya, 471–478.
- Ashour, A.F. and Habeeb, M.N., 2008 “*Continuous concrete beams reinforced with CFRP bars*”, Structural Building SB6, 349–357.
- Barris, C., Torres, L.I. and Turon, A., Baena, M., Catalan, A., 2009 “*An experimental study of the flexural behaviour of GFRP RC beams and comparison with prediction models*”, Composite Structures 91, 286–295.
- Bursa Teknik Üniversitesi Deney Föyü, 2016
- Chakib K., 2011 “*Flexural behaviour of concrete beams reinforced with FRP composite bars*” 4th Structural Speciality Conference of the Candian Society for Civil Engineering J1K-2R1
- El-Sayed, A.K., 2006 El-Salakawy, E.F. and Benmokrane, B., “*Shear strength of FRP reinforced concrete beams without transverse reinforcement*”, ACI Structural Journal 103(2), 235–243.
- Ersoy, U. ve Özcebe G., 2012 “*Betonarme*” Evrim Yayınevi, İstanbul.
- Gravina RJ., Smith ST., 2008 “*Flexural behaviour of indeterminate concrete beams reinforced with FRP bars*” Engineering Structures 30 (9), 2370-2380
- Joseph vd., 2000 “*Experimental study of contribution of concrete to shear strength*”

- Razaqpur, A.G., Isgor, B.O., Greenaway, S. and Selley, A., 2004 “*Concrete contribution to the shear resistance of fiber reinforced polymer reinforced concrete members*”, *Journal of Composite for Construction* 8(5), 452–460.
- Toutanji, H.A. and Saafi, M., 2000 “*Flexural behavior of concrete beams reinforced with glass fiber-reinforced polymer (GFRP) bars*” *ACI Structural Journal* 97(5), 712–719.
- Vijay PV., Hota VS. GangaRao, 2001 “*Bending behavior and deformability of GFRP reinforced concrete*” ...98 (6).



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : İsmet Emre KAŞIKCI
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : KONYA / 1991
Telefon : 0 (532) 333 22 60
Faks : -
e-mail : iekasikci@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	Mehmet Akif Ersoy Lisesi (Y.D.A Program), Selçuklu, Konya	2008
Üniversite	Aksaray Üniversitesi, Aksaray	2013
Yüksek Lisans	Necmettin Erbakan Üniversitesi, Meram, Konya	2018
Doktora	-	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2013	Çağdaş İnşaat	Şantiye Şefi
2014	Ömer Atiker İnşaat	Şantiye Şefi
2016	Kocaerler Hafriyat İnşaat	Genel Koordinatör
2017	EMKA Mühendislik	İşveren

YABANCI DİLLER

İngilizce

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

-

YAYINLAR

-