

Fatma SOYALAN



İSKENDERUN TEKNİK

ÜNİVERSİTESİ

MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**YÜKSEK
LİSANS
TEZİ**

**MAKRO SENTETİK FİBER
LİF KULLANIMININ BETONARME
KİRİŞLERİN DAVRANIŞI
ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN
İNCELENMESİ**

Fatma SOYALAN

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

HAZİRAN 2020

HAZİRAN 2020



**MAKRO SENTETİK FİBER LİF KULLANIMININ BETONARME
KİRİŞLERİN DAVRANIŞI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

Fatma SOYALAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HAZİRAN 2020

ETİK BEYAN

İskenderun Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez üzerinde Yükseköğretim Kurulu tarafından hiçbir değişiklik yapılamayacağı için tezin bilgisayar ekranında görüntülendiğinde asıl nüsha ile aynı olması sorumluluğunun tarafıma ait olduğunu,
- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Fatma SOYALAN

/2020


MAKRO SENTETİK FİBER LİF KULLANIMININ BETONARME KİRİŞLERİN
DAVRANIŞI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)

Fatma SOYALAN
İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Haziran 2020

ÖZET

Bu çalışmada, katkı malzemesi olarak makro sentetik fiber (MSF) lif kullanımının betonarme kirişlerin davranışları üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla; hacimce %0, %0,4 ve %0,6 MSF oranlarına sahip toplam 6 adet kiriş üretilmiştir. Tüm kirişlerin boyutları 150x230x1400 mm boyutlarında tasarlanmıştır. Kirişlerde enine donatılar $\Phi 8/20$ cm, basınç donatıları $2\Phi 12$ ve çekme donatıları $2\Phi 14$ olarak seçilmiştir. Kirişlerin; mesnetler arası uzaklığı, kesme açıklığı, kiriş etkili yüksekliği gibi tüm fiziksel özellikleri birbirleriyle aynı olacak şekilde tasarlanmıştır. Deneyde MSF katkısının; 28 günlük basınç dayanımına ve kirişlerin üç noktalı yükleme deneyi altında mekanik ve fiziksel özelliklerine etkisi referans kirişlerle (%0 MSF dozajlı kirişler) karşılaştırılmıştır. Üç noktalı yükleme deneyi ile elde edilen yük - kirişin orta noktasında oluşan deplasman grafikleri yardımıyla MSF katkısının maksimum yük taşıma kapasitesi, enerji yutma kapasitesi, süneklik ve maksimum deplasman değeri gibi bulgular üzerinde durulmuştur. Deney süresince kirişlerin artan yük altındaki davranışları kaydedilerek yük çatlak oluşumları yorumlanmıştır.

AnahtarKelimeler : Süneklik, polipropilen lif, enerji yutma kapasitesi, yükleme deneyi, çatlak oluşumu, kırılma düzeni, sentetik lif

Sayfa Adedi :104

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Selçuk KAÇIN

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF MACRO SYNTHETIC FIBER FIBER USE
ON THE BEHAVIOR OF CONCRETE BEAMS
(Master's Thesis)

Fatma SOYALAN
İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
June 2020

ABSTRACT

In this study, the effects of the use of macro-synthetic fiber (MSF) as an additive material in reinforced concrete beams on the behavior of reinforced concrete beams were investigated. For this purpose; a total of 6 beams with 0%, 0.4%, 0.6% MSF ratios were produced by volume. All beams are designed in dimensions of 150x230x1400 mm. Transverse reinforcements are chosen as $\Phi 8 / 20$ cm, pressure reinforcements $2\Phi 12$ and tension reinforcements $2\Phi 14$ in beams. It is designed so that all physical properties such as, the distance between supports, effective shear distances and beam effective height are the same. MSF contribution in the experiment; the effect of 28-day compressive strength and the mechanical and physical properties of beams under the three-point loading test were compared with test beams (beams with 0% MSF dosage). The findings such as maximum load bearing capacity, energy absorption capacity, ductility and maximum displacement value of the MSF contribution were studied with the help of the displacement (mm) graphs formed at the midpoint of the load (ton)-beam obtained by the three-point loading experiment. During the experiment, the behavior of beams under increasing load was recorded and load crack formations were interpreted.

Key Words : Ductility, polypropylene fiber, energy absorption capacity, beam loading test, crack formation, rupture pattern, synthetic fiber

Page Number :104

Supervisor : Dr. Lecturer Selçuk KAÇIN

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez konusunun belirlenmesinde, araştırılması, deney uygulamaları ve tez yazımı sırasında sahip olduğu bilgi birikimi, tecrübesi ve hoşgörüsü ile çalışmaya yön veren ve her türlü yardımı esirgemeyen saygıdeğer danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Selçuk KAÇIN'a sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım sırasında laboratuvar kullanımı ve beton üretimi konusunda desteklerini esirgemeyen sayın hocam Prof. Dr. Umur Korkut Sevim ve asistanı sayın hocam Arş.Gör. Murat ÖZTÜRK'e sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmamızın başından sonuna kadar benimle birlikte çalışan ve her türlü yardım ve desteklerini esirgemeyen başta Osman Furkan ÖNGÜN, Ali Mert DÖRÜCÜ ve Ali Eren GÖĞEBAKAN olmak üzere 4. Sınıf lisans öğrencisi arkadaşlarıma, yükleme deneyinin başından sonuna kadar bilgisi ve her türlü yardımıyla çalışmama yardımcı olan yüksek lisans öğrencisi Osman BAYRAK, Mesut AYDIN, Ezgi GÜNEŞ ve Eren Birkan YAMAN ve aynı şekilde deney sırasında ve tez yazım aşamasında bilgi paylaşımı için doktora ve yüksek lisans öğrencisi diğer arkadaşlarıma en içten teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmamda malzeme desteği sağlayan Forta Ferro firmasına teşekkür ederim.

Ayrıca eğitim ve sosyal hayatımda benden desteğini bir an olsun esirgemeyen biricik annem Elmas SOYALAN ve canım babam Ahmet SOYALAN'a en içten saygı ve şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	v
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	x
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	4
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	19
3.1.Beton Karışımında Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri.....	19
3.2.Beton Karışımlarının Hazırlanması.....	21
3.3.Deney Karışımlarının Hazırlanması ve İsimlendirilmesi.....	26
3.4. Üç Noktalı Yükleme Deneyi	30
4. BULGULAR.....	33
4.1. 28 Günlük Basınç Dayanımı	33
4.2. Üç Noktalı Yükleme Deneyi	35
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	92
KAYNAKLAR	95
ÖZGEÇMİŞ	102
DİZİN.....	103

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1.CEM I-42,5/R tipi portland çimentosunun kimyasal özellikleri	19
Çizelge 3.2. MSF teknik özellikler	21
Çizelge 3.3.Beton karışımlarının isimlendirilmesi	22
Çizelge 3.4. Beton karışımlarında kullanılan malzemeler ve miktarları	23
Çizelge 3.5. (Devam) Beton karışımlarında kullanılan malzemeler ve miktarları	24
Çizelge 3.6.Kirişlerin isimlendirilmesi	30
Çizelge 4.1.Küp numunelerin 28 günlük basınç dayanımı	35
Çizelge 4.2. Şahit1 üç noktalı yükleme deneyi detayları	37
Çizelge 4.3. Şahit2 üç noktalı yükleme deneyi detayları	47
Çizelge 4.4. 04K1 üç noktalı yükleme deneyi detayları	57
Çizelge 4.5.04K2 üç noktalı yükleme deneyi detayları	65
Çizelge 4.6. 06K1 üç noktalı yükleme deneyi detayları	72
Çizelge 4.7. 06K2 üç noktalı yükleme deneyi detayları	79
Çizelge 4.8. Kirişlere ait deneysel bulgular	88

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. a) CEM I-42,5 PÇ, b) 0-4 mm agrega, c) 4-11 mm agrega	19
Şekil 3.2.Makro sentetik fiber lif (MSF)	20
Şekil 3.3. Beton karma mikseri ile beton karışımlarının hazırlanması	21
Şekil 3.4.Şahit beton karışımı	22
Şekil 3.5.04K beton karışımı	23
Şekil 3.6.06K beton karışımı	23
Şekil 3.7.Beton karışımına MSF eklenmesi.....	24
Şekil 3.8.150X150X150 mm küp numunelerin hazırlanması.....	25
Şekil 3.9.Küp numunelerin kalıptan çıkarılıp kür havuzuna bırakılması	25
Şekil 3.10. Küp numunelerin 28 günlük basınç dayanım testi	26
Şekil 3.11. Kirişlerin boyutları ve donatı düzeni	26
Şekil 3.12.Donatıların hazırlanması.....	27
Şekil 3.13.Yağlanan kalıplara donatıların yerleştirilmesi.....	27
Şekil 3.14. Betonun kalıplara yerleştirilmesi.....	27
Şekil 3.15.Kirişleri taşıyabilmek için yerleştirilen kancalar	28
Şekil 3.16.Beton dökümü sonrası kirişler	28
Şekil 3.17.Kalıpların sökülmesi.....	29
Şekil 3.18.28 günlük kür işlemi sonrası kirişlerin durumu	29
Şekil 3.19.Yük çerçevesi.....	30
Şekil 3.20.Yük hücresinin kiriş üzerine yerleştirilmesi	31
Şekil 3.21.Deplasman ölçerin konumu	31
Şekil 3.22. Üç noktalı yükleme deneyi ve verilerin toplanması	32
Şekil 4.1.Şahit betondan alınan küp numunelerin 28 günlük basınç dayanımı testi sonrası durumları.....	33

Sayfa

Şekil 4.2.04K betondan alınan küp numunelerin 28 günlük basınç dayanımı testi sonrası durumları.....	34
Şekil 4.3.06K betondan alınan küp numunelerin 28 günlük basınç dayanımı testi sonrası durumları.....	34
Şekil 4.4.Küp numunelerin 28 günlük basınç dayanımları (%).....	35
Şekil 4.5.a)Yükleme başlamadan önce Şahit1 kirişi, b)Güç tükenmesine ulaştığında Şahit1 kirişi	36
Şekil 4.6. Şahit1 kirişi; 1)6-8 ton yük aralığında, 2)8-12 ton yük aralığında, 3)12-12,38 ton yük aralığında, 4)12,38-12 ton yük aralığında.....	40
Şekil 4.7. Şahit1 kirişi; 5)12-11 ton yük aralığında, 6)11-10,80 ton yük aralığında, 7)10,80-10,75 ton yük aralığında, 8)10,75-10 ton yük aralığında.....	41
Şekil 4.8.Şahit1 kirişi; 9)10-8,75 ton yük aralığında, 10)8,75-8 ton yük aralığında,11)8-7,75 ton yük aralığında, 12)7,75-7,4 ton yük aralığında.....	42
Şekil 4.9.Şahit1 kirişi; 13)7,4-6,27 ton yük aralığında	43
Şekil 4.10.Şahit1 kirişinin arka yüzü	43
Şekil 4.11. Şahit1 kirişinin ön yüzü	44
Şekil 4.12.Şahit1 kirişinin yük-kirişin orta noktasındaki yer değiştirme grafiği.....	45
Şekil 4.13.a)Yükleme başlamadan önce Şahit2 kirişi, b)Güç tükenmesine ulaştığında Şahit2 kirişi	46
Şekil 4.14. Şahit2 kirişi; 1)5-7 ton yük aralığında, 2)7-8 ton yük aralığında, 3)8-9 ton yük aralığında, 4)9-10 ton yük aralığında.....	51
Şekil 4.15. Şahit2 kirişi; 5)10-10,75 ton yük aralığında, 6)10,75 ton maksimum yük taşıma kapasitesi 7)10,74-10,5 ton yük aralığında, 8)10,5-10 ton yük aralığında	52
Şekil 4.16. Şahit2 kirişi; 9)10-9 ton yük aralığında	53
Şekil 4.17. Şahit2 kirişinin arka yüzü	53
Şekil 4.18. Şahit2 kirişinin ön yüzü	54
Şekil 4.19.Şahit2 kirişinin yük-kirişin orta noktasındaki yer değiştirme grafiği.....	55

Sayfa

Şekil 4.20. a)Yükleme başlamadan önce 04K1 kirişi, b)Güç tükenmesine ulaştığında 04K1 kirişi	56
Şekil 4.21. 04K1 kirişi; 1)10-12 ton yük aralığında, 2)12-12,54 ton yük aralığında, 3) 12,54 ton maksimum yük taşıma kapasitesi 4)12,54-11,5 ton yük aralığında.....	60
Şekil 4.22. 04K1 kirişi; 5)11,5-10 ton yük aralığında, 6)10-8 ton yük aralığında 7)8-6 ton yük aralığında	61
Şekil 4.23. 04K1'in arka yüzü	62
Şekil 4.24. 04K1 kirişinin ön yüzü	62
Şekil 4.25. 04K1'in yük-kirişin orta noktasındaki yer değiştirme grafiği	63
Şekil 4.26. a)Yükleme başlamadan önce 04K2 kirişi, b)Güç tükenmesine ulaştığında 04K2 kirişi	64
Şekil 4.27. 04K2 kirişi; 1)10-11 ton yük aralığında, 2)11,089 ton maksimum yük taşıma kapasitesi, 3) 11,089-10,75 ton yük aralığında, 4)10,75-10,6 ton yük aralığında, 5)10,6-6 ton yük aralığında.....	68
Şekil 4.28. 04K2 kirişinin arka yüzü.....	69
Şekil 4.29. 04K2 kirişinin ön yüzü	70
Şekil 4.30. 04K2'in yük-kirişin orta noktasındaki yer değiştirme grafiği	70
Şekil 4.31. a)Yükleme başlamadan önce 06K1 kirişi, b)Güç tükenmesine ulaştığında 06K1 kirişi	71
Şekil 4.32. 06K1 kirişi; 1)10-12 ton yük aralığında, 2)12-14,682 ton yük aralığında, 3) 14,68 ton maksimum yük taşıma kapasitesi, 4)14,68-14,5 ton yük aralığında, 5)14,5-9 ton yük aralığında.....	75
Şekil 4.33. 06K1'in arka yüzü	76
Şekil 4.34. 06K1 kirişinin ön yüzü	77
Şekil 4.35.06K1'in yük-kirişin orta noktasındaki yer değiştirme grafiği	77
Şekil 4.36. a)Yükleme başlamadan önce 06K2 kirişi, b)Güç tükenmesine ulaştığında 06K2 kirişi	78
Şekil 4.37. 06K2 kirişi; 1)9-11 ton yük aralığında 2) 11-12,50 ton yük aralığında, 3) 12,50-13,20 ton yük aralığında, 4) 13,20-13,87 ton yük aralığında	83
Şekil 4.38. 06K2 kirişi; 5) 13,87 ton maksimum yük taşıma kapasitesi 6) 13,87-13 ton yük aralığında, 7) 13-8 ton yük aralığında.....	84

	Sayfa
Şekil 4.39. 06K2'in arka yüzü	85
Şekil 4.40. 06K2 kirişinin ön yüzü	85
Şekil 4.41.06K2'in yük-kirişin orta noktasındaki yer değiştirme grafiği	86
Şekil 4.42. a)Şahit1 kirişi, b)Şahit2 kirişi, c)04K1 kirişi, d)04K2 kirişi, e)06K1 kirişi, f)06K2 kirişi.....	87
Şekil 4.43. Tüm kirişlerin yük-kirişin orta noktasındaki yer değiştirme grafiği	87
Şekil 4.44. Kirişlerin maksimum yük taşıma kapasitesi (%).....	89
Şekil 4.45. Kirişlerin enerji yutma kapasiteleri	90
Şekil 4.46. Kirişlerin süneklik katsayısı (%)	90
Şekil 4.47. Kirişlerin yaptığı maksimum deplasman (%).....	91

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

dm^3

kg/m^3

mm

t.mm

ρ

ρ'

Açıklamalar

Desimetre küp

Kilogram/metre küp

Milimetre

ton. Milimetre

Kirişte çekme donatısı oranı

Kirişte basınç donatısı oranı

Kısaltmalar

ASTM

PÇ

TS500

Açıklamalar

Amerikan Malzeme ve Test Derneği

Portland Çimentosu

Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları

1.GİRİŞ

Beton su, çimento ve agregadan oluşan kompozit bir malzemedir. Yol, konut, tünel, köprü, baraj ve su yapıları gibi birçok alanda özellikle taşıyıcı elemanların tasarımında çokça tercih edilen ve kullanım alanı giderek genişleyen önemli bir yapı malzemesidir. Fakat fazlaca tercih edilmesine rağmen her özelliğiyle mükemmel bir malzeme değildir. Yapıların maruz kaldığı deprem yükü, rüzgâr yükü, donma- çözülme gibi olumsuz etkilere karşı beton tek başına dayanım sağlamakta yetersiz kalmaktadır. Bunun en belirgin örneği çekmeye karşı mukavemetinin ihmal edilebilecek kadar az olmasıdır. Bu mukavemeti elde edebilmek için taze betona demir donatılar ilave edilmektedir. Betonun enerji yutma kapasitesi, süneklik, çekme dayanımı, yorulma dayanımı, aşınma dayanımı, donma- çözülme karşı dayanımı, çatlak oluşumu gibi özelliklerini iyileştirmek için geçmişten günümüze deneysel çalışmaların ışığında çeşitli katkı malzemelerinin betonun davranışına etkileri araştırılmıştır ve hala da araştırılmaktadır. Betonun kullanımının yaygınlaşması 1900' lü yıllarda hazır beton üretimini başlatırken, ilerleyen teknoloji sayesinde yukarıda saydığımız özelliklerin iyileştirilmesi adına beton karışımlarında kimyasal ve mineral katkı malzemeleri kullanılmaya başlanmıştır. Bu süreci beton karışımlarında lif ve daha birçok malzeme kullanımı takip ederek yüksek performanslı betonlar üretilmeye başlanmıştır (Karakule, Akakın ve Uçar, 2004).

Yapılar, üretimine başlandığı andan kullanım ömrü nihayet bulana dek birçok yük ve olumsuz etkiye maruz kalmaktadır. Yukarıda bahsettiğimiz betonun enerji yutma kapasitesi, süneklik, çekme dayanımı, yorulma dayanımı, aşınma dayanımı, donma- çözülme karşı dayanımı, çatlak oluşumu gibi özellikleri iyileştirilmediği takdirde ne yazık ki yapılarda büyük çatlaklar, kalıcı deformasyonlar ve taşıyıcı sistemin tamamen çökmesi gibi sorunlar ortaya çıkmaktadır.

Bir mühendis olarak amacımız yapının maruz kaldığı olumsuz etkilere karşı durabilitesini arttırmak, deformasyonlara karşı direnç sağlamak ve olası bir aşırı yükleme durumunda tam göçmeyi önlemek, böylelikle can kaybını minimuma indirecek yapılar tasarlamaktır. Ne yazık ki betonun içindeki çelik donatı tek başına bu görevi tamamlamaya yeterli değildir ve aynı şekilde C30, C35 gibi yüksek basınç dayanımlı betonlar kullanmak da sorunlarımızı çözmekte yetersizdir. Abaeian, Behbahani ve Moslem (2018); bu konuyla alakalı "Betonun basınç dayanımı ne kadar fazlaysa, beton o kadar kırılğan hale gelir ve

artan basınç mukavemeti ile çekme mukavemeti artmaz” diyerek çekme mukavemetini iyileştirebilmek için deneyler yapmışlardır.

Literatür incelendiğinde betona özellikle sünek bir davranış kazandırabilmek ve enerji yutma kapasitesini arttırabilmek için taze betonun içerisine bitkisel veya sentetik lifler ilave edildiği görülmüştür. Kullanılan bazı lif türlerini şu şekilde sıralamak mümkündür; polipropilen lif (de Alencar Monteiro, Lima ve de Andrade Silva, 2018; Hüsem ve Demir, 2013; Noushini, Hastings, Castel ve Aslani, 2018), poliamid lif (Guler, 2018) bazalt lif (Özgen, 2018; Zhang, Wang, Bai, Addae ve Neupane, 2019), çelik lif (de Alencar Monteriro ve diğerleri, 2018; Gülşan, 2019; Hüsem ve diğerleri, 2013) makro plastik lif (Yin, Tuladhar, Shi, Combe, Collister ve Sivakugan, 2015) ve makro sentetik lif (Babafemi, du Plessis ve Boshoff, 2018; Buratti, Mazzotti ve Savoia, 2011; de Alencar Monteriro ve diğerleri, 2018; Erdem, Dawson ve Thom, 2011; Zhang ve diğerleri, 2019), organik lif (Yalçın, 2007). Literatürde taze betona lif ekleyerek güçlendirme çalışmalarının yanı sıra, mevcut ve hasarlı yapıların güçlendirilebilmesi için de harici yöntemler ve malzemeler araştırılmıştır. Bu amaçla kullanılan güçlendirme elemanlarından bazıları ise şöyledir; karbon fiber takviyeli polimer (CFRP) (Bulut, 2009; Mert, 2007; Tanarşlan, 2007; Özcan ve Yöntem, 2005) , cam elyaf takviyeli polimer (GFRP) (Ashour, 2006; Saadatmanesh ve Ehsani, 1991; Ogin, Smith ve Beaumont, 1985; Yost, Gross ve Dinehart, 2001), lif takviyeli polimer (FRP) (Dalyan, 2019; Kaşıkçı, 2018; Sümer, 2010), çelik levha (Arabacı, 2018). Tüm bu malzemelerle gevrek kırılmaları engellemek, yapılara sünek davranış kazandırmak, taşıyıcı elemanların enerji yutma kapasitesini arttırmak, deformasyonları minimuma indirmek, basınç ve çekme dayanımını arttırmak, mevcut ve hasarlı yapıların güçlendirme çalışmalarını yapabilmek, plastik rötre çatlaklarını azaltmak veya engellemek, betonu dış etkenlere karşı korumak gibi betonun daha birçok özelliğini iyileştirmek hedeflenmektedir.

Bu çalışmada kopolimer bir yapıya sahip olan makro sentetik fiber (MSF) lifin farklı oranlarda betona katıldığında betonun davranışları üzerindeki etkisi incelenmiştir. Üç farklı oranda MSF katkılı beton hazırlanarak, her oran için iki adet olmak üzere toplam altı adet kiriş üretilmiştir. Hazırlanan kirişlerde yalnızca MSF oranı değişken olarak kabul edilmiş olup diğer tüm parametreler aynı tutulmuştur. Kirişler üç noktalı yükleme deneyine tabi tutularak deney sonrasında elde edilen grafikler, gözlemler ve sayısal veriler yardımıyla MSF katkısının varlığının ve artan dozajının kirişlerde çatlak oluşumu, kırılma düzeni,

enerji yutma kapasitesi ve maksimum yük taşıma kapasitesi gibi özellikleri nasıl etkilediği yorumlanmıştır.



2.ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Birincioğlu (2016), etriye aralığı ve çelik lif katkı malzemesinin değişken olarak ele alınmasının betonun süneklik, kesme kuvveti çatlak gibi özelliklerini nasıl etkilediğini incelemiştir. Deneyde 15x23x140 cm ölçülerinde, çekme ve basınç donatısı 2Φ16 olan, etriye aralığı 20 cm ve 30 cm şeklinde değişen, %1 ve %2 oranlarında çelik lif katkısı içeren kirişler kullanmıştır. Kirişlerdeki yer değiştirme miktarını açıklık ortasında ve mesnetlerden 250 mm uzaklıktaki iki noktada LVDT yardımıyla ölçülmüştür. Etriye aralığı ve çelik lif oranının değişken olarak ele alındığı deneyde sonuçlar gösteriyor ki; etriye aralığı düşürülüp çelik lif oranı arttırılırsa kirişin kesme mukavemetinde artış gözleniyor ve enine donatıyı azaltıp çelik lifi arttırarak betonarme kirişin sünekliği artmış oluyor.

Karabulut (2017); sentetik lif ile üretilen ultra yüksek dayanıma sahip betonun eğilme davranışı 14 farklı numune üzerinden test etmiştir. 100X150X1500 mm boyutlarındaki kiriş numunelerinde 2 farklı donatı oranı (2Φ10 ve 2Φ14), 2 farklı lif tipi (bazalt ve poliamid), 3 farklı lif oranı (%0,5, %1,0 ve %1,5) kullanmaktadır. Düşük donatı oranında (2 Φ10) bazalt lifinin miktarının artışıyla sünek davranış artmıştır. Yüksek donatı oranında (2 Φ14) bazalt lifi artışının sünek davranışa etkisi olmamıştır. Poliamid lif kullanılması durumunda düşük donatılı betonda lif miktarının artışıyla yük taşıma kapasitesinin arttığını belirtirken, yüksek donatılı (2Φ14) betonda ancak en yüksek lif oranı eklendiğinde yük taşıma kapasitesinde artış görüldüğünü belirtmiştir. İki katkı maddesi birbiriyle karşılaştırıldığında; her ikisinin de betonun rijitliğini arttırdığı, düşük donatı oranına (2Φ10) sahip betonlarda sünekliği arttırdığı, poliamid lifin düşük donatı oranına (2Φ10) sahip betonlarda bazalt lifine oranla taşıma gücü kapasitesinde daha fazla artış sağladığı gibi birçok sonuca ulaşmıştır.

Çetinkaya, Kaplan ve Şenel (2011), yaptıkları deneysel çalışmada; FRP malzemelerle betonun onarımı ve güçlendirilmesi yapılmıştır. Karbon lifli polimer (CFRP) ile 4 adet 150X250X2700 mm boyutlarında kiriş numunesi hazırlanmış ve yük yer değiştirme eğrileri elde edilerek numunelerin yük davranışları gözlemlenmiştir. Yapılan çalışmanın sonucunda CFRP malzemesiyle yapılan güçlendirmenin betonarme kirişlerin taşıma gücüne önemli derecede katkı sağladığı görülmüştür.

Cucchiara yaptığı çalışmada; betonarme kirişlere yapılan çelik lif takviyesinin çatlak genişliğini azalttığını vurgulamıştır. Kirişlerde enine donatı ve çelik lif kullanılması durumunda; enine donatının kesitin şekil değiştirme özelliğini arttırdığını, enine donatı kullanılan kirişlerin harcına çelik lif katıldığında kiriş kesme dayanımının olumu etkilendiğini ve çelik lif katkı malzemesinin enine donatı gibi kesme kuvvetine karşı mukavemet sağlayabileceğini belirtmiştir.

Sim, Park ve Moon (2005), çelik lifli ve polipropilen lifli betonların yol kaplamalarında kullanılabilirlik bakımından en elverişli betonlar olduğu ve vakum uygulaması ile de yüzey özelliklerinin büyük ölçüde iyileştiğini belirtmişlerdir. Bu malzemelerin yanında bazalt liflerinin yüksek çekme ve kopma dayanımında, kimyasal madde etkilerine karşı dayanımda, darbe yükleri ve yangına dayanımda oldukça iyi olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca bazalt liflerin maliyeti çelik lif ve polipropilen life göre daha düşüktür. Bununla birlikte yangın sırasında açığa çıkan zararlı gazlar da daha azdır. Bu gibi avantajlar göz önüne alındığında bazalt liflerin güçlendirme malzemesi olarak kullanılabilir olduğu sonucuna varmışlardır.

Yazgı (2007); yapmış olduğu çalışmada basit mesnetlenmiş dikdörtgen kesitli kirişlerin eğilme yönünden cam ve karbon liflerle güçlendirilmesini araştırmıştır. 16x20x220 cm boyutlarında, S420 yapı çeliği ve C20 betonu kullanılan 9 adet betonarme kirişe sargı yöntemiyle CFRP ve GFRP ile güçlendirme işlemi uygulanmıştır. Kirişlere dört noktali yükleme yapılmıştır ve aynı zamanda LVDT (Lineer Değişken Diferansiyel Transformatörler) ile de kirişlerdeki yükleme altındaki değişimler veri kaydediciye aktarılmıştır. Çatlak oluşumu, kırılma, yer değiştirmenin değerlerinin ölçülmesi sonucunda CFRP ve GFRP ile güçlendirme yönteminin başarılı olduğu ve maliyet bakımından ise cam liflerin daha uygun olduğu anlaşılmıştır.

Şengün (2016), yaptığı çalışmada çelik lifsiz ve %2 oranında çelik life sahip enine donatısız kirişlerin CFRP ile güçlendirme sonucunda davranışlarını incelemiştir. Güçlendirmede kullanılacak CFRP şerit aralıkları Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY 2007)'deki koşulları sağlamamaktadır. 23X15X140 cm ölçülerinde etriyesiz kirişler kullanılarak deneyler yapılmıştır. Mesnetlerden biri sabit diğeri hareketli ve açıklık ortasından yükleme hızı 30 µm/s olacak şekilde tekil yükleme yapılarak yer değiştirme kontrolü sağlanmıştır. Bu parametreler tüm kirişlerde aynıdır.

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda; CFRP'nin kesme dayanımını arttırdığı, DBYBHY 2007 koşullarını sağlamayan güçlendirme işleminin kirişlerin dayanım ve sünekliliğini arttırdığı, şerit genişlikleri arttıkça kirişlerin taşıma gücünün arttığı görülmüştür.

Okay ve Engin (2009), çelik lif katkısının çatlaklar ve taşıma gücü üzerindeki etkisini, 150X200X1900 mm boyutlarında kirişlerle yapılan çalışmada incelemişlerdir. Tüm kiriş numunelerinin boyuna donatı oranı $\rho = 0,0067$ (4 Φ 8), enine donatı oranı $\rho = 0,00586$ ve son olarak enine donatı aralığı test bölgesi dışında 50 mm, test bölgesinde 200 mm olacak şekilde tasarım yapılmıştır. Boyutları ve özellikleri verilen bu kiriş numunelerine %0,3 ve %0,6 olmak üzere iki farklı oranda çelik lif katkısı ilave edilmiştir. Böylelikle çelik lif katkısı hacminin çatlak ve taşıma gücüne etkisi gözlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; %0,3 hacimde çelik lif katkısının taşıma kapasitesine kayda değer bir etkisi gözlemlenmezken %0,6 hacimde eklenen çelik lifin taşıma kapasitesine kayda değer ve olumlu bir etki ettiği görülmüştür, çelik lif katkısı arttıkça çatlaklar artmakta, ortalama çatlak genişlikleri ise azalmaktadır.

Çivici (2006), çelik lif kullanarak bu malzemenin betonun enerji yutma kapasitesini nasıl etkilediğini incelemiştir. Çalışmasında, 150X150X500 mm olan 5 adet lifli 5 adet liffsiz kiriş numuneleri 3 noktalı yükleme deneyine tabi tutularak yük sehim eğrilerini elde etmiştir ve bu eğrilerin altında kalan alanları hesaplayarak enerji yutma kapasitesine ulaşmıştır. Lif oranını sabit tutarak ürettiği beş adet lifli numuneye %1,5 oranında çelik lif ilave etmiştir. Yaptığı deneysel çalışmada, çelik lif ilavesinin kirişin enerji yutma kapasitesi ve bununla alakalı diğer kavramlar üzerinde olumlu etkiye sahip olduğu sonucuna ulaşmıştır. Çalışma sırasında üretmiş olduğu lifli ve liffsiz beton numuneleriyle yaptığı çökme deneyinde lifli betonlarda çökme değerinin azaldığını yani işlenebilirliğin zorlaştığı sonucunu elde etmiştir.

Altun, Yılmaz, Durmuş ve Arı (2006); 300X300X2000 mm boyutlarında 9 adet betonarme kiriş üzerinde çelik lif katkısının basit eğilme ve patlama yüklemesi karşısındaki davranışlarını incelemişleridir. Basit eğilme deneyine maruz kalan kirişlere ilave edilen çelik lif katkısı dozajları her dozaj miktarından üçer adet kiriş üretilmek üzere şöyledir; 0 kg/m³, 30 kg/m³ ve 60 kg/m³. Betonarme kirişler 28 gün kür işlemi gördükten sonra yük çerçevesine alınarak yükleme deneyine tabi tutulmuşlardır. Yapılan yükleme deneyi sonrasında elde edilen yük-yer değiştirme grafiklerine bakılarak lif katkısının taşıma

gücüne olumlu katkı sağladığı sonucuna ulaşılmıştır, bu etkinin sebebi olarak, çelik lif katkısının düzenli çatlak oluşumu sağlaması gösterilmiştir. Ayrıca yapılan yükleme deneyi sonrasında elde edilen grafikler yardımıyla hesaplanan enerji yutma kapasitesinde çelik lif katkısının artmasıyla birlikte artış olduğu ve çelik lif katkısının betonarme kirişin sünekliğini de olumlu etkilediği sonucuna varılmıştır.

Okay, Özden ve Engin (2004/18); beton hacminin %0,3 ve %0,6'sı kadar iki farklı oranda çelik lif ilavesini ve farklı boy/çap oranlarındaki çelik lif parametrelerini değişken olarak belirlemişlerdir. Ürettikleri 150X200X1900 mm ölçülerindeki betonarme kirişlerin tasarımında 4Φ8 mm ve 4Φ12 mm donatı kullanmışlardır, etriye çapı Φ8 mm olarak seçilmiştir ve etriyelerin merkezden merkeze aralarındaki uzaklık 200 mm olacak şekilde donatılar tasarlanmıştır. Üretilen bu kirişler 3 noktalı yükleme deneyine tabi tutulmuştur ve sonuçlar incelenmiştir. Deney sonunda uygun miktar ve uzunlukta çelik lif katkısının enerji yutma kapasitesinde ciddi artış sağladığı görülmüştür. Çelik lif katkısının kirişlere sünek davranış kazandırdığı gözlemlenmiştir. Çatlak oluşumları incelendiğinde Çelik lif katkılı kirişlerde oluşan çatlak sayısının arttığı fakat genişliklerinin azaldığı sonucu elde edilmiştir.

Aryan (2014); yaptığı deneysel çalışmada betonun içerisine katkı malzemesi olarak neredeyse tüm plastiklerin ham maddesi olan bir polimeri; polipropilen lifi kullanmıştır. Lif takviyeli ve lif takviyesiz kirişleri 3 noktalı yükleme deneyine tabi tutarak elde edilen sonuçları birbiriyle kıyaslayarak lifin kirişin performansını nasıl etkilediğini incelemiştir. Çalışmada iki farklı oranda lif katkısı kullanılmıştır, bu oranlar; 600 g/m³ ve 840 g/m³'tür. Kirişler 200X300X2000 mm boyutlarında üretilmiştir. 2 adet lif katkısız kiriş, 600 g/m³ orana sahip lifli kirişten 3 adet ve 800 g/m³ lif oranına sahip kirişten 3 adet üretilmiştir. Kirişlerin donatıları altta 3Φ12 eğilme donatısı ve montaj donatısı üstte 2Φ12 olacak şekilde tasarlanırken, enine donatı çap ve aralığı da Φ8 / 150 olarak uygulanmıştır. Yapılan çalışma sonrasında elde edilen enerji yutma kapasiteleri süneklik katsayıları karşılaştırıldığında, polipropilen lif katkı miktarının artışıyla birlikte bu değerlerin de arttığı görülmüştür. Polipropilen lif katkılı betonların deprem performansının daha iyi olacağı sonucuna varılmıştır.

Akkaş, Alpaslan, Arabacı ve Başıyigit (2010); polipropilen lif katkılı yarı hafif betonlar üzerinde deneysel bir çalışma yapmışlardır. Çimento ağırlığının %6'sı kadar polipropilen

lif kattıkları betonlarla katkısız betonların 7 ve 28 günlük basınç dayanımlarını karşılaştırmışlardır. Ürettikleri beton numuneleri taze haldeyken polipropilen katkısının betonun işlenilebilirliğini etkilediği sonucuna ulaşmışlardır. 7 günlük ve 28 günlük basınç dayanımları karşılaştırıldığında her iki durumda da lif katkılı betonların basınç dayanımı daha fazla çıkmıştır. Basınç deneyi sırasında katkısız numunelerde parçalanma ve dağılmalar meydana gelirken lif katkılı numunelerde ince çatlaklar oluştuğu ve çatlak oluşumuna rağmen yük taşımaya devam ettiğini gözlemlemişlerdir.

Yaprak ve Karacı (2009); yaptığı çalışmada polipropilen lif katkısının betonun sıcaklığa karşı davranışının üzerindeki etkilerini incelemiştir. 0,9, 1,35 ve 1,8 kg/ m³ polipropilen lif katkılı beton numuneleri hazırlamıştır. Hazırladığı beton numunelerini 28 günlük dayanımlarını kazandıktan sonra 20, 400, 600 ve 800 °C sıcaklığın etkisiyle test etmiştir. Çalışma sonunda polipropilen lif katkısının 0,9 kg/m³ olduğunda sıcaklığa karşı direnci bir miktar arttırdığı görülürken 1,35 ve 1,8 kg/m³ oranında ilave edilen polipropilen lifin bu direnci düşürdüğü gözlemlenmiştir.

Topçu, Demirel ve Uygunoğlu (2017); yaptıkları çalışmada betonun içerisine polipropilen lif ilave ederek; bu malzemenin betonun su emme oranı, elastisite modülü, eğilme dayanımı, basınç dayanımı gibi özellikleri üzerinde ne gibi etkisi olduğu araştırılmıştır. Bu amaçla katkısız betonlar ve hacimce %0,6, %0,8, %0,9 ve %1,1 oranlarında polipropilen katkılı betonlar üretmiştir. Numune boyutları ise; 40X40X160 mm olacak şekilde tasarlanmıştır. Basınç dayanımı testi sonuçları incelendiğinde polipropilen lif katkısının basınç dayanımına hem olumlu hem de olumsuz etkileri olduğu sonucu elde edilmiştir. Bunun sebebi olarak; lifin betonun işlenilebilirliğine olan etkisi ve betonun içerisindeki dağılım ve yönelimi olabileceği düşünülmüştür. Polipropilen lif katkısının eğilme dayanımına olumlu yönde katkı sağladığı sonucuna varılmıştır. Su emme oranları karşılaştırıldığında polipropilen lif katkılı betonların su emme oranları çok az miktarda artmıştır. Bu artışın sebebi olarak; polipropilen liflerin betonun içinde oluşturduğu boşluklar olduğu ve aynı boşlukların betonun basınç dayanımının da düşük çıkmasına neden olduğu sonucuna varılmıştır. Elastisite modülüne olan etkisi ise basınç dayanımına olan etkisiyle benzer çıkmıştır. Bunun da nedeninin liflerin beton için dağılım ve yönelimlerinden kaynaklı olduğu sonucuna varılmıştır.

Kozak (2003); yaptığı araştırma çelik lifli betonların kullanım alanlarıyla ilgili bilgi vermektedir. Kozak (2003); bu çalışmada çelik lifli betonların; depreme dayanıklı yapıların inşasında, yol döşemelerinde, kolon-kiriş birleşim yerlerinde, büyük sıcaklık farklarına maruz kalan yapılarda, hidrolik yapılarda, beton, betonarme borular ve altyapı malzemeleri, fabrika-depo ve hangar döşemelerinde, havaalanı kaplamalarında, liman kaplamalarında, püskürtme beton (Shotcrete) uygulamalarında, ince kabuk yapılarda, endüstri yapılarında, şev stabilizesinin sağlanmasında, çok yüksek mukavemetli betonlarda, patlamaya karşı dayanıklı yapılarda kullanıldığını belirtmiştir.

Can, Durmuş, Subaşı, Yıldız ve Arslan (2009); çelik lif ve polipropilen lif katkısının beton yol kaplamalarının aşınmaya karşı dayanımı üzerinde nasıl etkileri olduğunu araştırmışlardır. Kalıp boyutlar 1000X2000 mm ve kalınlığı 200 mm olan numuneler için 60 uzunluk/çap oranına sahip çelik teller ve 900 g/m³ dozajda polipropilen lifler katkı malzemesi olarak kullanılmıştır. Üretilen beton bloklarından 100x200 mm boyutlarında numunelere alınarak ASTM C 944-99'a göre aşınma dayanımı testleri yapılmıştır. Deneysel çalışma sonunda numunelerin 28 günlük yüzey sertliği karşılaştırıldığında çelik lifli beton numunesinin yüzey sertliğinin en fazla olduğu onu polipropilen lifli betonun takip ettiği ve en düşük değer referans yani katkısız betonda görüldüğü sonucu elde edilmiştir. 28 günlük basınç dayanımı sonuçları karşılaştırıldığında, çelik lif katkılı betonda en yüksek değer okunduğu ve onu polipropilen katkılı betonun takip ettiği, referans betonun ise diğerlerine göre daha az dayanıma sahip olduğu sonucu elde edilmiştir. Aşınma dayanımı sonuçları karşılaştırıldığında polipropilen lif katkılı betonun ve referans betonun birbirinden farksız, çelik lif katkılı betonun ise en iyi aşınma değerine sahip olduğu sonucu elde edilmiştir.

Koç ve Birinci (2012); lif katkısının betonun tokluk ve kırılma enerjisini oldukça etkilediğini belirtmiştir. Yüksek elastisite modülüne sahip çelik lifin enerji yutma kapasitesini arttırdığını belirtmişlerdir. Lif katkılı betonlarda katkısız betonlara göre daha fazla çatlak oluştuğunu bu çatlaklar sayesinde enerjinin dağıldığını ve tek bir yerde birikmeyle derin ve kalın çatlaklar oluşmasını engellediğini belirtmişlerdir. Deneysel çalışmalarında boy/kalınlık oranı 70 olan çelik lifler beton ağırlığının %3'ü oranında katkı olarak kullanılmıştır. Deney sonrasında yapılan numuneler incelendiğinde çelik lifli numunelerde yükleme sonrasında oluşan çatlakların arasında çelik liflerin gerilerek betonun tamamen ikiye ayrılmasını ve kopmasını önlediği sonucu elde edilmiştir. Katkısız

beton numunelerin hızlı ve gevrek kırılma yaptığı, çelik lif katkıli numunelerin ise daha yavaş ve kontrollü kırılarak daha çok enerji yutma kapasitesine sahip olduğu sonucu elde edilmiştir. Yapılan numunelerin boyutlarında azalma oldukça betonun daha sünek davranış gösterdiği sonucu elde edilmiştir.

Sarı (2013); 150X150X600 mm kesite sahip kiriş numuneler üzerinde 4 farklı lif türünün farklı oranlarda katkı olarak kullanılmasının sonuçlarını incelemiştir. Çalışmasında; çelik lif, naylon lif, bazalt lif ve polipropilen kökenli lifleri farklı oranlarda kullanmıştır. Deney sonunda çelik lif, makro sentetik lif ve mineral lif katkısının elastisite modülünü etkilemediğini tespit etmiştir. Yarma-çekme dayanımları kıyaslandığında büyükten küçüğe doğru sıralaması şu şekilde bulunmuştur; çelik lif, polipropilen kökenli lif, mineral kökenli bazalt lif, makro sentetik lif. Kırılma enerjisi değerlerinde; aynı oranda çelik lif ve makro sentetik lif katkısı karşılaştırıldığı çelik lif katkıli betonda artış gösterdiği sonucu elde edilmiştir. Tüm lif katkılarının yalın betonla kıyaslandığında eğilme dayanımını arttırdığı tespit edilmiştir.

Hasan, Aroz ve Mahmud (2011), makro (yapısal) sentetik lifi betonda katkı malzemesi olarak kullanarak bu malzemenin betonun davranışı üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Dört farklı beton üretilmiştir; bunlardan ilki lifsiz yani şahit beton, diğer üçü farklı oranda makro sentetik lif katkıli betondur. Bu lif oranları ise şöyledir; hacimce %0,33, %0,42, %0,51 oranındadır. Makro sentetik lif katkısının çekme dayanımına etkisini test etmek için 100X100X500 mm boyutlarında kirişler hazırlanmıştır. Basınç dayanımını test etmek için ise 100X100X100 mm boyutlarında küp numuneler alınmıştır.

Küp numunelerle yapılan basınç deneyi sonunda beton içindeki makro sentetik lif oranı arttıkça basınç dayanımında da artış olduğu sonucu elde edilmiştir. %0,33 oranında eklenen makro sentetik lifte %4,19 artış olduğu görülürken bu artış makro sentetik lif oranının %0,51 oranına yükselmesiyle %6,89'a çıkmıştır. Çekme dayanımı testine tabi tutulan küp numuneler incelendiğinde makro sentetik lif katkıli küp numunede yalnızca kılcal çatlaklar olduğu gözlemlenirken lif katkısız kontrol numunesinde parçalanma olduğu gözlemlenmiştir. Kirişlerden elde edilen çekme dayanımları incelendiğinde makro sentetik lif katkısıyla birlikte çekme dayanımının da arttığı görülmüştür. %0,33 oranında lif çekme dayanımını %15,32 arttırırken bu oran lif oranının %0,51'e çıkmasıyla %65,10 oranında artmıştır. Makro sentetik lifin katkı olarak kullanılması betonun özelliklerini

iyileştirmiştir. Kirişlerde aniden kırılmayı engellediği, yük taşıma kapasitesine ulaşıldıktan sonra kontrollü çatlaklar oluşmasını sağlayarak enerji yutma kapasitesini ve betonun sünekliğini arttırdığı sonucu elde edilmiştir.

Altoubat, Karzad, Maalej, Barakat, ve Junaid (2020), makro sentetik lif takviyeli hasar görmüş kirişlerin EB-FRP (harici bağlanmış lif takviyeli şerit polimerler) ile güçlendirilmesinin sonuçlarını incelemiştir. Bu çalışmada EB-FRP ve makro sentetik lifin birlikte kullanıldığında birbirleriyle etkileşimlerinin nasıl olduğu sonucuna da ulaşılmıştır. Bu çalışmada makro sentetik lif betona hacimce % 0,5, % 0,75 ve % 1,0 oranlarında eklenmiştir. Deney sonrasında elde edilen veriler EB-FRP ile yapılan güçlendirme işleminin olumlu sonuçlandığı görülmüştür. EB-FRP ile makro sentetik liflerin etkileşimi incelendiğinde ise bu iki malzemenin kesme kuvvetine karşı birlikte mukavemet sağladıkları sonucu elde edilmiştir.

Tran, Pham ve Hao (2020), çalışmalarında bazalt lifi takviyeli kirişlere 4 farklı lif kombinasyonu ile katkı sağlayarak bu birleşimlerin betonun davranışlarını nasıl etkilediği incelemiştir. Kullanılan lif kombinasyonları sırasıyla şu şekildedir; makro sentetik polipropilen lifler (PF), tek tip makro çelik lifler (SF), PF ve mikro karbon fiberler (CF), SF ve mikro- polivinil alkol lifleri (PVF). SF katkılı betonun davranışları incelendiğinde, SF varlığının betonun çatlama davranışına ve kesme mukavemetine en iyi katkıyı sağladığı sonucuna varılmışlardır. Bu olumlu gelişmenin nedeni olarak bazalt lifi ve SF'nin birbirleriyle malzeme olarak uyumu olduğu ve yapışma kabiliyetlerinin çokluğu olduğunu belirtmişlerdir. PF katkısının kayma mukavemetini SF kadar fazla arttırmasa da %33 oranında arttırdığı sonucu elde edilmiştir. SF ve PVF'nin kombinasyonu ile üretilen betonda kesme mukavemetinin arttığı gözlemlenmiştir. SF ve CF kombinasyonu ile hazırlanan betonun davranışları incelendiğinde bu katkıların da sünekliği olumlu yönde etkilediği sonucunu elde etmişlerdir.

Navas, Navarro-Gregori, Herdocia, Serna ve Cuenca (2018), farklı donatı düzenine sahip kirişlere 10 kg/m^3 dozajında makro sentetik lif ekleyerek bu durumun betonun kayma mukavemetine etkisini araştırmışlardır. Kirişleri hem etriyeli hem de etriyesiz test etmişlerdir. Deney sonrasında makro sentetik lif katkısının sünekliği, enerji yutma kapasitesini ve çatlak oluşumunu olumlu yönde etkilediği belirtilmiştir. Enine donatı kullanılmayan kirişlerde makro sentetik lif ilavesinin betonun çatlak genişliğini ve

sünekliğini bir miktar olumlu etkilediği belirtilmiştir. Makro sentetik lifin enine donatıyla birlikte kullanıldığında bazen enine donatıyla bir sinerji oluşturduğu ve bu durumun betonun davranışını olumlu etkilediği belirtilmiştir.

Yazdanbakhsh, Altoubat ve Rieder (2015), yaptıkları çalışmada makro sentetik lif takviyeli tam ölçekli kirişlerin deneysel ve analitik kayma mukavemetlerini incelemiştir. Analitik yöntem olarak; Fib-MC2010 modeli ve RILEM modeli kullanılmıştır. Çalışma sonunda Fib-MC2010 modelinin makro sentetik lif katkılı kirişlerin kayma mukavemetini hesaplamada olumlu davranış gösterdiği belirtilmiştir. RILEM modelinde ise Fib-MC2010 modeline göre daha sınırlı sonuçlar elde edilmiştir. Bu modelin sonuçlarını yorumlamak için istatistiksel verilere başvurulmuştur.

Deng, Shi, Yin ve Tuladhar (2016), makro poliolefin lif katkısının betona etkilerini yuvarlak determinant panel testi ile incelemiştir. Farklı uzunluğunu ve lif dozajını değişken kabul ederek bu parametlerin betonun dayanımına katkısını araştırmışlardır. Makro poliolefin liflerinin betonun tokluğunu yani enerji yutma kapasitesini çatlak oluşumunu iyileştirdiğini belirtmişlerdir. Lif takviyesi olmayan betonlarda yük taşıma kapasitesi dolduktan sonra kırılma ve bozulma meydana gelirken lif takviyeli betonların yük taşıma kapasitesine ulaştıktan sonra da kontrollü davranış sergilediği ve kırılma yerine çatlak oluşumu gösterdiği belirtilmiştir. Lif dozajının ve lif boyutlarının arttırılmasının betonun davranışına olumlu katkı sağladığı belirtilmiştir.

Kim, Park, Ryu ve Koh (2011), 4 farklı elyaf (lif) kullanarak ayrı ayrı ürettikleri kirişleri 4 noktalı yükleme deneyine tabi tutmuşlardır. Kullandıkları lif türleri şu şekildedir; uzun düz makro lif, iki farklı uzunluk ve yoğunluktaki kancalı çelik lif, mikro lif, çelik lif. Her lif türüyle, hacimce %0,5, %1 ve %1,5 oranlarında lif katkısıyla farklı kirişler üretilmiştir. Lif katkıları kıyaslayabilmek için katkısız kirişler de üretilmiştir. Yapılan yükleme deneyi sonunda makro lif katkısının tokluğu arttırdığı belirtilmiştir. Eğilme performansları ise şu şekilde kıyaslanmıştır; kancalı uzun çelik lif>çelik lif>makro lif>kancalı kısa çelik lif.

Hongbo, Haiyun ve Hongxiang (2020), yaptıkları çalışmada 3 farklı en boy oranına sahip makro polipropilen lif (MPPF) kullanılmışlardır. Kullanılan MPPF'nin en boy oranları 30, 38 ve 43'tür. EN boy oranını değişken kabule ettikleri gibi bir de lif dozajını değişken kabul etmişlerdir. %0,5 ve %0,8 dozajlı MPPF ilave edilerek betonlar hazırlamışlardır.

Çalışmalarında betonun sünekliliğini test edebilmek için üç farklı yöntem kullanmışlardır; dört noktalı yükleme deneyi, 3 noktalı yükleme deneyi ve kare panel yöntemi. Deneysel çalışma bulgularına bakıldığında MPPF'nin betonun içinde hacimce artmasının çökmeyi önemli ölçüde azalttığı sonucuna varmışlardır. Lifin en boy oranındaki artışın ise betonun akışkanlığını çok az değiştirdiğini tespit etmişlerdir. Çelik lif katkılı beton ile 28 günlük basınç dayanımları karşılaştırıldığında MPPF katkılı betonun 28 günlük basınç dayanımının %17 daha az olduğu sonucunu elde etmişlerdir. Kullanılan üç farklı deneysel metotta da beton içindeki MPPF dozajının artmasıyla enerji yutma kapasitesinin de arttığı sonucu elde edilmiştir. Lifin en boy oranının etkisi incelendiğinde ise bu oran 30'dan 38'e çıktığında enerji yutma kapasitesinin arttığı fakat oran 43'e çıktığında enerji yutma kapasitesinde düşüş yaşadığını gözlemlemişlerdir.

Gali ve Subramaniam (2019), çalışmalarında kancalı çelik lifi ve çelik lif ile makro sentetik polipropilen lifin hibrit ile kıyaslamışlardır. Bu iki pametre için kancalı çelik lifin betona eklenecek dozajını %0,5 ve %0,75 olarak seçerken, çelik ve makro sentetik polipropilen lif hibritinin karışıma ilave dozajını %0,3 çelik lif ve %0,2 makro sentetik polipropilen lif olarak belirlemişlerdir. Deney sonuçlarını incelediklerinde hibrit katkılı betonun çelik lif katkılı betona göre erken kırılma dayanımını iyileştirdiği sonucuna ulaşılmıştır. Bunun sebebinin hibritin küçük çatlakla vasıtasıyla büyük çatlak oluşumunu önleyici davranışta bulunmasının olduğu belirtilmiştir. Aynı oranda çelik lif ve hibritin yük taşıma kapasitesine katkısını incelediklerinde; hibritin yük taşıma kapasitesini arttırdığı sonucu elde edilmiştir ancak hibrit oranı aynı kalıp çelik lif katkısı arttırıldığında yük taşıma kapasitesinin artabildiği belirtilmiştir.

Dashti ve Nematzadeh (2020), çalışmalarında sülfat etkisine maruz kalan Forta-Ferro (FF) lif katkılı beton ile kalsiyum alüminat çimentosu (CAC) içeren betonların davranışları incelenmişlerdir. Deneysel çalışmada FF lifler hacimce %0, %0,4, %0,7 olacak şekilde 3 farklı oranda kullanılmışlardır. Kullanılan lifler 159 en boy oranına sahip 54 mm uzunluktaki sentetik liflerdir. Altı farklı özellikte beton üretilmişlerdir. Bunlardan üçü üretilirken portland çimentosu ve üç farklı oranda FF kullanılmışlardır. Diğer üç beton üretilirken portland çimentosu yerine CAC kullanılmıştır ve yine üç farklı oranda FF kullanılmışlardır. Lifli betonların sülfat etkisine karşı başarılı sonuç verdiğini belirtmişlerdir. lif miktarının artmasıyla gerilme mukavemetinin de arttığını belirtmişlerdir. CAC ile hazırlanan betonların çekme mukavemetinin portland çimentosuyla hazırlanan betonların

çekme mukavemetine oranla önemli ölçüde arttığını belirtmişlerdir. CAC ile hazırlanan betonların sülfat etkisine maruz kaldığında basınç ve gerilme mukavemetlerinin azaldığı sonucunu elde etmişlerdir.

Bolat, Şimşek, Çullu, Durmuş ve Can (2014), üç farklı lif türü kullanarak bu liflerin betona etkilerini karşılaştırmışlardır. Kullandıkları lif türleri ise şunlardır; polyester lif (PYFRC), çelik lif (SFRC), polipropilen lif (PPFRC). Lifli betonları kıyaslayabilmek için bir de liffsiz referans beton üretilmiştir. Basınç dayanımlarını incelediklerinde SFRC'nin referans betona göre %12,4 oranında artış sağladığı, PYFRC'nin referans betona göre %3,4 artış sağladığı ve PPFRC'nin referans betona göre %4,3 düşüğe neden olduğu sonucunu elde etmişlerdir. Aşınmaya karşı mukavemetin en yüksek PPFRC'de en düşük ise SFRC'de görüldüğünü belirtmişlerdir. Betona lif ilave etmenin betonun fiziksel ve mekanik özelliklerini etkilediğini belirtmişlerdir.

Kazmi, Munir, Wu ve Patnaikuni (2018), yaptıkları çalışmada makro sentetik lifin geri dönüştürülmüş agrega betonuna etkilerini araştırmışlardır. Agreganın ağırlıkça %0,1, %0,5'i ve %1'i olmak üzere üç farklı lif dozajı kullanmışlardır. Çalışma sonucunda, geri dönüştürülmüş agrega betonuna %1 oranında makro sentetik lif katkısının kırılma enerjisini önemli derecede arttırdığını belirtmişlerdir, ayrıca kırılma yüzey analizine göre sentetik lif katkısının iyileştirici sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir. Makro sentetik lif katkısının betonun enerji yutma kapasitesinde ve sünekliğinde de artış sağladığı belirtilmiştir.

Doostmohamadi, Karamloo ve Afzali-Naniz (2020), yaptıkları deneysel çalışmada poliolefin makro fiberlerin etkisini araştırmışlardır. Çalışma sonucunda poliolefin makro fiber katkısının betonun özelliklerini iyileştirdiğini belirtmişlerdir.

Abaeian, Behbahani ve Moslem (2018), betonun performansı hakkında "Betonun basınç dayanımı ne kadar fazlaysa, beton o kadar kırılğan hale gelir ve artan basınç mukavemeti ile çekme mukavemeti artmaz." demişlerdir. Bir deneysel çalışma yaparak betonun içerisine yüksek performanslı makro sentetik polipropilen lif ilavesinin betonun performansını nasıl etkilediğini araştırmışlardır. Deneyle sonucunda polipropilen lif katkısının betonun çekme ve eğilme mukavemetlerini arttırdığını belirtmişlerdir. Aynı

zamanda polipropilen lif dozajının arttıkça betonun işlenilebilirliğinin azaldığı sonucunu elde etmişlerdir.

Joshi, Thammishetti ve Prakash (2018), ön germeli betonda çelik lif ve makro sentetik lif (poliolefin) kullanımının etkilerini araştırmışlardır. Bu araştırmada ürettikleri betonlara %0,35, %0,7 ve %1,0 dozaja sahip ayrı ayrı çelik lifli ve makro sentetik lifli kırırlar üretmişlerdir. Bu kırırları dört noktalı yükleme deneyine tabi tutmuşlardır. Deney sonrasında hem çelik lifin hem de makro sentetik lifin çatlak oluşumunu iyileştirdiğini ve kırışe süneklik kazandırdığını belirtmişlerdir. %1,0 dozajlı çelik lif ve makro sentetik lif katkısının etkileri karşılaştırıldığında; çelik lifin maksimum yük taşıma kapasitesini makro sentetik life göre daha fazla arttırdığı belirtilmiştir. Çelik lifin ve makro sentetik lifin enerji yutma kapasitesinde sağladığı artış incelendiğinde tüm dozajlar için çelik lifin enerji yutma kapasitesini daha fazla arttırdığını belirtmişlerdir.

Rooholamini, Hassani ve Aliha (2018), yaptıkları çalışmada silindire sıkıştırılmış beton döşemeye makro sentetik fiber lif katkısının etkilerini incelemişlerdir. Basınç dayanım testlerinin sonuçlarını incelediklerinde makro sentetik fiber lif katkısının basınç dayanımını etkilemediğini belirtmişlerdir. Harç ve lif etkileşiminden dolayı betonun çatlama sonrası davranışının iyileştiği sonucunu elde etmişlerdir. Ayrıca lif katkısını enerji yutma kapasitesini de arttırıcı etkide bulunduğunu belirtmişlerdir. Vebe çökme deneyi sonucunda lif katkılı betonun çökme değerinde azalma olduğunu belirtmişlerdir.

Rashid (2020), “Lif takviyeli betonların (FRC'ler) liflerin varlığı nedeniyle iç ve dış bozulmaya eğilimli olduğu yaygın bir algıdır. Bu, inşaat endüstrisinin çok sayıda avantaja sahip olmasına rağmen FRC kullanmaya isteksiz olmasının nedenidir.” demiştir. Bu algının ne kadar doğru olduğunu incelemek için bir deneysel çalışma yapmıştır. Çalışmasında kontrol betonu (lif katkısız), polipropilen lif takviyeli beton (PPFRC), çelik lif takviyeli beton (SFRC) ve çelik lif ile polipropilen lifin karışımında (hibrit) oluşan beton kullanmıştır. Hazırlanan betonlar 36 ay boyunca dış etkenlere maruz kalabilecek şekilde açık atmosfere bırakılmıştır. Deney sonucunda polipropilen lifin su emilimini azaltıcı yönde rol oynadığını belirtirken çelik lifin onun aksine su emilimini arttırıcı yönde rol oynadığını belirtmiştir. Lif katkılı ön germeli betonların dış etkilere karşı dayanıklı olduğunu belirtmiştir. Betonların klorür penetrasyon değerleri incelendiğinde çelik lif katkısının bu değeri % 27 arttırdığı, polipropilen lifin bu değeri etkilemediği ve hibrit lifin

ise %9 arttırdığı sonucunu elde etmiştir. Genel olarak polipropilen liflerin doğal etkenlere karşı dayanıklılığı arttırdığını belirtmiştir.

Ding, Zhang ve Azevedo (2017), çalışmalarında yüksek performanslı kendiliğinden yerleşen beton üzerinde çelik donatı, makro polipropilen lif ve çelik lif etkisini araştırmışlardır. Çalışma kapsamında çelik donatı ile iki lifi ayrı ayrı hibrit etmişlerdir ve yapılan deney sonuçlarına bakarak çelik donatı ve lif hibritinin betonun özelliklerini iyileştirdiğini belirtmişlerdir. Polipropilen lif ve çelik donatının birlikte kullanımının çelik lif ve çelik donatının birlikte kullanımına göre daha başarılı sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir. Lif ilavesinin enerji yutma kapasitesini arttırdığını belirtmişlerdir. Çelik donatı ve liflerin hibrit kullanımının darbe dayanımına karşı etkili olduğunu ve endüstriyel uygulamalarda kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Junaid, Elbana, Altoubat ve Al-Sadoon (2019), çalışmalarında dört farklı beton türü kullanarak eğilme davranışlarını incelemişlerdir. Kullandıkları beton türleri şu şekildedir; sıradan portlan betonu (OPCC), jeopolimer beton (GPC), lif takviyeli beton (FRC) ve lif takviyeli jeopolimer beton (FRGC). Bu betonlarla 200X330X2400 mm ölçülerinde kirişler üretilmiştir ve üretilen kirişler dört noktalı yükleme deneyine maruz bırakılmıştır. Kirişin donatı tasarımında basınç ve çekme donatısı olarak 2 Φ 16, enine donatı olarak Φ 10 donatı ve 70 mm aralık tercih edilmiştir. OPCC'nin ve GPC'nin , maksimum yük taşıma kapasitesine ulaştıktan sonra ani bir yük düşüşü yaşadığını belirtmişlerdir ve bu durumun onların beklenen hareketi olduğunu vurgulamışlardır. Lif takviyeli FRGC ve FRC betonlarının maksimum yüke ulaştıktan sonra da yüksek yük taşımaya devam edebildiklerini belirtmişlerdir. Liflerin katkısının OPCC ve GPC betonlarına süneklik kazandıracağını vurgulamışlardır. Lifsiz betonlarda çatlak oluşumunu incelediklerinde daha az fakat daha geniş çatlaklar meydana geldiğini görmüşlerdir.

Dev, Chellapandian, Prakash ve Kawasaki (2020), "Betonarme elemanlarda çelik donatıların lif takviyeli polimer (FRP) çubuklarla değiştirilmesi, korozyon sorunlarını önlemek için son yıllarda öne çıkmıştır." demişlerdir. Çalışmalarında betonda birincil donatı olarak inşaat demiri yerine cam lif takviyeli polimer çubuklar (GFRP) kullanmışlardır. Beton karışımlarını hazırlarken poliolefin lifini (PO) ve PO ile çelik lif hibritini beton hacminin %0,35'i, %0,70'i ve %1,0'i şeklinde 3 farklı oranda betonun içerisine katmışlardır. Hazırlanan tam ölçekli kirişlerin yük etkisindeki davranışları akustik

emisyon yöntemiyle incelenmiştir. Deneysel bulgularda GFRP kırışleriyle PO katkılı kırışler kıyaslandığında PO'nun betonun davranışlarını iyileştirdiği sonucu elde edilmiştir. PO katkısının kırışde oluşan çatlaklar üzerinde olumlu etki yaparak çatlakların GFRP kırışlerine göre daha az genişliğe sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

Alnahhal ve Aljidda (2018), çalışmalarında bazalt makro fiber lifler (BMF) ile geri dönüştürülmüş beton agregalarının (RCA) farklı hacimler ayırık ve hibrit edilerek kullanımının etkilerini araştırmışlardır. RCA katkısı betonun eğilme ve basınç dayanımlarını çok az etkilemiştir. BMF ilavesinin basınç dayanımına katkısı çok azdır fakat betonun enerji yutma kapasitesi ve maksimum yük taşıma kapasitesi üzerinde önemli artış sağlamıştır. Bazalt makro fiber lifi içeren kırışlerin sünekliliği artmıştır. RCA kullanımının betonun eğilme mukavemeti üzerindeki etkisi yüksek hacimde eklendiğinde dahi çok azdır.

Bhutta, Borges, Zanotti, Farooq ve Banthia (2017), "Sıradan Portland çimentosu betonu gibi jeopolimer kompozitlerindeki matris kırılğanlığı da uygun lif takviyesi verilerek azaltılabilir." demişlerdir. Çalışmalarında bu düşüncelerinin doğruluğunu incelemek için uçucu kül bazlı jeopolimer kompozitlerin farklı en boy oranına sahip çelik lif ve polipropilen lif takviyesi yapıldığında davranışlarının nasıl değiştirdiğini incelenmişlerdir.

Junaid, Elbana ve Altoubat (2020), cam lif takviyeli polimer demirin (GFRP) birincil donatı olarak kullanıldığı kırışleri dört noktalı yükleme deneyine tabi tutmuşlardır. Kırışler yük kapasitesinin %50 sine kadar yüklenip büyük ölçüde hasar gördükten sonra karbon fiber takviyeli levlahalar (CFRP) ile onarılmıştır. Ardından yeniden yükleme deneyine tabi tutulan onarılmış kırışlerin yük etkisindeki davranışları referans kırışlerin (onarılmamış kırışlerin) davranışlarıyla karşılaştırılmıştır. Yükleme deneyi sonrasında CFRP ile onarılan kırışlerin taşıyabildiği maksimum yük referans kırışlerle neredeyse aynı çıkarken, referans kırışlere göre biraz daha fazla yük taşımayı sürdürebilmişlerdir. CFRP ile güçlendirilen kırışler daha sünek davranış göstermişlerdir. Çatlak oluşumları incelendiğinde; CFRP ile güçlendirilen kırışlerde daha az sayıda çatlak oluştuğu gözlemlenmiştir.

Turker, Hasgul, Birol, Yavas ve Yazici (2019), çalışmalarında ultra yüksek performanslı betonlara ayrı ayrı iki çeşit lif ve hibrit lif katkısının betonun davranışları üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Bu lifler 13/0,16 boy en oranına sahip çelik lif ve 60/0,75 boy en

oranına sahip uzun kancalı çelik liftir. Denede 4 farklı düşük donatı oranına sahip kirişler kullanmışlardır. Kirişler dört noktalı yükleme deneyine tabi tutularak yük-deplasman eğrileri elde edilmiştir ve yorumlanmıştır. Çalışma sonunda lif dozajının artmasının sünekliliği de arttırdığı tespit edilmiştir. Hibrit lif takviyeli betonlarda liflerin kırılma ve net beton örtüsünde bozulmalara izin vermediği gözlemlenmiştir. Deneysel bulgulara bakarak hibrit lif kullanımının tek tip lif kullanımına göre daha başarılı eğilme performansı sağladığı sonucuna varmışlardır.

Karamloo, Afzali-Naniz ve Doostmohamadi (2020), yaptıkları bu çalışmada poliolefin makro lif katkısının kendiliğinden yerleşebilen ultra hafif beton üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Lif takviyesinin kendiliğinden yerleşebilen ultra hafif betonun mekanik özellikleri üzerinde önemli değişiklikler yapmadığı sonucuna varmışlardır. Bununla birlikte lif takviyeli betonlarda maksimum yük taşıma kapasitesine ulaşıldıktan sonra lif miktarının buradan sonraki davranışı etkilediği gözlemlenmiştir.

AbdelAleem ve Hassan (2019), çelik ve makro sentetik liflerin yüksek performanslı kauçuk beton (SCRC) zerindeki etkilerini araştırmışlardır. Hem çelik hem de sentetik liflerin çatlama sonrası davranışı iyileştirici rol oynadığını tespit etmişlerdir. Çelik liflerin makro sentetik liflere göre yük taşıma kapasitesini %17 oranında arttırdığını belirtmişlerdir. Çelik lifin ve makro sentetik lifin dozajının artırılması enerji yutma kapasitesini de arttırmıştır, bununla birlikte çelik lifin makro sentetik life kıyasla enerji yutma kapasitesini daha fazla arttırdığı sonucu elde edilmiştir.

3.MATERYAL VE YÖNTEM

3.1.Beton Karışımında Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

Deneyde kullanılan beton karışımlarının tümünde CEM I-42,5/R tipi portland çimentosu (PÇ, $d= 3,1 \text{ kg/dm}^3$), 0-4 mm ve 4-11 mm kırmataş agrega (Şekil 3.1) ve İskenderun şebeke suyu kullanılmıştır. CEM I-42,5/R tipi portland çimentosuna ait kimyasal özellikler Çizelge 3.1’de verilmiştir.



c) CEM I-42,5

b) 0-4 mm agrega

a) 4-11 mm agrega

Şekil 3.1. a) CEM I-42,5 PÇ, b) 0-4 mm agrega, c) 4-11 mm agrega

Çizelge 3.1.CEM I-42,5/R tipi portland çimentosunun kimyasal özellikleri

Oksitler	CEM I PÇ
SiO ₂	19,55
Al ₂ O ₃	5,31
Fe ₂ O ₃	4,15
SO ₃	2,48
CaO	62,3
MgO	0,85
B ₂ O ₃	-
NaO	0,36
K ₂ O	0,88
Kızdırma Kaybı	2
Çözünmez Kalıntı	0,4
Serbest CaO	0,3

Beton karışımlarında katkı malzemesi olarak kullanılan ve etkilerini araştırdığımız malzeme 54 mm uzunluğunda kıvrık yapılı makro sentetik fiber lif (MSF)’dir. MSF;

polimer esaslı, uzun ömürlü, betonda birincil donatı olarak kullanılabilen, içerisinde özel oranlarda polipropilen lifler bulunduran ve bu sayede rötre ve ısıya bağlı çatlakları da engelleyen sentetik bir malzemedir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2.Makro sentetik fiber lif (MSF)

MSF yaygın olarak;

- ☒ Saha ve zemin betonları,
- ☒ Kıyı yapıları ve limanlar,
- ☒ Su yapıları, tüneller,
- ☒ Madenler,
- ☒ Prekast elemanlar
- ☒ Konut inşaatları gibi alanlarda kullanılmaktadır.

Betonun aşınma, çekme, kayma dayanımlarını arttırmak, enerji yutma kapasitesini iyileştirmek, sünekliğini arttırmak, plastik rötre çatlaklarını azaltmak, donmaya karşı direnci arttırmak gibi faydalar sağladığından dolayı yapı malzemesi olarak tercih edilmektedir. Tüm bunların yanı sıra çelik hasır yerine birincil donatı olarak kullanılabilir. Bu da maliyet ve işçiliği azaltırken pas payına gerek kalmadığı için döşeme kalınlığından da tasarruf edilmesini sağlamaktadır. Forta Ferro markasına ait MSF'nin diğer teknik özellikler ise Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. MSF teknik özellikler

Karakteristik	Malzeme Özelliği
Ham Madde	%100 Saf Kopolimer PP/PE
Uzunluk	54 mm
Çekme Gerilmesi	550 - 750 MPa
Elastisite Modülü	5,75 GPa
Yüzey Dokusu	Deforme Edilmiş Yüzey
Fiber Sayısı	220.000 Parça/kg
Yoğunluk	0,91 g/cm ³
Erime Noktası	162-168 °C
Yanma Noktası	398 °C
Su Emilimi	Sıfır
Asit / Alkali Direnci	Mükemmel
Standart	ASTMC-1116

3.2.Beton Karışımlarının Hazırlanması

Kiriş kalıplarımızın boyutu 150X230X1400 mm'dir bu nedenle İSTE malzeme laboratuvarında bulunan 27 dm³ kapasiteli beton karma mikseri (Şekil 3.3) kullanılarak her kiriş için iki mikser beton karışımı hazırlanmıştır. Bu işlem mümkün olduğu kadar hızlı yapılarak ilk karışımla ikinci karışımın iyi bir kompozit oluşturması sağlanmıştır.



Şekil 3.3. Beton karma mikseri ile beton karışımlarının hazırlanması

Bu çalışmada hacimce %0, %0,4, %0,6 MSF oranlarına sahip 3 tip beton üretilmiştir. Üretilen betonlar içerisindeki MSF katkı miktarına göre şöyle isimlendirilmiştir; Şahit (%0), 04K (%0,4), 06K (%0,6) (Çizelge 3.3).

Çizelge 3.3.Beton karışımlarının isimlendirilmesi

Beton Karışımı	MSF katkı oranı (%)
Şahit	0
04K	0,4
06K	0,6

Hacimce %0 MSF oranına sahip beton karışımı “Şahit” olarak adlandırılmıştır ve içerisinde MSF olmadığı için MSF katkılı kırılgara referans olarak üretilmiştir. Şahit beton yalnızca su, çimento ve agregadan oluşmaktadır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4.Şahit beton karışımı

Hacimce %0,4 oranında MSF katkılı beton üretilirken Şahit betonundaki su, çimento ve agrega miktarlarına sadık kalınıp %0,4 MSF ilavesi yapılmıştır (Şekil 3.5). Üretilen beton “04K” olarak adlandırılmıştır.



Şekil 3.5.04K beton karışımı

Hacimce %0,6 oranında MSF katkıli beton üretilirken Şahit betonundaki su, çimento ve agrega miktarlarına sadık kalınıp %0,6 MSF ilavesi yapılmıştır (Şekil 3.6). Üretilen beton “06K” olarak adlandırılmıştır.



Şekil 3.6.06K beton karışımı

Böylelikle Şahit, 0.4MSF VE 0.6MSF betonları üretilmiştir. Beton karışımlarında kullanılan malzemeler ve miktarları Çizelge 3.4’de ayrıntılı olarak verilmiştir.

Çizelge 3.4. Beton karışımlarında kullanılan malzemeler ve miktarları

Bileşen	1 m ³ beton karışım miktarları (kg)			1 adet kiriş için karışım miktarları (kg)		
	Şahit	04K	06K	Şahit	04K	06K
Çimento	271,35	271,35	271,35	28,22	28,22	28,22
İnce Agrega (0-4 mm)	488,42	488,42	488,42	50,66	50,66	50,66

Çizelge 3.5. (Devam) Beton karışımlarında kullanılan malzemeler ve miktarları

İri Agrega (4-11 mm)	325,615	325,615	325,615	33,86	33,86	33,86
Su/çimento	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
MSF	-	4	6	-	0,208	0,312

MSF katkılı harçlar hazırlanırken homojen bir karışım elde edebilmek için çimento, agrega ve MSF kuru halde mikserde 1 dakika karıştırıldıktan sonra su eklenerek tamamen homojen olana kadar 5 dakika daha karıştırılmıştır (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Beton karışımına MSF eklenmesi

Hazırlanan her beton karışımından 150X150X150 mm küp numuneler alınmıştır. Kalıplar yağlanıp beton karışımları kalıplara kademeli olarak koyulmuştur ve her kademede betonun kalıba daha homojen yerleşmesi için şişleme işlemi yapılmıştır, son olarak da sarsma tablasının üzerine koyularak titreşimle betonun kalıba tamamen yerleşmesi sağlanmıştır (Şekil 3.8).



Şekil 3.8.150X150X150 mm küp numunelerin hazırlanması

Küp numuneler 24 saat kalıpta bekletildikten sonra kalıptan çıkartılarak kür havuzuna bırakılmıştır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9.Küp numunelerin kalıptan çıkarılıp kür havuzuna bırakılması

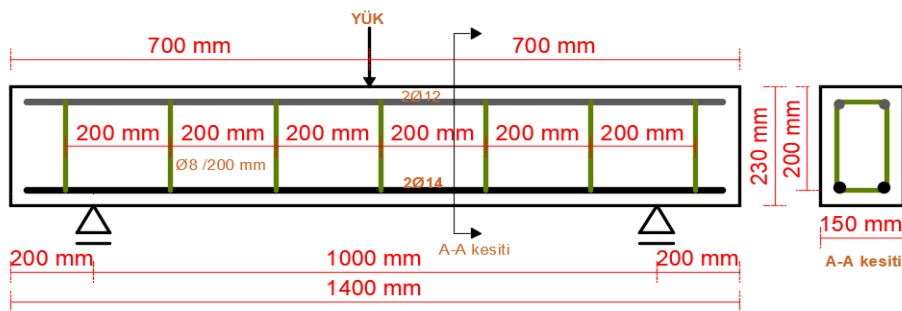
Kür havuzunda 28 gün kalan numuneler, 28 günün sonunda ASTM C39 (1994) standardına uygun bir şekilde basınç dayanımı testine tabi tutulmuştur (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. Küp numunelerin 28 günlük basınç dayanım testi

3.3. Deney Kirişlerinin Hazırlanması ve İsimlendirilmesi

Tüm kirişlerin boyutları 150x230x1400 mm, enine donatı aralığı 200 mm, mesnetler arası uzaklık 1000 mm, kesme açıklığı 500 mm, kiriş etkili yüksekliği 200 mm olacak şekilde tasarlanmıştır. Tüm kirişlerde çekme donatısı 2Φ14, basınç donatısı 2Φ12 ve enine donatı olarak da Φ8 S420a çeliği kullanılmıştır. Kullanılan basınç donatısı ve çekme donatısı oranlarının farkı $\rho - \rho' = 0,0237$ bulunmuştur, bu değer TS500 (2000)'de tanımlanan kirişte dengeli donatı oranına eşit çıkmıştır; buna göre kesit dengede yani gevreklerdir. Kirişlerin boyutları ve donatı düzeni Şekil 3.11'da gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Kirişlerin boyutları ve donatı düzeni

Donatılar tarif edilen tasarıma uygun bir şekilde İSTE malzeme laboratuvarında hazırlanmıştır (Şekil 3.12).



Şekil 3.12. Donatıların hazırlanması

Kalıpların içi, betonun priz aldıktan sonra kalıptan kolayca ayrılabilmesi için güzelce yağlanmıştır. Ardından 3 cm pas payı bırakılarak kalıpların içine donatılar yerleştirilmiştir (Şekil 3.13).



Şekil 3.13. Yağlanan kalıplara donatıların yerleştirilmesi

Hazırlanan beton karışımları yağlanan ve 3 cm pas payı bırakılarak donatısı yerleştirilen kalıplara kademeli olarak dökülmüştür ve sürekli şişleme yapılarak beton karışımının kalıba daha iyi yerleşmesi sağlanmıştır (Şekil 3.14).



Şekil 3.14. Betonun kalıplara yerleştirilmesi

Beton priz aldıktan sonra rahat taşıyabilmek için betonun üst yüzeyine etriye ve basınç donatılarına denk gelmeyecek şekilde kancalar yerleştirilmiştir (Şekil 3.15).



Şekil 3.15.Kirişleri taşıyabilmek için yerleştirilen kancalar

Beton dökme işlemi bittikten sonra kalıplar işkencelerle sıkıştırılarak esneme yapması engellenmiştir (Şekil 3.16).



Şekil 3.16.Beton dökümü sonrası kirişler

Kirişler beton dökümünün ardından 7 gün düzenli sulanmıştır. 7 günlük düzenli kür işlemi ardından priz alan kirişler kalıplardan çıkartılmıştır (Şekil 3.17).



Şekil 3.17.Kalıpların sökülmesi

Kalıplardan çıkartılan kirişler boyutları dolayısıyla kür havuzuna koyulamamıştır ve bu nedenle şantiye ortamında olduğu gibi 21 gün daha sulama yapılarak kür işlemi tamamlanmıştır ve 28 günlük nihai dayanımını kazanan kirişler yükleme deneyine hazır hale gelmiştir (Şekil 3.18).



Şekil 3.18.28 günlük kür işlemi sonrası kirişlerin durumu

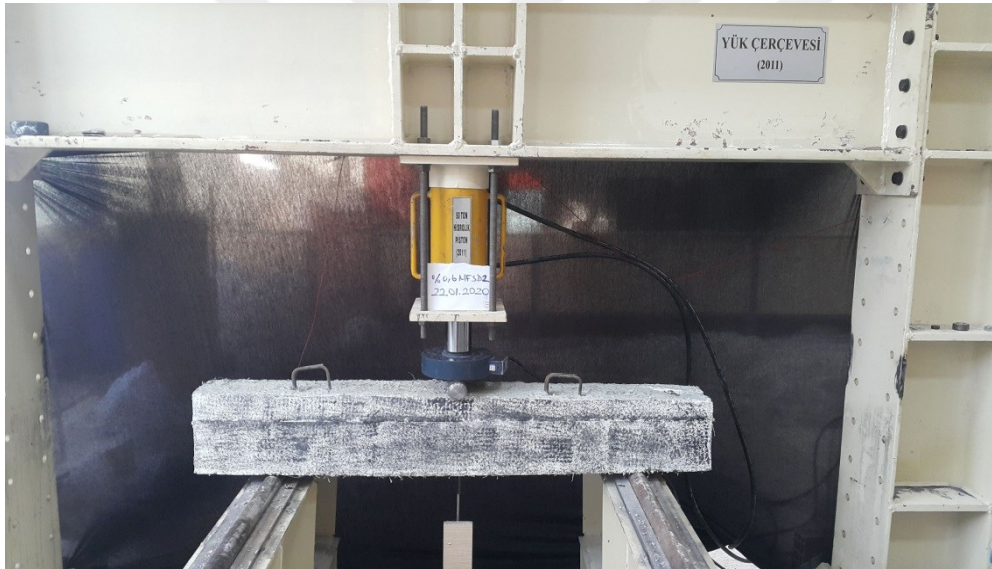
Hazırlanan Şahit (%0 MSF), 04K (%0,4 MSF) ve 06K (%0,6 MSF) betonları ile ikişer adet kiriş üretilmiştir ve bu kirişler bu üretildikleri betonlara göre; Şahit1, Şahit2, 04K1, 04K2, 06K1 ve 06K2 olarak adlandırılmışlardır (Çizelge 3.5). Yapılan yükleme deneyinden elde edilen sonuçların doğruluğunu sınavabilmek için aynı özellikteki her kirişten ikişer tane üretilmiştir.

Çizelge 3.6.Kirişlerin isimlendirilmesi

Kiriş No	Kullanılan Beton Karışımı	MSF katkı oranı (%)
Şahit1	Şahit	0
Şahit2		
04K1	04K	0,4
04K2		
06K1	06K	0,6
06K2		

3.4. Üç Noktalı Yükleme Deneyi

Kirişler 28 günlük nihai dayanımlarını kazandıktan sonra; üç noktalı yükleme deneyine tabi tutulmak üzere yükleme açıklığı 1000 mm olacak şekilde yük çerçevesine Şekil 3.19'deki gibi yerleştirilmiştir.



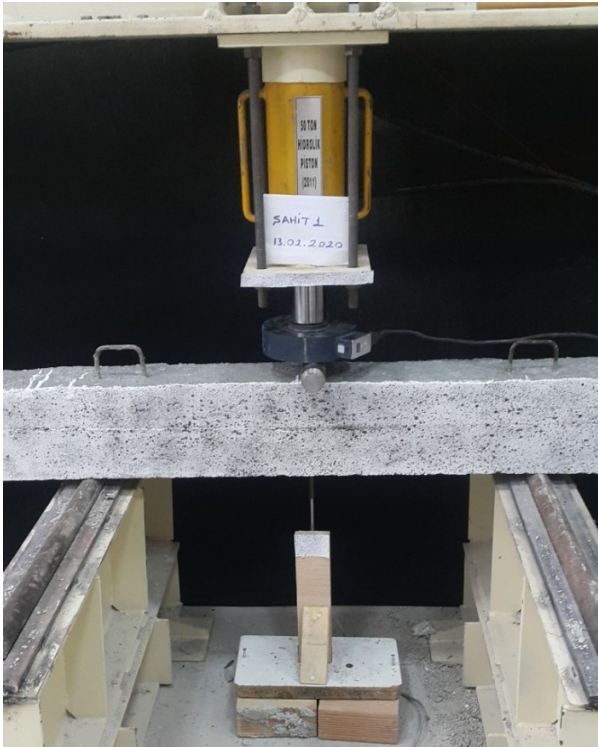
Şekil 3.19.Yük çerçevesi

50 KN kapasiteli yük hücresi; kirişin tam ortasından, mesnetlerin merkezine uzaklığı 500 mm olacak şekilde kirişin üzerine yerleştirilmiştir. Yük hücresi ve kiriş arasında bir silindir yerleştirilmiştir böylelikle yük hücresinin her noktasından kirişe yük aktarımı aynı oranda sağlanmıştır (Şekil 3.20).



Şekil 3.20. Yük hücresinin kiriş üzerine yerleştirilmesi

Deplasman ölçer; kirişin tam orta noktasına denk gelecek şekilde kirişin altına, yük hücresinin düşeyine yerleştirilmiştir (Şekil 3.21).



Şekil 3.21. Deplasman ölçerinin konumu

TestLAB programı kullanılarak yük hücresi ve deplasman ölçerin sistemdeki kalibrasyonları yapıp deney düzeneğinin hatasız çalıştığından emin olduktan sonra yükleme deneyine başlanmıştır.

50 KN kapasiteli yük hücresi ile kiriş göçme noktasına gelene kadar yükleme yapılmıştır. Yük hücresinden ve deplasman ölçerden gelen veriler, yükleme sırasında bilgisayara aktarılmıştır ve kaydedilmiştir. Kaydedilen bu veriler ile her bir kiriş için yük-deplasman grafikleri elde edilmiştir. Deney sırasında kirişin ön yüzünde meydana gelen değişimler bir kamera ile kayıt altına alınmıştır, bir yandan da bilgisayar ekranında okunan yük değeri kamera kayıtlarında duyulacak şekilde seslendirilmiştir. Böylelikle deney sonunda bu video yardımıyla yük-çatlak oluşumu arasındaki ilişki incelenmiştir. (Şekil 3.22)



Şekil 3.22. Üç noktalı yükleme deneyi ve verilerin toplanması

4.BULGULAR

Bu bölümde sırasıyla; hazırlanan betonlarının (Şahit, 04K ve 06K) 28 günlük küp numune basınç dayanımları ve deneyde kullanılan kirişlerin (Şahit1, Şahit2, 0.4K1, 0.4K2, 0.6K1 ve 0.6K2) üç 3 noktalı yükleme deneyi sonucunda elde edilen bulgular incelenecektir.

4.1. 28 Günlük Basınç Dayanımı

Hazırlanan Şahit, 04K ve 06K betonlarından alınan 150X150X150 mm küp numuneler 28 gün kür havuzunda bekletildikten sonra ASTM C39 (1994) standartlarına uygun bir şekilde basınç dayanımı testine tabi tutulmuştur. Bu bölümde Şahit, 04K ve 06K betonlarının basınç dayanımlarına ilişkin bulgular ayrı ayrı incelenip MSF katkılı betonlardan elde edilen bulgular Şahit betondan elde edilen bulgularla karşılaştırılacaktır.

Şahit betondan alınan küp numunelerin 28 günlük ortalama basınç dayanımı 36,58 Mpa'dır. Küp numuneler dayanım testine tabi tutulduktan sonra; numunelerin köşelerinde kırılmalar, dağılmalar, dökülmeler ve gözle görülebilir deformasyonlar olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 4.1). Beton bütünlüğünü koruyamamıştır.



Şekil 4.1.Şahit betondan alınan küp numunelerin 28 günlük basınç dayanımı testi sonrası durumları

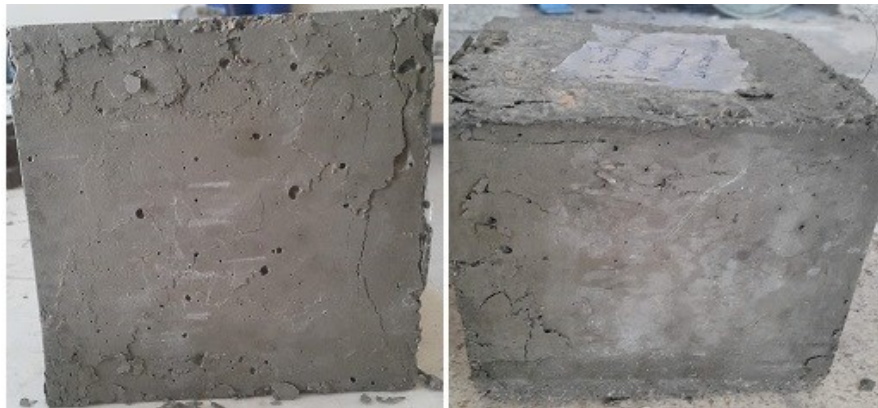
04K betondan alınan küp numunelerin 28 günlük ortalama basınç dayanımı 32,68 Mpa'dır. Küp numuneler dayanım testine tabi tutulduktan sonra; numunelerin köşelerinde ezilmeler

ve bozulmalar olduğu fakat çok büyük şekil bozuklukları oluşmadığı gözlemlenmiştir (Şekil 4.2).



Şekil 4.2.04K betondan alınan küp numunelerin 28 günlük basınç dayanımı testi sonrası durumları

06K betondan alınan küp numunelerin 28 günlük ortalama basınç dayanımı 39,72 Mpa'dır. Küp numuneler dayanım testine tabi tutulduktan sonra; numunelerin üzerinde bir ka tane yüzeysel çatlak ve köşelerde hafif zorlanmalar dışında gözle görülebilir büyük deformasyonlar oluşmamıştır (Şekil 4.3).

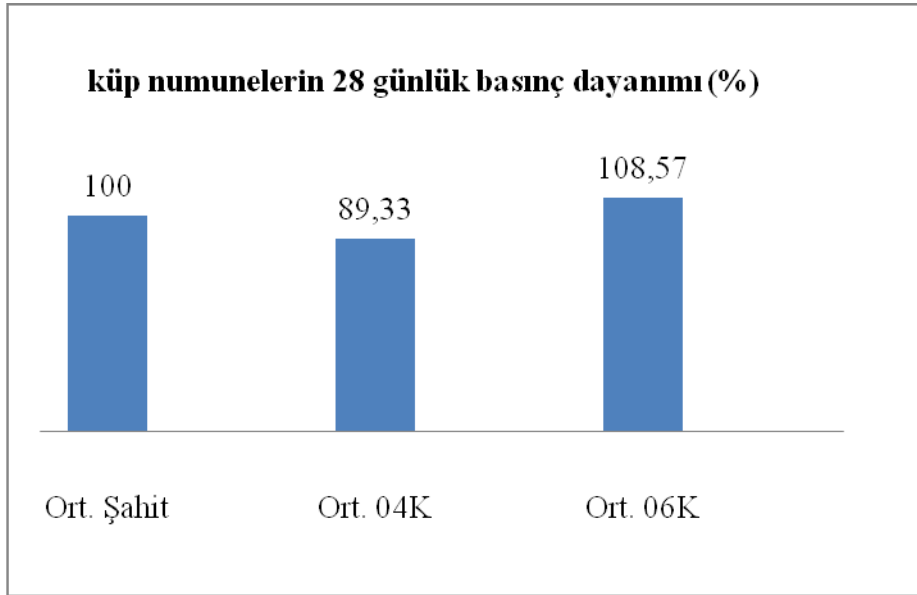


Şekil 4.3.06K betondan alınan küp numunelerin 28 günlük basınç dayanımı testi sonrası durumları

Beton numunelerin basınç dayanımları genel olarak karşılaştırıldığında elde edilen dayanım değerlerinden en küçüğü 04K betona aittir. En yüksek değer ise 06K betonuna aittir (Çizelge 4.1). Eklenen MSF oranındaki artış basınç dayanımında da bir miktar artışa sebep olmuştur. Şekil 4.4' de MSF katkısının basınç dayanımına etkisinin şahit betonla % cinsinden karşılaştırılmıştır.

Çizelge 4.1.Küp numunelerin 28 günlük basınç dayanımı

Karışım No	MSF katkı oranı (%)	28 Günlük Ortalama Basınç Dayanımı (MPa)
Şahit	0	36,58
04K	0,4	32,68
06K	0,6	39,72

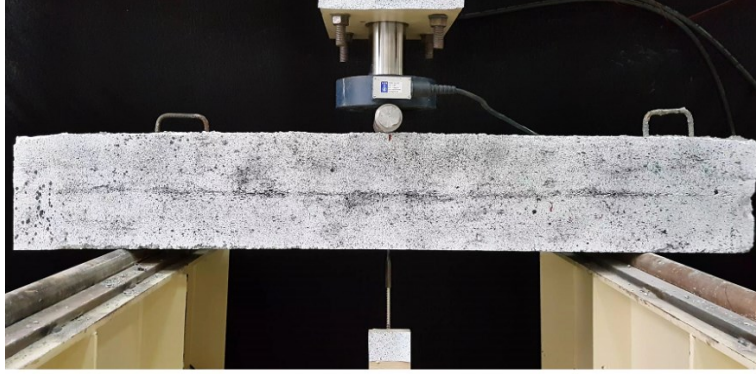


Şekil 4.4.Küp numunelerin 28 günlük basınç dayanımları (%)

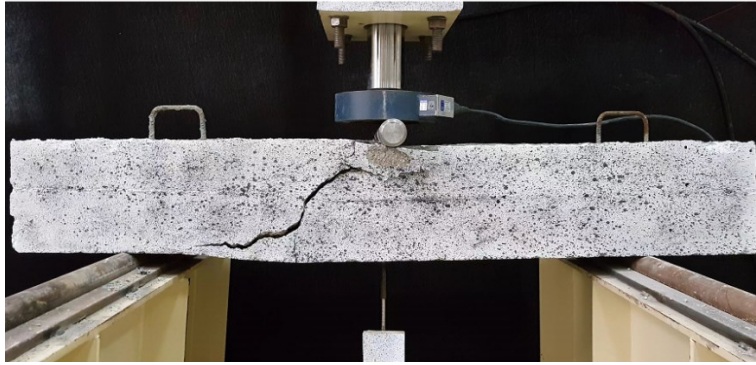
4.2. Üç Noktalı Yükleme Deneyi

Deneyde kullanılan kirişlerimiz Şahit1, Şahit2, 04K1, 04K2, 06K1, 06K2 olarak içerdikleri MSF katkısına göre adlandırılmıştır. Bu bölümde üç noktalı yükleme deneyi ile elde edilen bulgular incelenecektir. Deney sırasında kirişin ön yüzünde verilen yüke bağlı değişimler kamera ile kayıt altına alınmıştır, kayıt sırasında bir yandan da kirişe aktarılan yük videoda duyulacak şekilde seslendirilmiştir. Böylelikle deney sonrasında bu video yardımıyla yük-deformasyon yorumları yapılmıştır. Deney sonunda kirişlere ait yük (ton)-kirişin orta noktasında oluşan yer değiştirme grafiği elde edilmiştir. Elde edilen bu grafik yardımıyla maksimum yük taşıma kapasitesi, maksimum deplasman ve grafiğin altında kalan alan hesaplanarak enerji yutma kapasitesi elde edilmiştir (Koç ve Birinci, 2012). Aynı zamanda kirişler için süneklik katsayıları yük (ton)-kirişin orta noktasında oluşan yer değiştirme (mm) grafiğinden hesaplanmıştır. Süneklik katsayısı kopma birim deformasyonunun akma birim deformasyonuna oranına eşittir (Lokman ve Köroğlu, 2018).

Deney sonuçlarını incelemeye Şahit1 kirişiyle başlayacağız ve sırasıyla devam edeceğiz. Şahit1 kirişinin üç noktalı yükleme deneyi öncesi ve güç tükenmesine ulaştığındaki görüntüleri sırasıyla Şekil 4.5’de verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 4.5.a)Yükleme başlamadan önce Şahit1 kirişi, b)Güç tükenmesine ulaştığında Şahit1 kirişi

Üç noktalı yükleme deneyi sırasında Şahit1 kirişinin ön yüzünde meydana gelen değişimler izlenmiş ve Çizelge 4.2’de detaylı olarak anlatılmıştır.

Çizelge 4.2. Şahit1 üç noktalı yükleme deneyi detayları

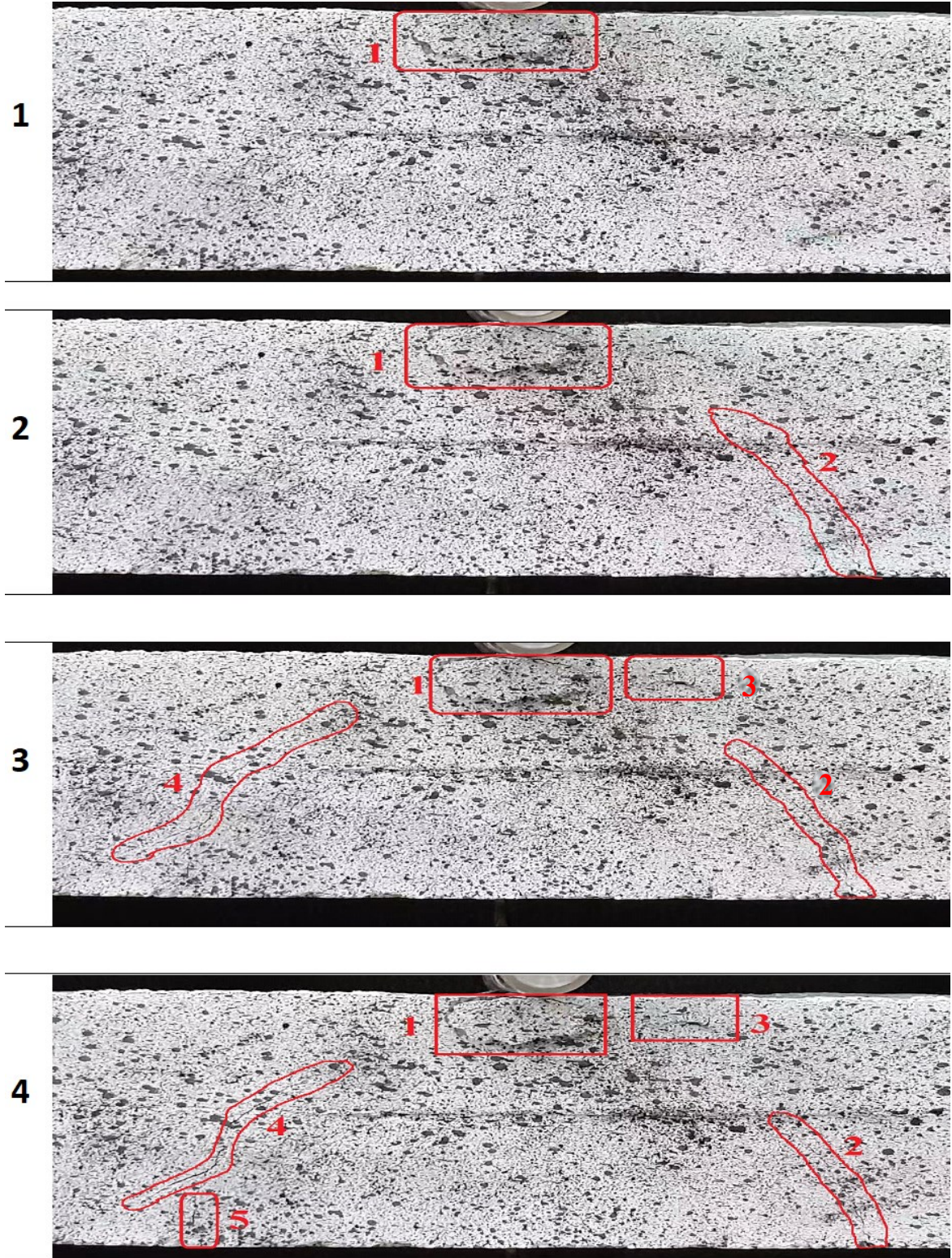
Uygulanan yük aralığı (ton)	Kiriş orta noktasında oluşan yer değiştirme aralığı (mm)	Gözlenen değişim	Şekil açıklaması
4-6 ton	1,63-2,27 mm	Kiriş orta noktasında yer değiştirme (sehim) oluşmaya başlarken henüz bir çatlak oluşumu gözlemlenmemiştir.	
6-8 ton	2,28-2,93 mm	Yük artışıyla birlikte kiriş orta noktasında oluşan sehim değeri artarken yük hücresinin altına denk gelen yüzeyde 1 numaralı çatlak oluşmaya başlamıştır (Şekil 4.3).	Şekil 4.6'da 1 numaralı görsel
8-12 ton	2,96-4,71 mm	Yük hücresinin altına denk gelen yüzeyde oluşan 1 numaralı çatlak halka oluşturarak belirginleşmeye başlamıştır. Kiriş orta noktasında oluşan sehimin arttığı ve kirişin orta noktasının sağında 2 numaralı eğilme çatlağının olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 4.4).	Şekil 4.6'da 2 numaralı görsel
12-12,38 ton	4,75-5,31 mm	Bu yükleme aralığında kiriş taşıyabileceği maksimum yük kapasitesine yani 12,38 tona ulaşmıştır. Bu yük altında, kiriş orta noktasındaki sehim değeri 5,31 mm okunmuştur. 3 numaralı ve 4 numaralı kesme çatlakları oluşmuştur (Şekil 4.5).	Şekil 4.6'da 3 numaralı görsel
12,38-12 ton	5,33-6,09 mm	Kiriş taşıyabileceği maksimum yük kapasitesine ulaştıktan sonra yüzeyinde belirgin çatlak oluşumları ve orta noktasında ölçülen sehim değerinde ani artış gözlemlenmiştir. Kiriş orta noktasında oluşan sehim miktarı 6,09 mm çıkarken, 4 numaralı kesme çatlağının altında 5 numaralı çatlak oluşmuştur (Şekil 4.6).	Şekil 4.6'da 4 numaralı görsel

Çizelge 4.2. (Devam)Şahit1 üç noktalı yükleme deneyi detayları

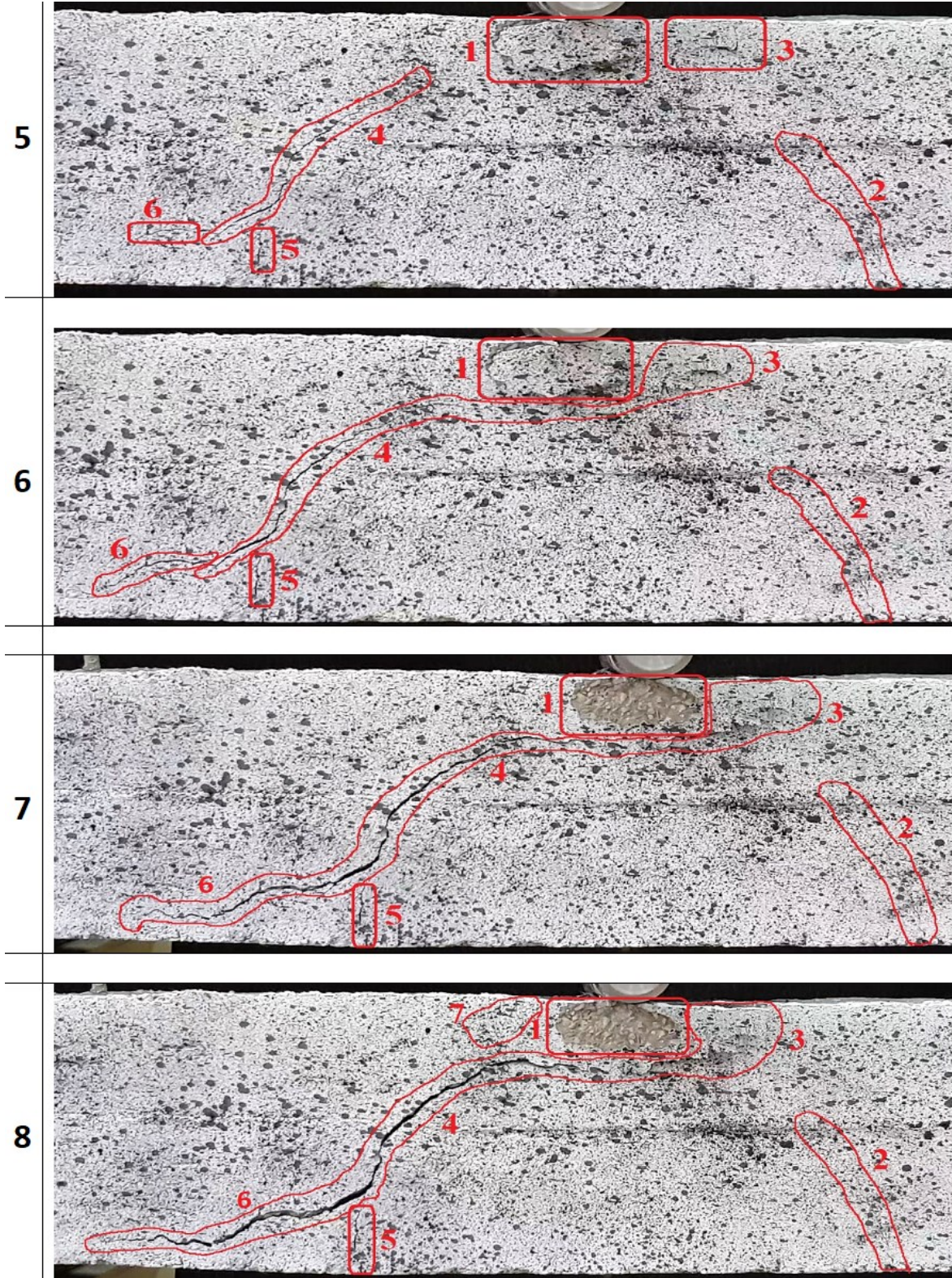
Uygulanan yük aralığı (ton)	Kiriş orta noktasında oluşan yer değiştirme aralığı (mm)	Gözlenen değişim	Şekil açıklaması
12-11 ton	6,14-6,88 mm	1 numaralı çatlak halka halinde bölgesel olarak belirginleşmiştir. 4 numaralı kesme çatlağı daha da belirginleşirken yukarıya doğru ilerlediği gözlemlenmiştir. 6 numaralı çatlak oluşmuştur (Şekil 4.7).	Şekil 4.7'de 5 numaralı görsel
11-10,80 ton	6,93-8,04 mm	4 numaralı kesme çatlağı ilerleyerek 3 numaralı kesme çatlağı ile birleşmiştir. Deplasman ölçer tarafından kaydedilen kiriş orta noktasında oluşan sehim miktarının hızla arttığı gözlemlenmiştir (Şekil 4.8).	Şekil 4.7'de 6 numaralı görsel
10,80-10,75 ton	8,07-9,48 mm	6 numaralı çatlak 4 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 3,4 ve 6 numaralı çatlakların genişliğinde artış olduğu gözlemlenmiştir. 1 numaralı çatlağın olduğu bölgede kopma meydana gelmiştir. Beton bütünlüğünü koruyamamıştır (Şekil 4.9).	Şekil 4.7'de 7 numaralı görsel
10,75-10 ton	9,87-9,87 mm	Çatlak genişlikleri artarken kirişin üst noktasında 7 numaralı çatlak oluşumu gözlemlenmiştir. 3 numaralı çatlağın olduğu bölgede beton bütünlüğü bozulmuştur (Şekil 4.10).	Şekil 4.7'de 8 numaralı görsel

Çizelge 4.2. (Devam)Şahit1 üç noktalı yükleme deneyi detayları

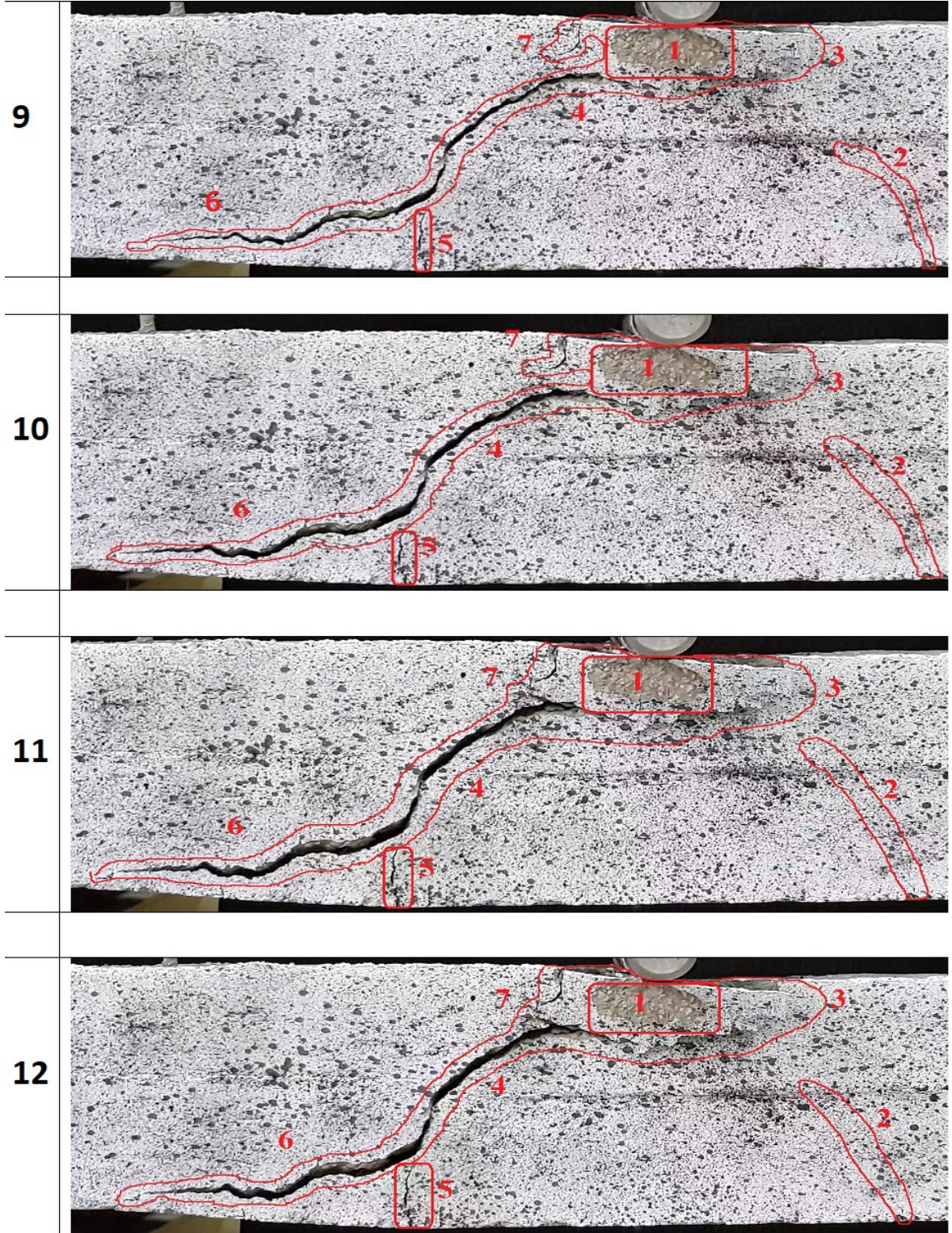
Uygulanan yük aralığı (ton)	Kiriş orta noktasında oluşan yer değiştirme aralığı (mm)	Gözlenen değişim	Şekil açıklaması
10-8,75 ton	10-12,06 mm	Kirişin yük taşıma kapasitesi azalırken orta noktadaki sehim değerinde artış devam etmiştir. Şekil 4.11'de görüldüğü gibi orta noktadaki sehim belirginleşmiştir. 7 numaralı çatlak 3 numaralı çatlak ile birleşmiştir. Çatlak genişliklerinde artış olduğu gözlemlenmiştir.	Şekil 4.8'de 9 numaralı görsel
8,75-8 ton	12,16-13,71 mm	6 numaralı kesme çatlağın mesnete doğru ilerlediği gözlemlenmiştir. 3 ve 7 numaralı çatlaklar birleşerek bölgesel deformasyon oluşturmuşlardır. Çatlak genişliği giderek artmaktadır (Şekil 4.12).	Şekil 4.8'de 10 numaralı görsel
8-7,75 ton	13,81-14,91 mm	7 numaralı çatlak aşağıya doğru ilerleyerek 4 numaralı kesme çatlağı ile birleşmiştir. 6 numaralı çatlak kirişin alt noktasına kadar ilerleyerek betonu ikiye ayırmıştır. 5 numaralı çatlağın genişlediği görülmüştür (Şekil 4.13).	Şekil 4.8'de 11 numaralı görsel
7,75-7,4 ton	15,01-16,93 mm	3 numaralı çatlağın olduğu yüzeyde deformasyon artmıştır 3,4,6 ve 7 numaralı çatlakların genişliği artmıştır (Şekil 4.14).	Şekil 4.8'de 12 numaralı görsel
7,4-6,27 ton	16,97-16,69 mm	Çatlakların genişlemesi sonucunda gevrek kırılma ile güç tükenmesi oluşmuştur. Kiriş maksimum 16,69 mm deplasman yapmıştır (Şekil 4.15).	Şekil 4.9'de 13 numaralı görsel



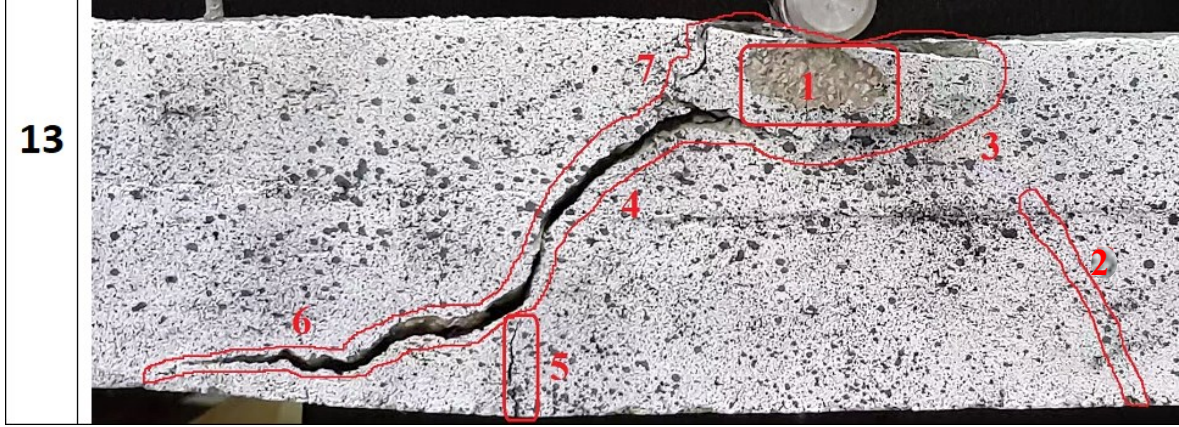
Şekil 4.6. Şahit1 kirişi; 1)6-8 ton yük aralığında, 2)8-12 ton yük aralığında, 3)12-12,38 ton yük aralığında, 4)12,38-12 ton yük aralığında



Şekil 4.7. Şahit1 kirişi; 5)12-11 ton yük aralığında, 6)11-10,80 ton yük aralığında, 7)10,80-10,75 ton yük aralığında, 8)10,75-10 ton yük aralığında



Şekil 4.8.Şahit1 kirişi; 9)10-8,75 ton yük aralığında, 10)8,75-8 ton yük aralığında,11)8-7,75 ton yük aralığında, 12)7,75-7,4 ton yük aralığında



Şekil 4.9.Şahit1 kirişi; 13)7,4-6,27 ton yük aralığında

Yüklemeye deneyi sonunda Şahit1 kirişinin arka yüzünde ön yüzeyde oluşan kesme çatlaklarına paralel kesme çatlakları oluştuğu ve bu çatlakların genişliğinin büyük olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 4.10). Beton net örtüsünde parçalanma ve kopma olduğu betonun bütünlüğünü koruyamadığı gözlemlenmiştir.



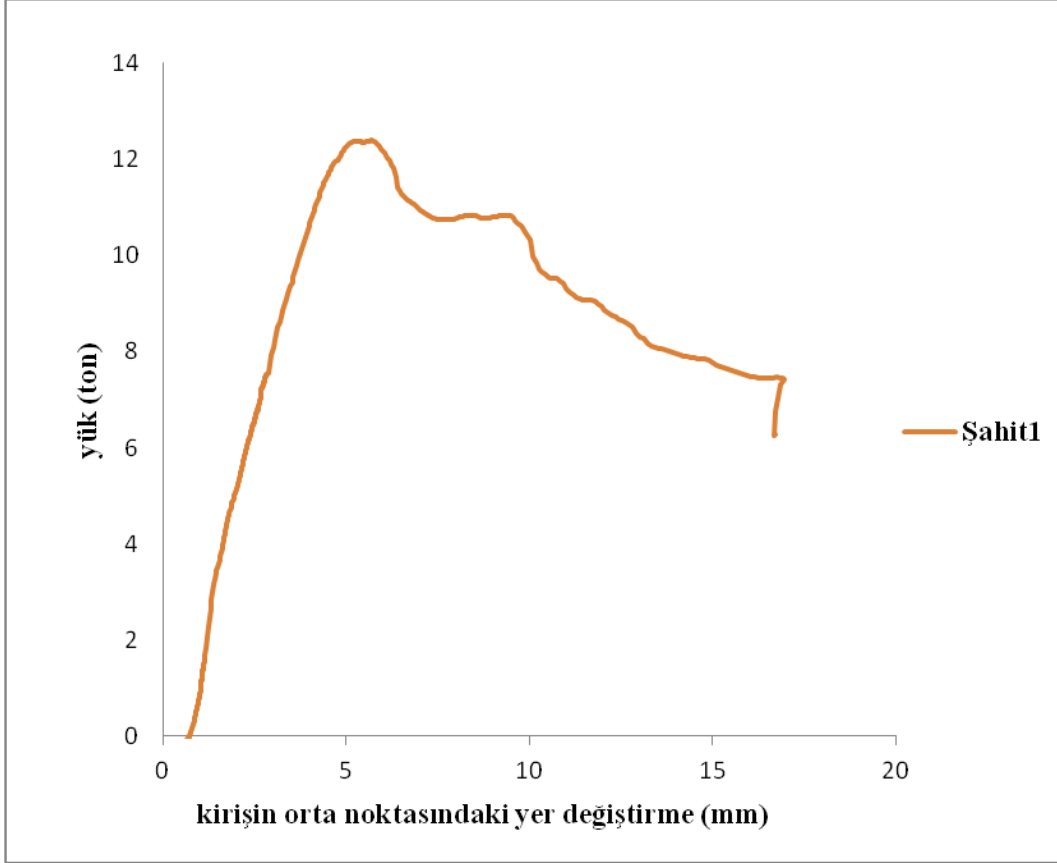
Şekil 4.10.Şahit1 kirişinin arka yüzü

Şahit1'in yüzeyinde oluşan deformasyonlar ve çatlaklar yakından incelendiğinde net beton örtüsünün önemli derecede hasar aldığı, kopma ve parçalanmaların olduğu, betonun bütünlüğünü koruyamadığı görülmüştür (Şekil 4.11).



Şekil 4.11. Şahit1 kirişinin ön yüzü

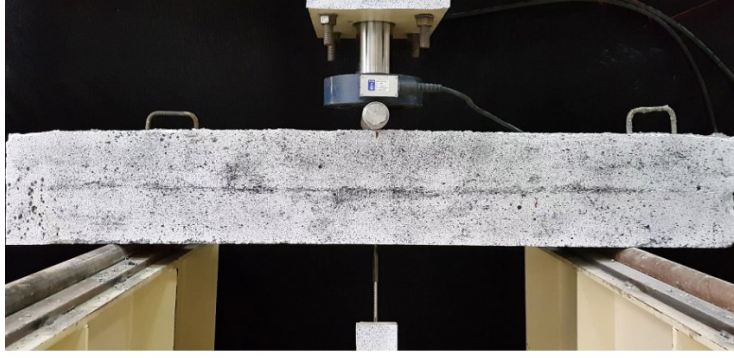
Üç noktalı yükleme deneyi sonunda kirişe aktarılan yük ve bu yüke paralel olarak kirişin orta noktasında meydana gelen yer değiştirme değerleri kayıt altına alınıp yük-kirişin orta noktasındaki yer değiştirme grafiği elde edilmiştir (Şekil 4.12).



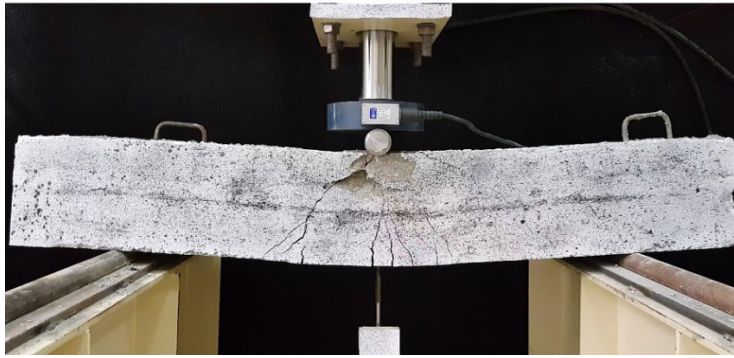
Şekil 4.12.Şahit1 kirişinin yük-kirişin orta noktasındaki yer değiştirme grafiği

Üç noktalı yükleme deneyi sonrasında Şahit1 kirişinin maksimum yük taşıma kapasitesi 12,38 ton, enerji yutma kapasitesi ise yük-kiriş orta noktasındaki yer değiştirme grafiğinin altında kalan alan hesaplanarak 91,099 t.mm bulunmuştur. Şahit1 kirişinin süneklik katsayısı ise 3,72 olarak bulunmuştur.

Şahit2 kirişinin üç noktalı yükleme deneyi öncesi ve güç tükenmesine ulaştığındaki görüntüleri sırasıyla Şekil 4.13’de verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 4.13.a)Yüklemeye başlamadan önce Şahit2 kirişi, b)Güç tükenmesine ulaştığında Şahit2 kirişi

Üç noktalı yüklemeye deneyi sırasında Şahit2 kirişinin ön yüzünde meydana gelen değişimler izlenmiş ve Çizelge 4.3’de detaylı olarak anlatılmıştır.

Çizelge 4.3. Şahit2 üç noktalı yükleme deneyi detayları

Uygulanan yük (ton)	Kiriş orta noktasında oluşan yer değiştirme (sehim) (mm)	Gözlenen değişim	Şekil açıklaması
5-7 ton arası	1,81-2,55 mm arası	Kiriş orta noktasında ilk sehim değerleri okunmaya başlanmıştır. 2 tonluk yük artışına karşı sehim değerine büyük bir artış gözlemlenmemiştir. Yük hücresinin yerleştirildiği alanın hemen altında 1 numaralı çatlak oluşmuştur.	Şekil 4.14'de 1 numaralı görsel
7-8 ton arası	2,57-2,92 mm arası	1 ton yük artışı sırasında kirişin orta noktasından alınan sehim değerinde küçük bir artış olurken, kirişin sağ alt tarafında 2 numaralı eğilme çatlak oluşmuştur. 1 numaralı çatlakın sol ucunun ise kirişin üst noktasına doğru uzadığı görülmüştür.	Şekil 4.14'de 2 numaralı görsel
8-9 ton arası	2,94-3,36 mm arası	1 numaralı çatlak kirişin üst yüzeyine doğru çıkmıştır. Kirişin orta noktasında oluşan sehim miktarı yavaş yavaş artmaya devam etmiştir.	Şekil 4.14'de 3 numaralı görsel
9-10 ton arası	3,37-4,73 mm arası	Kirişin orta noktasında oluşan sehimde 1,36 mm artış gözlemlenmiştir. 1 numaralı çatlakın iki ucu birleşerek yük hücresinin altında daire oluşturmuştur. 2 numaralı çatlakta yukarıya doğru ilerleme olduğu gözlemlenmiştir. 3 numaralı kesme çatlak oluşmuştur.	Şekil 4.14'de 4 numaralı görsel

Çizelge 4.3. (Devam)Şahit2 üç noktalı yükleme deneyi detayları

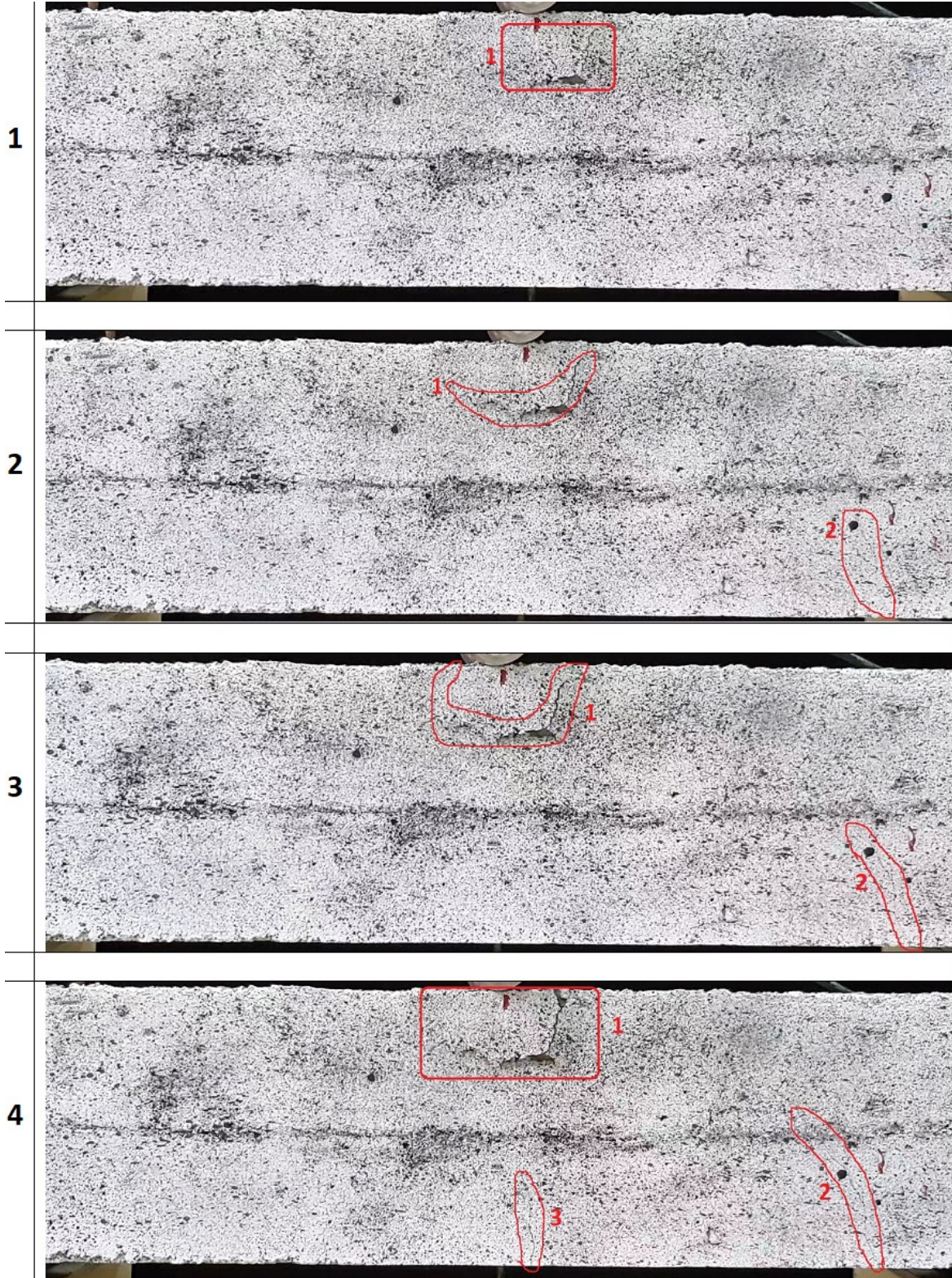
Uygulanan yük (ton)	Kiriş orta noktasında oluşan yer değiştirme (sehim) (mm)	Gözlenen değişim	Şekil açıklaması
10-10,75 ton arası	4,74-10,16 mm arası	Şimdiye kadarki yük artışlarında kirişin orta noktasında oluşan sehim değerinde yavaş yavaş ve az miktarda artış gözlenirken 0,74 tonluk bu yük artışı sırasında 5,42 mm ani bir artış gözlemlenmiştir. 1 numaralı çatlak olduğu bölgede, beton bütünlüğünü koruyamadı ve yüzeyde kopma gözlemlendi. 3 numaralı çatlak belirginleşip yukarıya doğru uzamıştır. 4 ve 5 numaralı çatlaklar oluşmuştur.	Şekil 4.15'de 5 numaralı görsel
10,75 ton Maksimum yük taşıma kapasitesi	10,36 mm	Kiriş maksimum yük taşıma kapasitesine ulaşmıştır ve bu yük altında 10,36 mm sehim yapmıştır. Sehim değeri küçük gibi görünse de kiriş üzerindeki deformasyonlarda ani bir artış ve çatlaklarda genişleme olduğu gözlemlenmiştir. 1 numaralı çatlak olduğu bölgede aşınma artmış ve net beton örtüsü bütünlüğünü koruyamamıştır. 1 numaralı bölgede meydana gelen parçalanmanın ardından o bölgede 11 numaralı yeni bir çatlak oluştuğu gözlemlenmiştir. 3 numaralı çatlak yukarıya doğru ilerlemeye devam etmiştir. 3 numaralı çatlak sağında ve solunda 8 ve 9 numaralı yeni kesme çatlakları oluşmuştur. Bunlardan başka 4, 5, 6, 7 ve 10 numaralı çatlaklar da oluşmuştur.	Şekil 4.15'de 6 numaralı görsel

Çizelge 4.3. (Devam)Şahit2 üç noktalı yükleme deneyi detayları

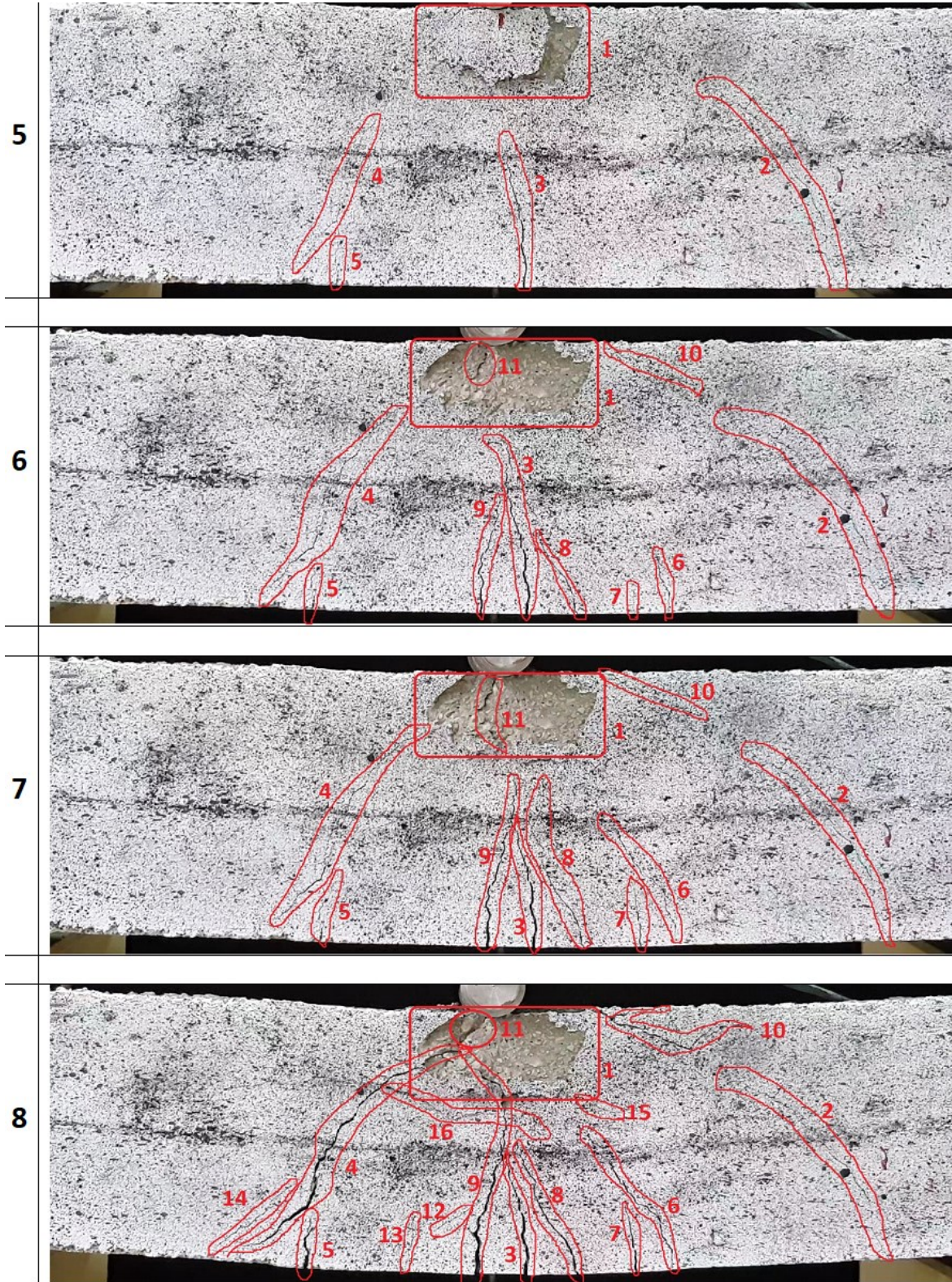
Uygulanan yük (ton)	Kiriş orta noktasında oluşan yer değiştirme (sehim) (mm)	Gözlenen değişim	Şekil açıklaması
10,74-10,5 ton arası	10,55-12,7 mm arası	Kirişe gelen yük 10,75 tona ulaştığında kiriş dayanımını tamamladı ve artık okunan yük değerinde azalma meydana gelirken; küçük yük değişimlerinde büyük sehim artışları ve deformasyonlar olduğu gözlemlenmiştir. 10,75-10,5 ton yük aralığında kirişin davranışı incelendiğinde göçme anından sonra özellikle kirişin orta noktasındaki sehim artışının 2,15 mm arttığı ve kirişin alt yüzeyinin bir yay gibi şekil değiştirmeğe başladığı gözlemlenmiştir. Bu noktada yeni çatlaklar oluşmazken 8, 9 ve 11 numaralı çatlakların uzadığı, 9 ve 3 numaralı çatlakların ise genişlediği gözlemlenmiştir.	Şekil 4.15'de 7 numaralı görsel
10,5-10 ton arası	12,9-14,13 mm arası	0,5 tonluk bir yük değişimi olduğu ve bu yük değişimiyle 1,23 mm lik bir sehim artışının meydana geldiği gözlemlenmiştir. 4, 9 ve 11 numaralı çatlaklar birleşirken genişlikleri de artmıştır. 6 numaralı çatlağın uzadığı ve genişliğinin de artarak belirginleştiği gözlemlenmiştir. 3, 7 ve 8 numaralı çatlakların genişlikleri artarak belirginleşmeğe başlamışlardır. 10 numaralı çatlakda uzama olduğu gözlemlenirken 1 numaralı bölgeye doğru ilerlemiş olduğu ve orda yeniden bir parçalanmaya yol açabileceği gözlemlenmiştir. 12, 13, 14, 15 ve 16 numaralı yeni çatlakların olduğu gözlemlenmiştir.	Şekil 4.15'de 8 numaralı görsel

Çizelge 4.3. (Devam)Şahit2 üç noktalı yükleme deneyi detayları

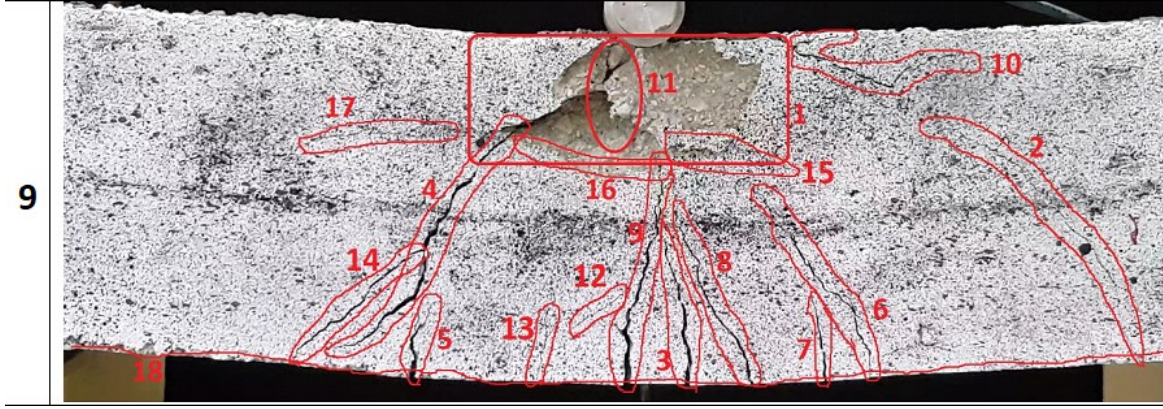
Uygulanan yük (ton)	Kiriş orta noktasında oluşan yer değiştirme (sehim) (mm)	Gözlenen değişim	Şekil açıklaması
10-9 ton arası	14,113mm	<p>Kiriş orta noktasında oluşturduğu maksimum sehim değeri okunmuştur. Ve kirişin alt yüzeyinin 18 numaralı yay ile çizildiği gibi belirgin bir şekilde eğildiği gözlemlenmiştir. 16 numaralı çatlak üzerinde yeni bir parçalanma olduğu gözlemlenmiştir. 14 numaralı çatlak 4 numaralı kesme çatlak ile birleşmiştir. 1 numaralı bölgede 4, 9 ve 11 numaralı çatlakların birleşmesiyle oluşan deformasyonun arttığı gözlemlenmiştir. Diğer çatlakların da genişliği artarken gevrek kırılma ile güç tükenmesi olmuştur.</p>	Şekil 4.16'de 9 numaralı görsel



Şekil 4.14. Şahit2 kirişi; 1)5-7 ton yük aralığında, 2)7-8 ton yük aralığında, 3)8-9 ton yük aralığında, 4)9-10 ton yük aralığında

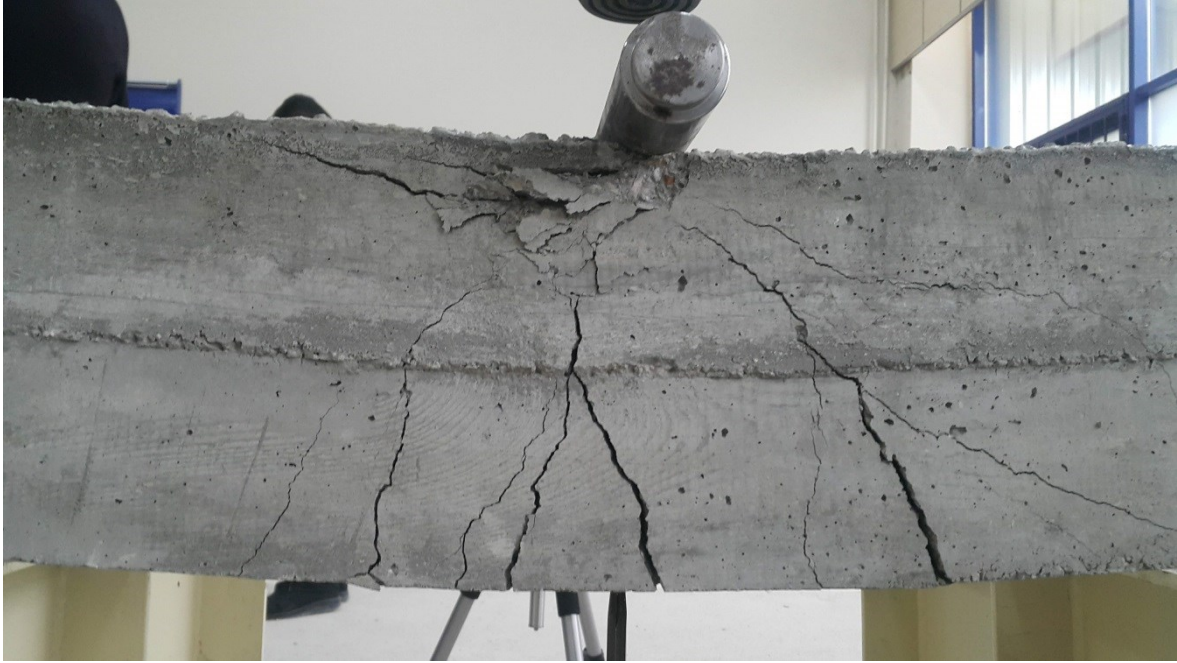


Şekil 4.15. Şahit2 kirişi; 5)10-10,75 ton yük aralığında, 6)10,75 ton maksimum yük taşıma kapasitesi 7)10,74-10,5 ton yük aralığında, 8)10,5-10 ton yük aralığında



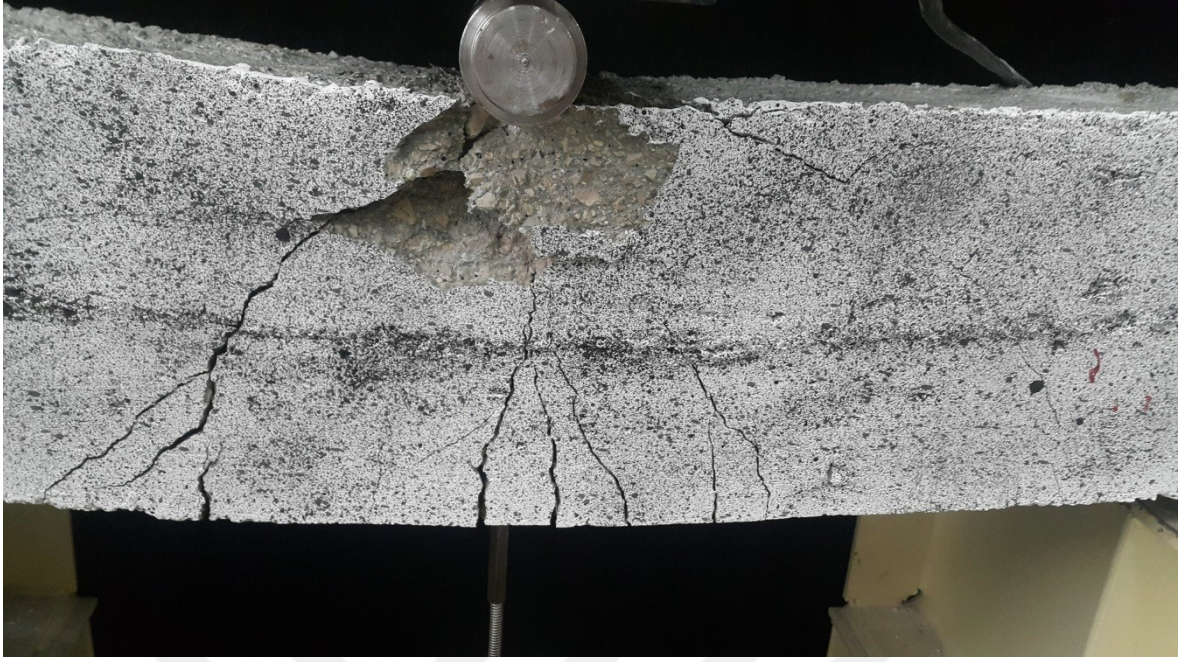
Şekil 4.16. Şahit2 kirişi; 9)10-9 ton yük aralığında

Yükleme deneyi sonunda Şahit2 kirişinin arka yüzünde eğilme çatlakları ve kesme çatlakları olduğu gözlemlenmiştir. Kirişin arka yüzünde ön yüzde olduğu kadar büyük parçalanmalar olmadığı gözlemlenmiştir. (Şekil 4.17).



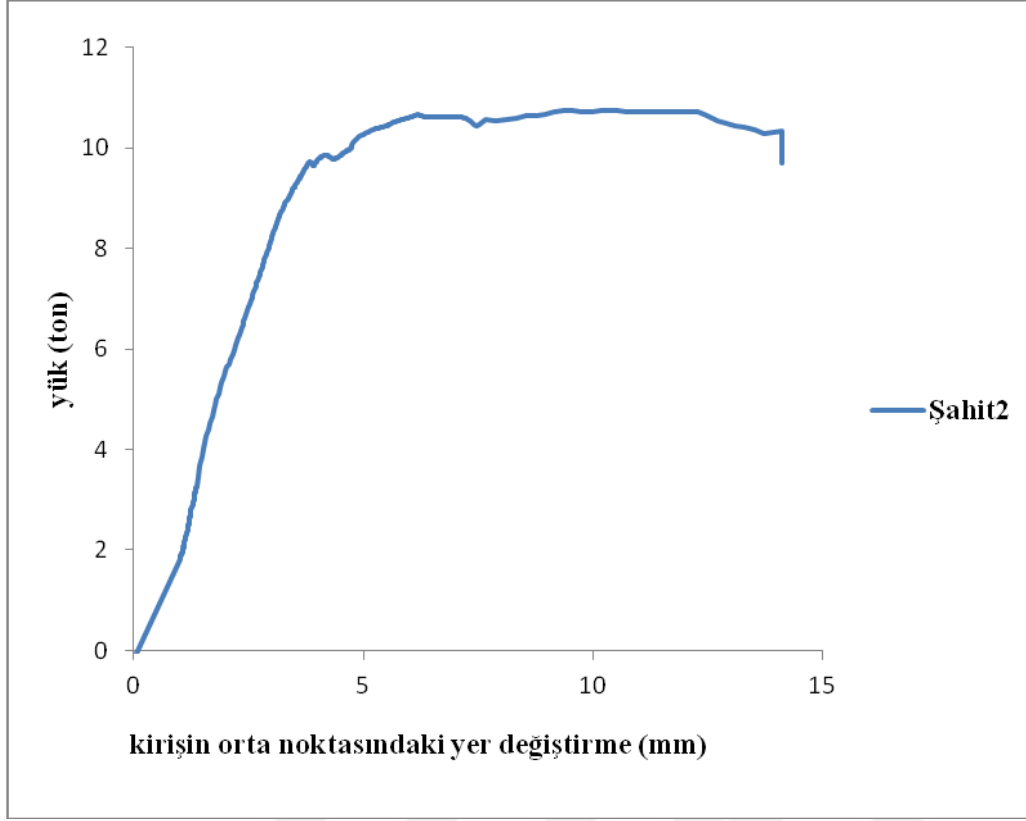
Şekil 4.17. Şahit2 kirişinin arka yüzü

Şahit2 kirişinin ön yüzünde oluşan deformasyonlar ve çatlaklar yakından incelendiğinde birden fazla kesme çatlağının oluştuğu, net beton örtüsünün önemli derecede hasar aldığı, ön yüzünde kopma ve parçalanmaların olduğu, betonun bütünlüğünü koruyamadığı görülmüştür (Şekil 4.18).



Şekil 4.18. Şahit2 kirişinin ön yüzü

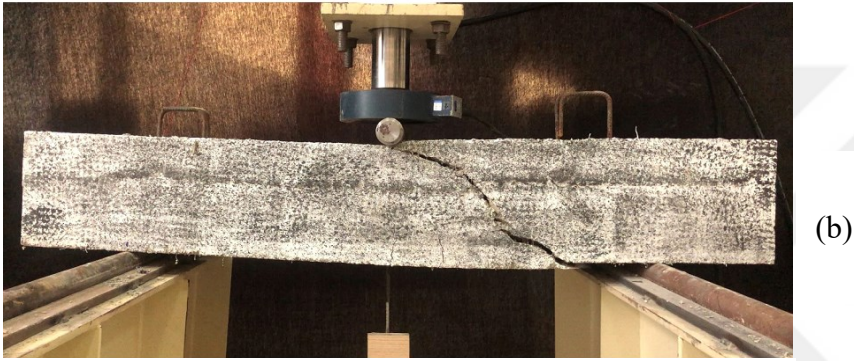
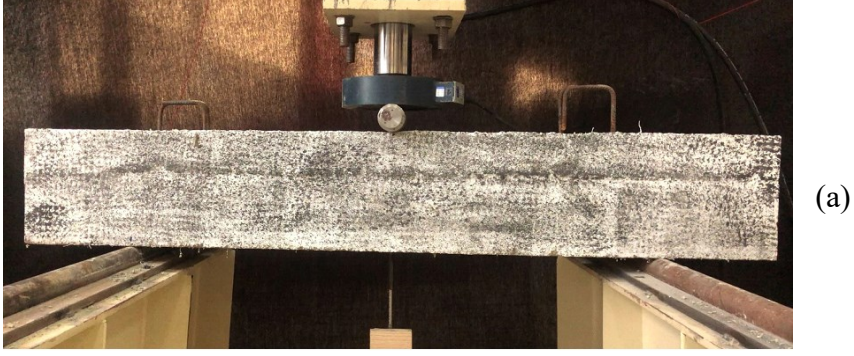
Üç noktalı yükleme deneyi sonunda kirişe aktarılan yük ve bu yüke paralel olarak kirişin orta noktasında meydana gelen sehim değerleri kayıt altına alınıp yük-kiriş orta noktasındaki yer değiştirme grafiği elde edilmiştir (Şekil 4.19).



Şekil 4.19.Şahit2 kirişinin yük-kirişin orta noktasındaki yer değiştirme grafiği

Üç noktalı yükleme deneyi sonrasında Şahit2 kirişinin maksimum yük taşıma kapasitesi 10,75 ton, enerji yutma kapasitesi ise yük-kiriş orta noktasındaki yer değiştirme grafiğinin altında kalan alan hesaplanarak 58,634 t.mm bulunmuştur. Şahit2 kirişinin süneklik katsayısı ise 3,36 olarak bulunmuştur.

04K1 kirişinin üç noktalı yükleme deneyi öncesi ve güç tükenmesine ulaştığındaki görüntüleri sırasıyla Şekil 4.20’de verilmiştir.



Şekil 4.20. a)Yüklemeye başlamadan önce 04K1 kirişi, b)Güç tükenmesine ulaştığında 04K1 kirişi

04K1 kişine ait üç noktalı yüklemeye deneyi ile ilgili detaylar Çizelge 4.4’de verilmiştir.

Çizelge 4.4. 04K1 üç noktalı yükleme deneyi detayları

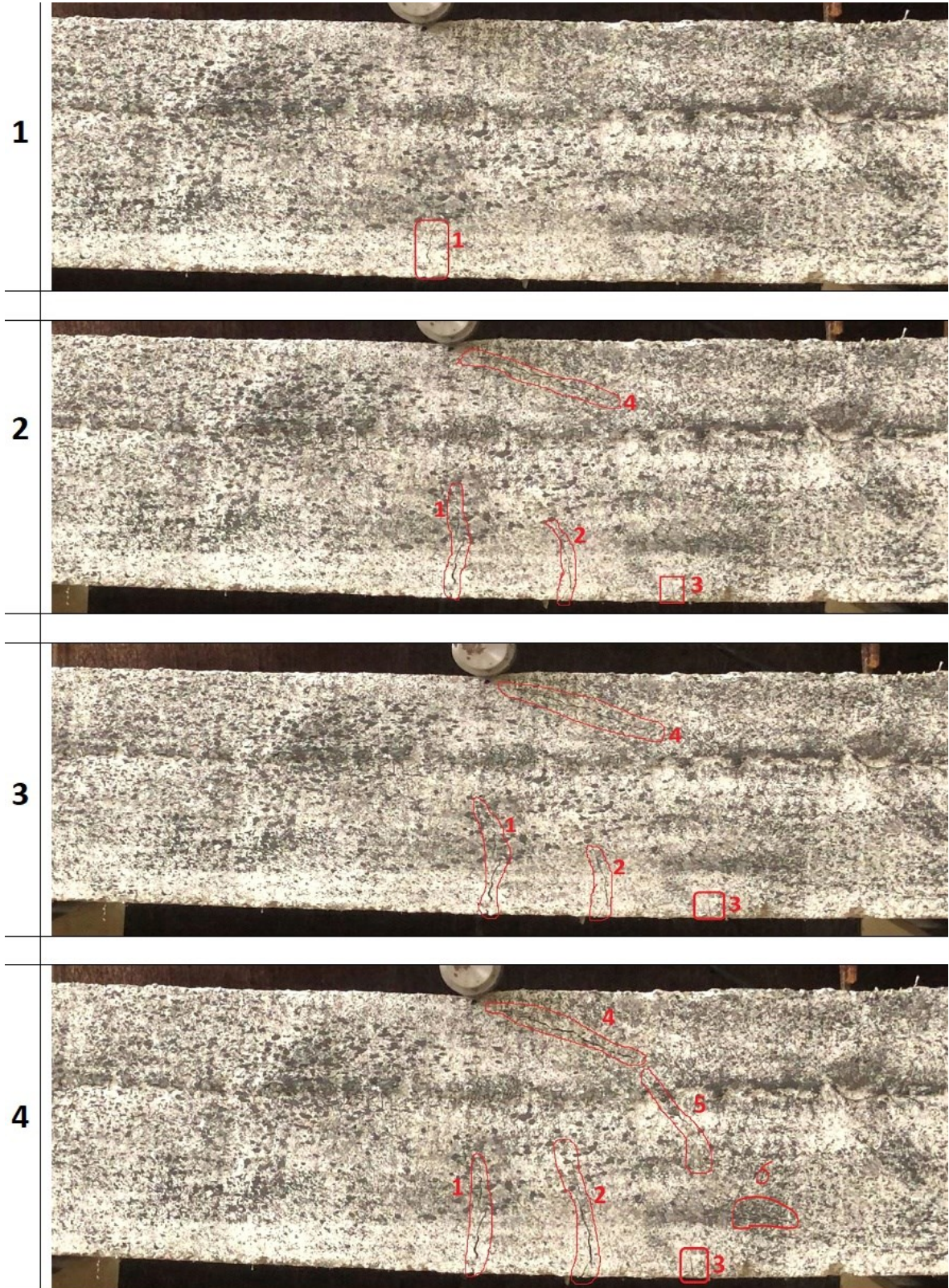
Uygulanan yük (ton)	Kiriş orta noktasında oluşan yer değiştirme (sehim) (mm)	Gözlenen değişim	Şekil açıklaması
4-8 ton arası	1,16-2,37 mm arası	4-8 ton arasında 4 tonluk bir yük artışına rağmen kirişin orta noktasında okunan sehim değerinde 1,21 mm bir artış meydana gelmiştir. Kiriş yüzeyinde ise henüz herhangi bir çatlak veya deformasyon gözlemlenmemiştir.	
8-9 ton arası	2,46-2,72 mm arası	Kirişe aktarılan yük 1 ton daha artmıştır ve bu aralıkta kirişin orta noktasında okunan sehim değerinin 0,26 mm gibi çok az bir miktarda arttığı görülmüştür. Kirişin yüzeyinde hala bir çatlak veya deformasyon gözlemlenmemiştir.	
9-10 ton arası	2,82-3,09 mm arası	Kirişe gelen yük artmaya ve kiriş sehim yapmaya devam ederken hala dayanımının düşmediği ve gelen yükü çatlak ve deformasyon oluşturmadan taşıyabildiği gözlemlenmiştir.	
10-12 ton arası	3,17-4 mm arası	10-12 ton arasında kirişe gelen yük 2 ton daha arttırılmıştır. Bu yükleme sırasında kirişin orta noktasında okunan sehim değeri 0,83 mm artmıştır. Bu yükleme aralığında kirişe gelen yük değeri 12 tona yaklaşırken 1 numaralı ilk çatlağın oluştuğu gözlemlenmiştir.	Şekil 4.21'de 1 numaralı görsel

Çizelge 4.4. (Devam)04K1 üç noktalı yükleme deneyi detayları

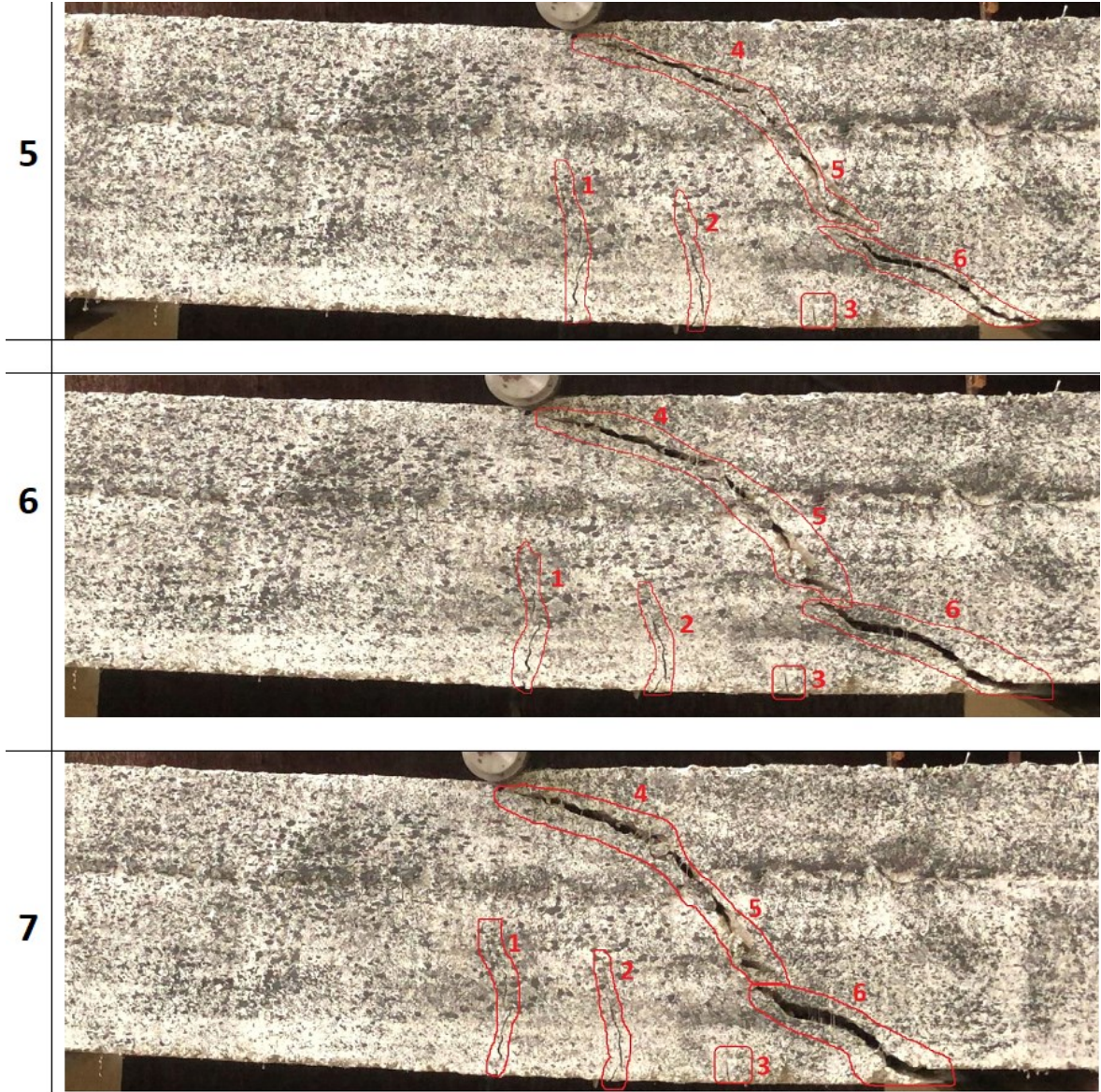
Uygulanan yük (ton)	Kiriş orta noktasında oluşan yer değiştirme (sehim) (mm)	Gözlenen değişim	Şekil açıklaması
12-12,54 ton arası	4,08-6,23 mm arası	12-12,54 ton arasında kirişe gelen yük 0,54 ton daha arttırılmıştır. Bu yükleme sırasında kirişin orta noktasında okunan sehim değerindeki artışın 2,15 mm olarak daha önceki adımlara göre hızlı bir artışa geçtiği gözlemlenmiştir. Kirişin ön yüzünde 2, 3 ve 4 numaralı yeni çatlaklar oluşmuştur. 1 numaralı çatlağın genişliği ise artmıştır.	Şekil 4.21'de 2 numaralı görsel
12,54 ton Maksimum yük taşıma kapasitesi	6,33 mm	Kiriş maksimum yük taşıma kapasitesine ulaşmıştır ve bu durumda kirişin orta noktasında okunan sehim değeri 6,33 mm olarak kaydedilmiştir. Kiriş maksimum yük taşıma kapasitesine ulaşmasına rağmen yeni çatlaklar oluşmadığı ve yüzeyde herhangi bir deformasyon olmadığı gözlemlenmiştir.	Şekil 4.21'de 3 numaralı görsel
12,54-11,5 ton arası	6,43-10,16 mm arası	Kirişe gelen yük 12,54 tona ulaştığında kiriş dayanımını tamamladı ve artık okunan yük değerinde azalma meydana gelirken; kirişin ortan noktasında okunan sehim değerinin 3,73 mm kadar ani bir artış gösterdiği görülmüştür. kirişin alt yüzü düzlüğünü kaybederek yay şeklini almaya başlamıştır. 2 ve 4 numaralı çatlakların bir miktar genişlediği gözlemlenmiştir ve bu çatlaklara 5 ve 6 numaralı kesme çatlakları eklenmiştir.	Şekil 4.21'de 4 numaralı görsel

Çizelge 4.4. (Devam) 04K1 üç noktalı yükleme deneyi detayları

Uygulanan yük (ton)	Kiriş orta noktasında oluşan yer değiştirme (sehim) (mm)	Gözlenen değişim	Şekil açıklaması
11,5-10 ton arası	11,8-12,66 mm arası	Kirişin taşıyabildiği yük miktarı 10 tona düşerken yeni çatlak oluşmamıştır, daha önce oluşan 4, 5 ve 6 numaralı çatlakların genişlediği gözlemlenmiştir. 4 ve 5 numaralı çatlaklar birleşmiştir.	Şekil 4.22'de 5 numaralı görsel
10-8 ton arası	11,8-12,66 mm arası	Kiriş taşıyabildiği yük miktarı 8 tona kadar düşmüştür. Kiriş sehim yapmaya devam ederken 6 numaralı çatlakta büyüme gözlemlenmiştir. yeni çatlak oluşmamıştır, mevcut 4 ve 5 numaralı çatlakların genişliği bir miktar artmıştır.	Şekil 4.22'de 6 numaralı görsel
8-6 ton arası	12,84-16,33 mm arası	6 numaralı çatlağın 5 numaralı çatlağa çok yakın olmasına rağmen bu çatlağa birleşmediğini ve daha fazla ilerlemediğini gözlemledik. Kirişin net beton örtüsünde kopma parçalanma gibi deformasyonlar oluşmamıştır. Çatlakların olduğu kısımlarda MFSD'nin direnç göstererek kirişin hala tek parça kalmasına katkı sağladığı gözlemlenmiştir. Kirişin orta noktasında okunan sehim değeri 16,33 mme ulaştığında gevrek kırılma ile güç tükenmesi olmuştur.	Şekil 4.22'de 7 numaralı görsel



Şekil 4.21. 04K1 kirişi; 1)10-12 ton yük aralığında, 2)12-12,54 ton yük aralığında, 3) 12,54 ton maksimum yük taşıma kapasitesi 4)12,54-11,5 ton yük aralığında



Şekil 4.22. 04K1 kirişi; 5)11,5-10 ton yük aralığında, 6)10-8 ton yük aralığında 7)8-6 ton yük aralığında

Yükleme deneyi sonunda 04K1 kirişinin arka yüzünde eğilme ve kesme çatlakları oluştuğu gözlemlenmiştir. Kirişin arka yüzünde oluşan kesme çatlağının genişliği ön yüzünde oluşan kesme çatlağına göre daha azdır. Kirişin arka yüzünde de net beton örtüsünde parçalanma ve kopma olmadığı gözlemlenmiştir (Şekil 4.23).



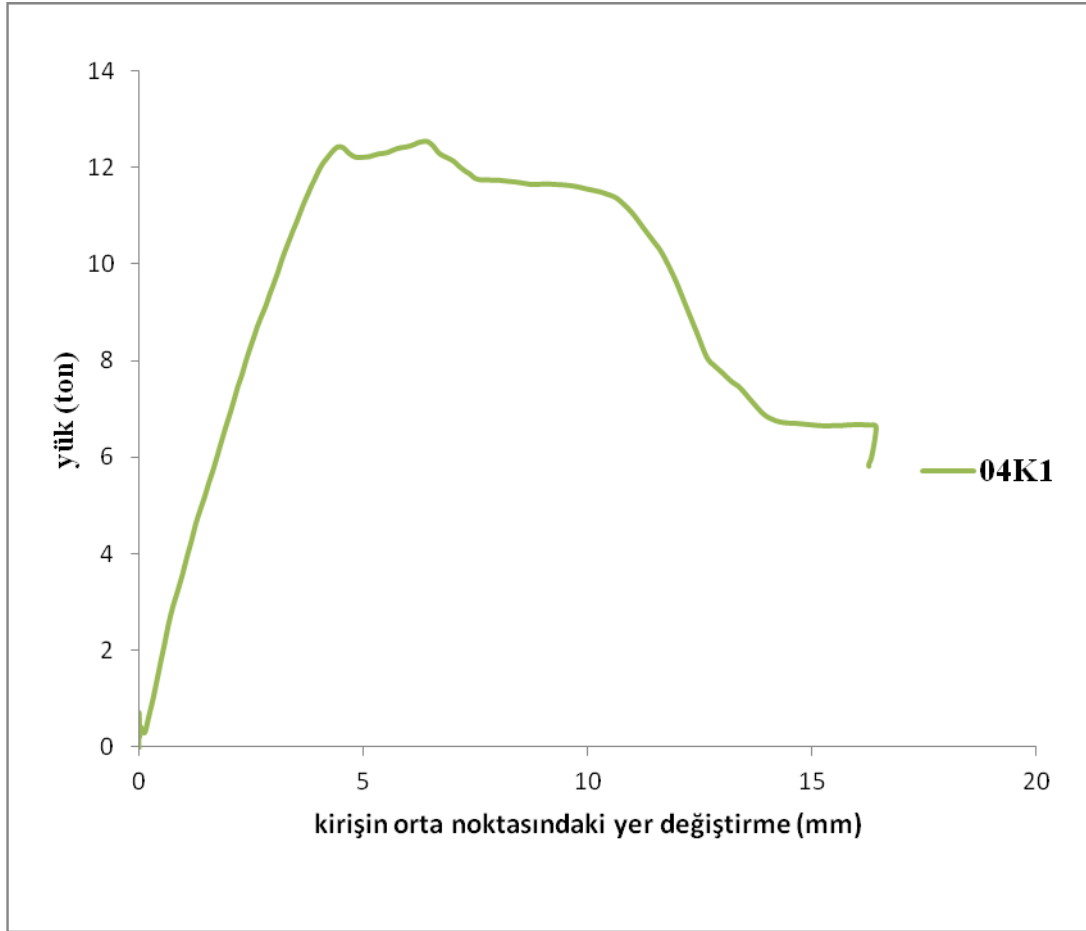
Şekil 4.23. 04K1'in arka yüzü

04K1 kirişinin ön yüzünde oluşan çatlaklar yakından incelendiğinde sağ tarafta kesme çatlağı oluşurken sol tarafında yalnızca iki adet eğilme çatlağı olduğu gözlemlenmiştir. Oluşan kesme çatlağı detaylı incelendiğinde büyümek isteyen çatlak genişliğine karşı MSF'nin direnç göstermiş ve çatlağın arasında gerilerek olası bir ayrışmayı da engellediği gözlemlenmiştir.(Şekil 4.24).



Şekil 4.24. 04K1 kirişinin ön yüzü

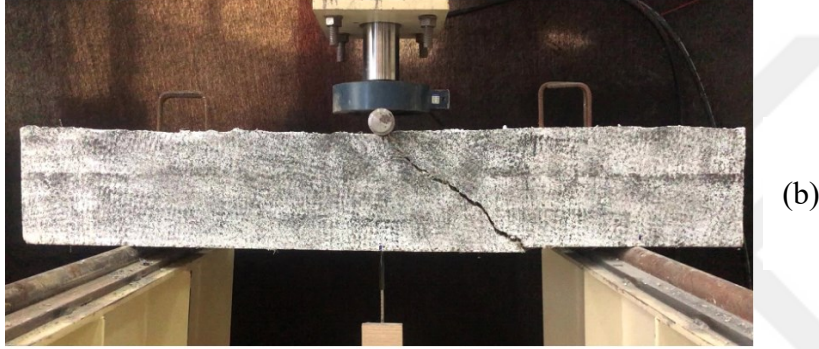
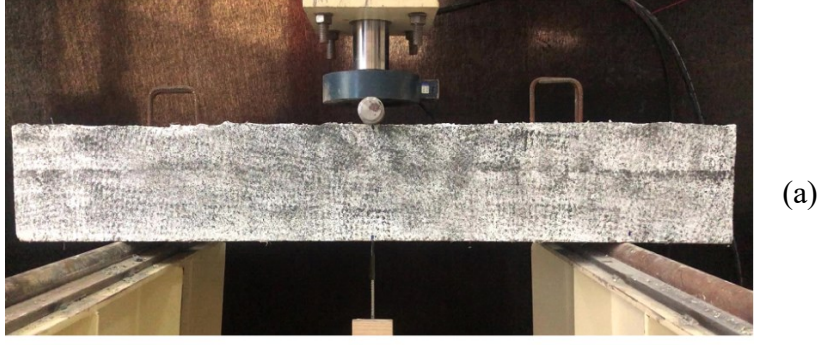
Üç noktalı yükleme deneyi sonunda kirişe aktarılan yük ve bu yüke paralel olarak kirişin orta noktasında meydana gelen sehim değerleri kayıt altına alınıp yük-kiriş orta noktasındaki yer değiştirme grafiği elde edilmiştir (Şekil 4.25).



Şekil 4.25. 04K1'in yük-kirişin orta noktasındaki yer değiştirme grafiği

Üç noktalı yükleme deneyi sonrasında 04K1 kirişinin maksimum yük taşıma kapasitesi 12,54 ton, enerji yutma kapasitesi ise yük -kiriş orta noktasındaki yer değiştirme grafiğinin altında kalan alan hesaplanarak 151,309 t.mm bulunmuştur. 04K1 kirişinin süneklik katsayısı ise 3,83 olarak bulunmuştur.

04K2 kirişinin üç noktalı yükleme deneyi öncesi ve güç tükenmesine ulaştığındaki görüntüleri sırasıyla Şekil 4.26'de verilmiştir.



Şekil 4.26. a)Yüklemeye başlamadan önce 04K2 kirişi, b)Güç tükenmesine ulaştığında 04K2 kirişi

04K2 kişine ait üç noktalı yüklemeye deneyi ile ilgili detaylar Çizelge 4.5’de verilmiştir.

Çizelge 4.5.04K2 üç noktalı yükleme deneyi detayları

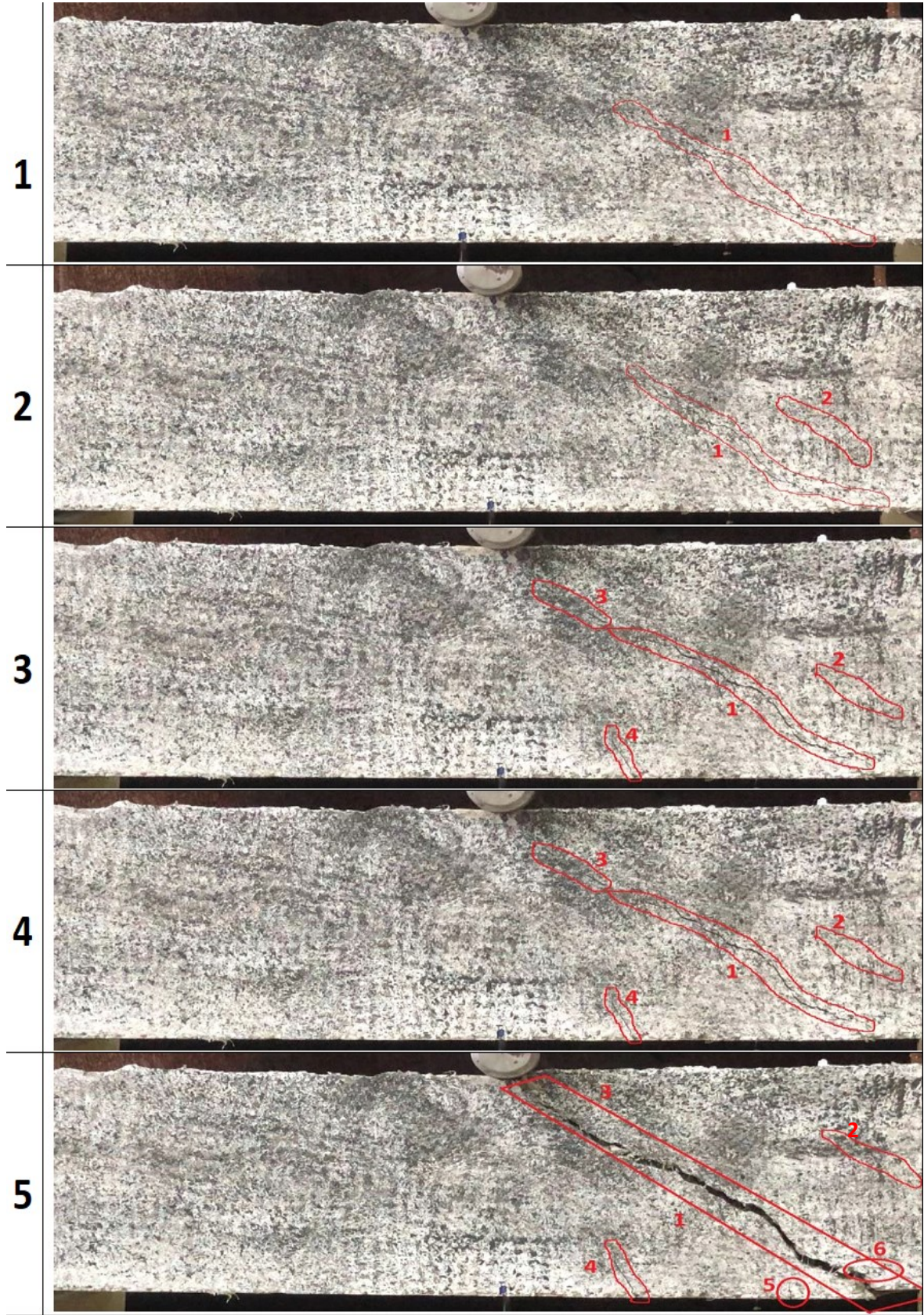
Uygulanan yük (ton)	Kiriş orta noktasında oluşan yer değiştirme (sehim) (mm)	Gözlenen değişim	Şekil açıklaması
4-8 ton arası	1,55-3,09 mm arası	4-8 ton arasında 4 tonluk bir yük artışıyla birlikte kirişin orta noktasında okunan sehim değerinde 1,54 mm'lik bir artış meydana gelmiştir. Kiriş yüzeyinde ise henüz herhangi bir çatlak veya deformasyon gözlemlenmemiştir.	
8-9 ton arası	3,13-3,57 mm arası	Kirişe aktarılan yük 1 ton daha artmıştır ve bu aralıkta kirişin orta noktasında okunan sehim değerinin 0,44 mm gibi az bir miktarda arttığı görülmüştür. Kirişin yüzeyinde hala bir çatlak veya deformasyon gözlemlenmemiştir.	
9-10 ton arası	3,6-4 mm arası	Kirişe gelen yük artmaya ve kiriş sehim yapmaya devam ederken hala dayanımının düşmediği ve gelen yükü çatlak ve deformasyon oluşturmadan taşıyabildiği gözlemlenmiştir.	
10-11 ton arası	4,01-5 mm arası	Bu yük aralığında kirişe gelen yük 1 ton artırılmıştır ve değişimler gözlemlenmeye devam edilmiştir. Kirişin orta noktasında oluşan sehimde 9-10 ton arasındaki artışa göre daha fazla bir artış olduğu gözlemlenmiştir. Yük 1 ton artırılırken; kirişin orta noktasında okunan sehim değeri 0,99 mm artmıştır. Bu aşamada da kiriş üzerinde 1 numaralı kesme çatlaklarının oluştuğu gözlemlenmiştir.	Şekil 4.27'de 1 numaralı görsel

Çizelge 4.5. (Devam)04K2 üç noktalı yükleme deneyi detayları

Uygulanan yük (ton)	Kiriş orta noktasında oluşan yer değiştirme (sehim) (mm)	Gözlenen değişim	Şekil açıklaması
11,089 ton Maksimum yük taşıma kapasitesi	5,03 mm	Kiriş maksimum yük taşıma kapasitesine ulaşmıştır ve bu durumda kirişin orta noktasında okunan sehim değeri 5,03 mm olarak kaydedilmiştir. Kiriş maksimum yük taşıma kapasitesine ulaştığı sırada kirişin ön yüzünde 2 numaralı eğilme çatlakları oluşmuş ve gözlemlenmiştir. 1 ve 2 numaralı çatlaklar dışında gözle görülür bir başka herhangi bir deformasyonun da meydana gelmediği gözlemlenmiştir.	Şekil 4.27'de 2 numaralı görsel
11,089-10,75 ton arası	5,06-5,43 mm arası	Kirişe gelen yük 11,089 tona ulaştığında kiriş dayanımını tamamladı ve artık okunan yük değerinde azalma meydana gelirken; kirişin ortan noktasında okunan sehim değerinin 0,37 mm artış gösterdiği görülmüştür. Kirişin ön yüzünde oluşan 1 numaralı çatlak bu aşamada bir miktar genişleyerek daha belirgin hale geldiği gözlemlenmiştir. Kirişin ön yüzünde 3 ve 4 numaralı iki çatlak daha oluştuğu gözlemlenmiştir.	Şekil 4.27'de 3 numaralı görsel
10,75-10,6 ton arası	5,47-6,05 mm arası	Kirişin taşıyabildiği yük miktarı 10,6 tona düşerken yeni çatlak oluşmamıştır, daha önce oluşan 1 ve 3 numaralı çatlakların genişleyerek birleştiği gözlemlenmiştir. 2 ve 4 numaralı çatlaklarda herhangi büyüme ve çatlak genişliğinde artma olmadı gözlemlenmiştir.	Şekil 4.27'de 5 numaralı görsel

Çizelge 4.5. (Devam)04K2 üç noktalı yükleme deneyi detayları

Uygulanan yük (ton)	Kiriş orta noktasında oluşan yer değiştirme (sehim) (mm)	Gözlenen değişim	Şekil açıklaması
10,6-6 ton arası	6,08-12,57 mm arası	1 ve 3 numaralı çatlaklarda genişleme olduğu gözlemlenmiştir. Çatlağın arsında MFSD'nin gerilerek direnç oluşturarak, olası bir parçalanma ve kopmayı engellediği gözlemlenmiştir. 5 ve 6 numaralı yeni eğilme çatlakları oluşmuştur. Kirişin orta noktasında okunan sehim değeri 12,57 mm'ye ulaştığında gevrek kırılma ile güç tükenmesi olmuştur.	Şekil 4.27'de 7 numaralı görsel



Şekil 4.27. 04K2 kirişi; 1)10-11 ton yük aralığında, 2)11,089 ton maksimum yük taşıma kapasitesi, 3) 11,089-10,75 ton yük aralığında, 4)10,75-10,6 ton yük aralığında, 5)10,6-6 ton yük aralığında

Yükleme deneyi sonunda 04K2 kirişinin arka yüzünde eğilme çatlakları ve ön yüzünde oluşan kesme çatlağına paralel kesme çatlakları olduğu gözlemlenmiştir. Kirişin arka yüzünde oluşan kesme çatlağının genişliği ön yüzünde oluşan kesme çatlağına göre daha azdır. Oluşan iki farklı kesme çatlağı birleşmemiştir. Çatlaklar tekil olarak hareket etmiştir, bir başka çatlakla birleşmemiştir. Kirişin arka yüzünde de net beton örtüsünde parçalanma ve kopma olmadığı gözlemlenmiştir (Şekil 4.28).



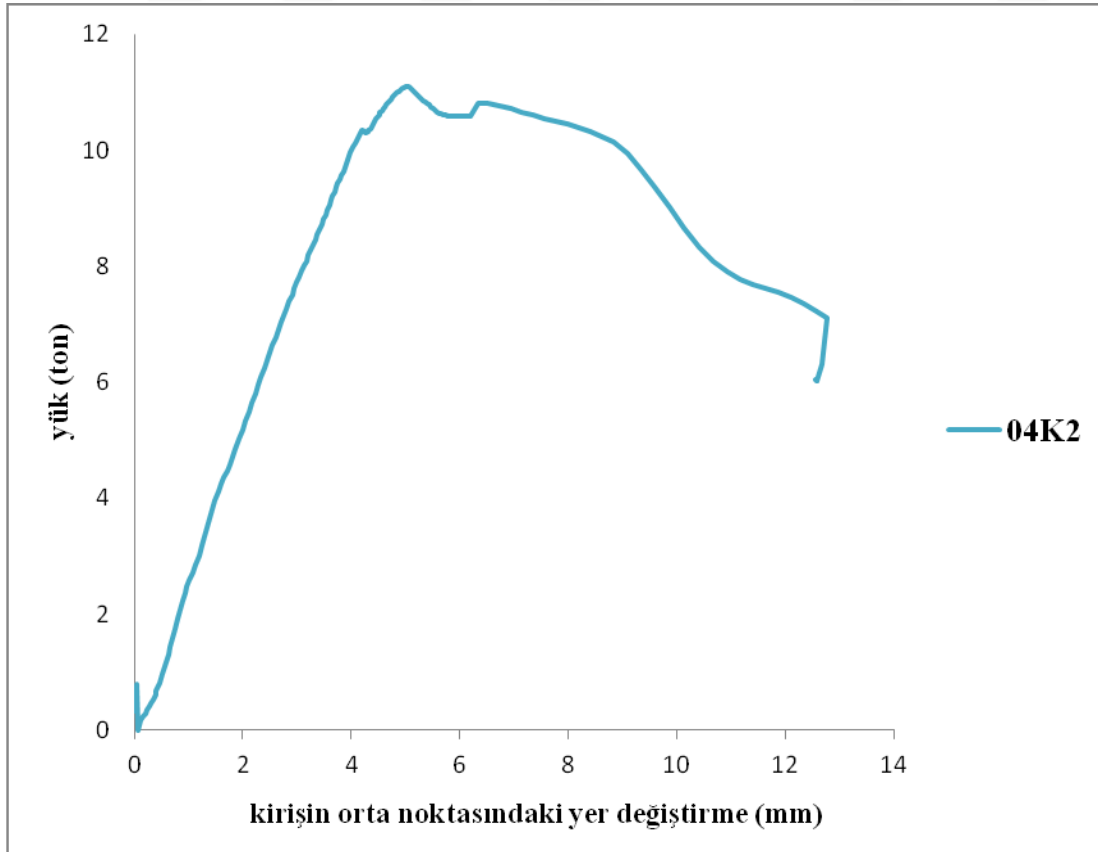
Şekil 4.28. 04K2 kirişinin arka yüzü

04K2 kirişinin ön yüzünde oluşan çatlaklar yakından incelendiğinde bir adet kesme çatlağı kesme çatlağı olduğu ve dört adet eğilme çatlağı olduğu gözlemlenmiştir. Oluşan kesme çatlağı detaylı incelendiğinde büyümek isteyen çatlak genişliğine karşı MSF'nin direnç göstermiş ve çatlağın arasında gerilerek olası bir ayrışmayı da engellediği gözlemlenmiştir (Şekil 4.29). Oluşan eğilme çatlakları ise büyümeyerek kılcal çatlaklar halinde kalmıştır.



Şekil 4.29. 04K2 kirişinin ön yüzü

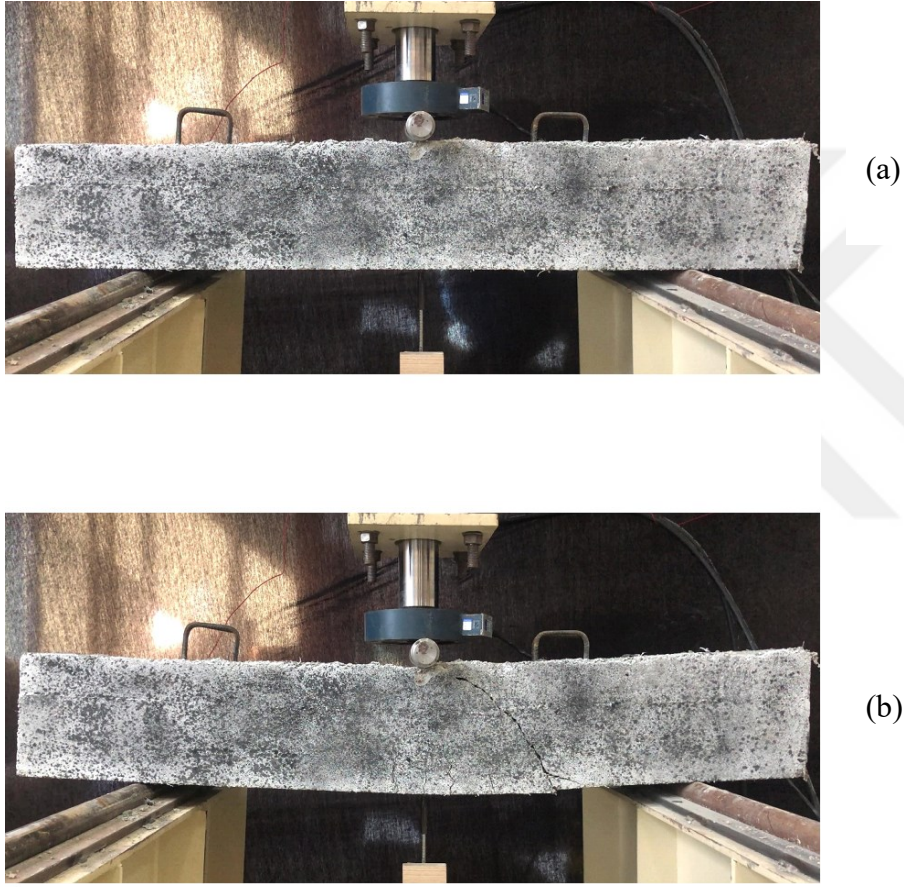
Üç noktalı yükleme deneyi sonunda kirişe aktarılan yük ve bu yüke paralel olarak kirişin orta noktasında meydana gelen sehım değerleri kayıt altına alınıp yük-kiriş orta noktasındaki yer değiştirme grafiği elde edilmiştir (Şekil 4.30).



Şekil 4.30. 04K2'in yük-kirişin orta noktasındaki yer değiştirme grafiği

3 noktalı yükleme deneyi sonrasında 04K2 kirişinin maksimum yük taşıma kapasitesi 11,089 ton, enerji yutma kapasitesi ise yük-kiriş orta noktasındaki yer değiştirme grafiğinin altında kalan alan hesaplanarak 103,02 t.mm bulunmuştur. 04K2 kirişinin süneklik katsayısı ise 4,091 olarak bulunmuştur.

06K1 kirişinin üç noktalı yükleme deneyi öncesi ve güç tükenmesine ulaştığındaki görüntüleri sırasıyla Şekil 4.31’de verilmiştir.



Şekil 4.31. a)Yükleme başlamadan önce 06K1 kirişi, b)Güç tükenmesine ulaştığında 06K1 kirişi

06K1 kişine ait üç noktalı yükleme deneyi ile ilgili detaylar Çizelge 4.6’da verilmiştir.

Çizelge 4.6. 06K1 üç noktalı yükleme deneyi detayları

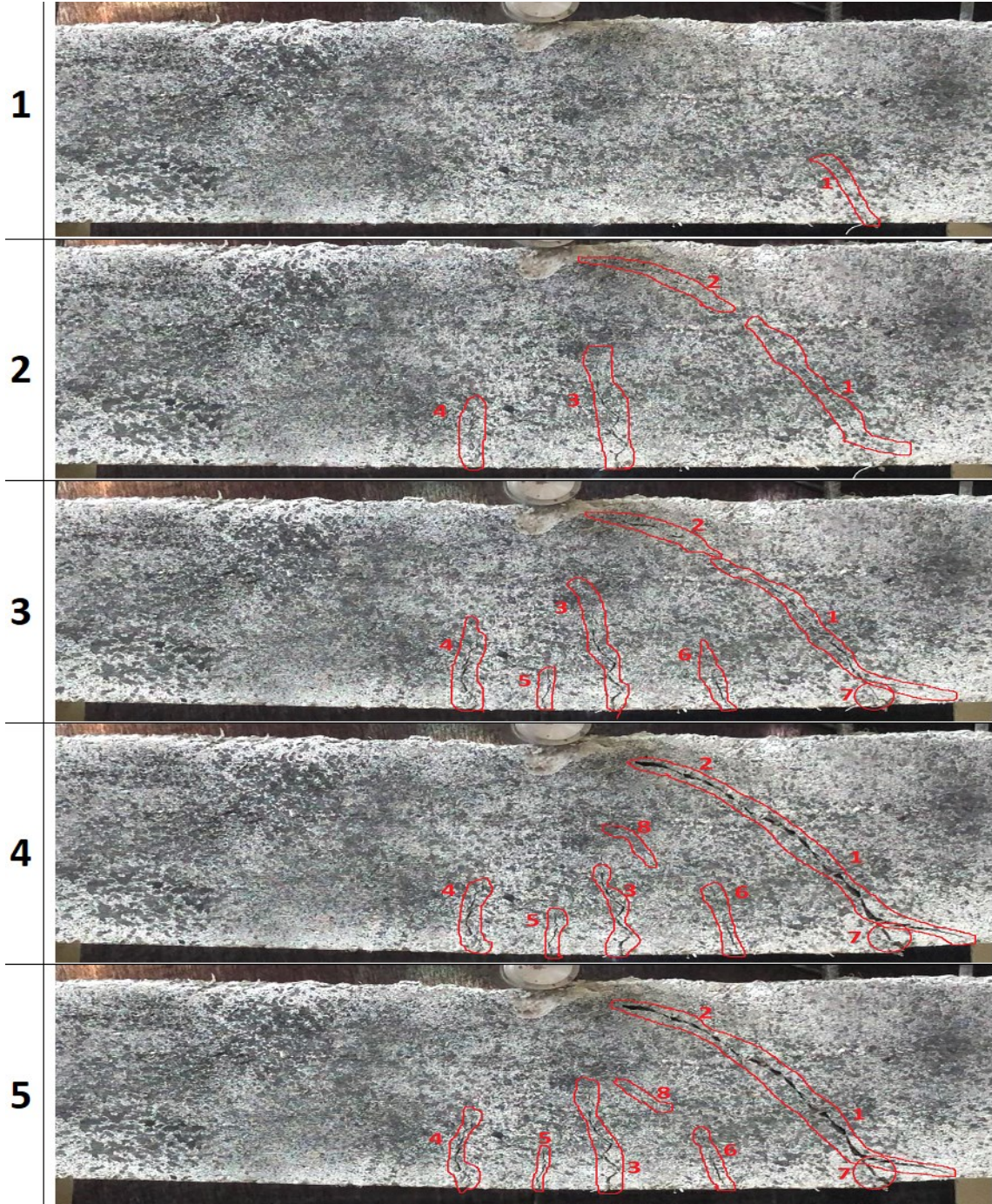
Uygulanan yük (ton)	Kiriş orta noktasında oluşan yer değiştirme (sehim) (mm)	Gözlenen değişim	Şekil açıklaması
4-8 ton arası	1,04-2,32 mm arası	4-8 ton arasında 4 tonluk bir yük artışıyla birlikte kirişin orta noktasında okunan sehim değerinde 1,28 mm'lik bir artış meydana gelmiştir. Kirişin ön yüzünde ise henüz herhangi bir çatlak veya deformasyon gözlemlenmemiştir (Yük hücresinin altında, betonun yüzeyinde mevcut olan aşınma, kiriş taşınırken oluşmuştur, yükleme esnasında oluşmamıştır.).	
8-9 ton arası	2,35-2,65 mm arası	Kirişe aktarılan yük 1 ton daha artmıştır ve bu aralıkta kirişin orta noktasında okunan sehim değerinin 0,3 mm gibi az bir miktarda arttığı görülmüştür. Kirişin yüzeyinde hala bir çatlak veya deformasyon gözlemlenmemiştir.	
9-10 ton arası	2,67-3,03 mm arası	Kirişe gelen yük artmaya ve kiriş sehim yapmaya devam ederken hala dayanımının düşmediği ve gelen yükü çatlak ve deformasyon oluşturmadan taşıyabildiği gözlemlenmiştir. Kirişin orta noktasında oluşan sehim miktarı ise kontrollü bir şekilde artmaya devam etmiştir.	

Çizelge 4.6. (Devam)06K1 üç noktalı yükleme deneyi detayları

Uygulanan yük (ton)	Kiriş orta noktasında oluşan yer değiştirme (sehim) (mm)	Gözlenen değişim	Şekil açıklaması
10-12 ton arası	3,03-3,79 mm arası	10-12 ton aralığında kirişe gelen yük 2 ton artırılmıştır ve değişimler gözlemlenmeye devam edilmiştir. Kirişin orta noktasında oluşan sehimde 9-10 ton arasındaki artışa paralel olarak yine kontrollü bir artış olduğu ve sehimin 0,76 mm arttığı gözlemlenmiştir. Bu aşamada kirişin ön yüzünde 1 numaralı kesme çatlaklarının oluştuğu gözlemlenmiştir.	Şekil 4.32'de 1 numaralı görsel
12-14,682 ton arası	3,89-8,35 mm arası	Bu yük aralığında kirişe gelen yük 2 tondan fazla artırılmıştır ve değişimler gözlemlenmeye devam edilmiştir. Kirişe aktarılan yük 14 tonu geçmesine rağmen kiriş hala yük taşıma kapasitesini doldurmamıştır. Kirişin orta noktasında oluşan sehimde daha önceki artışlara oranla hızlı bir artış olduğu gözlemlenmiştir. 1 numaralı kesme çatlakları çok az bir miktar belirginleşerek yukarıya, yük hücresine doğru ilerlemiştir. 2, 3 ve 4 numaralı yeni çatlaklar oluşmuştur.	Şekil 4.32'de 2 numaralı görsel
14,68 ton Maksimum yük taşıma kapasitesi	8,49 mm	Kiriş maksimum yük taşıma kapasitesine ulaşmıştır ve bu durumda kirişin orta noktasında okunan sehim değeri 8,49 mm olarak kaydedilmiştir. Kiriş maksimum yük taşıma kapasitesine ulaştığında 1, 2, 3 ve 4 numaralı çatlaklar daha belirgin hale gelmiştir. 5, 6, 7 ve 8 numaralı eğilme çatlakları oluşmuştur. Kiriş maksimum yük taşıma kapasitesinde iken kiriş üzerinde büyük deformasyonlar ve çatlaklar olmadığı gözlemlenmiştir.	Şekil 4.32'de 3 numaralı görsel

Çizelge 4.6. (Devam)06K1 üç noktalı yükleme deneyi detayları

Uygulanan yük (ton)	Kiriş orta noktasında oluşan yer değiştirme (sehim) (mm)	Gözlenen değişim	Şekil açıklaması
14,68-14,5 ton arası	8,63-12 mm arası	Kirişe gelen yük 14,68 tona ulaştığında kiriş maksimum yük taşıma kapasitesine ulaşmış oldu ve artık okunan yük değerinde azalma meydana gelirken; kirişin ortan noktasında okunan sehim değerinin giderek arttığı ve yaklaşık 0,2 tonluk bir yük değişiminde 3,37 mm artış gösterdiği görülmüştür. Kirişin ön yüzünde oluşan 1, 2 ve 7 numaralı çatlakların birleştiği ve çatlak genişliğinin bir miktar daha arttığı gözlemlenmiştir. 3, 4, 5, 6 ve 8 numaralı eğilme çatlakları ise mevcut durumlarını korumuşlardır.	Şekil 4.32'de 4 numaralı görsel
14,5-9 ton arası	12,138-24,1 mm arası	Kiriş yüke karşı mukavemetini tamamlarken yeni bir çatlak oluşumu veya deformasyon görülmemiştir. Çatlaklar genişliklerini korumuşlardır. Kirişin ön yüzünde çatlaklar dışında herhangi bir deformasyon ve parçalanma olmazken, kirişin orta noktasında okunan shim değerinde yaklaşık iki kat kadar bir artış olduğu ve kirişin gayet sünek davrandığı kaydedilmiştir. Kirişin orta noktasında okunan sehim değeri 24,10 mm'ye ulaştığında gevrek kırılma ile güç tükenmesi olmuştur.	Şekil 4.32'de 5 numaralı görsel



Şekil 4.32. 06K1 kirişi; 1)10-12 ton yük aralığında, 2)12-14,682 ton yük aralığında, 3) 14,68 ton maksimum yük taşıma kapasitesi, 4)14,68-14,5 ton yük aralığında, 5)14,5-9 ton yük aralığında

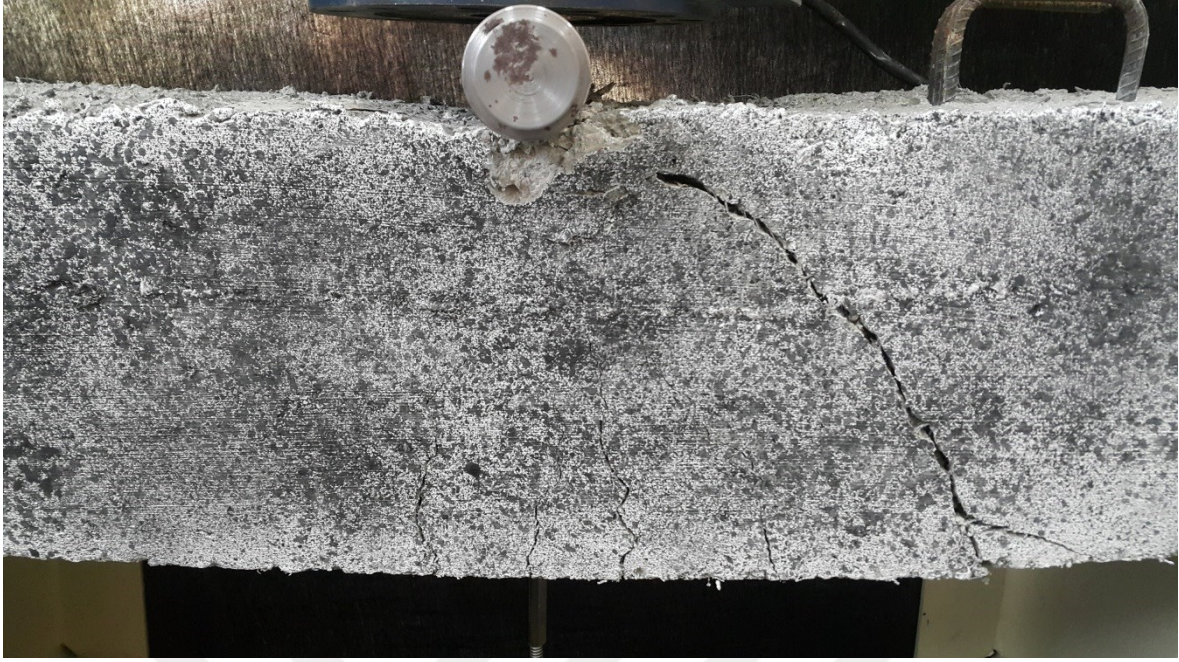
Yüklemeye deneyi sonunda 06K1 kirişinin arka yüzünde eğilme çatlakları ve ön yüzünde oluşan kesme çatlaklarına paralel kesme çatlakları oluştuğu gözlemlenmiştir. Kirişin arka yüzünde oluşan kesme çatlaklarının genişliği ön yüzünde oluşan kesme çatlaklarına göre daha azdır. Kirişin arka yüzünde daha fazla eğilme çatlakları oluşmuştur. Çatlaklar birbirlerinde bağımsız hareket etmiştir. Yük hücresinin geldiği alanın hemen altında zorlanma olduğu,

betonun net beton örtüsünün parçalanma riskiyle karşılaştığı fakat MSF katkısı sayesinde bunun olmadığı gözlemlenmiştir böylelikle beton bütünlüğünü korumuştur (Şekil 4.33).



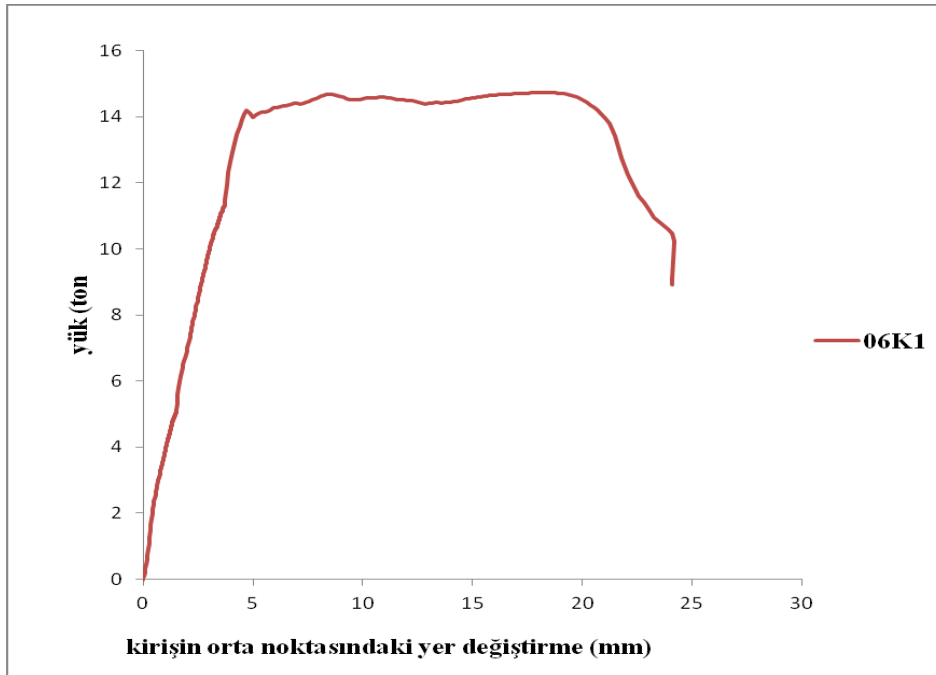
Şekil 4.33. 06K1'in arka yüzü

06K1 kirişinin ön yüzünde oluşan çatlaklar yakından incelendiğinde bir adet kesme çatlak olduğu ve 5 adet eğilme çatlak olduğu gözlemlenmiştir. Oluşan kesme çatlak detaylı incelendiğinde çatlak genişliğinin az olduğu görülmüştür(Şekil 4.34). Oluşan eğilme çatlakları ise büyümeyerek kılcal çatlaklar halinde kalmıştır ve birbirlerinde bağımsız hareket edip birleşmeyerek deformasyona yol açmamıştır.



Şekil 4.34. 06K1 kirişinin ön yüzü

3 noktalı yükleme deneyi sonunda kirişe aktarılan yük ve bu yüke paralel olarak kirişin orta noktasında meydana gelen sehim değerleri kayıt altına alınıp yük-kiriş orta noktasındaki yer değiştirme grafiği elde edilmiştir (Şekil 4.35).



Şekil 4.35.06K1'in yük-kirişin orta noktasındaki yer değiştirme grafiği

Üç noktalı yükleme deneyi sonrasında 06K1 kirişinin maksimum yük taşıma kapasitesi 14,68 ton, enerji yutma kapasitesi ise yük -kiriş orta noktasındaki yer değiştirme grafiğinin altında kalan alan hesaplanarak 310,104 t.mm bulunmuştur. 06K1 kirişinin süneklik katsayısı ise 5,37 olarak bulunmuştur.

06K2 kirişinin üç noktalı yükleme deneyi öncesi ve güç tükenmesine ulaştığındaki görüntüleri sırasıyla Şekil 4.36'de verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 4.36. a)Yükleme başlamadan önce 06K2 kirişi, b)Güç tükenmesine ulaştığında 06K2 kirişi

06K2 kirişine ait üç noktalı yükleme deneyi ile ilgili detaylar Çizelge 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4.7. 06K2 üç noktalı yükleme deneyi detayları

Uygulanan yük (ton)	Kiriş orta noktasında oluşan yer değiştirme (sehim) (mm)	Gözlenen değişim	Şekil açıklaması
4-8 ton arası	0,78-2,00 mm arası	4-8 ton arasında 4 tonluk bir yük artışıyla birlikte kirişin orta noktasında okunan sehim değerinde 1,22 mm artış meydana gelmiştir. Kirişin ön yüzünde ise henüz herhangi bir çatlak veya deformasyon gözlemlenmemiştir.	
8-9 ton arası	2,03-2,32 mm arası	Kirişe aktarılan yük 1 ton daha artmıştır ve bu aralıkta kirişin orta noktasında okunan sehim değerinin 0,29 mm gibi az bir miktarda arttığı görülmüştür. Kirişin ön yüzünde hala bir çatlak veya deformasyon gözlemlenmemiştir.	
9-11 ton arası	2,36-3,15 mm arası	Kirişe gelen yük 2 ton artmıştır ve bu artış sırasında kirişin orta noktasında okunan sehim değerinin 0,79 mm daha arttığı gözlemlenmiştir. Kirişin orta noktasında okunan sehim değerinde bu aşamaya kadar düzenli bir artış olduğu gözlemlenmiştir. Kirişin ön yüzünde 1 numaralı eğilme çatlağı oluşmuştur.	Şekil 4.37'de 1 numaralı görsel

Çizelge 4.7. (Devam)06K2 üç noktalı yükleme deneyi detayları

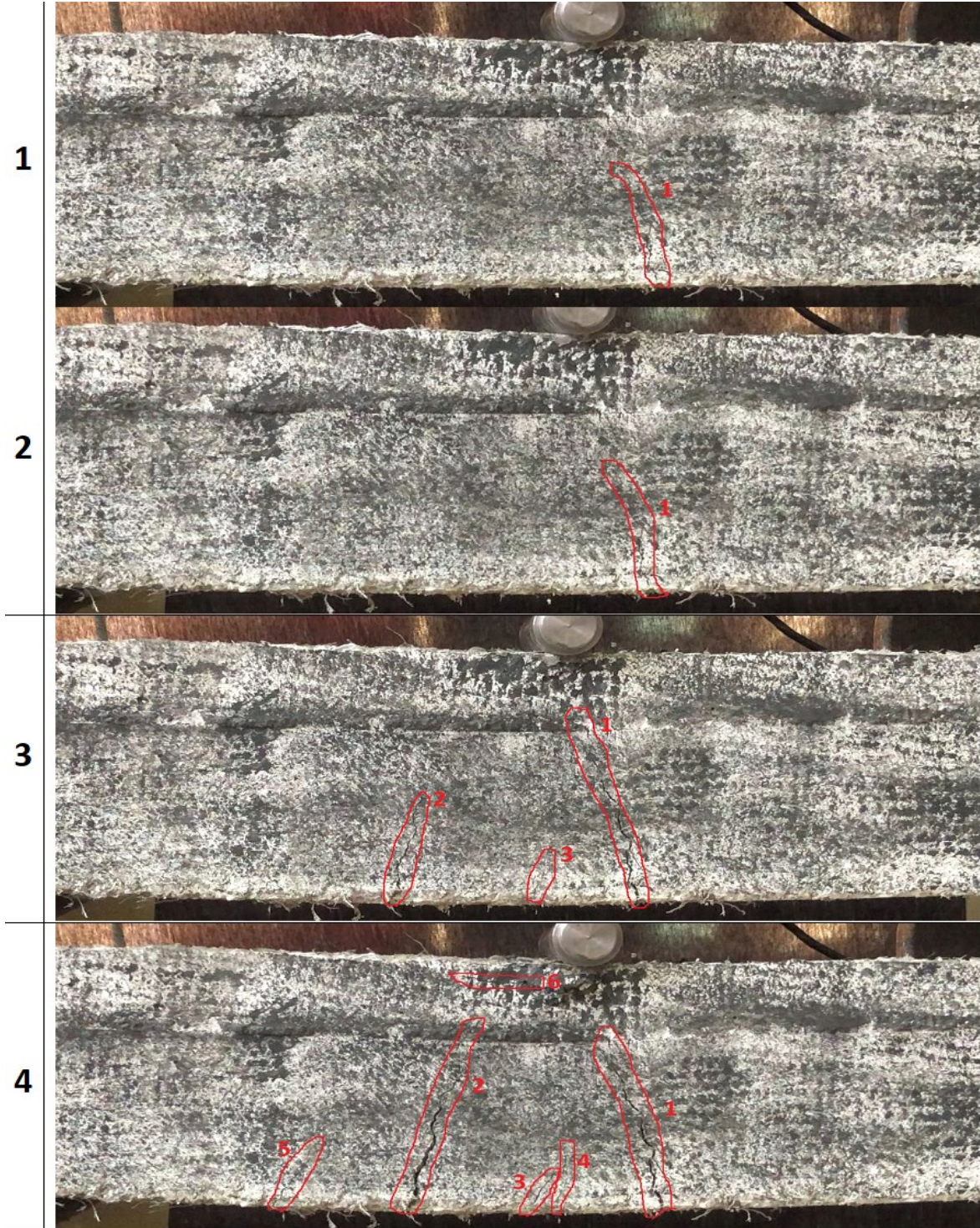
Uygulanan yük (ton)	Kiriş orta noktasında oluşan yer değiştirme (sehim) (mm)	Gözlenen değişim	Şekil açıklaması
11-12,50 ton arası	3,19-5,14 mm arası	Kirişe gelen yük 1 tondan fazla artmaya devam ederken kirişin orta noktasında okunan sehim değerinde de 1,95 mm artış olduğu ve bu artışın önceki adımlardaki artıştan fazla olduğu gözlemlenmiştir. Sehim değeri ve yük artmasına rağmen kiriş hala yük taşıyabilmektedir ve ön yüzünde yeni bir çatlak veya deformasyon oluşmadığı gözlemlenmiştir. 9-11 ton yük aralığında oluşan 1 numaralı eğilme çatlaklarının ise ilerlemediği ve genişlemediği, mevcut durumunu koruduğu gözlemlenmiştir.	Şekil 4.37'de 2 numaralı görsel
12,50-13,20 ton arası	5,17-9,49 mm arası	Bu yük aralığında kirişe gelen yük 0,70 ton arttırılmıştır ve değişimler gözlemlenmeye devam edilmiştir. Kirişe aktarılan yük 13 tonu geçmesine rağmen kiriş hala yük taşıma kapasitesini doldurmamıştır. Kirişin orta noktasında okunan sehim değerinin az bir yük değişimi karşısında hızla artmaya devam ettiği gözlemlenmiştir. Sistemde okunan yük değerleri 12,50-13,20 aralığına geldiğinde 1 numaralı çatlakın kirişin ön yüzünde yukarıya doğru bir miktar hareket ettiği ve genişlediği gözlemlenmiştir. Bununla birlikte 2 ve 3 numaralı yeni eğilme çatlakları oluşmuştur.	Şekil 4.37'de 3 numaralı görsel

Çizelge 4.7. (Devam)06K2 üç noktalı yükleme deneyi detayları

Uygulanan yük (ton)	Kiriş orta noktasında oluşan yer değiştirme (sehim) (mm)	Gözlenen değişim	Şekil açıklaması
13,20-13,87 ton arası	9,63-21,74 mm arası	Kirişe aktarılan yük değerinin bu aralıkta 0,67 ton değişmekte olduğu ve kirişin hala yük taşıma kapasitesini tamamlamadığı gözlemlenmiştir. Bununla birlikte bu küçük yük değişim miktarına bağlı olarak kirişin orta noktasında okunan sehim değerinde 12,11 mm gibi büyük bir artış olduğu kaydedilmiştir. Bu artışla birlikte kirişin alt yüzü belirgin bir yay halini almıştır. 4, 5 ve 6 numaralı yeni çatlaklar oluşurken 2 numaralı çatlağın genişliğinin bir miktar arttığı ve kirişin ön yüzüne yukarıya doğru ilerlediği gözlemlenmiştir.	Şekil 4.37'de 4 numaralı görsel
13,87 ton Maksimum yük taşıma kapasitesi	21,97 mm	Kiriş artık maksimum yük taşıma kapasitesine ulaşmıştır ve bu durumda kirişin orta noktasında okunan sehim değeri 21,97 mm olarak kaydedilmiştir. Kirişin ön yüzündeki mevcut çatlaklarda bir miktar genişleme görülürken 7 numaralı kesme çatlağının olduğu gözlemlenmiştir. 6 numaralı bölgede çok küçük bir alanda kopma meydana gelmiştir. Çatlakların birbirleriyle birleşmeyip ayrı hareket ettikleri gözlemlenmiştir.	Şekil 4.38'de 5 numaralı görsel

Çizelge 4.7. (Devam)06K2 üç noktalı yükleme deneyi detayları

Uygulanan yük (ton)	Kiriş orta noktasında oluşan yer değiştirme (sehim) (mm)	Gözlenen değişim	Şekil açıklaması
13,87-13 ton arası	22,20-27,19 mm arası	Kirişe gelen yük 13,87 tona ulaştığında kiriş maksimum yük taşıma kapasitesine ulaşmış oldu ve artık okunan yük değerinde azalma meydana gelirken; kirişin ortan noktasında okunan sehim değerinin giderek arttığı ve yaklaşık 0,87 tonluk bir yük değişiminde 4,99 mm artış gösterdiği görülmüştür. Kirişin çn yüzünde oluşan 7 numaralı kesme çatlaklarında bir miktar genişleme gözlemlenmiştir. Kirişin ön yüzünde oluşan diğer eğilme çatlakları ise mevcut durumlarını koruyabilmiştir. Kirişin alt yüzünde artan sehimle birlikte yay görünümünün belirginleştiği fark edilmiştir.	Şekil 4.38'de 6 numaralı görsel
13-8 ton arası	27,56-33,20 mm arası	Kiriş gelen yüke karşı mukavemetini tamamlarken yeni bir çatlak oluşumu veya deformasyon görülmemiştir. Çatlaklar genişliklerini korumuşlardır. Kirişin ön yüzünde; 6 numaralı bölgede oluşan ufak parçalanma ve kaydedilen çatlaklar dışında büyük çarçalanma ve deformasyonların oluşmadığı gözlemlenmiştir. Kiriş aktarılan yüke karşı mukavemetini yitirmiş olsa da okunan sehim değerinde artış olduğu ve bu değer 33,20 mm'yi bulduğu gözlemlenmiştir. Kirişin orta noktasında okunan sehim değeri 33,20 mm'ye ulaştığında gevrek kırılma ile güç tükenmesi olmuştur.	Şekil 4.38'de 7 numaralı görsel



Şekil 4.37. 06K2 kirişi; 1)9-11 ton yük aralığında 2) 11-12,50 ton yük aralığında, 3) 12,50-13,20 ton yük aralığında, 4) 13,20-13,87 ton yük aralığında



Şekil 4.38. 06K2 kirişi; 5) 13,87 ton maksimum yük taşıma kapasitesi 6) 13,87-13 ton yük aralığında, 7) 13-8 ton yük aralığında

Yüklemeye deneyi sonunda 06K2 kirişinin arka yüzünde eğilme çatlakları ve ön yüzünde oluşan kesme çatlaklarına paralel kesme çatlakları oluştuğu gözlemlenmiştir. Kirişin arka yüzünde oluşan kesme çatlaklarının genişliği ön yüzünde oluşan kesme çatlaklarıyla benzerdir. Oluşan kesme çatlaklarının arasında MSF'nin gerilerek direnç sağladığı gözlemlenmiştir. Kirişin arka yüzünde ön yüzüne göre daha fazla eğilme çatlakları oluştuğu gözlemlenmiştir. Oluşan çatlaklara rağmen kirişin net beton örtüsünde bir parçalanma olmadığı gözlemlenmiştir. Kesme çatlakları dışındaki diğer çatlaklar kılcal çatlak olarak kalmıştır. Kesme çatlaklarının konumu incelendiğinde yukarıya veya sağa doğru ilerlemediği gözlemlenmiştir (Şekil 4.39).



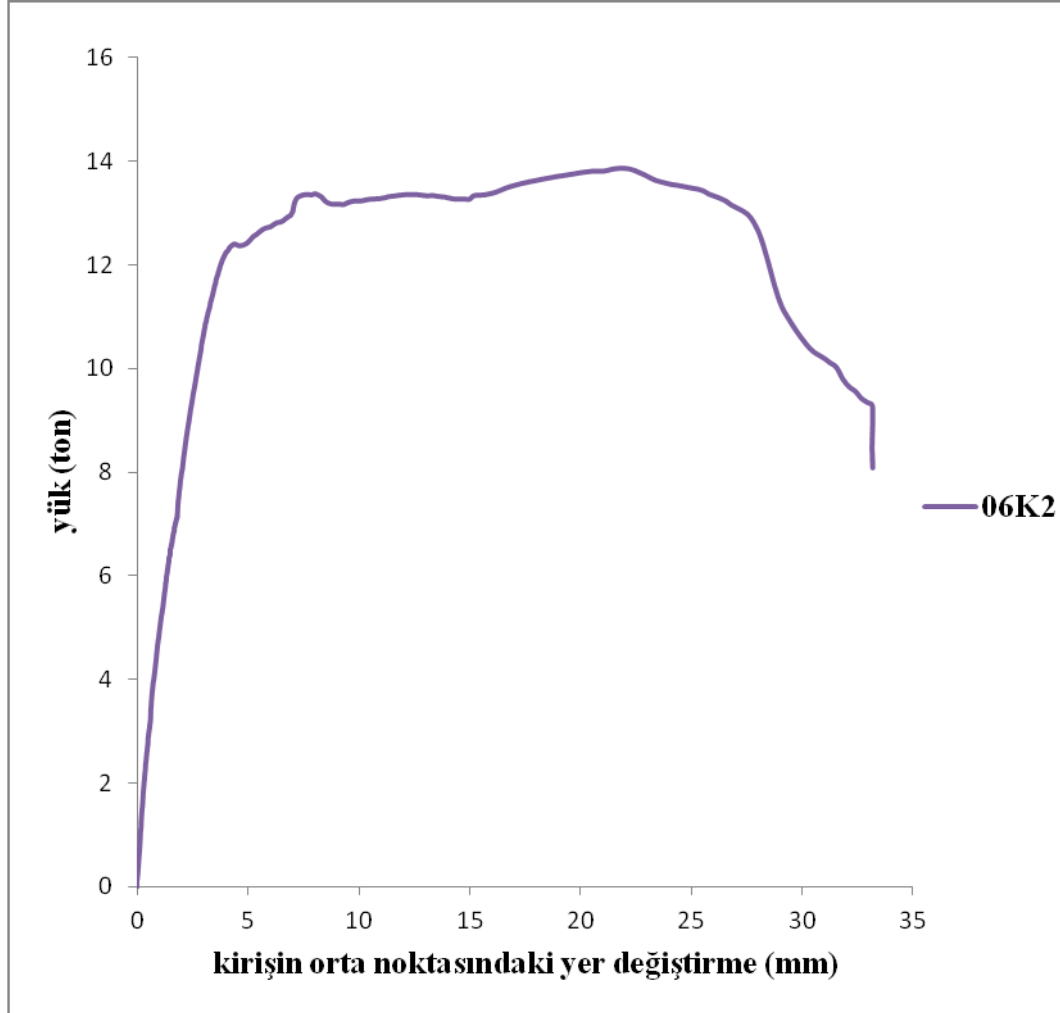
Şekil 4.39. 06K2'in arka yüzü

06K2 kirişinin ön yüzünde oluşan çatlaklar yakından incelendiğinde bir adet kesme çatlağı olduğu ve 7 adet eğilme çatlağı olduğu gözlemlenmiştir. Oluşan kesme çatlağı detaylı incelendiğinde genişlemek isteyen çatlağa karşı MSF'nin gerilerek direnç sağladığı gözlemlenmiştir (Şekil 4.40). Oluşan eğilme çatlaklarından bir kısmının genişliğinin fazla diğerlerinin ise kılcal çatlaklar olduğu gözlemlenmiştir. Oluşan eğilme çatlakları birbirleriyle birleşmeyerek ayrı ayrı hareket etmiştir böylelikle yeni kesme çatlakları oluşmamıştır.



Şekil 4.40. 06K2 kirişinin ön yüzü

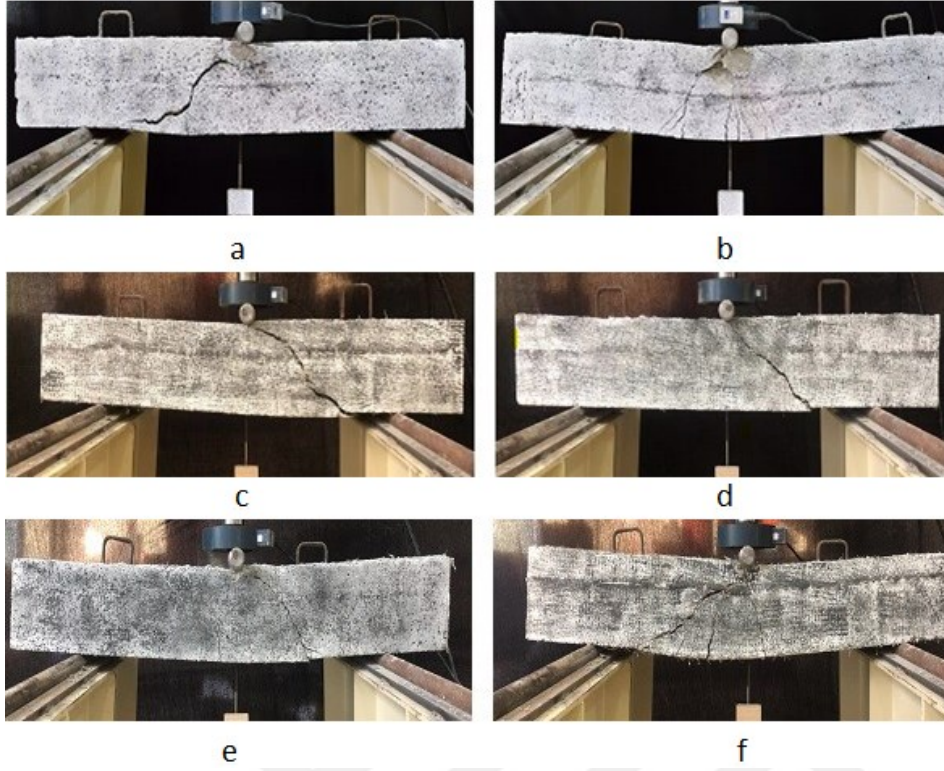
Üç noktalı yükleme deneyi sonunda kirişe aktarılan yük ve bu yüke paralel olarak kirişin orta noktasında meydana gelen sehim değerleri kayıt altına alınıp yük-kiriş orta noktasındaki yer değiştirme grafiği elde edilmiştir (Şekil 4.41).



Şekil 4.41.06K2'in yük-kirişin orta noktasındaki yer değiştirme grafiği

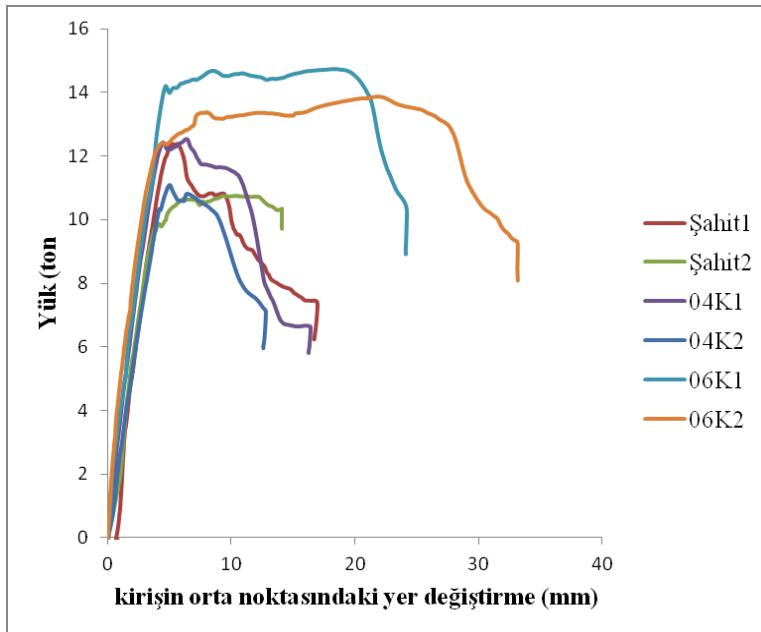
3 noktalı yükleme deneyi sonrasında 06K2 kirişinin maksimum yük taşıma kapasitesi 13,87 ton, enerji yutma kapasitesi ise yük-kiriş orta noktasındaki yer değiştirme grafiğinin altında kalan alan hesaplanarak 404,81 t.mm bulunmuştur. 06K2 kirişinin süneklik katsayısı ise 8,51 olarak bulunmuştur.

Kirişlerin deney sonrasındaki durumları Şekil 4.42 de birlikte verilmiştir.



Şekil 4.42. a)Şahit1 kirişi, b)Şahit2 kirişi, c)04K1 kirişi, d)04K2 kirişi, e)06K1 kirişi, f)06K2 kirişi

Üç notalı yükleme deneyi sonunda kirişlere ait yük-kirişin orta noktasındaki yer değiştirme grafikleri birleştirilerek MSF katkılı kirişler Şahit kirişlerle karşılaştırılmıştır (Şekil 4.43).



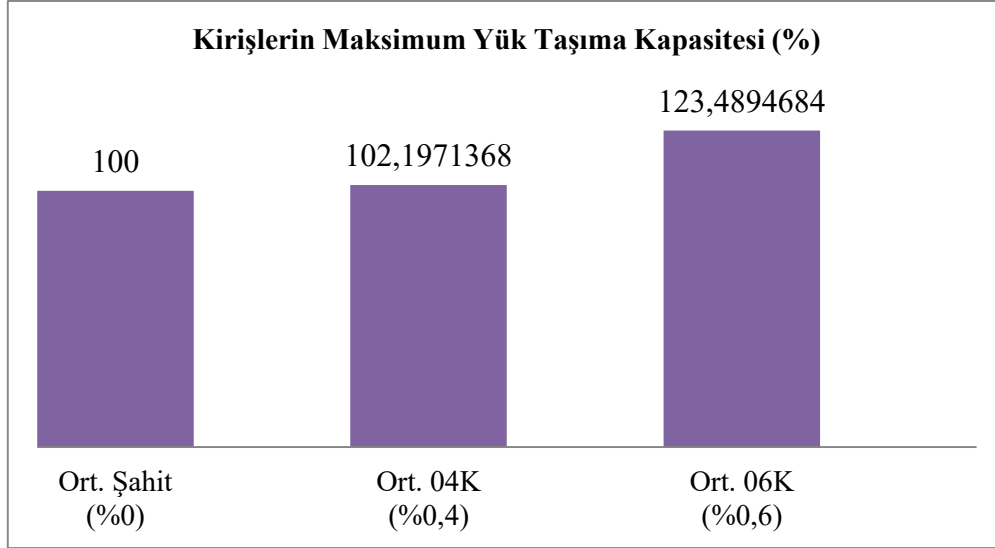
Şekil 4.43. Tüm kirişlerin yük-kirişin orta noktasındaki yer değiştirme grafiği

Üç noktalı yükleme deneyi ile kirişlere ait elde edilen bulgular Çizelge 4.8'de verilmiştir.

Çizelge 4.8. Kirişlere ait deneysel bulgular

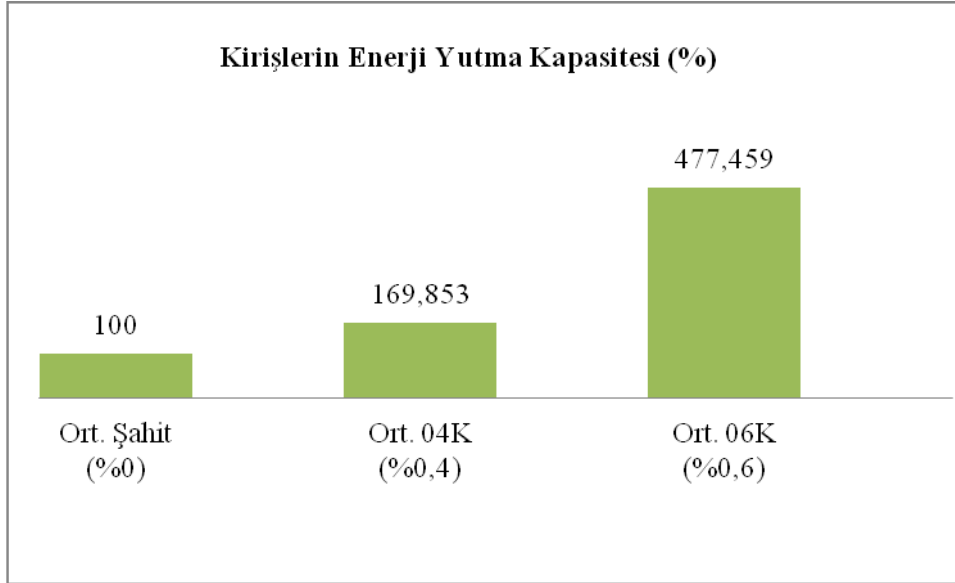
Kiriş No	MSF (%)	Maksimum yük taşıma kapasitesi (ton)	Ort. Maksimum yük taşıma kapasitesi (ton)	Enerji Yutma Kapasitesi (t.mm)	Ort. Enerji Yutma Kapasitesi (t.mm)	Süneklik katsayısı	Ort. Süneklik Katsayısı	Maksimum Deplasman (mm)	Ort. Maksimum Deplasman (mm)
Şahit1	0	12,38	11,56	91,10	74,87	3,36	3,54	16,69	15,40
Şahit2	0	10,74		58,63		3,72		14,11	
04K1	0,4	12,54	11,81	151,31	127,16	3,83	3,96	16,33	14,45
04K2	0,4	11,09		103,02		4,09		12,57	
06K1	0,6	14,68	14,28	404,81	357,46	5,37	6,94	24,10	28,65
06K2	0,6	13,87		310,10		8,51		33,20	

Kirişlerin maksimum yük taşıma kapasiteleri Şahit kirişlerle karşılaştırılmıştır (Şekil 4.44). Bu karşılaştırma yapılırken %0,4 ve %0,6 MSF katkılı kirişlerin maksimum yük taşıma kapasitelerinin ortalaması, 100 olarak kabul edilen Şahit kirişlerin maksimum yük taşıma kapasitesi ortalamasına oranlanmıştır.



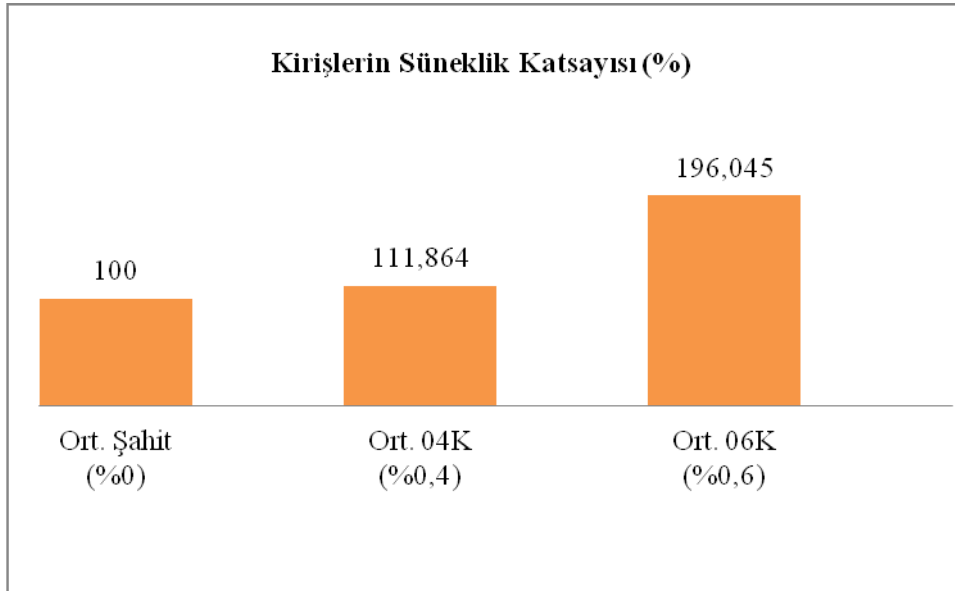
Şekil 4.44. Kirişlerin maksimum yük taşıma kapasitesi (%)

Kirişlerin enerji yutma kapasiteleri Şahit kirişlerle karşılaştırılmıştır (Şekil 4.45). Bu karşılaştırma yapılırken %0,4 ve %0,6 MSF katkılı kirişlerin enerji yutma kapasitelerinin ortalaması, 100 olarak kabul edilen Şahit kirişlerin enerji yutma kapasitesi ortalamasına oranlanmıştır.



Şekil 4.45. Kirişlerin enerji yutma kapasiteleri

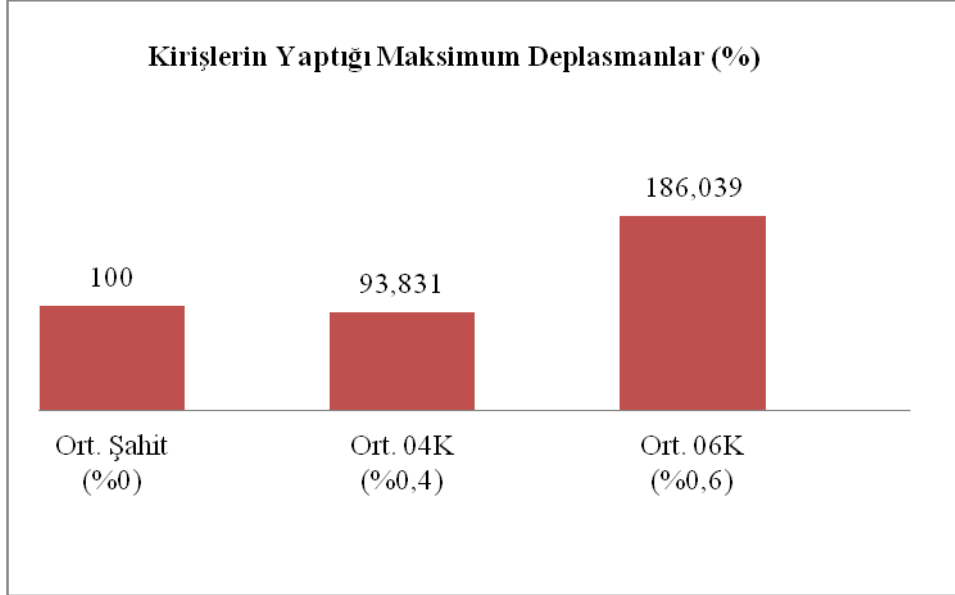
Kirişlerin süneklik katsayıları Şahit kirişlerle karşılaştırılmıştır (Şekil 4.46). Bu karşılaştırma yapılırken %0,4 ve %0,6 MSF katkılı kirişlerin süneklik katsayılarının ortalaması, 100 olarak kabul edilen Şahit kirişlerin süneklik katsayılarının ortalamasına oranlanmıştır.



Şekil 4.46. Kirişlerin süneklik katsayısı (%)

Kirişlerin yaptıkları maksimum deplasmanlar Şahit kirişlerle karşılaştırılmıştır (Şekil 4.47). Bu karşılaştırma yapılırken %0,4 ve %0,6 MSF katkılı kirişlerin maksimum

deplasmanlarının ortalaması, 100 olarak kabul edilen Şahit kirişlerin maksimum deplasmanlarının ortalamasına oranlanmıştır.



Şekil 4.47. Kirişlerin yaptığı maksimum deplasman (%)

5.SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada beton karışımına makro sentetik fiber (MSF) lif katkısının 150X230X1400 mm boyutlarında betonarme kirişlerin 28 günlük basınç dayanımına, taşıma kapasitesine, enerji yutma kapasitesine ve süneklik katsayısına etkileri incelenmiştir.

Deneyde kullanılan betonlar 28 günlük basınç dayanımına tabi tutulmuştur. MSF katkılı betonların dayanım testi sonuçları Şahit beton ile karşılaştırılıp yorumlanmıştır. Bu betonlarla hazırlanan betonarme kirişler 28 günlük nihai dayanımlarını tamamladıktan sonra üç noktalı yükleme deneyine tabi tutulmuştur ve deney sonunda elde edilen verilen Şahit kirişlerle karşılaştırılmıştır.

Deneysel bulgulara bakılarak aşağıdaki sonuçlara varılmıştır:

- ☒ Üretilen betonların 28 günlük basınç dayanımları incelendiğinde %0,4 MSF katkılı 04K betonunun basınç dayanımının Şahit betona göre %10,33 daha az aldığı ve %0,6 MSF katkılı 06K betonunun dayanımının ise Şahit betona göre %8,57 oranında arttığı görülmüştür. Bu sonuçlar bize MSF katkısının betona düşük oranda eklendiğinde basınç dayanımına bir katkısının olmadığı ve hatta azalttığı görülmüştür. MSF oranının arttırılmasının basınç dayanımı çok az bir miktar arttırdığı görülmüştür. Bu bulgular önceki çalışmalarla kıyaslandığında; daha önceki bazı çalışmalarda da basınç dayanımıyla alakalı benzer sonuçlar elde edildiği görülmüştür. MSF'dinin basınç dayanımını düşürmesi veya önemli ölçüde arttırmamasının sebebi olarak liflerin betonun içindeki dağılışı, yönelimleri ve oluşturdukları boşluğun olabileceği belirtilmiştir (Alnahhal ve diğerleri, 2018; Rooholamini ve diğerleri, 2018; Topçu ve diğerleri, 2017).
- ☒ 04K ve Şahit betonların 28 günlük basınç dayanım testine tabi tutulduktan sonraki durumları karşılaştırıldığında; 04K betonundan alınan numunelerin basınç dayanımı testi sonrasında şahit betona kıyasla şekilde bozulma ve dağılma yok denilebilecek kadar azdır.
- ☒ 04K ve Şahit betonların 28 günlük basınç dayanım testine tabi tutulduktan sonraki durumları karşılaştırıldığında; 06K betonundan alınan numunelerin basınç dayanımı testi sonrasında şahit betona kıyasla neredeyse hiç deformasyona uğramadığı ve beton bütünlüğünü koruyabildiği gözlemlenmiştir.

- ̄ Üç noktalı yükleme deneyine tabi tutulan betonarme kirişlerin maksimum yük taşıma kapasiteleri şahit kirişlere göre yorumlanmıştır. %0,4 MSF katkısı kirişlerin maksimum yük taşıma kapasitesini %2, 20 oranında arttırmıştır.%0,6 MSF katkısı ile bu artışın %23,49 a çıktığı görülmüştür. Lif katkı oranının artmasıyla kirişin maksimum yük taşıma kapasitesinin de arttığı sonucuna varılmıştır.
- ̄ Kirişlerin enerji yutma kapasiteleri karşılaştırılmıştır. %0,4 MSF katkısının kirişin enerji yutma kapasitesini şahit kirişlere göre %69,85 oranında arttırdığı gözlemlenmiştir. MSF katkı oranı %0,6'ya çıkarıldığında enerji yutma kapasitesinin de şahit kirişlere göre %377,46 oranında arttığı görülmüştür. Bu sonuçlardan yararlanılarak; MSF oranının artmasıyla betonarme kirişlerin enerji yutma kapasitelerinin de arttığı sonucuna varılmıştır.
- ̄ Yük-kirişin orta noktasında oluşan deplasman grafiği yardımıyla hesaplanan süneklik katsayıları şahit kirişlerle karşılaştırılmıştır. %0,4 oranında MSF katkısı ile süneklik katsayısının %11,86 oranında arttığı görülmüştür. %0,6 oranında MSF katkısının süneklik katsayısını %96,05 oranında arttırmıştır. Bu sonuçlar MSF katkı oranının artışıyla betonarme kirişin sünek davranışının arasında bir paralellik olduğunu göstermiştir. MSF katkısı ile betonarme kiriş daha sünek bir davranış gösterebilmiştir.
- ̄ Kirişlerin orta noktasında okunan nihai deplasman değerleri karşılaştırıldığında %0,4 oranında MSF katkısıyla hazırlanan kirişlerin şahit betonarme kirişlere oranla %6,17 oranında azalttığı yani bir fayda sağlamadığı gözlemlenmiştir. MSF katkı oranı %0,6 oranına çıkarıldığında kirişin deplasman değerinin de %86,04 oranında arttığı görülmüştür. Bu değerler %0,4 MSF katkısının kirişin yapabileceği deplasman değerinin üzerinde etkisinin olmadığı fakat MSF katkı oranının artmasıyla kirişin yapabileceği deplasman değerinin önemli ölçüde arttığı görülmüştür.
- ̄ Kirişler yükleme deneyi sırasında gözlemlenmiştir ve çatlak oluşumları yorumlanmıştır. MSF katkılı kirişlerin gelen yük karşısında daha düzenli ve dengeli çatlaklar oluşturduğu gözlemlenmiştir. Katkısız yani şahit kirişlerde bu durumun tam tersi gözlemlenmiştir. ani ve büyük çatlaklar ve yer yer kopma ve parçalanmalar olmuştur. Çatlak genişlikleri incelendiğinde MSF katkı oranının artışıylaçatlak genişliğinin önemli ölçüde azaldığı görülmüştür. MSF liflerinin oluşan çatlaklar aranda gerilerek çatlakların büyümesini ve betonun ikiye

ayrılmasını önlediği görülmüştür. MSF katkılı kirişlerin çatlak oluşumunun daha dengeli olması; betonarme kirişlerin taşıyabildiği yük miktarı, enerji yutma kapasitesi ve süneklik katsayısını arttırdığı sonucuna varılmıştır.

Sonuçlar genel olarak incelendiğinde MSF katkı oranının artmasının betonarme kirişe sünek bir davranış kazandırmıştır, enerji yutma kapasitesini önemli ölçüde arttırmıştır ve yük taşıyabilme kapasitesini de arttırmıştır. Biz çalışmamızda MSF katkısının etkilerini daha iyi incelemek adına gevrek kırılma türüne örnek oluşturan betonarme kiriş tasarımı yaparak MSF katkısının etkilerini inceledik. Ve sonuçlar bize %0,4 oranının üzerinde MSF katkısı kullanılması durumunda kirişin fiziksel ve mekanik özelliklerinin iyileştiğini gösterdi.

Başka çalışmalarda MSF katkısının farklı etriye aralıkları ile tasarlanan betonarme kirişlerin üzerindeki etkileri incelenip, etriye ve MSF katkısının etkileri birbiri ile karşılaştırılabilir. Laboratuvarımızdaki şartlar yüklemeyi sabit bir hızla ve zamana bağlı yapmaya müsait olmadığından özellikle %0,4 MSF katkılı kirişlerin sonuçlarında sapmalar meydana gelmiş olabileceğini ve yeteri kadar hassas bir çalışma yapamadığımızı düşünmekteyiz. Sonraki çalışmalarda yükleme hızı kontrol edilebilirse ve zamana bağlı bir yükleme söz konusu olursa tüm sonuçların daha tutarlı ve hassas olabileceğini düşünüyoruz.

KAYNAKLAR

- Abacian, R., Behbahani, H. P., Moslem, S. J. (2018). Effects of high temperatures on mechanical behavior of high strength concrete reinforced with high performance synthetic macro polypropylene (HPP) fibres. *Construction and Building Materials*, 165, 631-638.
- AbdelAleem, B. H., Hassan, A. A. (2019). Influence of synthetic fibers' type, length, and volume on enhancing the structural performance of rubberized concrete. *Construction and Building Materials*, 229, 116861.
- Akkaş, A., Alpaslan, L., Arabacı, S., Başyigit, C. (2010). Polipropilen Lif Katkili Yarı Hafif Betonların Basınç Dayanımı Özellikleri, *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 2(1), 9-14.
- Alnahhal, W., Aljidda, O. (2018). Flexural behavior of basalt fiber reinforced concrete beams with recycled concrete coarse aggregates. *Construction and Building Materials*, 169, 165-178.
- Altoubat, S., Karzad, A. S., Maalej, M., Barakat, S., Junaid, T. (2020, June). Experimental study of the steel/CFRP interaction in shear-strengthened RC beams incorporating macro-synthetic fibers. *In Structures (Vol. 25, pp. 88-98). Elsevier.*
- Altun, F., Yılmaz, C., Durmuş, A., Arı, K. (2006). Çelik Lif Katkılı ve Katkısız Betonarme Kirişlerin Basit Eğilme ve Patlama Yükleme ile Davranışlarının İncelenmesi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 22(1), 112-120.
- Arabacı, R. M., (2018). Betonarme Kirişlerin Çelik Levhalarla Güçlendirilmesinin Dayanım Değişimine Etkisinin İncelenmesi. *Y. Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*
- Aryan, A. (2014). Polipropilen lif takviyeli betonarme kirişlerin deneysel ve analitik olarak araştırılması. *Y. Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*
- Ashour, A. F. (2006). Flexural and shear capacities of concrete beams reinforced with GFRP bars. *Construction and Building Materials*, 20(10), 1005-1015.
- ASTM C 39, (1994). Standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens. *Annual Books of ASTM Standards*.
- Babafemi, A. J., du Plessis, A., Boshoff, W. P. (2018). Pull-out creep mechanism of synthetic macro fibres under a sustained load. *Construction and Building Materials*, 174, 466-473.

- Bhutta, A., Borges, P. H., Zanotti, C., Farooq, M., Banthia, N. (2017). Flexural behavior of geopolymer composites reinforced with steel and polypropylene macro fibers. *Cement and Concrete Composites*, 80, 31-40.
- Birincioğlu M. İ., (2016). Çelik Lifli Betonarme Kirişlerin Kesme Mukavemeti, *Y. Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Bolat, H., Şimşek, O., Çullu, M., Durmuş, G., Can, Ö. (2014). The effects of macro synthetic fiber reinforcement use on physical and mechanical properties of concrete. *Composites Part B: Engineering*, 61, 191-198.
- Bulut, N., (2009). CFRP ile Kesmeye Karşı Güçlendirilmiş Betonarme Kirişlerin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Doğrusal Olmayan Analizi. *Y. Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Buratti, N., Mazzotti, C., Savoia, M. (2011). Post-cracking behaviour of steel and macro-synthetic fibre-reinforced concretes. *Construction and Building Materials*, 25(5), 2713-2722.
- Can Ö., Durmuş G., Subaşı S., Yıldız K., Arslan M., (2009). Lif Katkılı Betonların Aşınma Direnci Üzerindeki Etkileri, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), 1300-1305.
- Cucchiara, C., La Mendola, L., Papia, M. (2004). Effectiveness of stirrups and steel fibres as shear reinforcement, *Cement and concrete composites*, 26(7), 777-786.
- Çetinkaya, N., Kaplan, H., Şenel, Ş. M. (2011). Betonarme Kirişlerin Lifli Polimer (FRP) Malzemeler Kullanılarak Onarım ve Güçlendirilmesi, *3. Dönüşüm ve Yenileme Konferansı*, 297-298.
- Çivici, F. (2006). Çelik Lif Donatılı Betonun Eğilme Tokluğu, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 12(2), 183-188.
- Dalyan, İ., (2019). Lifli Polimerle Farklı Biçimlerde Güçlendirilmiş Betonarme Kirişlerin Eğilme Performanslarının Belirlenmesi. *Y. Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Dashti, J., Nematzadeh, M. (2020). Compressive and direct tensile behavior of concrete containing Forta-Ferro fiber and calcium aluminate cement subjected to sulfuric acid attack with optimized design. *Construction and Building Materials*, 253, 118999.
- de Alencar Monteiro, V. M., Lima, L. R., de Andrade Silva, F. (2018). On the mechanical behavior of polypropylene, steel and hybrid fiber reinforced self-consolidating concrete. *Construction and Building Materials*, 188, 280-291.

- Deng, Z., Shi, F., Yin, S., Tuladhar, R. (2016). Characterisation of macro polyolefin fibre reinforcement in concrete through round determinate panel test. *Construction and Building materials*, 121, 229-235.
- Dev, A., Chellapandian, M., Prakash, S. S., Kawasaki, Y. (2020). Failure-mode analysis of macro-synthetic and hybrid fibre-reinforced concrete beams with GFRP bars using acoustic emission technique. *Construction and Building Materials*, 249, 118737.
- Ding, Y., Li, D., Zhang, Y., Azevedo, C. (2017). Experimental investigation on the composite effect of steel rebars and macro fibers on the impact behavior of high performance self-compacting concrete. *Construction and Building Materials*, 136, 495-505.
- Doostmohamadi, A., Karamloo, M., Afzali-Naniz, O. (2020). Effect of polyolefin macro fibers and handmade GFRP anchorage system on improving the bonding behavior of GFRP bars embedded in self-compacting lightweight concrete. *Construction and Building Materials*, 253, 119230.
- Erdem, S., Dawson, A. R., Thom, N. H. (2011). Microstructure-linked strength properties and impact response of conventional and recycled concrete reinforced with steel and synthetic macro fibres. *Construction and Building Materials*, 25(10), 4025-4036. □
- Forta Ferro (2020), Makro Fiber Sentetik Donatı. <https://www.forta.com.tr/brand/forta-ferro> □
- Gali, S., Subramaniam, K. V. (2019). Cohesive stress transfer and shear capacity enhancements in hybrid steel and macro-polypropylene fiber reinforced concrete. *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, 103, 102250.
- Guler, S. (2018). The effect of polyamide fibers on the strength and toughness properties of structural lightweight aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, 173, 394-402.
- Gülşan, M. E. (2019), Yüksek Mukavemetli Çelik Lif Katkılı Betonarme Değişken Kesitli Kirişlerin Mekanik Davranışı. Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 8(1), 206-214.
- Hasan, M. J., Afroz, M., Mahmud, H. M. I. (2011). An experimental investigation on mechanical behavior of macro synthetic fiber reinforced concrete. *Int. J. Civ. Environ. Eng*, 11(3), 19-23.
- Hongbo, Z., Haiyun, Z., Hongxiang, G. (2020). Characteristics of ductility enhancement of concrete by a macro polypropylene fiber. *Results in Materials*, 100087.

- Hüsem, M., Demir, S. (2013). Çelik ve Polipropilen Liflerin Geleneksel ve Yüksek Performanslı Betonlarda Kırılma ve Çatlak Gelişimine Etkisi. *Engineering Sciences*, 8(4), 182-193.
- Joshi, S. S., Thammishetti, N., Prakash, S. S. (2018). Efficiency of steel and macro-synthetic structural fibers on the flexure-shear behaviour of prestressed concrete beams. *Engineering Structures*, 171, 47-55.
- Junaid, M. T., Elbana, A., Altoubat, S. (2020, April). Flexural response of geopolymer and fiber reinforced geopolymer concrete beams reinforced with GFRP bars and strengthened using CFRP sheets. *In Structures (Vol. 24, pp. 666-677). Elsevier.*
- Junaid, M. T., Elbana, A., Altoubat, S., Al-Sadoon, Z. (2019). Experimental study on the effect of matrix on the flexural behavior of beams reinforced with Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) bars. *COMPOSITE STRUCTURES*, 222.
- Karabulut, M. Y., (2017). Sentetik lifin ultra yüksek dayanımlı betonarme kirişlerin eğilme davranışına etkisinin incelenmesi, Y. Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Karakule, F., Akakın, T., Uçar, S. (2004). “Türkiye’de ve Dünyada Hazır Beton Sektörü”
- Karamloo, M., Afzali-Naniz, O., Doostmohamadi, A. (2020). Impact of using different amounts of polyolefin macro fibers on fracture behavior, size effect, and mechanical properties of self-compacting lightweight concrete. *Construction and Building Materials*, 250, 118856.
- Kaşıkcı, İ. E., (2018). Lif Takviyeli Polimer (FRP) Donatılı Betonarme Kirişlerin Eğilme Etkisi Altındaki Davranışları. Y. Lisans Tezi, Necmettin EUEDNDWYHVHLH)EOLPOHL(VLV)□
- Kazmi, S. M. S., Munir, M. J., Wu, Y. F., Patnaikuni, I. (2018). Effect of macro-synthetic fibers on the fracture energy and mechanical behavior of recycled aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, 189, 857-868.
- Kim, D. J., Park, S. H., Ryu, G. S., Koh, K. T. (2011). Comparative flexural behavior of hybrid ultra high performance fiber reinforced concrete with different macro fibers. *Construction and Building Materials*, 25(11), 4144-4155.
- Koç, V., Birinci, F. (2012). Lifli Betonda Boyut Etkisi Tokluk ve Kırılma Enerjisi, Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi, 4(3), 24-40
- Kozak, M. (2003). Çelik lifli betonlar ve kullanım alanlarının araştırılması, Süleyman Demirel Üniversitesi, *Teknikbilimler Dergisi*, 3(5), 26-35.

- Lokman, G. E. M. İ., Köroğlu, M. A. (2018). Çekme Bölgesi Lifli Beton Olan Cam Fiber Takviyeli Polimer (GFRP) ve Çelik Donatılı Etriyersiz Kirişlerin Eğilme Etkisi Altındaki Davranışı ve Hasar Analizi. *6HO6XN6LWYHUVLWVHVL0KHGLMOLN%LOLP* ve *Teknoloji Dergisi*, 6(4), 654-667.
- Mert, N., (2007). Karbon Fiber Takviyeli Polimer Plakalarla Güçlendirilmiş Betonarme Kirişlerin Doğrusal Olmayan Analizi. Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Navas, F. O., Navarro-Gregori, J., Herdocia, G. L., Serna, P., Cuenca, E. (2018). An experimental study on the shear behaviour of reinforced concrete beams with macro-synthetic fibres. *Construction and Building Materials*, 169, 888-899.
- Noushini, A., Hastings, M., Castel, A., Aslani, F. (2018). Mechanical and flexural performance of synthetic fibre reinforced geopolymer concrete. *Construction and Building Materials*, 186, 454-475.
- Ogin, S. L., Smith, P. A., Beaumont, P. W. R. (1985). Matrix cracking and stiffness reduction during the fatigue of a (0/90) s GFRP laminate. *Composites Science and Technology*, 22(1), 23-31. *Gfrp*
- Okay, F., Engin, S., (2009), Çelik Lif Katkılı Betonarme Kirişlerde Basit Burulma Etkisinde Oluşan Çatlakların ve Kesit Taşıma Gücünde Oluşan Değişimlerin İncelenmesi, Uluslararası Sakarya Deprem Sempozyumu, Sakarya
- Okay, F., Özden, Ş., Engin, S. (2004/18). Çelik Lif Katkılı Normal Dayanımlı Beton İle Üretilmiş Betonarme Kirişlerin Burulma Davranışı. *BAPB: Proje*
- Özcan, Z., Yöntem, K. (2005). Betonarme Kirişlerin Kompozit Malzemeler ile Güçlendirilmesi. *Deprem Sempozyumu, Kocaeli*
- Özgen, U., (2018). Etriyersiz Bazalt Lifli Betonarme Kirişlerin Eğilme Dayanımı. *Y. Lisans* *7HOG7NLN6LWYHVLWVHLJHOLP* *OHLWLV*
- Rashid, M. U. (2020). Experimental investigation on durability characteristics of steel and polypropylene fiber reinforced concrete exposed to natural weathering action. *Construction and Building Materials*, 250, 118910.
- Rooholamini, H., Hassani, A., Aliha, M. R. M. (2018). Evaluating the effect of macro-synthetic fibre on the mechanical properties of roller-compacted concrete pavement using response surface methodology. *Construction and Building Materials*, 159, 517-529.
- Saadatmanesh, H., Ehsani, M. R. (1991). RC beams strengthened with GFRP plates. *I: Experimental study. Journal of structural engineering*, 117(11), 3417-3433.

- Sarı M., (2013). Farklı Tipteki Liflerin Betonun Mekanik Davranışına Etkisi, *Y. Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Sim, J., Park, C. and Moon, D.Y. (2005). Characteristics of basalt fiber as a strengthening material for concrete structures. *Composites Part B: Engineering*, 36 (6-7), 504-512.
- Sümer, Y., (2010). FRP Elemanlarla Güçlendirilmiş Hasarlı Betonarme Kirişlerin Doğrusal Olmayan Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Analizi. *Doktora Tezi*, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Şengün, K., (2016). CFRP ile Güçlendirilen Çelik Lifli Betonarme Kirişlerde Dayanım Artışlarının İrdelenmesi, *Y. Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Tanarşlan, H. M., (2007). CFRP Şeritlerle Kesmeye Karşı Güçlendirilmiş Betonarme Kirişlerin Tersinir Tekrarlanır Yükler Altında Davranışı. *Doktora Tezi*, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Topçu, İ. B., Demirel, O. E., Uygunoğlu, T. (2017). Polipropilen lif katkılı harçların fiziksel ve mekanik özellikleri, *Politeknik Dergisi*, 20(1), 91-96.
- Tran, T. T., Pham, T. M., Hao, H. (2020). Effect of Hybrid Fibers on Shear Behaviour of Geopolymer Concrete Beams Reinforced by Basalt Fiber Reinforced Polymer (BFRP) Bars without Stirrups. *Composite Structures*, 112236.
- TS500, Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2000.
- Turker, K., Hasgul, U., Birol, T., Yavas, A., Yazici, H. (2019). Hybrid fiber use on flexural behavior of ultra high performance fiber reinforced concrete beams. *Composite structures*, 229, 111400
- Yalçın, N. (2007). Miskantus katkılı betonla üretilen kirişlerin davranışının deneysel olarak incelenmesi. *Y. Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Yaprak, H., Karacı, A. (2009). Polipropilen lifli betonların yüksek sıcaklık sonrası basınç dayanımlarının yapay sinir ağı ile tahmini, *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 1(2), 23-28.
- Yazdanbakhsh, A., Altoubat, S., Rieder, K. A. (2015). Analytical study on shear strength of macro synthetic fiber reinforced concrete beams. *Engineering Structures*, 100, 622-632.
- Yazgı, Z., (2007). Dikdörtgen Kesitli Basit Mesnetlenmiş Kirişlerin Eğilme Yönünden Karbon ve Cam Liflerle Güçlendirilmesi, *Y. Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

- Yin, S., Tuladhar, R., Shi, F., Combe, M., Collister, T., Sivakugan, N. (2015). Use of macro plastic fibres in concrete: A review. *Construction and Building Materials*, 93, 180-188.
- Yost, J. R., Gross, S. P., Dinehart, D. W. (2001). Shear strength of normal strength concrete beams reinforced with deformed GFRP bars. *Journal of composites for construction*, 5(4), 268-275. *Gfrp*
- Zhang, H., Wang, L., Bai, L., Addae, M., Neupane, A. (2019). Research on the impact response and model of hybrid basalt-macro synthetic polypropylene fiber reinforced concrete. *Construction and Building Materials*, 204, 303-316.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı :SOYALAN, Fatma
 Uyuğu :T.C.
 Doğum tarihi ve yeri :28.09.1994, Hatay
 Medeni hali :Bekar
 Telefon :-
 Faks :-
 e-mail :fatmasoyalan@hotmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Doktora	-	-
Yüksek lisans	İskenderun Teknik Üniversitesi/ İnşaat Mühendisliği	Devam ediyor
Lisans	İskenderun Teknik Üniversitesi/ İnşaat Mühendisliği	2016
Lise	HATAY / ANTAKYA - Yıldız - Selahattin Mısıkoğlu Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi	2012

İş Deneyimi

Firma Adı	Pozisyon	İş Alanı	Başlama Tarihi	Bitiş Tarihi
RİMAK İNŞ.	Şantiye Şefi	Alüminyum Doğrama Bakım ve Onarım	Haziran 2020	Hala çalışıyorum
Defne Şehit Serkan Talan Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi	Teknik Öğretmen	Eğitim	Eylül 19	Haziran 20
CC Mühendislik	İnşaat Mühendisi	Yapı-İnşaat	Aralık 17	Eylül 19
Güney Yapı Denetim	İnşaat Kontrol Mühendisi	Yapı Denetim	Aralık 16	Şubat 17

Yabancı Dil: İngilizce

DİZİN

A

agrega · 30, 35, 38, 39,
40
aşınma dayanımı · 17, 25

B

basınç · vi, xvi, 17, 18,
20, 24, 25, 26, 29, 30,
31, 32, 33, 41, 42, 44,
49, 50, 51, 107, 108,
115
basınç dayanımı · 17, 24,
25, 30, 41, 49, 50, 51,
107, 108
bazalt lif · 18, 26
Beton · 17, 32, 35, 37,
38, 39, 40, 44, 46, 49,
50, 54, 59, 113, 114

C

cam lif takviyeli polimer
· 18, 33
CFRP · 18, 20, 21, 33,
110, 111, 113, 115

Ç

çatlak oluşumu · vi, 17,
18, 23, 28, 48, 53, 54,
89, 97
çekme · xvi, 17, 18, 20,
21, 26, 30, 32, 36, 42
çelik lif · 18, 20, 21, 22,
23, 25, 26, 28, 29, 30,
31, 32, 33
çimento · 17, 38, 39, 40

D

dayanım · 17, 22, 31, 42,
49, 50, 107, 108
deformasyon · 17, 51,
54, 55, 72, 73, 80, 87,
89, 95, 97

Deney · vi, 23, 25, 26,
27, 29, 31, 42, 48, 51,
52
deneysel · 17, 20, 22, 23,
24, 28, 29, 30, 31,
104, 110, 115
deneysel çalışma · 30, 31
dengeli donatı oranı · 42
deplasman · vi, 34, 48,
51, 55, 107, 108
Deplasman ölçer · 47, 54
deprem yükü · 17
donatı · vi, 17, 20, 21,
22, 23, 27, 32, 33, 34,
36, 42
donma- çözülme · 17

E

enerji yutma kapasitesi ·
vi, 17, 19, 22, 33, 51,
61, 70, 78, 86, 93,
102, 105, 109
enerji yutma kapasitesini
· 18, 22, 25, 27, 28,
31, 32, 34, 36, 108,
109

F

FRP · 18, 20, 27, 32,
111, 113, 115

G

gevrek · 18, 26, 55, 65,
74, 82, 89, 97, 109
GFRP · 18, 21, 32, 33,
110, 112, 113, 114,
116
güç tükenmesi · 55, 65,
74, 82, 89, 97

H

Hacimce · 38, 39

K

Kalıp · 25
karbon fiber takviyeli
polimer · 18
katkı malzemeleri · 17
kimyasal · 17, 21, 35
Kiriş · 37, 46, 52, 53, 55,
62, 63, 64, 65, 71, 72,
73, 79, 80, 81, 87, 88,
89, 94, 96, 97, 104
kompozit · 17, 37
küp · xvi, 26, 40, 41, 49,
50
küp numune · 49

L

laboratuvar · viii
lif · vi, 17, 18, 20, 21,
22, 23, 24, 25, 26, 27,
28, 29, 30, 31, 32, 33,
34, 35, 36, 110, 115
lif takviyeli polimer · 18,
32

M

makro plastik lif · 18
makro sentetik lif · 18,
26, 27, 31
mineral · 17, 26
MSF · vi, vii, 18, 35, 36,
37, 38, 39, 40, 45, 46,
49, 50, 51, 77, 84, 91,
99, 100, 103, 104,
105, 106, 107, 108,
109
mukavemet · 21

N

numune · 20, 49

P

pas payı · 43
 poliamid lif · 18
 polipropilen lif · 18, 23,
 24, 25, 29, 30, 31, 33

R

rüzgâr yükü · 17

S

sentetik fiber lif · 18
 sentetik lif · vi, 18, 26,
 27, 30, 31
 su · 17, 24, 31, 38, 39, 40

sünek · 18, 20, 23, 26,
 33, 89, 108, 109
 süneklik · vi, 17, 20, 23,
 31, 32, 51, 61, 70, 78,
 86, 93, 102, 106, 108,
 109
 Süneklik katsayısı · 51,
 104

T

taşıyıcı eleman · 17

Y

yapı malzemesi · 36
 yer değiştirme · 20, 21,
 23, 51, 52, 53, 60, 61,

62, 69, 70, 71, 77, 78,
 79, 85, 86, 87, 92, 93,
 94, 101, 102, 103, 104
 yorulma dayanımı · 17
 yük · vi, 17, 19, 20, 22,
 24, 27, 28, 29, 31, 32,
 33, 34, 46, 47, 48, 51,
 52, 53, 54, 56, 57, 58,
 59, 60, 61, 62, 63, 64,
 65, 66, 67, 68, 69, 70,
 71, 72, 73, 75, 76, 77,
 78, 79, 80, 81, 83, 85,
 86, 87, 88, 89, 90, 92,
 93, 94, 95, 96, 97, 98,
 99, 101, 102, 103,
 104, 105, 108, 109
 yük hücresi · 46, 48



TEKNOVERSİTE





teknoversite **AYRICALIĞINDASINIZ**

İSTE

