T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YAPISAL MAKRO FİBER SENTETİK LİFLERİN BETONARME KİRİŞLERİN EĞİLME DAVRANIŞINA ETKİSİ

Ahmet Emin UĞUR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran-2021
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Ahmet Emin UĞUR tarafından hazırlanan "YAPISAL MAKRO FİBER SENTETİK LİFLERİN BETONARME KİRİŞLERİN EĞİLME DAVRANIŞINA ETKİSİ" adlı tez çalışması 13/07/2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	**İmza**
Başkan Prof. Dr. Mehmet KAMANLI	……..
Danışman Dr. Öğr. Üyesi Alptuğ ÜNAL	……..
Üye Dr. Öğr. Üyesi Fatih BALIK	……..

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN
Enstitü Müdürü

Bu tez çalışması Konya Teknik Üniversitesi BAP Koordinatörlüğü tarafından 201004018 nolu proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

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

DECLARATION PAGE

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

Ahmet Emin UĞUR

Tarih: 14.07.2021

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YAPISAL MAKRO FİBER SENTETİK LİFLERİN BETONARME KİRİŞLERİN EĞİLME DAVRANIŞINA ETKİSİ

Ahmet Emin UĞUR

Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Alptuğ ÜNAL

2021, 206 Sayfa

Jüri
Danışman Dr. Öğr. Üyesi Alptuğ ÜNAL
Prof. Dr. Mehmet KAMANLI
Dr. Öğr. Üyesi Fatih Süleyman BALIK

Doğal afetler tarih boyunca insanoğlunun en çok mücadele ettiği problemlerden biri olmuştur. Sismik yer hareketi olan deprem de mücadele ettiğimiz en önemli doğal afetlerden birisidir. Depremden korunmak için inşa edilen yapılarda kullanmak için farklı yöntemeler geliştirilip sayısız araştırmalar yapılmıştır. Geliştirilen yöntemler ile yapıların güvenli ve ekonomik olması amaçlanmıştır. İnşaat maliyetlerinin azaltılması için kullanılan beton ve donatı malzemelerinden tasarruf sağlanmalıdır. Bu tasarruf beton malzemesinde kendiliğinden yerleşen bir beton gibi malzeme ile daha az işçilik ve daha hızlı imalat ile mümkün olabilmektedir. Demir malzemesi ise demirden daha ucuz malzemeler olan lifleri kullanarak gerçekleştirilebilir. Deprem altındaki binalarda kirişlerde oluşacak çeşitli yükler ve birbirinden farklı tahribatlar oldukça önemlidir. Bu sebeplerden dolayı kirişlerin farklı yükler altında test edilmesi gerekmektedir. Betonarme kirişler birçok deneysel çalışmada incelenmiş bu çalışmalardaki parametreler sayısız kez değişmiştir. Ancak kendiliğinden yerleşen betonlarla ilgili sınırlı sayıda çalışma yapılmış, yapılan çalışmalarda ise genellikle demir malzemesi ile birlikte yapısal makro fiber lifler kullanılmamıştır. Bu sebeple yapılan bu çalışma kapsamında, kesme ve eğilme etkisi altındaki kirişlerin, kendiliğinden yerleşen beton ve yapısal makro fiber liflerin beraber kullanılmasıyla oluşan farklılıklar hasar mekaniği açısından incelenmiştir. Etriye aralığı değişimi ve metreküpte kullanılan lif miktarı bu çalışmanın değişkenleridir. Etriye aralığı değişimi etriyesiz, Ø6/20, Ø6/10, Ø6/5, lif miktarları ise lifsiz, 2,5 kg/m^3, 5 kg/m^3, 10 kg/m^3 şeklidedir. Beton dayanımları C30 amaçlanmış olup tüm deney elemanlarında kendiliğinden yerleşen beton tercih edilmiştir. Bu özelliklere sahip 16 adet ½ ölçekli kiriş dört noktalı eğilme düzeneğinde test edilmiştir. Deneysel çalışmadan elde edilen veriler kullanılarak rijitlik, yük-deplasman ve enerji tüketimi grafikleri çizilip yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Betonarme kiriş, deneysel çalışma, hasar mekaniği, kendiliğinden yerleşen beton, yapısal makro fiber sentetik lifler

ABSTRACT

MS THESIS

EFFECT OF STRUCTURAL MACRO FIBER SYNTHETIC FIBERS ON BENDING BEHAVIOR OF REINFORCED CONCRETE BEAMS

Ahmet Emin UĞUR

Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Civil Engineering

Advisor: Asst. Prof. Alptuğ ÜNAL

2021, 206 Pages

Jury
Advisor Asst. Prof. Alptuğ ÜNAL
Prof. Dr. Mehmet KAMANLI
Dr. Öğr. Üyesi Fatih Süleyman BALIK

Natural disasters have been one of the problems that mankind has struggled with the most throughout history. Earthquake, which is seismic ground motion, is one of the most important natural disasters we struggle with. Various methods have been developed and numerous researches have been carried out to use them in the structures we build to protect against earthquakes. The developed methods are intended to be economical while ensuring our safety. In order to reduce construction costs, savings should be made on concrete and reinforcement materials used. This saving is possible with less labor and faster production with a material such as self-compacting concrete in concrete material. Reinforcement material, on the other hand, can be made using fibers, which are cheaper materials than steel. Various loads and different damages that will occur on beams in buildings under earthquake are very important. For these reasons, beams must be tested under different loads. Reinforced concrete beams have been examined in many experimental studies and the parameters in these studies have changed countless times. However, a limited number of studies have been carried out on self-compacting concrete, and structural macro fiber fibers have not been used together with reinforcement material in the studies. For this reason, within the scope of this study, the differences caused by the use of beams under the effect of shear and bending, self-compacting concrete, and structural macro fiber fibers were examined in terms of damage mechanics. The variation of the stirrup spacing and the amount of fiber used per cubic meter are the variables of this study. The variation of the stirrup range is; without stirrup, Ø8/20, Ø6/10, Ø6/5, and the fiber amounts are; no fiber, 2,5 kg/m^3, 5 kg/m^3, 10 kg/m^3. Concrete strength is C30 and self-compacting concrete is preferred in all test elements. 16 ½ scale beams with these characteristics were tested in a four-point bending setup. Using the data obtained from the experimental study, stiffness, load-displacement, and energy consumption graphs were drawn and interpreted.

Keywords: Experimental study, damage mechanics, reinforced concrete beam, self compacting concrete, structural macro fiber synthetic fibers

ÖNSÖZ

Lisans ve yüksek lisans eğitim hayatım boyunca bilgisi, tecrübeleri ve yol göstericiliği ile her zaman maddi ve manevi yanımda olan danışmanım sayın Dr. Öğr. Üyesi Alptuğ ÜNAL'a şükranlarımı sunarım.

Tecrübeleriyle ve bilgisiyle varlığını her zaman hissettiğim Prof. Dr. Mehmet KAMANLI'ya şükranlarımı sunarım

Deneylerimde ve deney elemanlarının üretiminde bana yardım eden kıymetli arkadaşlarım sayın Burak Arda AKGÖBEK'e, sayın Ahmet Burak ERGÜN'e ve sayın Hüseyin HORZUM'a sonsuz teşekkür ederim.

Deney elemanlarının üretiminde laboratuvarlarını bana açan HA3 Yapı Laboratuvarı'na ve Emir Hazır Beton'a teşekkür ederim. HA3 Yapı Laboratuvarı 'nın tüm personellerine yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

Deney elemanlarının üretiminde kullanılan lifleri destek olarak gönderen KordSA Teknik Tekstil A.Ş.'ye teşekkür ederim.

Hayatım boyunca bana destek olan, maddi ve manevi desteklerini benden hiçbir zaman esirgemeyen, beni bu günlere getiren canım annem ve canım babama sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Manevi desteğini benden esirgemeyen, beni her zaman motive eden eşim Rabia UĞUR'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ahmet Emin UĞUR
KONYA-2021

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iv**

ABSTRACT ..... **v**

ÖNSÖZ ..... **vi**

İÇİNDEKİLER ..... **vii**

SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **ix**

1. GİRİŞ **1**

1.1. Tezin Amacı ve Önemi 3
1.2. Kendiliğinden Yerleşen Beton 5
1.2.1 Kendiliğinden yerleşen betonun özellikleri 5
1.3. Liflerin Özellikleri 8

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI **9**

3. MATERYAL VE YÖNTEM **15**

3.1 Betonarme Kiriş Elemanların Bileşenlerinin Üretimi 16
3.1.1. Numune kalıplarının üretimi 16
3.1.2. Betonarme kirişlerde kullanılan donatıların hazırlanması 18
3.1.3. Kullanılan makro fiber sentetik lif 19
3.1.4. Kendiliğinden yerleşen betonun üretimi 20
3.1.4. Kirişlerin üretilmesi 21
3.2. Deney Elemanlarının Özellikleri 22
3.3. Betonun Özellikleri 26
3.3.2. Karışım suyu 26
3.3.3. Agrega 27
3.3.4. Kimyasal katkı 27
3.4 Sertleşmiş Beton Deneyleri 28
3.4.1. Beton basınç deneyi 29
3.4.2. Silindir yarma deneyi 30
3.4.3. Eğilme ve çatlak ağzı genişliği ölçümü deneyi 31
3.5. Donatı Çekme Deneyi 40
3.6. Deney Düzeneği 41
3.7. Ölçüm Yöntemi 43

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA **45**

4.1. Deney Sonuçları 51
4.1.1. Birinci deney (SCC-F1-S1) 51
4.1.2. İkinci deney (SCC-F1-S2) 58
4.1.3. Üçüncü deney (SCC-F1-S3) 66
4.1.4. Dördüncü deney (SCC-F1-S4) 74
4.1.5. Beşinci deney (SCC-F2-S1) 82

4.1.6. Altıncı deney (SCC-F2-S2) 90
4.1.7. Yedinci deney (SSC-F2-S3) 99
4.1.8. Sekizinci deney (SCC-F2-S4) 107
4.1.9. Dokuzuncu deney (SCC-F3-S1) 115
4.1.10. Onuncu deney (SCC-F3-S2) 123
4.1.11. On birinci deney (SCC-F3-S3) 131
4.1.12. On ikinci deney (SCC-F3-S4) 139
4.1.13. On üçüncü deney (SCC-F4-S1) 147
4.1.14. On dördüncü deney (SCC-F4-S2) 155
4.1.15. On beşinci deney (SCC-F4-S3) 163
4.1.16. On altıncı deney (SCC-F4-S4) 171
4.2. Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması 179
4.2.1. Etriye aralığının kiriş davranışına etkisi 180
4.2.2. Lif katkı maddesi miktarının kiriş davranışına etkisi 185

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 197

5.1. Sonuçlar 197
5.2. Öneriler 202

KAYNAKLAR 203

ÖZGEÇMİŞ ..... Hata! Yer işareti tanımlanmamış.

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

a: Kesme açıklığı, mm
A_c: Kiriş enkesit alanı, mm^2
A_s: Kiriş çekme donatısı alanı, mm^2
A_{sb}: Dengeli durumda çekme donatısı alanı, mm^2
A_{sw}: Kesme donatısı toplam kesme alanı, mm^2
b_w: Kiriş genişliği, mm
c: Tarafsız eksen derinliği, mm
C30: 28 gün suda bekletilmiş silindir basınç dayanımı 30 MPa olan beton
c_b: Dengeli durumda tarafsız eksen yüksekliği, mm
cm: Santimetre
d: Kiriş faydalı yüksekliği, mm
d': Paspayı kalınlığı, mm
E_s: Donatının elastisite modülü, MPa
F_c: Basınç bölgesindeki beton basınç bileşkesi, kN
f_{cd}: Betonun karakteristik silindir basınç dayanımı, MPa
f_{ck}: Betonun karakteristik silindir basınç dayanımı, MPa
f_{ctd}: Beton tasarım eksenel çekme dayanımı, MPa
f_{ctd}: Betonun tasarım çekme dayanımı, MPa
f_{ctf}: Betonun eğilmede çekme dayanımı, MPa
f_{ctk}: Beton karakteristik eksenel çekme dayanımı, MPa
f_{yd}: Donatının tasarım akma dayanımı, MPa
f_{yk}: Donatının karakteristik akma dayanımı, MPa
f_{ywd}: Enine donatının tasarım akma dayanımı, MPa
h: Kiriş yüksekliği, mm
k_1: Beton sınıfına bağlı katsayı
K_{ilk}: Deney elemanında ilk yüklemede ölçülen rijitlik değeri, kN/mm
K_j: Deney elemanında i'inci yüklemede ölçülen rijitlik değeri, kN/mm
kN: Kilo Newton
l: En küçük boyuna donatı çapı, mm
L: Kiriş boyu, mm
L_{mes}: İki mesnet arasındaki net uzunluk, mm
ln: Kiriş net açıklığı, mm
L_{top}: Toplam kiriş uzunluğu, mm
m: Metre
M_{cr}: Elemanın eğilmede çatlama momenti, kN.m
mm: Milimetre
MPa: Mega Pascal (N/mm^2)
M_r: Taşıma gücü momenti, kN.m
M_{rb}: Dengeli durumda moment taşıma gücü, kN.m
M_y: Donatı akma anındaki moment kapasitesi, kN.m
N: Newton
N_d: Eksenel yük, kN
P: Kirişe uygulanan yük, kN

s: Enine donatı aralığı, mm x
S420: Donatı akma dayanımı 420 MPa olan donatı
y: En dış çekme lifinin tarafsız eksenden uzaklığı, mm
z: İki kuvvet kolu arasındaki mesafe, mm
z_b: Dengeli durumda iki kuvvet kolu arasındaki mesafe, mm
%: Yüzde
ϕ: Donatı çapı, mm
ρ_b: Dengeli donatı oranı
ρ_{max}: Maksimum donatı oranı
ρ_{min}: Minimum donatı oranı
σ: Gerilme, MPa
σ_c: Beton basınç gerilmesi, MPa
σ_s:Donatı çekme gerilmesi, MPa

Kısaltmalar

KYB: Kendiliğinden yerleşen beton
SCC-F1-S1: KYB beton türüne sahip, lifsiz ve etriyesiz kiriş
SCC-F1-S2: KYB beton türüne sahip, lifsiz, 20 cm etriye aralıklı kiriş
SCC-F1-S3: KYB beton türüne sahip, lifsiz, 10 cm etriye aralıklı kiriş
SCC-F1-S4: KYB beton türene sahip, lifsiz, 5 cm etriye aralıklı kiriş
SCC-F2-S1: KYB beton türene sahip, 2,5 kg/m^3 lif oranlı, etriyesiz kiriş
SCC-F2-S2: KYB beton türene sahip, 2,5 kg/m^3 lif oranlı, 20 cm etriye aralıklı kiriş
SCC-F2-S3: KYB beton türene sahip, 2,5 kg/m^3 lif oranlı, 10 cm etriye aralıklı kiriş
SCC-F2-S4: KYB beton türene sahip, 2,5 kg/m^3 lif oranlı, 5 cm etriye aralıklı kiriş
SCC-F3-S1: KYB beton türene sahip, 5 kg/m^3 lif oranlı, etriyesiz aralıklı kiriş
SCC-F3-S2: KYB beton türene sahip, 5 kg/m^3 lif oranlı, 20 cm etriye aralıklı kiriş
SCC-F3-S3: KYB beton türene sahip, 5 kg/m^3 lif oranlı, 10 cm etriye aralıklı kiriş
SCC-F3-S4: KYB beton türene sahip, 5 kg/m^3 lif oranlı, 5 cm etriye aralıklı kiriş
SCC-F4-S1: KYB beton türene sahip, 10 kg/m^3 lif oranlı, etriyesiz kiriş
SCC-F4-S2: KYB beton türene sahip, 10 kg/m^3 lif oranlı, 20 cm etriye aralıklı kiriş
SCC-F4-S3: KYB beton türene sahip, 10 kg/m^3 lif oranlı, 10 cm etriye aralıklı kiriş
SCC-F4-S4: KYB beton türene sahip, 10 kg/m^3 lif oranlı, 5 cm etriye aralıklı kiriş

1. GİRİŞ

Ülkemiz ve dünyada yapıların inşaatında en fazla kullanılan yapı malzemelerinden birisi olan beton birçok avantajının olmasının yanında istenmeyen dezavantajlara da sahiptir. Beton malzemesi temin etme kolaylığı, talep edilen şekillerin verilebilmesi, yüksek basınç dayanımı, maliyetinin ucuz olması, yangına dayanıklılık gibi faydalı özelliklerinin yanında homojen bir malzeme olmaması, geçirimli olması, eğilme ve çekme mukavemetinin düşük olması, imal edilirken ve edildikten sonra bakıma ihtiyaç duyması, hava şartlarından etkilenmesi gibi dezavantajlara da sahiptir. İmal edilen bir betondan istenilen performansın alınabilmesi için uygun hava şartlarında imal edilmeli, kalıba yerleştirilirken içerisinde hava boşluğu kalmaması için iyice sıkıştırılmalı sıkıştırılırken vibratör kullanılmalı, kalıba yerleştirilen betona gerekli olan kür ve bakım işlemleri yapılmalıdır. Betonun kalıba yerleştirilirken vibratör kullanılması betonun mukavemetini önemli derecede etkilediğinden bu işin ciddi ve düzgün olarak yapılması gerekmektedir (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. Beton imalatında vibratör kullanımı (Anonim, 2020a)

Beton imal edilirken yeterli düzeyde sıkıştırma işlemlerinin yapılması ve düzgün şekilde vibratör kullanılmaması betonun mukavemet değerini ciddi oranlarda

düşürmektedir. 1980 yıllarının ikinci yarısında bu sorunu çözümlemek için Japonya'da Tokyo Üniversitesi'nde H. Okamura ve ark. bir çalışma yürütüp kendiliğinden yerleşen beton (KYB) adında özel bir beton üretmişlerdir (Okamura, 1997). Üretilen bu beton kalıba yerleştirildikten sonra kendi ağırlığı yardımıyla kalıbın her yerine dağılmakta, yerleşmekte ve yapısında boşluk meydana gelmemektedir.

Okamura ve arkadaşlarının attığı bu ilk adımdan sonra kendiliğinden yerleşen beton ile ilgili çok sayıda bilimsel araştırma yapılmıştır (Benaichaa ve Ark, 2019, Alexandra ve Ark, 2018, Nasim ve Ark, 2018, Kumar ve Roy, 2018, İnan, 2017, Taşkın, 2016). Bunların neticesinde kendiliğinden yerleşen betonun ünü tüm dünyaya yayılmıştır. İmalat kolaylığı, zamandan tasarruf ve performansının yüksek olması herkesin ilgisini çekmiştir.

Betonarme sistemlerde istenilen en önemli özelliklerden bir tanesi enerji sönümleme kapasitesidir. Yapılar depremlerden meydana gelen deprem kuvvetlerini karşılayabilmesi gerekir. Bu hasarlar yapılarda bölgesel hasarlarla sönümlenmesi istenir. Enerji sönümlemesinin artırılması için farklı çalışmalar literatürde mevcuttur. Farklı çalışmalarla betonun özellikleri ve türü gibi beton ile ilgili çalışmalar, betonun içerisine çeşitli kimyasallar ve çeşitli yapı malzemelerinin katılması ile ilgili çalışmalar, yapılarda kullanılan donatının türü ve özellikleri ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. Bu gibi çalışmalar daha uzun bir liste haline getirilebilir.

Bu çalışmada enerji sönümleme kapasitesinin artırılması yönünde betonun içerisine makro lif katkı maddesi eklenerek betonarme kirişlerin enerji sönümleme kapasitelerinin artırılması amaçlanmıştır.

Beton malzemesinde lif katkı maddesi uygulaması karayollarında, tünel yüzeylerinde, beton büz borularda ve endüstriyel yapıların saha betonlarında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Betonarme taşıyıcı elemanlarda kullanımı hem beton dayanımında artışlardan hem de enerji sönümleme kapasitesindeki artışlardan tercih edilmektedir.

Lifli betonlar ile ilgili çalışmalar 1960'lı yıllarda cam liflerin beton içerisine katılmasıyla başlamıştır. Daha sonraları farklı lif tiplerinin beton içerisine katılmasıyla bu liflerin beton mukavemeti üzerine etkisi araştırılmıştır (Cimilli, 1978)

1.1. Tezin Amacı ve Önemi

Keşfi 1800'lü yıllara dayanan beton malzemesi günümüzde yapı imalatlarında en fazla kullanılan yapı elemanlarından bir tanesi olmuştur. Beton malzemesi kolay şekil verme, temin kolaylığı, ekonomik oluşu gibi özelliklerinden dolayı bu kadar rağbet görmektedir. İcadından bu yana uzun yıllar geçmesine rağmen eksik bulanan özelliklerine bir çözüm bulabilmek için üzerinde halen birçok farklı araştırma devam etmektedir (Benaichaa ve Ark, 2019, Nasim ve Ark, 2018). Yapılan çalışmalarda birçok özel beton üretilmiştir. Üretilen özel betonlar betonda farklı sorunlara çözüm bulmak amacıyla üretilmiştir (İnan, 2017, Taşkın, 2016). Kendiliğinden yerleşen betonda aynı şekilde betondaki yerleşme sorununa bir çözüm olarak 1980'li yıllarda Japonya'da icat edilmiştir. Bu beton gösterdiği performans ve kendisinden beklenenleri karşılayabildiği için ünü kısa sürede tüm dünyada duyulmuştur. Normal betonun icadı ve kendiliğinden yerleşen betonun icadı arasında çok uzun bir zaman vardır. Bugün normal betonun dahi üzerinden birçok araştırma yapılıyor olması kendiliğinden yerleşen betonun ne kadar eksik olduğunu göstermektedir. Literatürde kendiliğinden yerleşen betonun birçok deneysel ve teorik çalışması vardır (Kumar ve Roy, 2018).

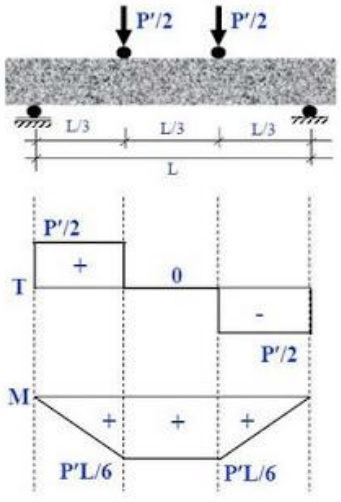
Kendiliğinden yerleşen betonun eğilme davranışı özelliklerini tayin etmek için deneysel çalışmalar mevcuttur fakat bu deneylerde betonarme bir deney elemanı yerine çoğunlukla salt betondan oluşmuş numuneler kullanmışlardır. Kendiliğinden yerleşen betonla üretilmiş betonarme bir yapının mekanik ve fiziksel özelliklerinin tayininde eksiklikler olduğunun göstergesidir. Çalışma ile beraber kendiliğinden yerleşen beton ile üretilmiş bir betonarme elamanda farklı etriye aralıkları ve farklı oranlarda kullanılmış makro fiber sentetik liflerin, betonarme kirişler üzerindeki etkisinin araştırılması amaçlanmıştır. Kendiliğinden yerleşen betonun içine katılan makro fiber sentetik liflerle üretilen kirişlerin kesme ve eğilme davranışının lifsiz olarak üretilen kirişlerden daha fazla olacağı öngörülmektedir. Çalışma ile birlikte yönetmeliklerde ve literatürde kendiliğinden yerleşen beton ve yapısal makro fiber lifler ile ilgili eksikliklerin giderilmesi amaçlanmaktadır.

Günümüzde bir yapının inşa edilebilmesi için farklı evrelerin tamamlanması gerekmektedir. Bunlardan bir tanesi de bir mühendisin oluşturacağı yapıya ait gerekli statik hesaplarının yönetmelik ve yapının kullanım amacına uygun olmasıdır. Güncel olarak statik hesaplar yapılırken gelişen teknolojiyle birlikte bilgisayar ortamında farklı programlar aracılığıyla yapılmaktadır. Kullanılan program ara yüzlerinde beton sınıfları

normal betona göre yapılmaktadır. Yetkili mühendis tasarımını yapacağı binada özel beton kullanmak istese dahi programda ilgili firma tarafından işlenmiş normal beton özelliklerini kullanmaktadır. Ancak üretilen özel betonlar aynı basınç değerindeki normal betonlara kıyasla farklı süneklik düzeyi ve enerji sönümleme kapasitesi göstermektedir. Hem özel beton kullanmak hem de bu özel betona lif gibi özel bir katkı maddesi eklemek betonun göstereceği süneklik düzeyi ve enerji sönümleme kapasitesini oldukça değiştirecektir. Mühendis tasarımını yaptığı binada yeterli rijitlik, yeterli süneklik ve yeterli dayanımı sağlaması için kullanacağı malzemeyi bilerek hareket etmelidir. Özel bir beton kullanan mühendisler bu malzemeyle nasıl bir tasarım yapacağını bilirse projenin daha doğru ve daha hayata geçirilebilir olmasına imkân sağlamış olacaktır. Bu sebeple, kendiliğinden yerleşen beton ile üretilmiş betonarme bir elemana eklenmiş makro fiber sentetik liflerin betonarme elemanda kesme ve eğilme davranışı, enerji sönümleme kapasitelerinin incelenmesi bu çalışmanın ana hattını oluşturmaktadır.

Farklı etriye aralıkları ile lifli ve lifsiz olarak üretilmiş kirişlerin kesme kapasitesindeki değişimin gözlemlenmesi, farklı lif oranları ile de optimum lif oranın tespiti amaçlanmıştır. 4 farklı etriye aralığı ve dört farklı lif oranı olmak üzere tamamı aynı tip betondan üretilmiş toplamda 16 adet ½ ölçekli betonarme kiriş üretilmiştir.

Deneysel çalışma için 4 noktalı eğilme deneyi seçilmiştir. 4 noktalı eğilme deneyinde orta bölgede kesme kuvveti sıfır olduğundan bu bölgede kesme olmadan eğilme davranışı tek başına gözlemlenebilmektedir. Bu düzenekte mesnet bölgelerinde de kesme kuvveti sabit ve maksimum olduğundan dolayı kesme davranışı bu bölgelerde rahat bir şekilde gözlemlenebilir (Şekil 1.2). Bu yüzden 4 noktalı eğilme deneyi, eğilme ve kesme etkisi altındaki kiriş numunelerinin test edilmesi için kullanılmıştır.



Şekil 1.2. 4 noktalı eğilme deneyi (Anonim, 2009a)

1.2. Kendiliğinden Yerleşen Beton

Kendiliğinden yerleşen betonlar (KYB) dışarıdan herhangi bir müdahale ihtiyacı duymadan, yapısında herhangi bir bozulma (ayrışma, su kusma vb.) olmadan kolay bir şekilde yerine yerleşen betonlardır. Kendiliğinden yerleşen beton özelliği gereği akışkan bir beton olmalıdır. Bu özelliğe sahip olması için beton karışımına süper akışkanlaştırıcılar ilave edilmektedir. Reçeteye akışkanlaştırıcılar eklenirken ayrışmanın önlenmesi için de ince daneli malzeme miktarı artırılmalı veya vizkozite artırılmalıdır. (Topçu ve ark., 2008)

1.2.1 Kendiliğinden yerleşen betonun özellikleri

Kendiliğinden yerleşen betonlar ilk olarak su altı betonlarının döküm işlemlerinde kullanılmış olsa da donatı düzeni sık olan ve kesitleri oldukça dar olan yapı elamanlarında da betonun yapısında bozulmalar meydana gelmediğinden ve yerine yerleşmesinde dışardan herhangi bir müdahale gerekmediğinden kullanım oranı her geçen gün daha da artmıştır (Sağlam ve Özkul, 2006)

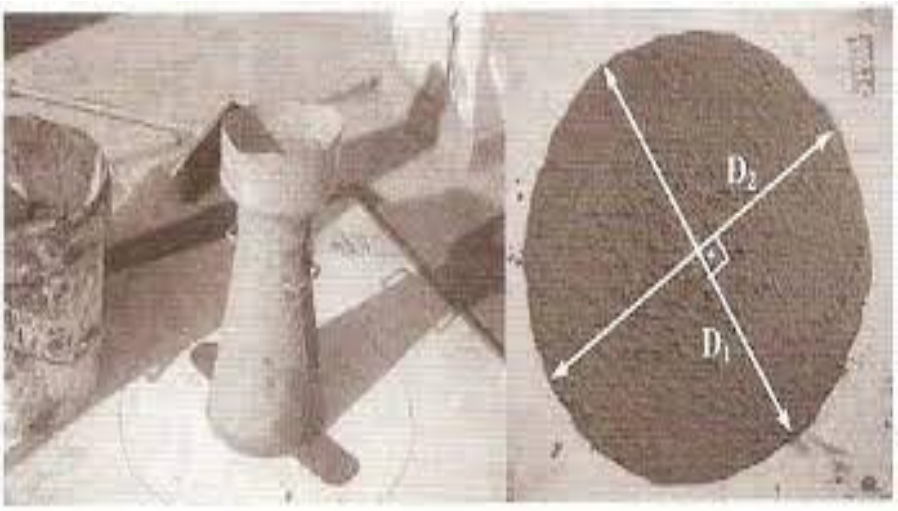
Kendiliğinden yerleşen betonlar literatürde birçok farklı şekilde isimlendirilmektedir. Kendiliğinden Sıkışan Beton (Self-Compacting Concrete – SCC), Kendiliğinden yüzeylenen beton (Self-Levelling Concrete – SLC) bunlardan bazılarına örneklerdir. Bu gibi isimlerle anılırken Türkiye'de büyük çoğunlukta Kendiliğinden Yerleşen Beton terimi kullanılmakta olup Kendiliğinden Sıkışan Beton (KSB) ismi de alternatif olarak kabul görmektedir (Felekoğlu, 2003).

Kendiliğinden yerleşen betonlar ile taze betonlar arasında performans açısından önemli bir ilişki vardır. Bir betonun kendiliğinden yerleşen beton olabilmesi için üç özelliği aynı anda sağlamalıdır. Bunlar doldurma yeteneği, ayrışmaya karşı direnç ve geçiş yeteneğidir (Skarendahl ve Petersson, 2000).

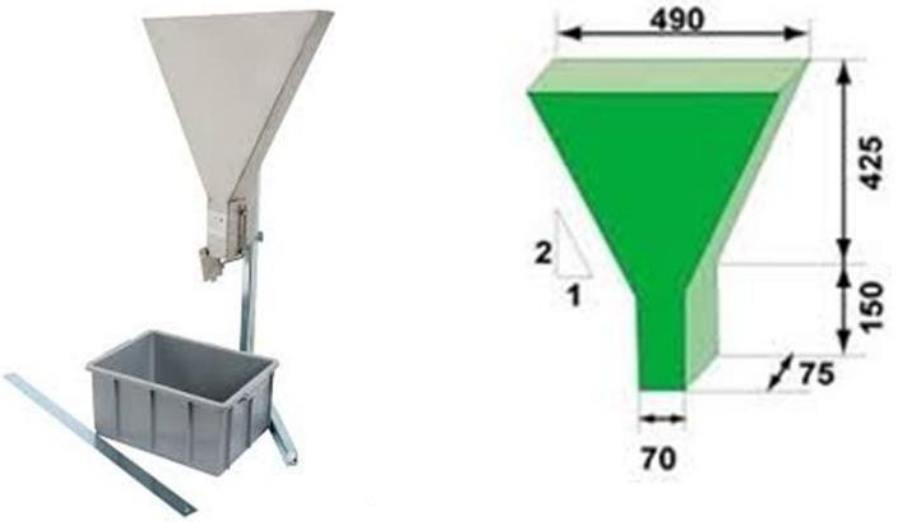
Üretilen bir betonun kendiliğinden yerleşen beton olup olmadığını belirlemek için üretilen taze beton üzerinde uzmanlar tarafından geliştirilen belirli standartlarda deneyler yapılmaktadır. Bunlar;

1. Çökme yayılma deneyi Şekil 1.3
2. V-hunusi deneyi Şekil 1.4
3. L-kutusu deneyi Şekil 1.5
4. J halkası deneyi Şekil 1.6

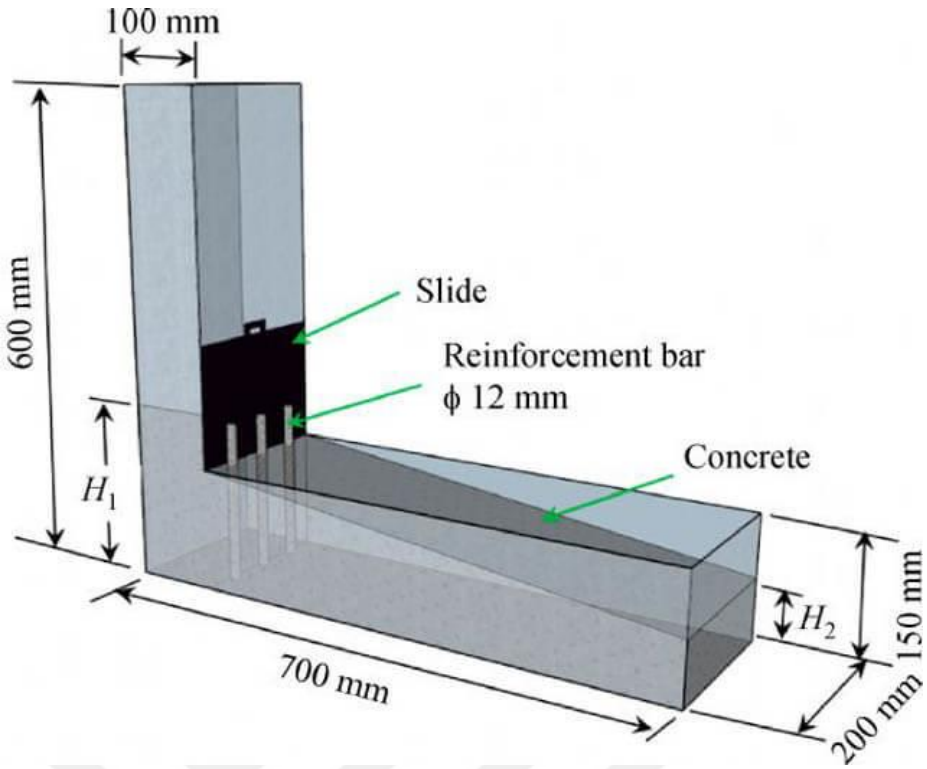
5. Elekte ayrışma deneyi



Şekil 1.3. Çökme yayılma deneyi (Topçu ve ark., 2008)



Şekil 1.4. V-hunusi deney aparatı (Mermerdaş, 2015)



Şekil 1.5. L-kutusu deney aparatı (Atabey, 2019)



Şekil 1.6. J-halkası deney aparatı (Anonim, 2021a)

1.3. Liflerin Özellikleri

Günümüzde çoğunluğu betonarme olarak inşa edilen yapılarda ana taşıyıcı elemanlarda beton katkı maddesi olarak lif kullanımı yaygınlaşmıştır. Ancak yapılarda liflerin kullanımı 4500 yıl öncesine kadar dayanır. İnsanlar barınma ihtiyacını karşılayabilmek için yaptığı yapılarda aradığı özelliklerden bir tanesi sağlamlıktır. 4500 yıl öncesinde yapılarını kerpiç malzemesiyle inşa eden toplumlar kerpiç malzemesinin sağlamlığını arttırmak, kerpicin dağılmasını önlemek için kerpiç malzemesinin içerisine çeşitli doğal lifler eklemişlerdir. Bu doğal lifler; saman, at kuyruğu, keçi kılı, bitkisel elyaf gibi farklı maddelerdir.

Betondan en iyi şekilde faydalanmak için yıllarca betonun özelliklerini artırmak ve geliştirmek için bilim insanları çalışmalar yapmaktadır. Lifli betonlar ile ilgili çalışmalar 1900'lü yılların ikinci yarısından sonra sentetik liflerin betonlar içerisine katılmasıyla başlamıştır.

Lifli betonlar ile ilgili çalışmalar 1960'lı yıllarda cam liflerin beton içerisine katılmasıyla başlamıştır. Daha sonraları farklı lif tiplerinin beton içerisine katılmasıyla bu liflerin beton mukavemeti üzerine etkisi araştırılmıştır (Cimilli, 1978)

Güncel olarak birçok lif cinsi vardır. Lif cinsleri de kendi içlerinde şekilleri, tipleri, boyları, enkesitleri vb. bakımlarca ayrılmaktadır. Lif cinsleri cam, polyster ve çelik gibi malzemelerden üretilebilmektedirler. Üretilen lifler boyları, tipleri, enkesitleri bakımından farklı özelliklere sahip olabilmektedirler.

Lifli betonun uygulama alanlarından yaygın olanları karayolları, tünel yüzeyleri, beton büz borular ve endüstriyel yapıların saha betonları gibi daha fazla kütle betonun ihtiyaç olduğu yerlerdir. Betonarme taşıyıcı elemanlarda kullanımı hem beton dayanımında artışlardan hem de enerji sönümleme kapasitesindeki artışlardan tercih edilmektedir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Ünal (2016), monotonik yükleme altında betonarme kirişlerin farklı mesnet koşullarına ve a/d oranına bağlı olarak kesme ve eğilme davranışlarını hasar mekaniği açısından araştırmıştır. Deneylerinde 16 adet 1/1 ölçekli kiriş kullanmıştır. Deneylerinin parametreleri ankastre ve basit mesnet olmak üzere iki tip mesnet çeşidi, 1.0, 2.0 ve 3.0 olmak üzere 3 farklı a/d oranı, etriyesiz, 7.5, 15 ve 30 cm olmak üzere 4 farklı etriye aralığı olmuştur. Deneylerinde 4 noktalı eğilme deneyini kullanmıştır. Mesnet koşullarının değiştiğinde kiriş davranışının değiştiğini, a/d oranı ile etriye aralıklarının değişiminde kesme kapasitelerini değiştirdiğini tespit etmiştir (Ünal, 2016).

Ünal ve ark. (2021), yaptıkları çalışmada kirişlerin davranışlarına farklı etriye oranları ve polipropilen lif oranının etkisini araştırmışlardır. Yaptıkları çalışmada toplamda 12 adet ½ ölçekli kiriş üretmişlerdir. Ürettikleri kirişlerin boyutları 125x250x2500 mm'dir. Ürettikleri elemanlarda çekme bölgesine ait donatılar 3Ø8, basınç bölgesi ait donatılar 2Ø8 ve enine donatılar olarak Ø/6 tercih etmişlerdir. Araştırmalarında değişkenler olarak etriyesiz, etriyeli olarak kiriş derinliğinin %20, %40 ve %80'ine kadar aralıktan oluşmaktadır. Polipropilen lif oranları olarakta kiriş ağırlığının %0.125'i ve %0.500'ü kullanılmıştır. Araştırmada 4 noktalı eğilme deneyini tercih etmişlerdir. Deneylerden elde ettikleri verilerle yük-deplasman, rijitlik ve enerji sönümleme grafiklerini çizmişlerdir. Bu grafikleri birbirleriyle kıyas ederek yorumlamışlardır. Eldi edilen veriler polipropilen lif katkısının beton davranışını önemli miktarlarda değiştirdiği gözlemlemişlerdir. Polipropilen liflerin etkisi kirişlerde kullanılan etriye miktarının artmasıyla orantılı olarak azaldığını tespit etmişlerdir.

Altın ve ark. (2006), ürettikleri kendiliğinden beton karışımlarında birbirinden bağımsız 4 farklı çimento dozajı ve agrega miktarları ile numuneler ürermişlerdir. Ürettikleri numuneleri deneysel ortamda incelemişlerdir. Kendiliğinden yerleşen beton üzerinde yayılma, V-hunusi ve L-kutusu deneylerini uygulamışlardır. Yaptıkları deneyler sonuçlarında ürettikleri betonun kendiliğinden yerleşen beton olduğunu tespit etmişlerdir. Tüm sonuçlar göz önüne alındığında çimento dozajındaki artışların üretilen betonların mukavemet değerlerini arttırdığını ortaya çıkarmışlardır. Sonuçları farklı analiz ve istatistiksel programlarda incelemişlerdir (Altın ve Ark., 2006).

Aydın ve Bayrak (2016), burulma deneyini yapmak için 8 tanesi normal beton 12 tanesi ise kendiliğinden yerleşen beton olmak üzere toplamda 20 adet betonarme kiriş üretmişlerdir. Parametreleri ise farklı etriye aralıkları ve farklı beton basınç dayanımları

olmuştur. Çalışma sonuçlarından kendiliğinden yerleşen beton ile üretilen betonarme kirişlerde burulma dayanımının daha yüksek olduğu ortaya çıkmıştır. Deney sonuçları farklı ulusların standart ve yönetmelikleriyle kıyas edilmiştir (Aydın ve Bayrak, 2016).

Kamanlı (1999), hem normal beton hem de hafif beton kullanarak değişken kesitli kirişlerin davranışlarını incelemiştir. Beton türleri için ayırt etmeksizin basit eğilme altındaki kirişlerin, yük-sehim ve moment-eğrilik ilişkilerini, enerji yutma kapasitesini ve çatlama durumlarını belirlemek amacıyla deneysel çalışmalar yapmıştır. Betonarme için verilen hesaplama yöntemlerinin donatılı hafif betonlar için kullanılıp kullanılamayacağını araştırmıştır. Çalışmasında elde ettiği verileri teorik olarak hesaplanan değerlerle karşılaştırmıştır (Kamanlı, 1999).

Cengiz (2019), kendiliğinden yerleşen beton ve normal betonlardan ürettiği sabit dikdörtgen kesitli betonarme kirişlerin dört noktalı eğilme deneyine tabi tutarak kiriş numunelerinin kesme ve eğilme davranışlarını incelemiştir. Kiriş numunelerinin üretiminde 4 farklı etriye aralığı, 2 farklı beton türü ve 2 farklı beton basınç dayanımı kullanmıştır. Farklı etriye aralıkları ile kesme kapasitesindeki değişimin gözlemlenmesi, farklı beton basınç dayanımları ile dayınım artışının süneklik üzerindeki etkisinin incelenmesini amaçlamıştır (Cengiz, 2019).

Birincioğlu (2016), bu çalışmada etriye aralığı ve çelik lif malzemesinin değişkenliğinin betonun süneklik, kesme kuvveti çatlak gibi özelliklerini nasıl etkilediğini araştırmıştır. Deneylerinde çekme ve basınç bölgesinde 2Φ16, etriye aralığı 20 cm ve 30 cm şeklinde değişen, çelik lif katkı oranları %1 ve %2 olan boyutları 15x23x140 cm kiriş numuneleri kullanmıştır. Kiriş numuneleri üzerindeki yer değiştirme miktarlarını açıklık ortasında ve mesnetlerden 250 mm uzaklıktaki iki noktadan ölçümlemiştir. Yapmış olduğu deneysel çalışmada etriye aralığı düşürülüp çelik lif oranı artırılırsa kirişlerde kesme mukavemetinde artış gözlemlenmiş ve enine donatıyı azaltıp çelik lif oranının artırılması betonarme kirişin sünekliğinde artış olduğunu ortaya çıkarmıştır (Birincioğlu, 2016).

Yardımcı (2007), yaptığı çalışmada beton malzemesi içerisinde yeterli dozajda kullanılan çelik liflerin malzemenin hem dayanımını hem de enerji sönümleme kapasitesini arttırdığını ifade etmiştir. Kullanılan lif oranı ve lif narinliğinin çelik lif katkılı betonun eğilme dayanımı, kırılma enerjisi ve sünekliği üzerinde önemli etkileri vardır (Yardımcı, 2007).

Sayın (2009), yaptığı çalışmada betonarme kirişlerin FRP levhalar ile güçlendirme konusunu incelenmiştir. Bu konu, FRP ile güçlendirilmiş betonarme

kirişlerin yük taşıma kapasitelerini etkileyen parametrelerin incelenmesini kapsamaktadır. Ayrıca gerçekleştirilen deney programını, ANSYS sonlu elemanlar programının teorik esaslarını ve programda betonarme kiriş modelinin oluşturulmasını içermektedir (Sayın, 2009).

Aryan (2014), yaptığı çalışmada lif takviyesiz betonarme kirişler ile, polipropilen lif takviyeli betonarme kirişlerin davranışını araştırmıştır. Bu amaçla kirişlerin deneysel olarak yük-deplasman eğrileri oluşturulmuştur. Yük-deplasman eğrileri kullanılarak enerji yutma kapasiteleri ve süneklik katsayıları karşılaştırılmıştır (Aryan, 2014).

Özcan (2003), yaptığı çalışmada betonarme kiriş elemanlarda çelik lif katkısının taşıma gücüne etkisini deneysel olarak incelemiştir. Bu çalışmada çelik lif katkılı üç adet 200 cm uzunluğunda, 25*35 cm enkesitine sahip betonarme kiriş ile aynı kesit özelliklerine sahip çelik lif katkısız betonarme kirişleri iki noktadan statik yükleme deneyine tabii tutmuştur. Deney sonucunda çelik lif katkılı ve çelik lif katkısız betonarme kirişlerin taşıma gücü özellikleri elde edilmiştir (Özcan, 2003).

Şahıner (2018), yaptığı çalışmada betonarme kirişlerin çekme bölgelerine FRP donatılar yerleştirerek kesme ve eğilme dayanımını arttırmayı amaçlamıştır. Kiriş orta noktasından uygulanan tekil yük etkisinde eğilme çerçevesi deney düzeneği kullanılarak, kirişlerde donatı sayısı ve donatı cinsi değişkenlerinin, yük taşıma kapasitesine, orta açıklık deplasmanlarına, beton liflerinde meydana gelen uzama ve kısalmalara, ilk çatlak oluşumuna etkisi deneysel olarak saptanmıştır (Şahıner, 2018).

İnkaya (2018), yaptığı çalışmada doğrusal olmayan sonlu eleman yöntemi kullanılarak lifli polimer ile güçlendirilmiş betonarme kirişlerin, plastik (doğrusal olmayan) analizlerini gerçekleştirmiştir. Çalışmada ANSYS programında sonlu eleman modelleri oluşturulmuştur. Karbon fiber takviyeli polimer (CFRP) ile yapılan deney sonuçlarına göre epoksi elemanı matematiksel olarak modellenmiştir. Literatürdeki Pham ve Al-Mahaidi araştırmacıların modelleri referans alınarak statik yükler altında betonarme kirişler analiz edilmiştir. Çözümlemeler ve deneysel sonuçların yük-deplasman eğrileri kıyaslanmıştır (İnkaya, 2018).

Faeq (2015), yaptığı çalışmada farklı katmanlarda normal ve çelik lifli beton kullanılan betonarme kirişlerin eğilme davranışını incelemiştir. 180x250x3500 mm boyutlarındaki beşer numuneden oluşan iki grup şeklindeki kirişler dört nokta eğilme yüklemesi altında test etmiştir. Çalışmasında ana değişken, kiriş numunelerinin yüksekliği boyunca bulunan katmanlarda kullanılan beton tipidir. Yükleme deneyleri sonucunda kiriş numunelerinin yük-deformasyon davranışları elde edilmiş ve bu

davranışlar yük taşıma kapasitesi, servis rijitliği, kapasite sonrası eğim ve tokluk parametreleri göz önüne alınarak değerlendirilmiştir. Kiriş numunelerinin yük-deformasyon davranışlarının, literatürde bulunan malzeme modelleri kullanılarak sayısal olarak belirlenmesi için analitik bir çalışma gerçekleştirmiştir (Faeq, 2015).

Öztürk (2018) yaptığı çalışmada açıklık ortasında iki noktasal yük etkisi altındaki, farklı cam lif takviyeli polimer donatı (GFRP) oranlarına sahip betonarme kirişler deneysel olarak yüklemeye tabii tutularak, farklı donatı oranlarının FRP donatılı betonarme kirişlerin eğilme dayanımına olan etkisini araştırmıştır. Çalışmasında, kirişlerde oluşan deplasmanlar ve taşıma gücü momentleri belirlenmiş olup kirişlerdeki donatı oranlarının deplasmanlar, kırılma şekli ve taşıma gücüne olan etkisini araştırmıştır. Çalışma sonucunda kirişlerdeki donatı oranı arttıkça deplasmanların azaldığı, taşıma gücü momentlerinin de arttığı görülmüştür (Öztürk, 2018).

Bello (2014), yaptığı çalışmada çelik liflerle güçlendirilmiş ve farklı miktarda çekme donatısı içeren betonarme kirişlerin eğilme davranışını incelemiştir. Toplam 20 adet 180x250x3500 mm ölçülerindeki kiriş numuneleri üzerinde yükleme deneyerini gerçekleştirmişti. Çalışması kapsamında incelenen temel parametreler kirişlerde kullanılan beton içerisindeki çelik liflerin bulunup bulunmaması ve kirişlerdeki çekme donatısı miktarıdır. Yükleme deneyleri sonucunda kiriş numunelerinin yük deformasyon davranışlarını kapsamaktadır. Deneyler sonucunda çekme donatısının artması ile çelik lif içeren kiriş numunelerinin maksimum sehim seviyeleri aynı miktarda donatıya sahip konvansiyonel beton kiriş numunelerine oranla önemli seviyede arttığını gözlemlemiştir (Bello, 2014).

Karahan (2006), yaptığı çalışmada uçucu kül katkılı betonlar ile polipropilen lif ve çelik lif ile güçlendirilmiş uçucu kül katkılı betonlar ile normlal betonun özelliklerini karşılaştırmıştır. Kullandığı uçucu kül maddesi Sugözü bölgesine ait özel bir kül kullanmıştır. Deneylerinde kullandığı parametreler uçucu kül maddesi için çimento ile oranları şu şekildedir; %10, %15, %20, %25, %30 ve %45'tir. 2 farklı lif katkı maddesi kullanmıştır. Bunlar 19 mm uzunluğunda polipropilen, 35 mm uzunluğunda ve 0.55 mm çapında çelik liflerdir. Polipropilen lif katkı maddesinin hacimce kullanım oranları şu şekildedir; %0.05, %0.10 ve %0.20'dir. Çelik liflerin kullanım oranları hacimce şe şekildedir; %0.25, %0.50, %1.00 ve %1.50'dir. Bu oranlar normal ve %15 ve %30 uçucu kül katkılı betonlara ilave etmiştir. Üretilen betonlar üzerinde birçok deney yapmıştır. Bu deneyler birim ağırlık, puzolanik aktiflik, basınç dayanımı, işlenebilme, eğilme dayanımı, elastisite modülü, yarmada çekme dayanımı, tokluk, rötre, aşınma, boşluk oranı, su

emme, kapilar su emme, karbonatlaşma, ultrasonik hız ve donma çözünme deneyleridir. Polipropilen lifin ve artan lif oranlarında özellikle %0.05 oranından sonra betonların dayanım ve dayanıklılık özelliklerine pek bir etkisi görülmemiştir (Karahan, 2006).

Demirel (2007), yaptığı çalışmada farklı fiber boyunun karbon fiber takviyeli betonun basınç dayanımı ve kapilaritesi üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Deneylerinde kullanmak için iki farklı dozajda ve her bir dozaj için fibersiz, 4 mm'lik ve 8 mm'lik fiberli olmak üzere toplam 6 adet normal beton serisi hazırlamıştır. Karbon fiber çimento ağırlığının %0.5 oranında ilave edilmiştir. Fiberleri matris içerisinde homojen olarak çökeltmek için çimento ağırlığının %10'u kadar silis dumanı ilave edilmiştir. Fiber boyunun artmasının betonun basınç dayanımını düşürdüğü, kapilaritesini arttırdığı deneyler sonucunda tespit etmiştir. Aynı zamanda dozajın arttırılmasını ile nu olumsuz etkilerin optimum seviyeye getirebileceği gözlenmiştir (Demirel ve Gönen, 2007).

Kim ve ark (1999), yaptıkları çalışmada karma lifli betonlarda çatlak dayanımını incelemişlerdir. Ürettikleri betonlarda farklı özelliklerde çelik lifler kullanarak mikro, makro ve karma lifli beton elde etmişlerdir. Üretilen numunelerde erken dayanım süreleri olan 2., 3. ve 5. gün sonunda sehim eğrilerini incelemişlerdir. İnceleme sonucunda çatlak dayanımlarının arttığını gözlemlemişlerdir (Kim ve ark, 1999)

Banthia ve Nandakumar (2003), yaptıkları çalışmada lif şekli ve farklı oranda karışımın, çatlak genişlemesine karşı dayanıma etkilerini araştırmışlardır. Çeşitli oranlarda iki tip çelik lif ve iki tip polipropilen lifin karışımını kullanmışlardır. Çelik liflerin yapısal özelliği kıvrımlı ve sonraları yassılaştırılmış olması iken polipropilen lifler ise monofilament lifler olarak tercih edilmiştir. Her iki tip çelik life, düşük oranlarda olsa bile polipropilen lif eklenmesi performansı artırmakta, çatlak oluşum ve gelişimine daha fazla direnç sağlamaktadır. Çatlak gelişiminde monofilament şeklindeki polipropilen liflerin daha etkili olduğu görülmüştür (Banthia ve Nandakumar, 2003).

Kassimi ve ark (2014), yaptıkları çalışmada kendiliğinden yerleşen beton ile üretilmiş fiber lif katkılı betonun onarım malzemesi olarak kullanılmasının kiriş yapısına yapacağı dayanım katkısını incelemişlerdir. Çalışmada 8 adet fiber katkılı kendiliğinden yerleşen, 1 tane kendiliğinden yerleşen lifli harç ve 1 tane lifsiz kendiliğinden yerleşen beton ile üretilmiş olmak üzere toplamda 10 tane kiriş üretmişlerdir. Araştırma sonucunda kendiliğinden yerleşen lifli beton karışımlarının onarım uygulamaları için uygun olduğu ve akışkanlığının yatay iletimi sağlayabilecek nitelikte olduğu gözlemlenmiştir (Kassami ve ark, 2014).

Birol (2016), yaptığı çalışmada üretimi kolay olan UYPLB ile hazırlanan 24 adet kiriş üretmiştir. Kirişlerin boyutları 150x150x2500 mm olarak seçmiştir. Üretilen kirişlerde eğilme davranışı incelenmiştir. Deneyler sonucunda lif ilavesinin yük kapasitesine katkısı gözlemlenmiştir. Lif oranı arttıkça elde edilen kapasite artışının azaldığı belirlenmiştir. En yüksek donatı oranına kadar lif sünekliliğine olumlu katkı sağlanmış çatlak oluşumunu ve yayılımını azalttığı gözlemlenmiştir (Birol, 2016).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Kirişler, betonarme yapılarda döşemelerden gelen kuvvet ve yükleri düşey taşıyıcı elemanlar olan kolanlara iletirler. Bu yük ve kuvvetlerin iletilmesi esnasında bünyesinde diğer taşıyıcı sistem elemanlarına göre daha fazla çekme gerilmesi ve daha fazla kesme kuvveti meydana gelebilmektedir. Meydana gelen bu kuvvetlerin yapı elemanına zarar vermemesi veya minimum hasarla bu kuvvetlerin karşılanması gerekmektedir. Betonarme kiriş elemanında meydana gelen çekme gerilmeleri kiriş elamanında çekme bölgesinde kullanılan donatılar ile karşılanırken kesme kuvvetleri kiriş elamanının çekirdek betonunun etrafını çevreleyen etriyeler aracılığıyla karşılanır. Türk standartlarında ve yönetmeliklerinde yapı elamanları kirişlerin kesme kırılması olarak hasar almasından ziyade eğilme davranışından hasar almasını istemektedir (TS500, 2000; TBDY2018). Bunun nedeni; kesme kırılması ani ve gevrek bir kırılma türü olmasıdır. Kesme kırılmasından hasar almaya başlayan bir yapı hızlı bir şekilde göçme durumu ile karşı karşıya kalabilmektedir. Bunun için tasarımları yapılan kiriş elemanların kesme kapasitesi eğilme kapasitesinden daha fazla olmalıdır. Yapı elemanında kesme kırılması oluşmadan önce eğilme çatlakları meydana gelir ve yapı elemanı enerji sönümlemeleri yaparak sünek bir davranış gerçekleştirir.

Betonarme yapı elemanlarında betonda çatlaklar oluştuktan sonra yüklerin tamamı donatılar tarafından karşılanır. Donatıların karşıladıkları gerilmeler ve kuvvetler donatının kullanılış biçimine göre farklılık gösterir. Yapı elamanlarında boyuna olarak kullanılan donatılar yüklerden meydana gelen momenti taşırken, boyuna donatılara dik bir şekilde kullanılan etriyeler kesme kuvvetlerini taşırlar. Kesme kuvveti taşıma kapasitesinin moment taşıma kapasitesinden daha fazla olması istenir. Bunun nedeni elemanın daha sünek bir davranış gerçekleştirmesini sağlamaktır.

Betonarme bir kiriş elamanına belirli oranlarda lif katkı maddesi eklemek betonda oluşacak kılcal çatlak oluşumlarını minimuma indirecek ve çatlak oluşumundan sonra lifler yardımıyla beton yük taşımaya devam edecektir. Kesme kuvvetini veya eğilme momentinin tamamını donatılar taşımayacak, bu yüklerin belli bir kısmı lifler tarafından taşınacağından betonarme kiriş bünyesinde daha fazla enerji sönümlenecektir. Bundan dolayı betonarme kiriş elemanı daha sünek bir davranış gösterebilecektir. Bu sebeplerden dolayı lif katkı malzemesinin kullanımı için optimum bir seviyeye ihtiyaç vardır. Taze beton içerisinde lif katkı maddesinin karışım oranının tespiti için bu çalışmada lifsiz, 2,5

kg/m^3, 5 kg/m^3 ve 10 kg/m^3 olmak üzere toplamda 4 farklı oran deneysel olarak incelenmiştir.

3.1 Betonarme Kiriş Elemanların Bileşenlerinin Üretimi

Bu çalışma kapsamında üretilecek olan betonarme kirişlerin farklı özellikler barındırması planlamıştır. Toplamda 16 adet kiriş üretilmiş ve kirişlerin tamamında aynı beton sınıfında kendiliğinden yerleşen beton kullanılmıştır. Numune boyutları 125x250x2500 mm olacak şekilde ½ ölçeklidir. Numunelerde 4 farklı etriye aralığı ve 4 farklı lif oranı mevcuttur. Etriye aralıkları; etriyesiz, 5 cm, 10 cm ve 20 cm'dir. Lif miktarları ise; lifsiz, 2,5 kg/m^3, 5 kg/m^3 ve 10 kg/m^3'dür.

3.1.1. Numune kalıplarının üretimi

Yapılan çalışmada ½ ölçekli olarak oluşturulan toplamda 16 adet kirişte malzeme olarak yüzeyi parlak beyaz suntalar kullanılmıştır. Yüzeyi parlak suntalar 183x366 cm boyutlarında ve 18 mm kalınlığındadır. Kirişler oluşturulurken 2 adet yan kapak boyutları 250x25 cm, iki adet baş kısımlarda kapaklar boyutları 16,1x26,8 cm ve bir adet alt kısım için oluşturulan boyutları 250x16,1 cm olan suntalar kullanılmıştır. Kiriş kalıpları birleştirilirken suntalar için akıllı vida denilen özel vidalar kullanılmıştır. Daha sonrasında kalıpların açma ihtimaline karşı kalıplar çivi ilavesiyle sağlamlaştırılmıştır. Şekil 3.1'de kullanılan akıllı vidalar Şekil 3.2'de ise kullanılan çiviler görülmektedir. Şekil 3.3 ve Şekil 3.4'te kalıpların birleştirilmeden önce ve sonraki halleri görülebilir.



Şekil 3.1. Akıllı vida örneği (Anonim, 2019c)



Şekil 3.2. Çivi örneği (Anonim, 2017a)



Şekil 3.3. Kalıpların birleşim aşaması



Şekil 3.4. Kalıpların birleştirildikten sonraki hali

3.1.2. Betonarme kirişlerde kullanılan donatıların hazırlanması

Yapılan çalışmada ½ ölçekli olarak oluşturulacak betonarme kirişlerde çapı 8 mm ve çapı 6 mm olan iki farklı donatı çapı kullanılacaktır. Seçilen donatılar S420 yani akma dayanımları 420 MPa ve nervürlü donatılar olarak seçilmiştir. Çapı 8 mm olan donatılar boyuna donatı, çapı 6 mm olan donatılar ise etriye imalatında kullanılmıştır. Şekil 3.5 ve Şekil 3.6'da kullanıma hazır hale getirilmiş donatılar görülmektedir.



Şekil 3.5. Kullanıma hazır hale getirilmiş donatılar



Şekil 3.6. Kullanıma hazır hale getirilmiş donatılar

3.1.3. Kullanılan makro fiber sentetik lif

Yapılan çalışmada beton katkı maddesi olarak makro sentetik fiber donatıların kullanılmasına karar verilmiştir. Deneylerde kullanılacak olan lif malzemesi KraTos marka Yapısal Makro Sentetik Fiber Donatıları'dır. Bu fiber donatılar yüksek performanslı polipropilen ham maddesinden EN 14889-2 Sınıf 2 ve ASTM C 1116 standartlarına göre üretilmiştir. Yüzeysel rötre çatlaklarına ve yük altında oluşan yapısal çatlaklara karşı etki çözümler sunduğu geliştirici firma tarafından çeşitli deneylerle tespit edilmiştir. Makro liflerin karakteristik özellikleri Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Yapısal makro sentetik liflerin karakteristik özellikleri

Kratos Makro	**Karakteristik Özellikler**
Fiber Sınıfı	EN 14889-2 Sınıf 2
Ham Madde	Polipropilen
Özgül Ağırlık (gr/cm^3)	0,91
Uzunluk (mm)	54
Çap (mm)	0,70
Çekme Gerilmesi (MPa)	550
Erime Sıcaklığı (°C)	160
Alkali Direnci	Çok iyi
Korozyon Direnci	Çok iyi
Fiber Adedi/Kg	50.000

Şekil 3.7'de Yapısal makro sentetik liflerin görüntüsü görülmektedir.



Şekil 3.7. Yapısal makro sentetik liflerin görünümü

3.1.4. Kendiliğinden yerleşen betonun üretimi

Yapılan çalışma ½ ölçekli olduğundan dolayı üretilen betonda maksimum dane çapı da ½ ölçekli olarak seçilmiştir. Beton malzemesi kendiliğinden yerleşen beton olduğundan dolayı beton reçetesi içerisinde hiper akışkanlaştırıcı mevcuttur. Beton üretimi yapılırken lif katkı maddeleri de beton malzemesinin içine atılmıştır. Beton üretiminde kullanılacak malzemeler Çizelge 3.2'de verilmiştir. Bu çizelgede bulunan bileşenlerin miktarları 2019 yılında Konya Teknik Üniversitesi'nde Salih CENGİZ'in yapmış olduğu yüksek lisans tezinden, çalışmanın olumlu sonuçlar vermesinden dolayı, alınmıştır (Cengiz, 2019).

Çizelge 3.2. Deney elemanlarını oluşturun betonun karışım miktarları (kg/m^3)

BİLEŞENLER	C30 KYB
Çimento	339,2
Su	171,5
İnce agrega (0-4 mm)	1392,84
İri agrega (4-12 mm)	769,56
Hiper akışkanlaştırıcı	3,52

Betonun karıştırılması betoniyer makinesinde yapılmıştır. Kullanılan betoniyer 40 dm^3'tür. Şekil 3.8'de betoniyer makinesi Şekil 3.9'da ise karıştırılan beton görünmektedir.



Şekil 3.8. Betonu karıştırmakta kullanılan betoniyer makinesi



Şekil 3.9. Betonyerde karıştırılmış beton karışımı

3.1.4. Kirişlerin üretilmesi

Kirişlerin üretimi için ön hazırlıkların ardından betonyerin kapasitesine göre uygun malzeme miktarları eklenerek, betonyerde karıştırılmıştır ve sonrasında kiriş kalıplarına aktarılmıştır. Beton kalıplara eklenmeden önce numunelerin kalıplardan kolay çıkmasını sağlamak için kalıplar iyi bir şekilde yağlanmıştır. Kiriş numunelerinin üretilmesi esnasında betonun istenilen özellikleri taşıyıp taşımadığının tespiti için çeşitli sayılarda silindir, küp ve ölçekli kiriş numuneleri alınmıştır. Şekil 3.10 ve Şekil 3.11'de yağlanmış kalıplar görülmektedir.



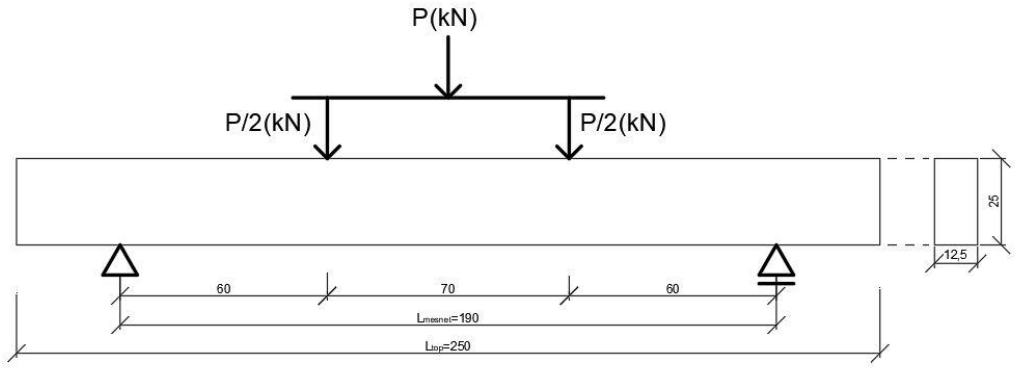
Şekil 3.10. Kalıpların yağlanması aşaması



Şekil 3.11. Yağlanmış kalıplara donatıların yerleştirilmesi

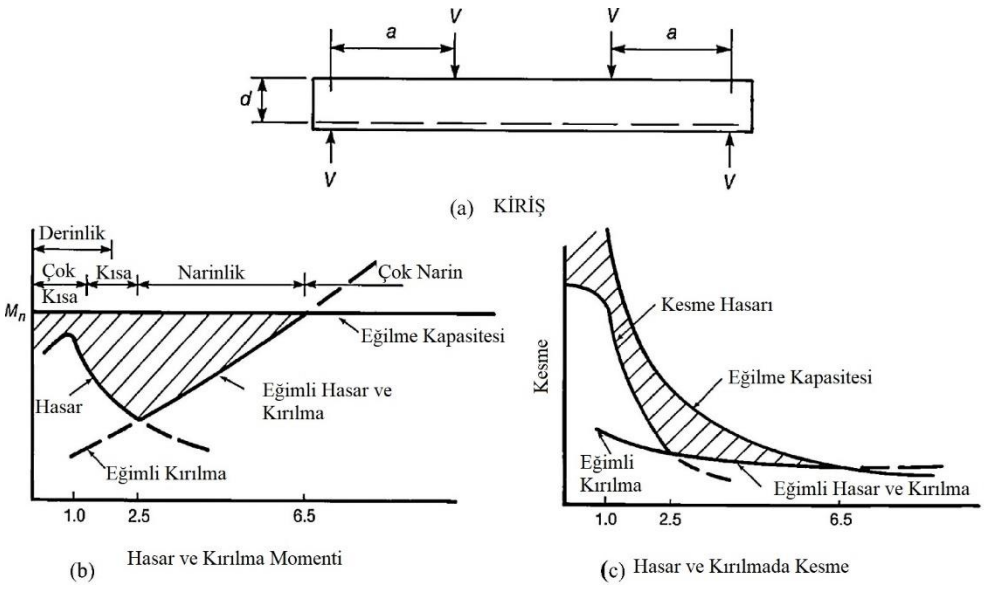
3.2. Deney Elemanlarının Özellikleri

Kiriş elemanlarının kesme açıklığı/faydalı yükseklik (a/d) oranı 60/24=2,5 seçilmiştir. Şekil 3.12'te yükleme noktaları ve kesme açıklığı mesafeleri görülmektedir.



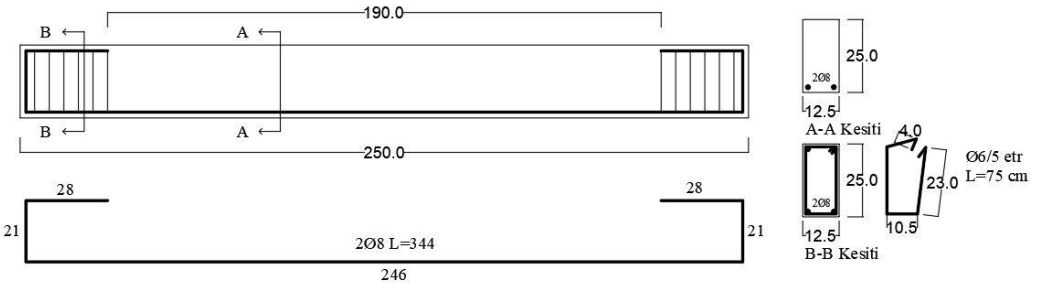
Şekil 3.12. Deney düzeneğindeki yük ve mesnet mesafeleri

Deney elemanlarında kullanılmış olan kesme açıklığı/faydalı yükseklik (a/d) oranı 2,5 seçilmesinin sebebi bu oranda değer 2,5'in altında olduğundan kesme kırılması gözlemlenirken 2,5'un üstünde olduğunda ise eğilme kırılması gözlemlenmektedir (MacGregor ve Ark, 1997). Bu kritik değerde betonarme kirişlerin kesme ve eğilme yönünden nasıl davranış göstereceği merak edilmektedir. Betonun içine ilave edilen yapısal makro liflerin orta bölgede eğilmeden kaynaklı çatlakları azaltması ve çatlak genişliklerini minimum seviyede tutması beklenirken, kesme bölgesinde ise kesme çatlağının oluşumunu geciktirmesi ve oluşan kesme çatlağının genişliğinin minimum seviyede tutması beklenmektedir. Bundan dolayıdır ki kesme açıklığı/faydalı yükseklik (a/d) oranı sınır değer olan 2,5 seçilmiştir. Yapısal makro liflerin hem kesme bölgesinde hem de eğilme bölgesinde maksimum düzeyde çalışması amaçlanmıştır. Şekil 3.13'te a/d oranının moment ve kesmeye etkisinin grafiği görülmektedir.

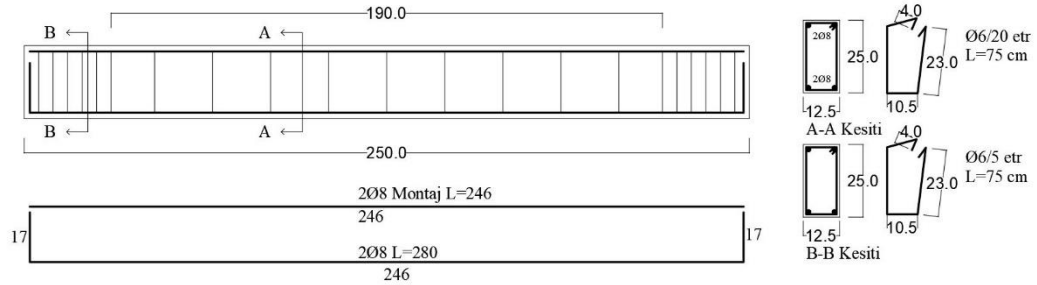


Şekil 3.13. a/d oranının kesme ve momente etkisi (MacGregor ve Ark., 1997)

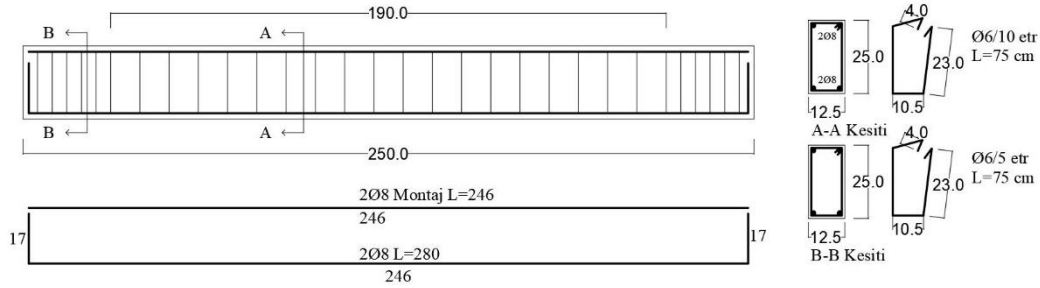
Deney elemanlarının malzeme, boyut ve tasarım gibi özellikleri standart ve yönetmeliklere uygun olarak seçilmiştir. Deney elemanlarının boyutları uygulamada kullanılan yaygın ölçüler dikkate alınmıştır ancak deney koşulları ve ekonomik olması açısından ½ oranına göre imal edilmiştir. Etriye aralıkları birbirinin katı olacak şekilde yönetmelik koşulları göz önüne alınarak 5 cm,10 cm ve 20 cm olarak seçilmiştir. Beton basınç dayanımı olarak; uygulamada kullanılacak minimum beton basınç dayanımı C25 olarak TBDY-2018'de belirtilmiştir. Ancak kendiliğinden yerleşen beton, sahip olduğu özelliklerden dolayı C25 den daha fazla çıktığından KYB dayanımı C30 olarak amaçlanmıştır. Şekil 3.14'te deney numunelerine ait donatı şemaları görülmektedir.



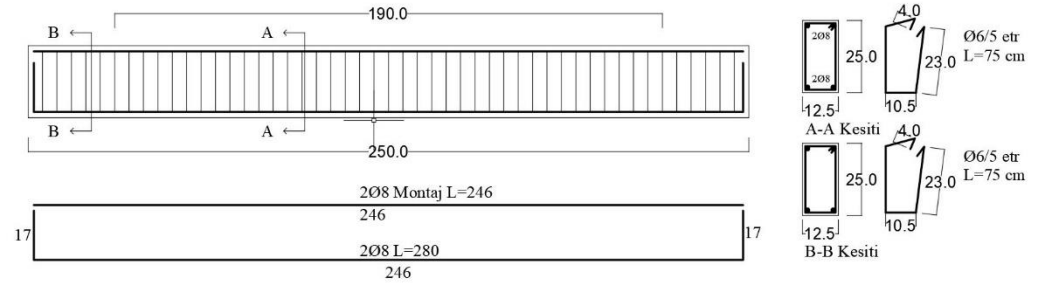
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 3.14. Deney elemanlarına ait donatı şemaları a) Etriyesiz, b) Φ6/20, c) Φ6/10, d) Φ6/5

3.3. Betonun Özellikleri

Daha önce de bölüm 3.1.4'te bahsedilen kendiliğinden yerleşen betonun üretimi Konya'da bir hazır beton firması olan Emir Hazır Beton İş Mak. Maden İnş. Nak. Ltd. Şti.'de kendi bünyelerinde bulunan laboratuvarda üretilmiştir. Beton bakım ve kür işlemlerinin ardından kirişler, Konya Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Yapı ve Deprem Araştırma Laboratuvarı'na getirilmiştir. Emir Hazır Beton Tesislerinde üretilen beton için gerekli malzemeler (kum, çimento vb.) yine aynı tesisten karşılanmıştır.

3.3.1 Çimento

Kendiliğinden yerleşen beton üretiminde Emir Hazır Beton'un üretmiş olduğu hazır betonlarda kullandığı CEM II/A-M (P,L) 42,5R isimli çimento kullanılmıştır. Bu çimentoya ait fiziksel ve kimyasal özellikler Çizelge 3.3 ve Çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Çimentonun fiziksel özellikleri

Fiziksel Özellikler	Çimento değeri	TS EN 197-1'e göre minimum değerler	TS EN 197-1'e göre maksimum değerler
2. günün sonunda basınç dayanımı (N/mm^2)	24,8	20	
28. günün sonunda basınç dayanımı (N/mm^2)	47,2	42,5	62,5
Priz başlangıç süresi (dk)	190	60	
Hacim genleşme değeri (mm)	1		10

Çizelge 3.4. Çimentonun kimyasal özellikleri

Kimyasal Özellikler	Çimento değeri	TS EN 197-1'e göre minimum değerler	TS EN 197-1'e göre maksimum değerler
SO_3 değeri (%)	3,37		4,0
Cl değeri (%)	0,06		0,1
Toplam katkı (%)	17	6	20
K_2O değeri (%)	0,71		
Na_2O değeri (%)	0,63		

3.3.2. Karışım suyu

Beton karışımında kullanılan su, Emir Hazır Beton'un kendi hazır betonlarını üretmekte kullandığı sabit sıcaklıklı sudan temin edilmiştir.

3.3.3. Agrega

Beton karışımında kullanılan agregalar Emir Hazır Beton firmasının kendi betonları üretmek için kullandığı agregalardan temin edilmiştir. Bu agregalar 0-4 mm kum ve 4-12 mm çakıl olmak üzere 2 çeşittir. Emir Hazır Beton'dan alınan bilgilere göre kullanılan agregaların özgül ağırlıkları Çizelge 3.5'te, su emme yüzdeleri Çizelge 3.6'da verilmiştir.

Çizelge 3.5. Deneysel çalışmada kullanılan agregaların özgül ağırlıkları

Agrega Tipi	Özgül Ağırlık (g/cm^3)
0-4 mm İnce agrega	2,65
4-12 mm İri agrega	2,7

Çizelge 3.6. Deneysel çalışmada kullanılan agregaların su emme yüzdeleri

Agrega Tipi	Su Emme (%)
0-4 mm İnce agrega	1,45
4-12 mm İri agrega	0,35

3.3.4. Kimyasal katkı

Kendiliğinden yerleşen beton üretiminde Emir Hazır Beton firmasının kendi bünyesinde bulunan ve kendilerinin de kullandığı hiper akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Firmadan alınan bilgilere göre bu ürünün özellikleri Çizelge 3.7'de verilmiştir. Şekil 3.15'te deneysel çalışmada kullanılan hiper akışkanlaştırıcının görüntüsü verilmiştir.

Çizelge 3.7. Hiper akışkanlaştırıcının özellikleri

Görünüm	Sıvı homojen
Renk	Kahverengi
pH	6 ± 1
Özgül Ağırlığı (g/cm^3)	1,2 ±0,02
Klorid İçeriği (%)	<0,1 (klorür içermez)
Alkali İçeriği (%)	<10 (Na_2O)



Şekil 3.15. Deneysel çalışmada kullanılan hiper akışkanlaştırıcının görünümü

3.4 Sertleşmiş Beton Deneyleri

Üretilmiş olan deney numuneleri istenilen özellikleri taşıyıp taşımadığının öğrenilmesi için bazı deneylerin yapılması gerekmektedir.

Bu deneyler şu şekilde sıralanabilir;

- Beton basınç dayanımı
- Silindir yarmada çekme dayanımı
- Eğilme dayanımı ve çatlak ağzı genişliği ölçümü deneyleri yapılmıştır.

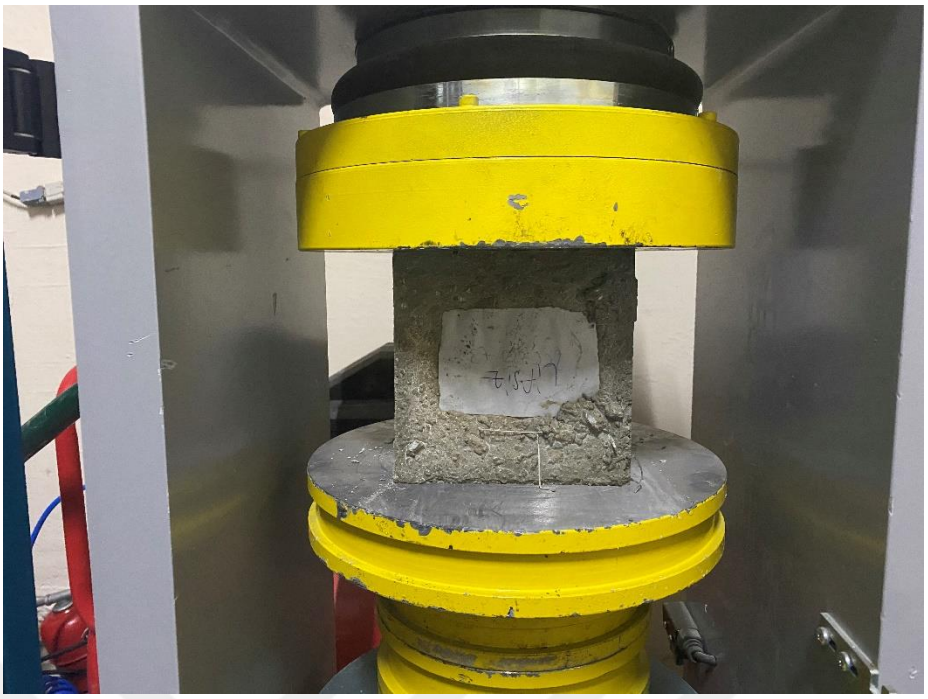
Şekil 3.16'da bu deneyler için alınmış numuneler görülmektedir.



Şekil 3.16. Sertleşmiş beton deneyleri için alınan numuneler

3.4.1. Beton basınç deneyi

Deneyde kullanılacak olan betonun istenilen basınç mukavemetine sahip olup olmadığını anlamak için beton basınç dayanımı tespiti deneyi yapılmıştır. Her lif katkı malzemesi için 3'er adet numune alınmıştır. Bu numunelere 28 gün boyunca gerekli kür ve bakımları yapılmıştır. 28. günde, numuneler Konya ili Karatay ilçesinde bulunan HA3 Yapı Laboratuvarı'nda basınç deneyine tabii tutulmuştur. Deneyler için burasının tercih edilmesinin sebebi bünyesinde kalibrasyonlu beton basınç makinesi bulundurmasıdır. Deneyde kullanılan makinenin markası Yüksel Kaya Makina'dır. Makinenin kalibrasyon tarihi 18.09.2020'dir. Şekil 3.17'de beton basınç deneyi makinesine yerleştirilmiş bir numune görülmektedir. Çizelge 3.8'de ise basınç deneylerinin sonuçları görülmektedir. Çizelgede farklı lif oranlarının beton basınç dayanımına etkisi de görülmektedir.



Şekil 3.17. Beton basınç deneyine yerleştirilmiş küp numune

Çizelge 3.8. Numune basınç deneyi sonuçları

Lif Oranı	Kırılma Yükü (kN)	Kırılma Yükü Ortalaması (kN)	Basınç dayanımı (N/mm2)	Basınç Dayanımı Ortalaması (N/mm2)
Lifsiz	1057.7	1076.5	47.009	47.844
	1083.7		48.164	
	1088.1		48.360	
2,5 kg/m^3	1026.0	1021.933	45.600	45.419
	1040.8		46.258	
	999.0		44.400	
5 kg/m^3	1139.7	1178.533	50.653	52.379
	1196.7		53.187	
	1199.2		53.298	
10 kg/m^3	1056.6	1081.1	46.960	48.049
	1076.3		47.836	
	1110.4		49.351	

3.4.2. Silindir yarma deneyi

Silindir yarma deneyi betonun çekme mukavemetini ölçmek için yapılan bir deneydir. Betonun çekme mukavemeti basınç mukavemetinin yanında oldukça küçüktür. Betonun bu özelliğinin zayıf olması uygulamalarda çekme dayanımının göz ardı edilmesine sebep olmaktadır ve çekme gerilmelerinin tamamını betonun içerisinde kullanılan inşaat demirlerinin (donatıların) karşılamasına göre hesaplamalar yapılmaktadır. Bu çalışmada betonun içerisine atılan makro sentetik lif katkı malzemesi

ile betonun çekme gerilmesinde bir artış olacağı düşünüldüğünden bu deneyin yapılmasına karar verilmiştir. Çizelge 3.9'da deney sonuçlarına ait değerler verilmiştir. Çizelgede bulunan değerler bir formül kullanılarak elde edilmiştir. Kullanılan formül şu şekildedir; $f_{ct} = \frac{2P}{\pi LD}$ denklemi kullanılarak numunelerin çekme dayanımları belirlenmiştir.

Çizelge 3.9. Silindir yarma deneyi sonuçları

Lif Oranı	Kırılma Yükü (N)	Çekme Dayanımı (N/mm^2)
Lifsiz	118600	1,678
2,5 kg/m^3	162100	2,294
5 kg/m^3	189100	2,676
10 kg/m^3	236900	3,353

3.4.3. Eğilme ve çatlak ağzı genişliği ölçümü deneyi

Eğilme deneyi malzemenin eğilmeye karşı mukavemetini ölçmek için yapılan bir deneydir. Kiriş elemanının her bölgesinde eğilme meydana gelir. Bundan dolayı eğilme dayanımı oldukça önemli olur. Bu deney genellikle kırılgan ve gevrek malzemeler için yapılır. Bu deneyin temel prensibi, deneyde kullanılacak malzemeyi basit kiriş modeli olarak kabul etmeye dayanmaktadır. Bu çalışmada eğilme dayanımı ve çatlak ağzı genişliği ölçümü için 4 adet numune üretilmiştir. Deney esnasında deney elemanlarının çatlak ağzı genişliği kontrolü yapılmıştır. Deney numunelerinin boyutları 150x150x550 mm olarak seçilmiştir. Deney 3 noktalı yükleme deneyi olarak yapılmıştır. Yükleme noktası deney elemanın tam ortasıdır. Mesnetler arası mesafe 500 mm'dir. Deneylerde çatlak kontrolünün sağlanması, çatlağın oluşum yerini belirlemek ve çatlak ağzı genişliğini ölçmek için numunenin eğilme bölgesinin tam ortasından 25 mm derinliğinde çizgisel bir çatlak açılmıştır. Açılan bu çatlakların deney esnasında genişliklerinin ölçümü potansiyometrik cetveller (LVDT) ile yapılmıştır. Çatlak ağzı genişliklerinin ölçümü yük verilme işleminin tamamında yapılmıştır. Deney elemanlarını oluşturan numunelerin özellikleri birbirinde farklılık göstermektedir. Bu farklılık tez çalışmasını parametrelerinde biri olan makro fiber lif katkı maddesinin kullanım oranlarının değişikliğidir. Bu lif oranları lifsiz, 2,5 kg/m^3, 5 kg/m^3 ve 10 kg/m^3 şeklindedir (EN 14651, Ünal ve Ark., 2021, Conforti ve Ark., 2019, Conforti ve Ark., 2020, Conforti ve Ark., 2017).

Şekil 3.18'de gösterilmiş olan lif katkısız deney numuneleri bünyesinde lif katkı maddesi bulundurmadığından kırıldıktan sonra yük taşımaya devam etmemiştir. Eğilme kırılması olduktan sonra numune istenilen yerden çatlayarak ikiye ayrılmıştır.

Şekil 3.19'da 2,5 kg/m^3 lif katkılı deney elemanının ilk görünümü iki farklı görselle görülebilir. Şekil 3.20'de ise aynı deney numunesinin deney sonu görüntüsü ve kırılma bölgesinde liflerin etkinliği görülebilmektedir. Bu deney elemanı kırıldıktan sonra yaklaşık %77 gerilme kaybı yaşamış olmasına rağmen yük almaya devam etmiştir. Eleman yük alma yeteneğini tamamen kaybetmediğinden dolayı deney durdurulmamış yük vermeye devam edilmiştir. Yapısında bulunan lifler ile verilen yükleri taşımaya devam etmiştir. Deney mekanizmasından dolayı yük verilemeyecek noktada deney durdurulmuştur.

Şekil 3.21'de 5 kg/m^3 lif katkılı deney elemanının ilk görünümü iki farklı görselle görülebilir. Şekil 3.22'de ise aynı deney numunesinin deney sonu görüntüsü ve kırılma bölgesinde liflerin etkinliği görülebilmektedir. Bu deney elemanı kırıldıktan sonra yaklaşık %33 gerilme kaybı yaşamış olmasına rağmen yük almaya devam etmiştir. Eleman yük alma yeteneğini tamamen kaybetmediğinden dolayı deney durdurulmamış yük vermeye devam edilmiştir. Yapısında bulunan lifler ile verilen yükleri taşımaya devam etmiştir. Deney mekanizmasından dolayı yük verilemeyecek noktada deney durdurulmuştur.

Şekil 3.23'de 10 kg/m^3 lif katkılı deney elemanının ilk görünümü iki farklı görselle görülebilir. Şekil 3.24'te ise aynı deney numunesinin deney sonu görüntüsü ve kırılma bölgesinde liflerin etkinliği görülebilmektedir. Bu deney elemanı kırıldıktan sonra yaklaşık %16 gerilme kaybı yaşamış olmasına rağmen yük almaya devam etmiştir. Eleman yük alma yeteneğini tamamen kaybetmediğinden dolayı deney durdurulmamış yük vermeye devam edilmiştir. Yapısında bulunan lifler ile verilen yükleri taşımaya devam etmiştir. Deney mekanizmasından dolayı yük verilemeyecek noktada deney durdurulmuştur.

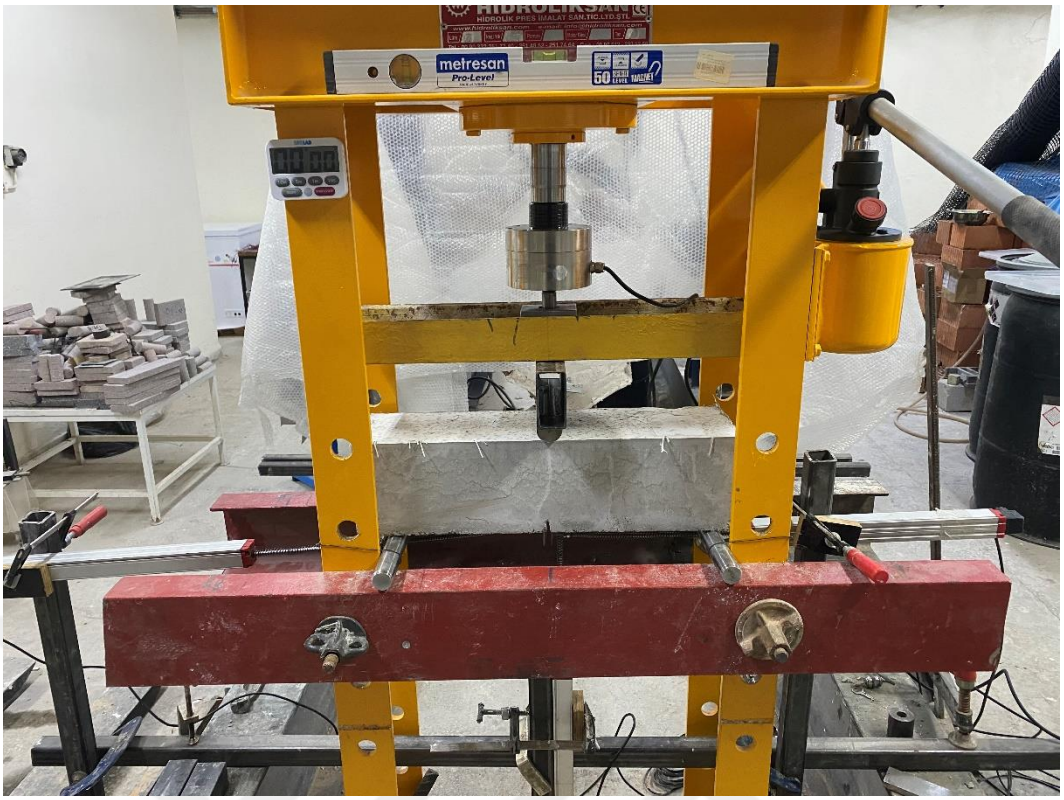


(a)



(b)

Şekil 3.18. a) ve b) lif katkısız deney numunesinin ilk görünümü



(a)



(b)

Şekil 3.19. a) ve b) 2,5 kg/m^3 lif katkılı deney numunesi ilk görünümü

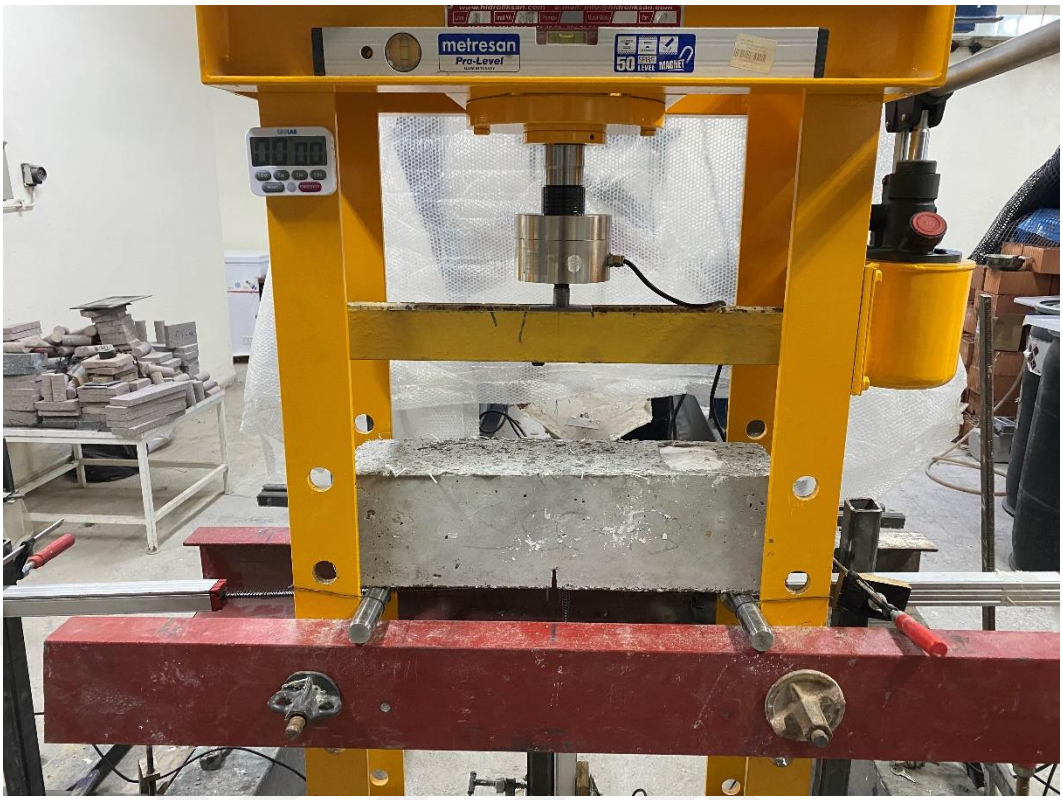


(a)



(b)

Şekil 3.20. a) 2,5 kg/m^3 lif katkılı deney numunesinin deney sonu görünümü b) kırılma bölgesinde liflerin etkinliği

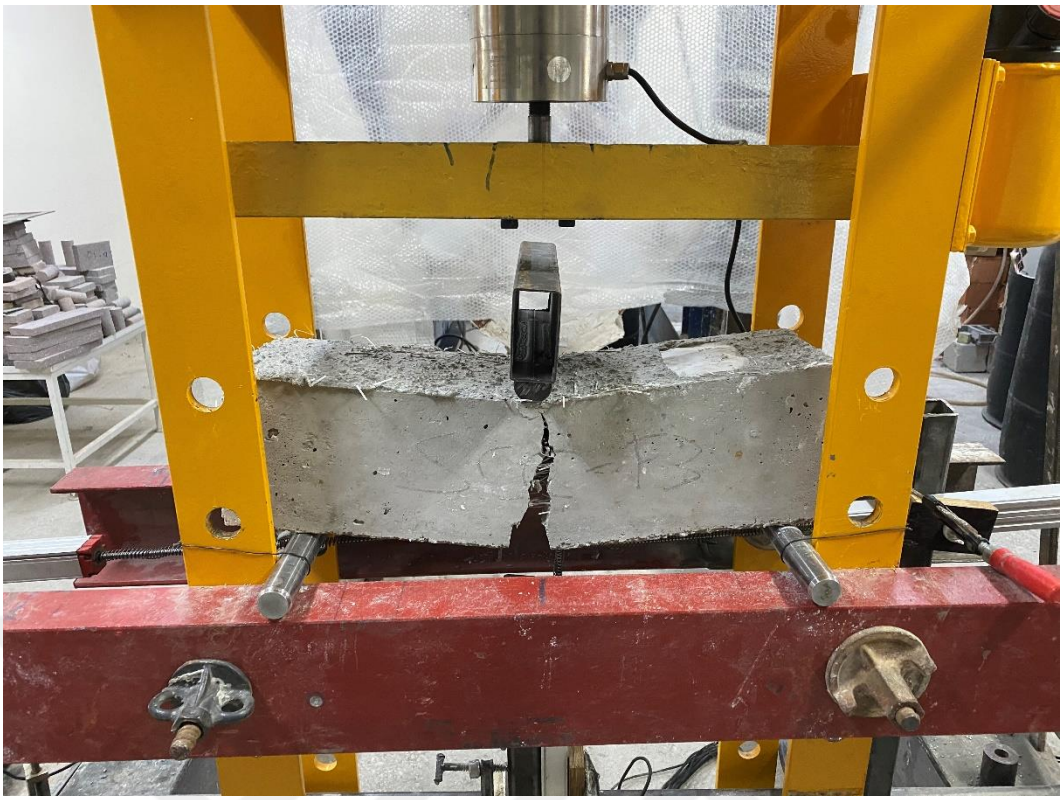


(a)



(b)

Şekil 3.21. a) ve b) 5 kg/m^3 lif katkılı deney numunesi ilk görünümü

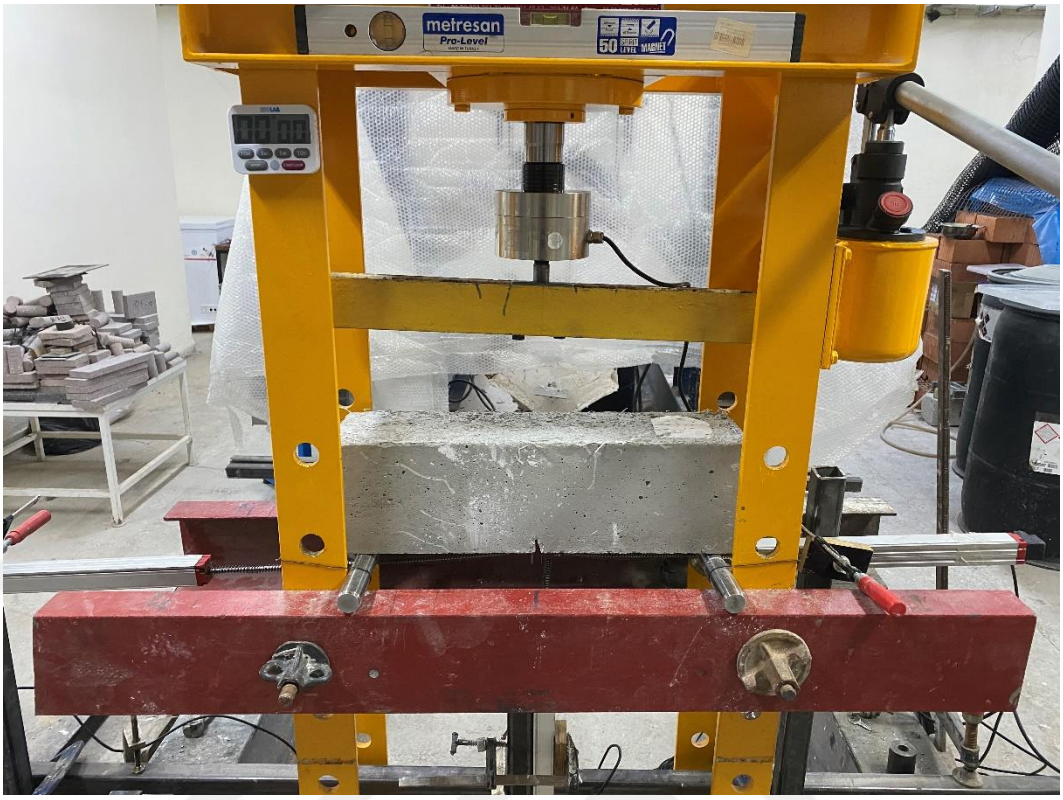


(a)



(b)

Şekil 3.22. a) 5 kg/m^3 lif katkılı deney numunesinin deney sonu görünümü b) kırılma bölgesinde liflerin etkinliği

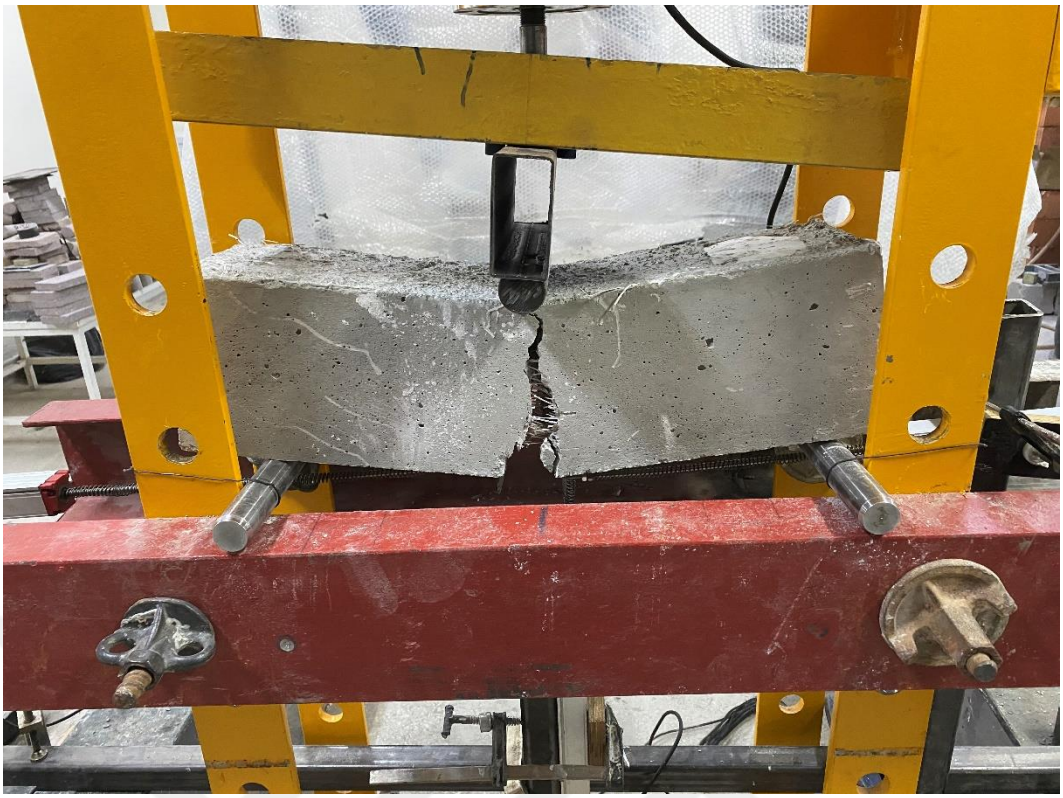


(a)



(b)

Şekil 3.23. a) ve b) 10 kg/m^3 lif katkılı deney numunesi ilk görünümü



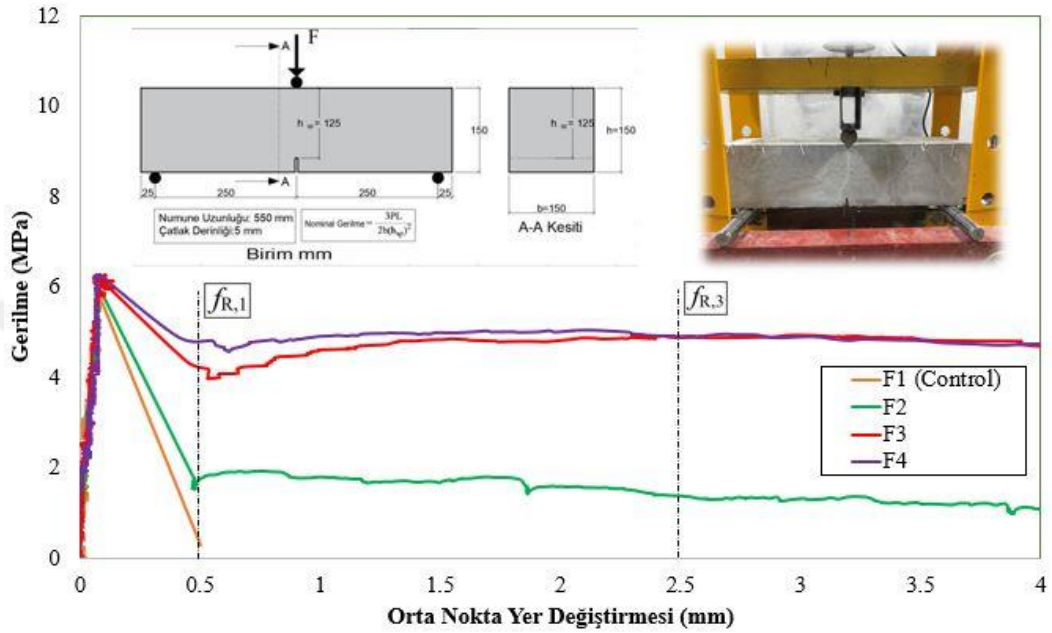
(a)



(b)

Şekil 3.24. a) 10 kg/m^3 lif katkılı deney numunesinin deney sonu görünümü b) kırılma bölgesinde liflerin etkinliği

Bu deneylerin sonucunda gerilme-çatlak ağzı genişliği grafikleri elde edilmiştir. Elde edilen bu grafikler yardımıyla farklı lif katkılı kirişlerde eğilme deneyi sonucunda lif katkısı miktarının eğilme davranışına etkisi ve çatlak ağzı genişliğinin dayanım ile değişimi incelenebilmektedir (EN 14651). Bu grafik Şekil 3.25'te görülebilir.



Şekil 3.25. Eğilme deneyi sonucunda yapılan ölçümler ile elde edilen gerilme-şekil değiştirme grafiği karşılaştırması

3.5. Donatı Çekme Deneyi

Betonarme kirişlerin üretilmesinde 2 farklı çapta donatı kullanılmıştır. Kullanılan çaplar Ø6 ve Ø8'dir. Ø6 donatılar kiriş elemanlarda enine donatı olarak kullanılmıştır. Ø8 çaplı donatılar ise çekme ve basınç donatıları olarak kullanılmıştır. Donatılar S420 sınıfı nervürlü donatılardır. Her iki donatı çapı için 3 adet olmak üzere toplamda 6 adet donatı Konya ilinin Karatay ilçesinde hizmet vermekte olan HA3 Yapı Laboratuvarı'nda güncel kalibrasyonlu çelik çekme makinasında test edilmiş ve donatıların mekanik özellikleri tespit edilmiştir. Şekil 3.26'da çelik çekme makinasına yerleştirilmiş donatı görülmektedir.



Şekil 3.26. Çelik çekme makinasına yerleştirilen numune

Çelik çekme deneyi sonrasında akma kuvveti, akma dayanımı, çekme kuvveti, çekme dayanımı, kopma kuvveti, kopma dayanımı, uzama ve elastisite modülleri belirlenmiştir. Elde edilen değerler Çizelge 3.10'da verilmiştir.

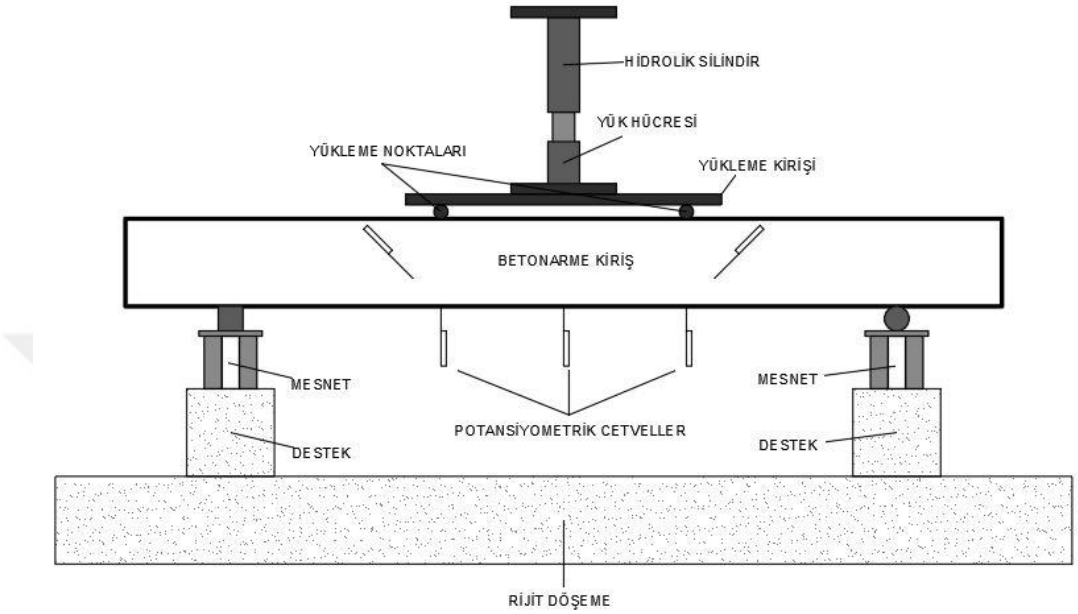
Çizelge 3.10. Donatıların mekanik özellikleri

	Ø6			Ø8		
Mekanik Özellik	**1. Numune**	**2. Numune**	**3. Numune**	**1. Numune**	**2. Numune**	**3. Numune**
Akma kuvveti (N)	9070	9930	9600	16840	15540	15690
Akma Dayanımı-R_e (MPa)	320,9	351,4	339,7	335,2	309,3	312,3
Çekme Kuvveti (N)	15610	11360	14010	22060	21280	21210
Çekme Dayanımı-R_m (MPa)	552,4	402	495,8	439,1	423,6	422,2
Kopma Kuvveti (N)	15200	11010	13800	21180	20340	20370
Kopma Mukavemeti (MPa)	538	390	488	422	405	405
R_m/R_e	1,72	1,14	1,46	1,31	1,37	1,35
Uzama (%)	12,9	11,3	22,8	36,1	37,7	45,2
Elastisite Modülü (MPa)	190110	217410	217110	208830	214460	189260

3.6. Deney Düzeneği

Önceki bölümlerde bahsedildiği üzere betonarme kirişler 4 noktalı eğilme düzeneğinde test edilmişlerdir. 4 noktalı eğilme deneyi düzeneği Konya Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Yapı ve Deprem Araştırma Laboratuvarı'nda mevcut olarak bulanan bir düzenektir ve daha önce de birçok deney bu

mekanizmada yapılmıştır. Deney düzeneği bu deneysel çalışmanın kendi parametre, kendi yükleme ve ölçüm noktalarına göre yeniden tasarlanmıştır. Deney düzeneğinin şematik gösterimi Şekil 3.27'de verilmiştir. Deney düzeneğinin görüntüsü Şekil 3.28'de verilmiştir.



Şekil 3.27. Deney düzeneğinin şematik olarak gösterimi



Şekil 3.28. Deney düzeneğinin görünümü

3.7. Ölçüm Yöntemi

Deney kapsamında yapılan deneylerde betonarme kirişlere yüklenen yükün tespiti için bir adet yük hücresi (load cell) ve yükü bağlı olarak deney elemanlarında meydana gelen yer değiştirme hareketlerini ölçmek için 5 adet potansiyometrik cetvel (LVDT) kullanılmıştır. Kullanılan yük hücresi ve potansiyometrik cetveller veri toplama sistemine bağlanır. Veri toplama merkezine gelen verilerin bilgisayar ortamına aktarılması aygıt geçidi adı verilen bir alet yardımıyla gerçekleştirilmektedir. Bilgisayar ortamına aktarılan veriler bir yazılım sayesinde istenilen grafikler deneylerle eşzamanlı olarak çizilmesi sağlanmaktadır. Ayrıca bilgisayarda toplanan veriler başka programlara aktarılarak daha farklı grafiklerin çizilmesi için kullanılabilmektedir. Şekil 3.29'da deneylerde kullanılan veri toplama sistemi görülmektedir.

Deneylerde kullanılan potansiyometrik cetvellerden 3 tanesi kiriş elemanların altına yerleştirilmiştir. Kiriş elemanların altında bulunun potansiyometrik cetvellerden 1 tanesi kirişin tam ortasına yerleştirilmiş diğer iki tanesi yükleme noktalarının tam altına yerleştirilmiştir. Burada bulunan potansiyometrik cetvellerle yapılan ölçümler orta nokta yük-deplasman grafiği, rijitlik azalım grafiği ve enerji grafiği gibi grafiklerin çizilmesinde kullanılmıştır. Deney elemanlarının ön yüzünde çapraz olarak bulunan 2 adet potansiyometrik cetvel ile deney elemanlarında oluşacak kesme çatlağı genişliklerinin ölçülmesi amaçlanmıştır. Bu ölçümler ile kullanılan makro fiber liflerin kesme çatlağı üzerindeki etkisi araştırılmak istenmiştir. Ayrıca kullanılan tüm potansiyometrik cetvellerin ve yükleme hücresinin kalibrasyonu yapılarak deneyler için hazır hale getirilmiştir. Şekil 3.30'da kullanılan potansiyometrik cetvel ve yük hücresi görülmektedir.



Şekil 3.29. Deneylerde kullanılan veri toplama sistemi



Şekil 3.30. Deneylerde kullanılan potansiyometrik cetvel ve yük hücresi

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu deneysel çalışma kapsamında birbirinden farklı özelliklere sahip toplam 16 adet betonarme kiriş deneyi yapılmıştır. Yapılan bu deneylerin sonuçları bu bölümde irdelenmiştir.

Deneysel çalışma yapılırken tüm deney elemanlarına aynı şekilde yükleme yapılmıştır. Bu yükleme şu şekildedir;

Tüm deneyler

- Elemanlara 5 kN yük verilerek başlanmıştır.
- İlk yüklemeden sonra donatı akma sınırına ulaşıncaya kadar 5 kN'luk yük artışıyla devam etmiştir.
- Donatı akma sınırına ulaştıktan sonra yer değiştirme hareketine göre yüklemeye geçilmiş, 50 mm'lik yer değiştirme hareketine kadar 5 mm, 50 mm'den sonra ise 10 mm olacak şekilde yükleme yapılmıştır.
- Her elemanın göçme noktasına kadar bu düzende devam etmiştir.

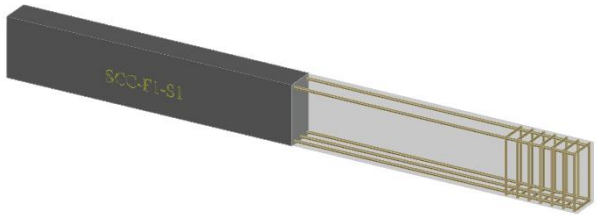
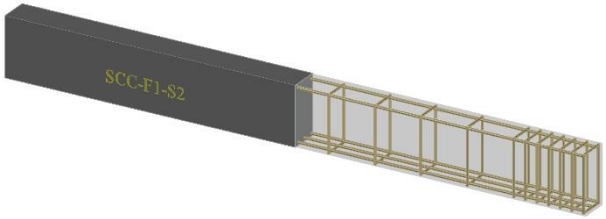
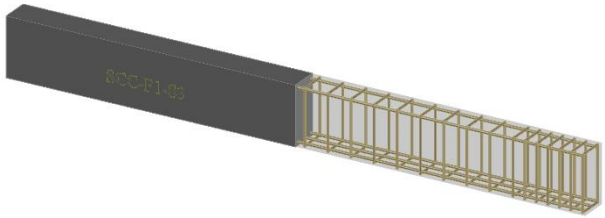
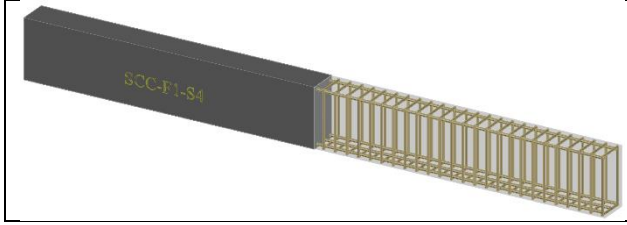
Tüm deney elemanlarına bu yükleme adımları uygulandıktan sonra elde edilen veriler uygun şekilde işlenip her deney elemanı için farklı grafikler elde edilmiştir. Bu grafikler her deney elemanı için ayrı ayrı verilmiştir. Bu grafikler ayrıca gruplar oluşturularak karşılaştırma yapılmıştır. Gruplara ayrılan elemanlar daha sonra tek bir grafik üzerinde toplanmış 16 adet deney elemanı tek grafik üzerinde verilmiştir. Çizilen bu grafikler şu şekildedir;

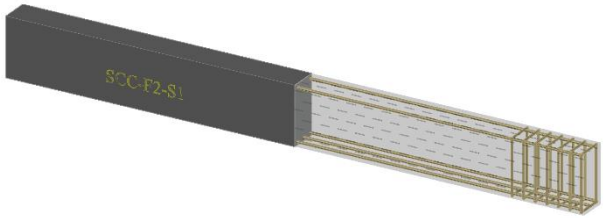
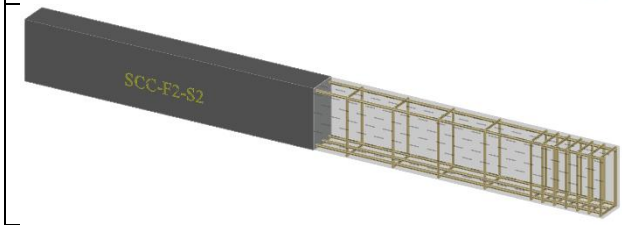
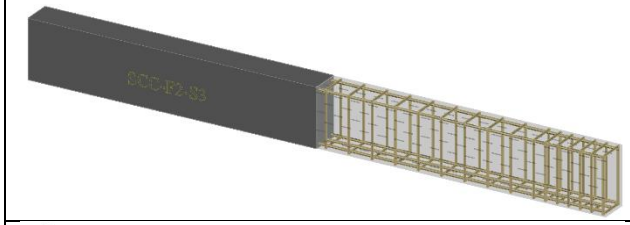
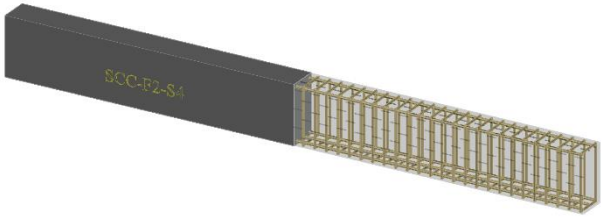
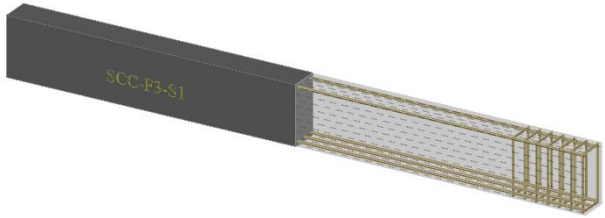
- Yük-Deplasman grafiği
- Rijitlik-Deplasman grafiği
- K_j/K_{ilk} grafiği
- Eğim Açısı-Yükleme Adımı grafiği
- Kümülatif Tüketilen Enerji-Deplasman grafiği

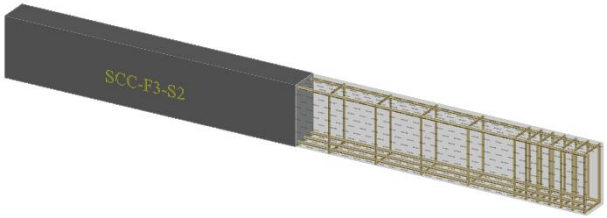
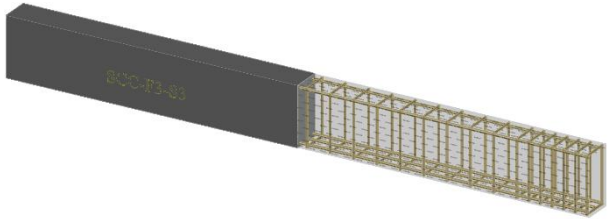
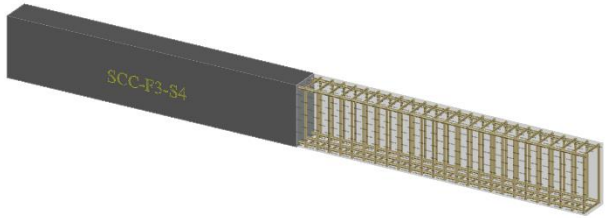
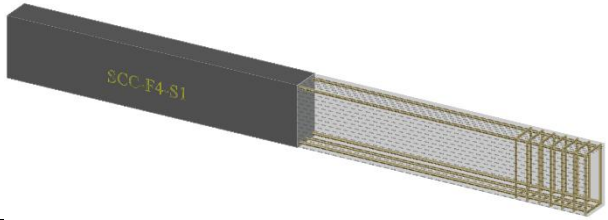
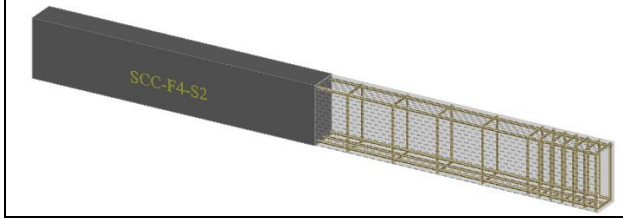
Bu grafiklerden K_j/K_{ilk} grafiği hariç diğer grafikler kıyaslamalar için de kullanılmıştır.

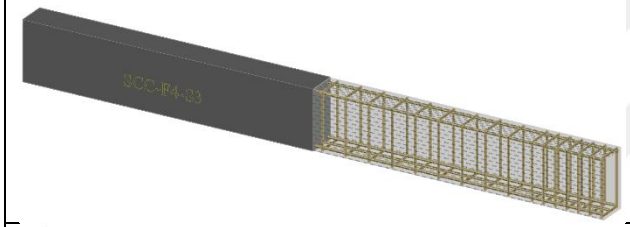
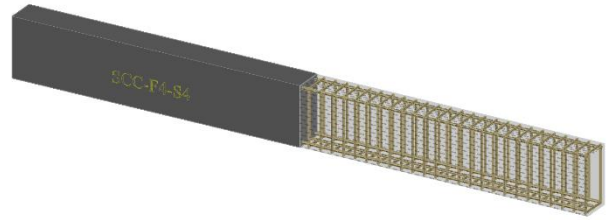
Deney kapsamında 16 adet kiriş bulunmasından dolayı deney elemanlarının daha rahat tanınabilmesi ve daha iyi yorumlanabilmesi açısından betonarme kirişlere isimler verilmiştir. Bu isimler ve deney elemanlarının diğer özellikleri Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Deney elemanlarının isimleri

Numune Görüntüsü	Numune Adı	b_w (cm)	h (cm)	d (cm)	a/d	Enine Donatı (cm)	Basınç Donatısı	Çekme Donatısı	Lif Miktarı (kg/m3)
	SCC-F1-S1	12.5	25	24	2,5	Etriyesiz	2Ø8	2Ø8	0
	SCC-F1-S2	12.5	25	24	2,5	20	2Ø8	2Ø8	0
	SCC-F1-S3	12.5	25	24	2,5	10	2Ø8	2Ø8	0
	SCC-F1-S4	12.5	25	24	2,5	5	2Ø8	2Ø8	0

	SCC-F2-S1	12.5	25	24	2,5	Etriyesiz	2Ø8	2Ø8	2,5
	SCC-F2-S2	12.5	25	24	2,5	20	2Ø8	2Ø8	2,5
	SCC-F2-S3	12.5	25	24	2,5	10	2Ø8	2Ø8	2,5
	SCC-F2-S4	12.5	25	24	2,5	5	2Ø8	2Ø8	2,5
	SCC-F3-S1	12.5	25	24	2,5	Etriyesiz	2Ø8	2Ø8	5

	SCC-F3-S2	12.5	25	24	2,5	20	2Ø8	2Ø8	5
	SCC-F3-S3	12.5	25	24	2,5	10	2Ø8	2Ø8	5
	SCC-F3-S4	12.5	25	24	2,5	5	2Ø8	2Ø8	5
	SCC-F4-S1	12.5	25	24	2,5	Etriyesiz	2Ø8	2Ø8	10
	SCC-F4-S2	12.5	25	24	2,5	20	2Ø8	2Ø8	10

	SCC-F4-S3	12.5	25	24	2,5	10	2Ø8	2Ø8	10
	SCC-F4-S4	12.5	25	24	2,5	5	2Ø8	2Ø8	10

Çizelge 4.1'de verilen deney numunelerinin isimleri elemanın özelliğiyle ilgili bir bilgi içermektedir. İsimlendirmede kullanılan "-" işareti ile ayrılmış her bir ifade farklı bir özelliği ifade etmektedir. Burada kullanılan ifadeler;

SCC: Self Compacting Concrete (Kendiliğinden Yerleşen Beton-KYB)

F1: Makro fiber lif katkı maddesi bulundurmadığını

F2: 2,5 kg/m^3 makro fiber lif katkı maddesi bulundurduğunu

F3: 5 kg/m^3 makro lif katkı maddesi bulundurduğunu

F4: 10 kg/m^3 makro lif kakı maddesi bulundurduğunu

S1: Etriye kullanılmadığını

S2: 20 cm aralıklı etriye kullanıldığını

S3: 10 cm aralıklı etriye kullanıldığını

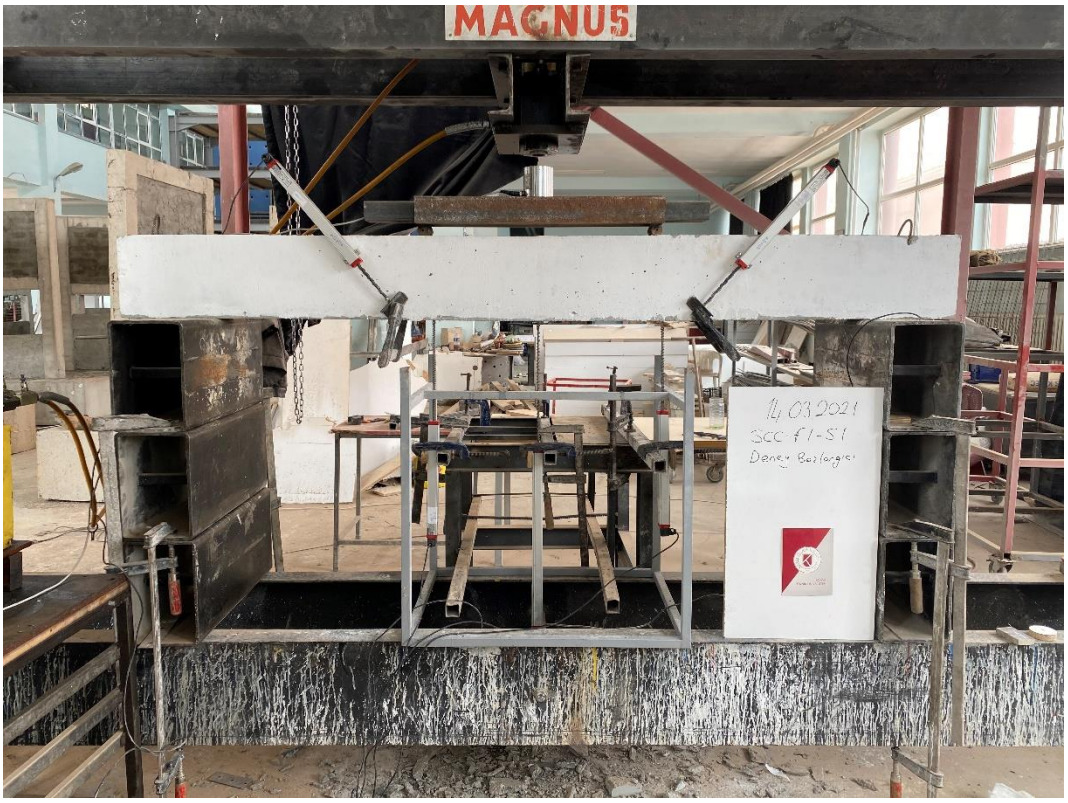
S4: 5 cm aralıklı etriye kullanıldığını ifade etmektedir.

Örnek olarak ilk deney elemanı ele alınırsa; SCC-F1-S1 deney elemanının kendiliğinden yerleşen beton ile üretilmiş, bünyesinde makro fiber lif katkı maddesi bulunmayan ve etriye kullanılmadan imal edilmiş deney elemanı olduğu anlaşılmaktadır.

4.1. Deney Sonuçları

4.1.1. Birinci deney (SCC-F1-S1)

Bu deney elemanı referans numune olarak kabul edilen etriyesiz ve içerisinde makro lif katkı maddesi bulunmayan kendiliğinden yerleşen beton ile üretilmiş betonarme kiriştir. Deney elemanına ait deney öncesi görüntüsü Şekil 4.1'de verilmiştir. Deney esnasında uygulanan yüke bağlı olarak oluşan şekil değiştirmeler ve hasarlar Çizelge 4.2'de verilmiştir.



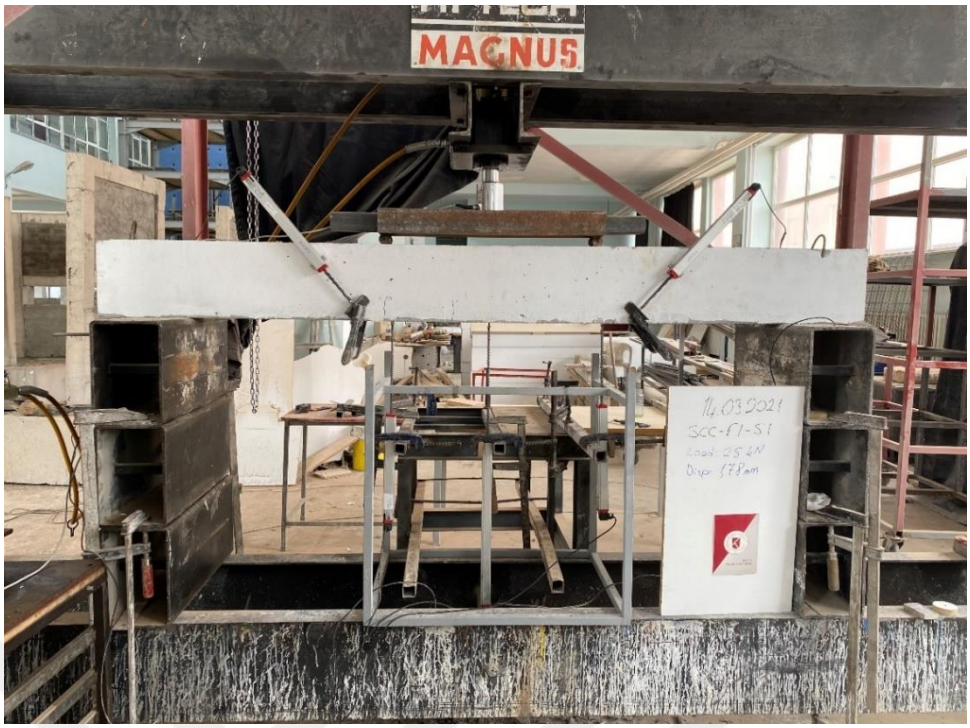
Şekil 4.1. SCC-F1-S1 elemanının ilk görüntüsü

Çizelge 4.2. SCC-F1-S1 elemanının şekil değiştirme ve hasar oluşumları

Çev. No	Yük (kg)	Deplasman (mm)	Çatlak No	Açıklama
1	0	-		İlk iki yüklemede herhangi bir çatlak oluşumu gözlemlenmemiştir.
2	541,32	0,553		
3	942,06	0,814	1,2	İlk çatlak oluşumları gözlemlenmiştir. Bu çatlaklardan bir tanesi orta noktada uzunluğu yaklaşık 7 cm, diğer çatlak sol yükleme noktasının altında uzunluğu yaklaşık olarak 8,5 cm olarak meydana gelmiştir.

Çev. No	Yük (kg)	Deplasman (mm)	Çatlak No	Açıklama
4	2253,4	3,503	3,4,5,6,7 8,9,10,11	Bu yükleme adımında toplamda 9 adet yeni çatlak oluşmuştur. Bu yeni çatlakların uzunlukları ortalama 8,3 cm'dir. Eski çatlakların uzunluklarında 4-5 cm uzamalar gözlemlenmiştir. Yeni oluşan çatlakların yerleri kirişin orta bölgesinde sınırlı kalmıştır.
5	3003,1	5,961	12,13,14 15,16,17 18,19,20	Bu yükleme adımında toplamda 9 adet yeni çatlak oluşmuştur. Bu yeni çatlakların uzunlukları ortalama 7 cm'dir. Eski çatlakların uzunluklarında 2-3 cm uzamalar gözlemlenmiştir. Yeni oluşan çatlaklar yükleme noktası ile mesnetler arasında sınırlı kalmıştır. Yeni oluşan çatlaklar içerisinde kirişin her iki tarafında kesme çatlakları meydana gelmiştir.
6	4197,9	11,518	21,22,23 24	Bu yükleme adımında toplamda 3 adet yeni çatlak oluşmuştur. Bu yeni çatlakların uzunlukları ortalama 5,5 cm'dir. Eski çatlakların uzunluklarında 1-2 cm uzamalar gözlemlenmiştir. Yeni oluşan çatlaklar yükleme noktası ile mesnetler arasında sınırlı kalmıştır. Donatı akma noktasına ulaşmış ve deplasman kontrolüne geçilmiştir.
7	4274	20,593	25,26	Bu yükleme adımında toplamda 2 adet yeni çatlak oluşmuştur. Bu yeni çatlakların uzunlukları ortalama 5 cm'dir. Eski çatlakların uzunluklarında 1-2 cm uzamalar gözlemlenmiştir. Yeni oluşan çatlakların bir tanesi kiriş orta bölgesinde diğeri ise sol yükleme noktası ile sol mesnet arasındadır
8	4318,5	24,738	27	Bu yükleme adımında 1 adet yeni çatlak oluşmuştur. Bu yeni çatlağın uzunluğu yaklaşık 5 cm'dir. Eski çatlakların uzunluklarında 1-2 cm uzamalar gözlemlenmiştir. Yeni oluşan çatlak kiriş orta bölgesindedir. Çatlaklarda dallanmalar meydana gelmiştir.
9	44,495	30,00	-	Bu yükleme adımında eski oluşan çatlaklar birbiriyle birleşmeye başlamıştır. Eski çatlakların boylarında uzamalar gözlemlenmiş ve çatlak genişliklerinde artışlar meydana gelmiştir. Yükleme noktalarına yakın yerlerde oluşan çatlaklar kiriş en üst noktasına ulaşmıştır.
10	4426,4	31,395	28,29,30 31,32	Bu yükleme adımında toplamda 5 adet yeni çatlak oluşmuştur. Bu yeni çatlakların uzunlukları ortalama 5 cm'dir. Eski çatlaklarda uzamalar gözlemlenmiştir.
11	3782	36,264	33	Bu yükleme adımında 1 adet yeni çatlak oluşmuştur. Bu yeni çatlağın uzunluğu yaklaşık 5 cm'dir. Eski çatlaklarda uzamalar gözlemlenmiştir. Yeni oluşan çatlak kiriş orta bölgesindedir. Çatlaklarda dallanmalar meydana gelmiştir.
12	3603,1	36,51		Bu yükleme adımında sağ yükleme noktasının altında kesme kırılması meydana gelmiştir. Sağ yükleme noktasının altında basınç ezilmesi meydana gelmiştir. Nihai yüke ulaşılmıştır.
13				Deney sonu.

SCC-F1-S1 deney elemanında ilk çatlaklar 942,06 kg yük değerinde kiriş orta bölgesinde oluşmuştur. Bu yükleme adımına ait görünüm Şekil 4.2'de görülebilir.



Şekil 4.2. SCC-F1-S1 deney elamanında oluşan ilk çatlaklar

SCC-F1-S1 deney elemanı akma noktasına 3337,1 kg yük ve 6,624 mm deplasman değerinde ulaşmıştır. Elemanın bu yüklemedeki görüntüsü Şekil 4.3'te görülebilir.



Şekil 4.3. SCC-F1-S1 deney elemanının akma anındaki görüntüsü

SCC-F1-S1 deney elemanının aldığı maksimum yük 4449,5 kg'dır. Bu yük altında yaptığı deplasman değeri 30,00 mm'dir. Bu yükleme adımındaki görüntüsü Şekil 4.4'te görülmektedir.



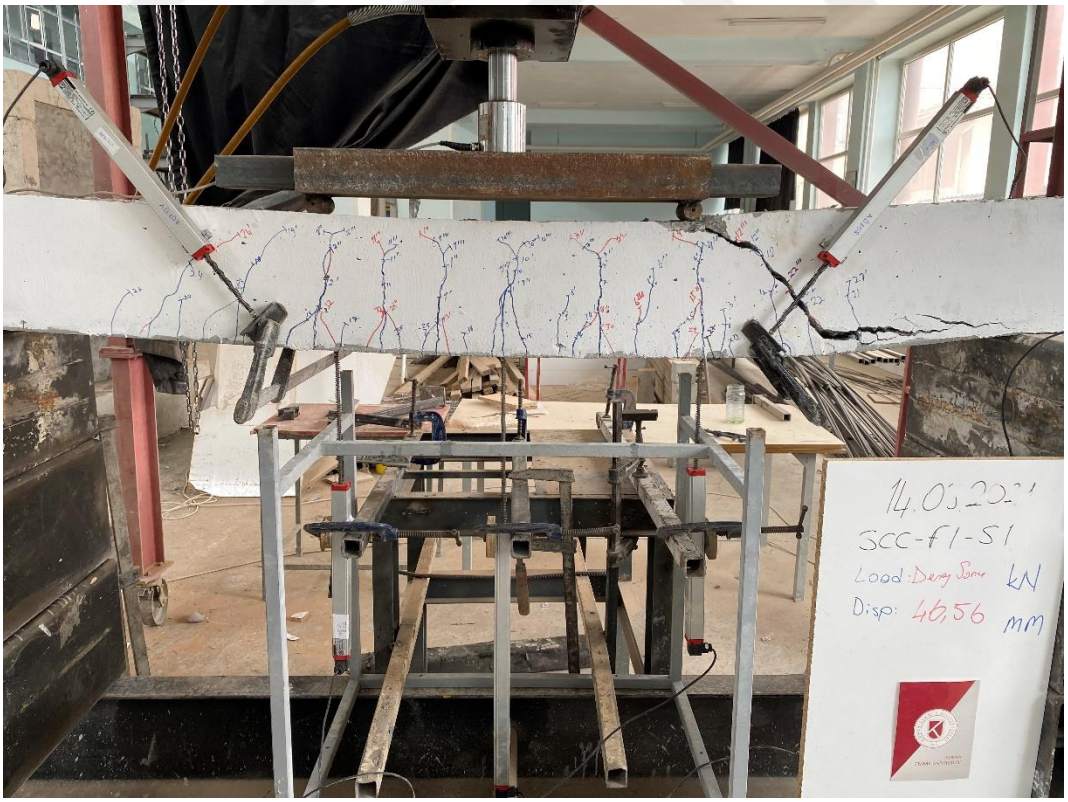
Şekil 4.4. SCC-F1-S1 elemanının maksimum yük altındaki görüntüsü

SCC-F1-S1 deney elemanına yük verme işlemi 36,03 mm deplasman değerinde son verilmiştir. Bu noktada kesme kırılması oluşmuş ve deney elemanı daha fazla deplasman yapamayacağından deney sonlandırılmıştır. Deney elemanının deney sonundaki görüntüsü Şekil 4.5'te görülmektedir. Deney sonundaki çatlak dağılımı Şekil 4.6'da görülmektedir.

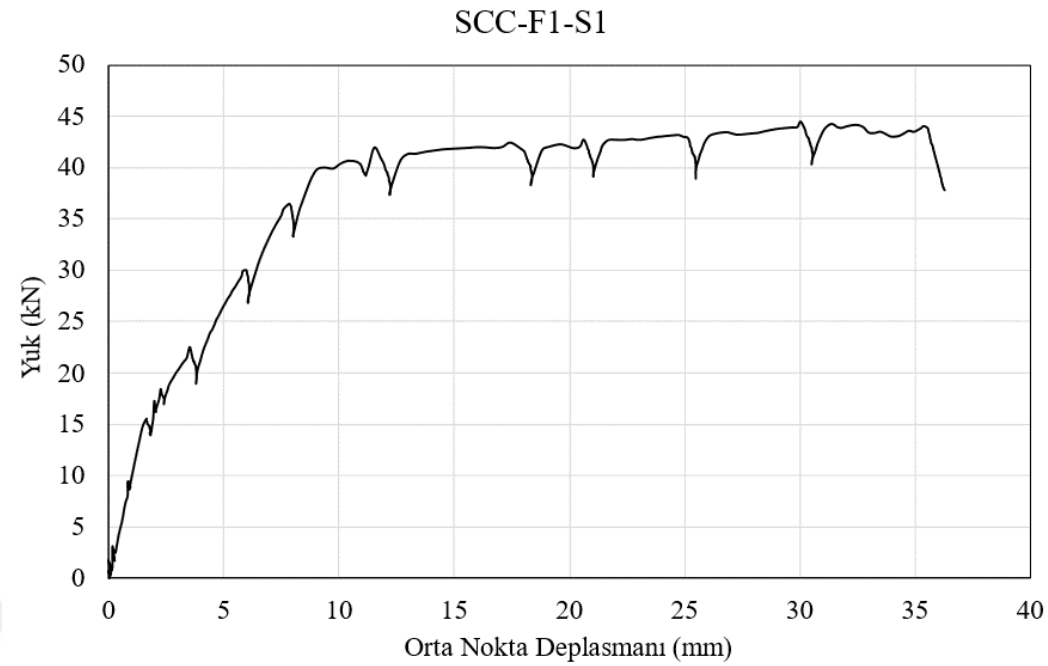
SCC-F1-S1 deney elemanına ait orta nokta yük-deplasman grafiği Şekil 4.7'de verilmiştir.



Şekil 4.5. SCC-F1-S1 elemanının deney sonundaki görünümü

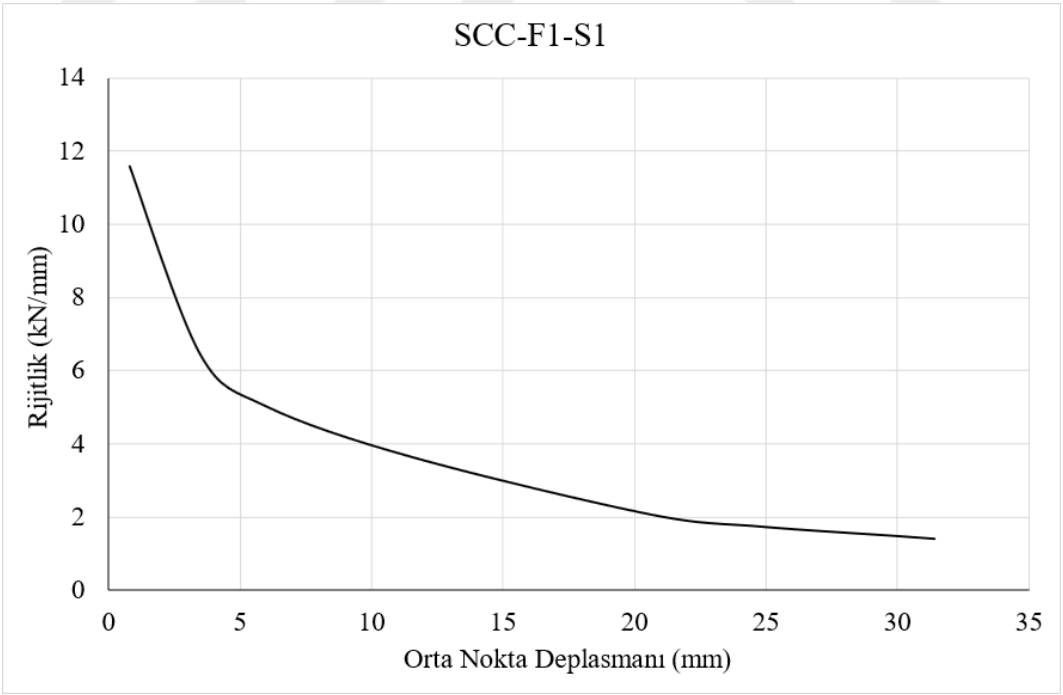


Şekil 4.6. SCC-F1-S1 elemanının deney sonundaki çatlak dağılımı



Şekil 4.7. SCC-F1-S1 elemanına ait yük-deplasman grafiği

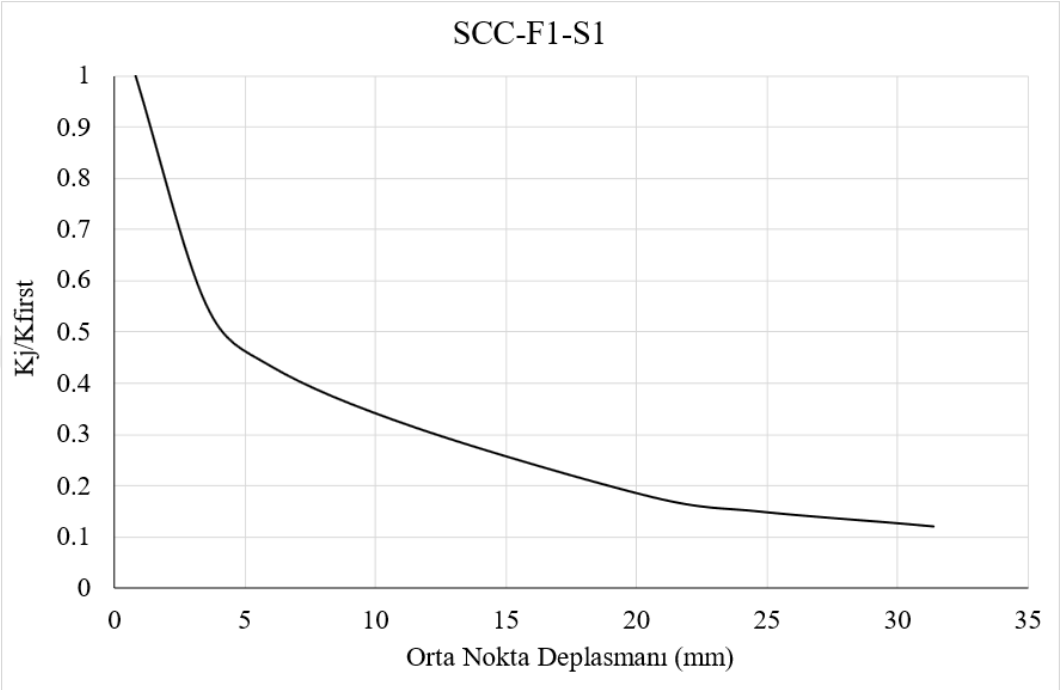
Her bir yüklemedeki yük değerinin, o noktadaki deplasman değerine bölünmesiyle elde edilen rijitlik grafiği Şekil 4.8'de verilmiştir.



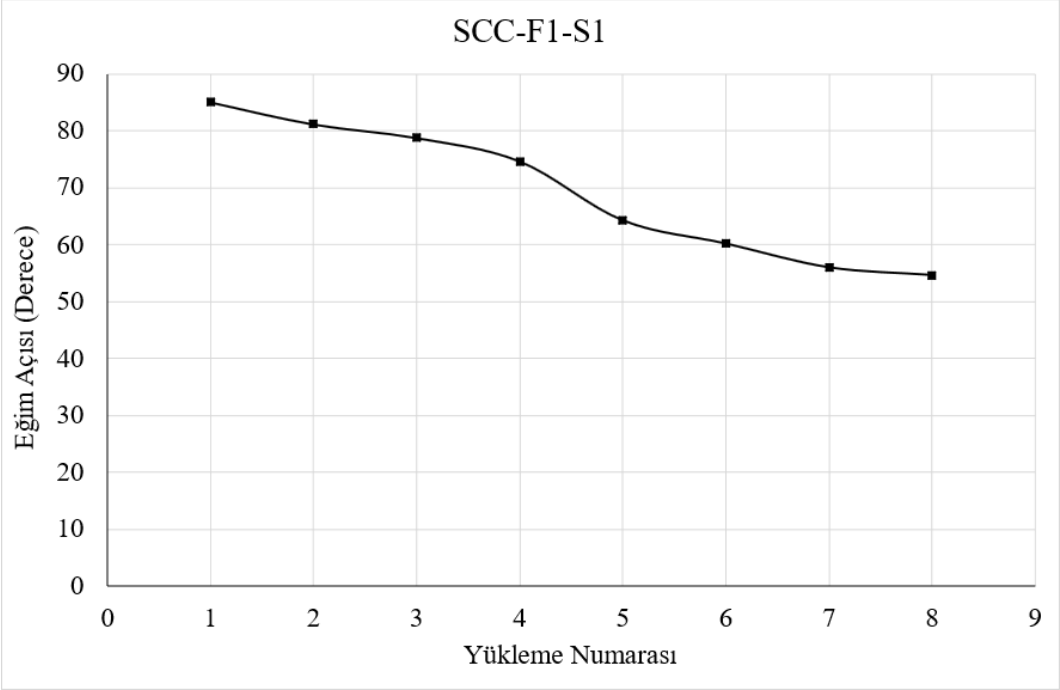
Şekil 4.8. SCC-F1-S1 elemanına ait rijitlik grafiği

Elemanın tüm yüklemelerdeki rijitlik değerinin, ilk yüklemedeki rijitlik değerine bölünmesiyle de K_j/K_{first} grafiği elde edilmiş olup Şekil 4.9'da verilmiştir.

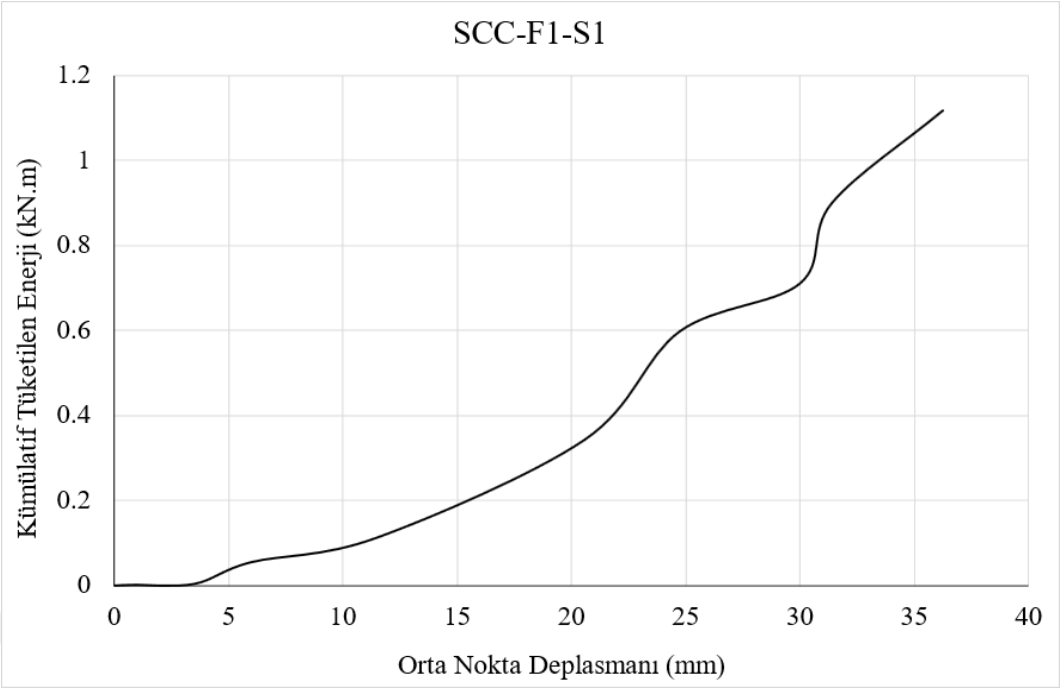
Elemanın davranış özelliklerinde biri olan eğim açısı grafiği Şekil 4.10'da verilmiştir. Elemanın kümülatif tükettiği enerji ise Şekil 4.11'de verilmiştir.



Şekil 4.9. SCC-F1-S1 elemanına ait K_j/K_{first} grafiği



Şekil 4.10. SCC-F1-S1 elemanına ait eğim açısı grafiği



Şekil 4.11. SCC-F1-S1 elemanına ait kümülatif tüketilen enerji grafiği

4.1.2. İkinci deney (SCC-F1-S2)

Bu deney elemanı 20 cm etriye aralığına sahip, içerisinde makro lif katkı maddesi bulunmayan kendiliğinden yerleşen beton ile üretilmiş betonarme kiriştir. Deney elemanına ait görüntü Şekil 4.12'de verilmiştir. Deney esnasında uygulanan yüke bağlı olarak oluşan şekil değiştirmeler ve hasarlar Çizelge 4.3'de verilmiştir.



Şekil 4.12. SCC-F1-S2 elemanının ilk görüntüsü

Çizelge 4.3. SCC-F1-S2 elemanının şekil değiştirme ve hasar oluşumları

Çev. No	Yük (kg)	Deplasman (mm)	Çatlak No	Açıklama
1	740,7	0,276		İlk iki yüklemede herhangi bir çatlak oluşumu gözlemlenmemiştir.
2	1036,4	0,784		
3	2278,02	2,17	1,2,3,4	İlk çatlak oluşumları gözlemlenmiştir. Oluşan çatlaklar iki yükleme noktasının arasındadır. Oluşan çatlaklardan bir tanesinin uzunluğu 8,5 cm, diğer çatlakların uzunlukları yaklaşık 10 cm'dir.
4	3114,09	4,09	5,6,7,8	Bu yükleme adımında toplamda 4 adet yeni çatlak oluşmuştur. Bu yeni çatlakların uzunlukları ortalama 6,5 cm'dir. Eski çatlakların uzunluklarında 3-4 cm uzamalar gözlemlenmiştir. Çatlaklardan bir tanesi kesme çatlağıdır. Sağ yükleme noktası tarafında oluşmuştur.
5	4132,93	18,79	9,10	Bu yükleme adımında toplamda 2 adet yeni çatlak oluşmuştur. Yeni oluşan çatlaklardan bir tanesi sağ yükleme noktasının altındadır ve uzunluğu yaklaşık olarak 13 cm'dir, diğer çatlak ise kiriş orta bölgesindedir ve uzunluğu yaklaşık olarak 6 cm'dir. Eski çatlakların uzunluklarında 2-3 cm uzamalar gözlemlenmiştir. Donatı akma noktasına ulaşmış ve deplasman kontrolüne geçilmiştir.
6	4121,51	20,6855		Eski çatlaklarda uzamalar gözlemlenmiş ve çatlak genişlikleri küçük miktarlarda artmıştır.
7	4168,64	28,3436	11,12	Bu yükleme adımında toplamda 2 adet yeni çatlak oluşmuştur. Bu yeni çatlakların uzunlukları ortalama 5 cm'dir. Eski çatlakların uzunluklarında 1-2 cm uzamalar gözlemlenmiştir. Oluşan çatlaklardan bir tanesi kesme çatlağıdır.

Çev. No	Yük (kg)	Deplasman (mm)	Çatlak No	Açıklama
8	4281,98	33,9368	13	Bu yükleme adımında 1 adet yeni çatlak oluşmuştur. Bu yeni çatlağın uzunluğu yaklaşık 8 cm'dir. Eski çatlakların uzunluklarında 1-2 cm uzamalar gözlemlenmiştir. Yeni oluşan çatlak sol yükleme noktası ile sol mesnet arasındadır. Çatlaklarda dallanmalar gözlemlenmiştir.
9	4307,49	38,0509	14,15 16,17	Bu yükleme adımında toplamda 4 adet yeni çatlak oluşmuştur. Bu yeni çatlakların uzunlukları ortalama 7 cm'dir. Eski çatlaklarda uzamalar gözlemlenmiştir. Yeni oluşan çatlaklar kirişin farklı noktalarında meydana gelmiştir.
10	4377,63	44,0448		Eski çatlak boylarında uzamalar gözlemlenmiştir. Dallanmalar artmıştır.
11	4459	50,2075		Eski çatlak boylarında uzamalar gözlemlenmiştir. Dallanmalar artmıştır.
12	4575,24	56,8826	18	Bu yükleme adımında 1 adet yeni çatlak oluşmuştur. Bu yeni çatlağın uzunluğu yaklaşık 5 cm'dir. Eski çatlaklarda uzamalar gözlemlenmiştir. Çatlaklarda dallanmalar meydana gelmiştir.
13	4612,67	68,1104	-	Bu yükleme adımında eski oluşan çatlaklar birbiriyle birleşmeye başlamıştır. Eski çatlakların boylarında uzamalar gözlemlenmiş ve çatlak genişliklerinde artışlar meydana gelmiştir. Yükleme noktalarına yakın yerlerde oluşan çatlaklar kiriş en üst noktasına ulaşmıştır.
14	4600,79	71,9863	19,20	Bu yükleme adımında toplamda 2 adet yeni çatlak oluşmuştur. Bu yeni çatlakların uzunlukları ortalama 5 cm'dir. Eski çatlaklarda uzamalar gözlemlenmiştir.
15	4678,85	87,6591		Eski çatlak boylarında uzamalar gözlemlenmiştir. Dallanmalar artmıştır.
16	4725,47	99,441		Eski çatlak boylarında uzamalar gözlemlenmiştir. Dallanmalar artmıştır. Çatlak genişlikleri gözle görülebilir şekilde artmıştır. Sol yükleme noktası tarafındaki kesme çatlağı kiriş üst noktasına kadar uzamıştır.
17	4733,83	111,1		Dallanmalar oluşmaya devam etmiştir. Çatlak genişlikleri artmaya devam etmiştir.
18	4730,25	111,837		Dallanmalar oluşmaya devam etmiştir. Çatlak genişlikleri artmaya devam etmiştir.
19	4509,44	121,25		Çatlaklar dallanmaya devam etmiştir. Dallanan çatlaklarda çatlak genişlikleri artmıştır. İlk adımlarda oluşan çatlakların tamamı kiriş üst bölgesine ulaşmıştır.
20	4023,75	127,141		Bu yükleme adımında sol yükleme noktası altında basınç ezilmesi oluşmuştur.
21	Deney sonu	133,93		Sol yükleme noktasının altındaki bölgede çekme donatısı kopmuştur. Numune daha fazla yük alamayacağından ya da daha fazla deplasman yapamayacağından dolayı deneye son verilmiştir.

SCC-F1-S2 deney elemanında ilk çatlaklar 2278 kg yük değerinde oluşmuştur. Bu yükleme adımına ait görünüm Şekil 4.13'de görülebilir. İlk çatlaklar iki yükleme noktası arasında çekme bölgesinde oluşmuştur.



Şekil 4.13. SCC-F1-S2 elemanında oluşan ilk çatlaklar

SCC-F1-S2 deney elemanı akma noktasına 35,50 kg yük ve 4,66 mm deplasman değerinde ulaşmıştır. Elemanın bu yüklemedeki görüntüsü Şekil 4.14'te görülebilir.



Şekil 4.14. SCC-F1-S2 deney elemanının akma anındaki görüntüsü

SCC-F1-S2 deney elemanının aldığı maksimum yük 4733,8 kg'dır. Bu yük altındayken yaptığı deplasman değeri 111,1 mm'dir. Bu yükleme adımındaki görüntüsü Şekil 4.15'te görülmektedir.



Şekil 4.15. SCC-F1-S2 elemanının maksimum yük altındaki görüntüsü

SCC-F1-S2 deney elemanına yük verme işlemi 133,93 mm deplasman değerinde son verilmiştir. Bu noktada sol yükleme noktasının altında kalan bölgedeki çekme donatısı kopmuş ve deney elemanı daha fazla deplasman yapamayacağından deney sonlandırılmıştır. Deney elemanının deney sonundaki görüntüsü Şekil 4.16'da görülmektedir. Deney sonundaki çatlak dağılımı Şekil 4.17'de görülmektedir.

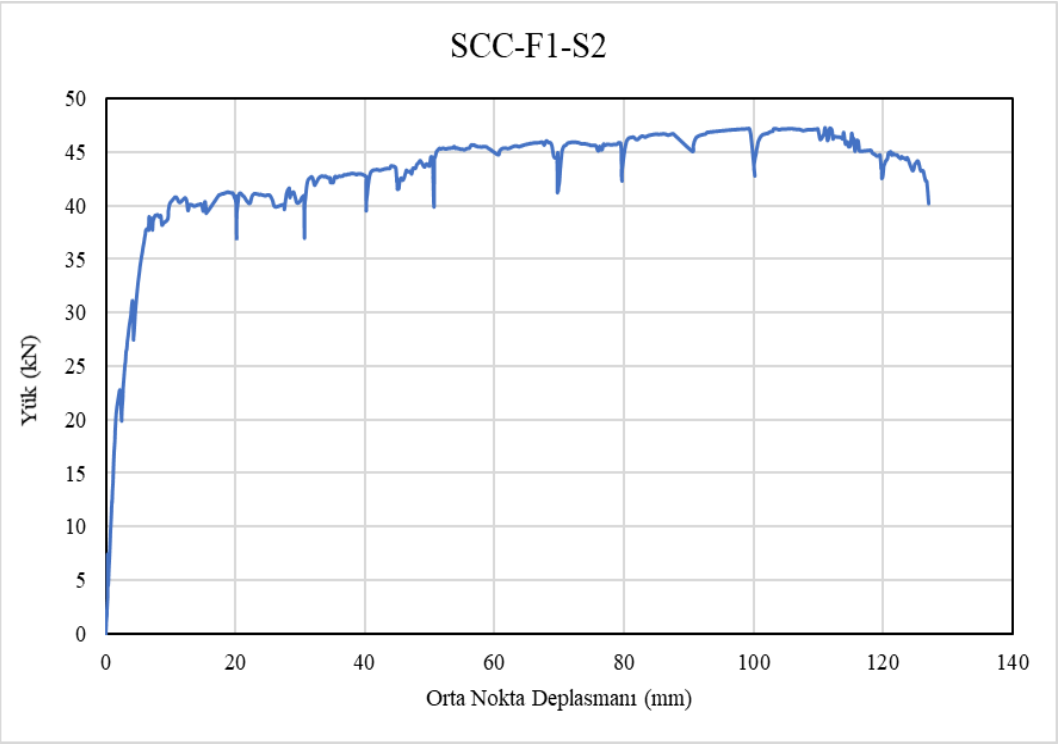
SCC-F1-S1 deney elemanına ait orta nokta yük-deplasman grafiği Şekil 4.18'de verilmiştir.



Şekil 4.16. SCC-F1-S2 elemanının deney sonundaki görünümü

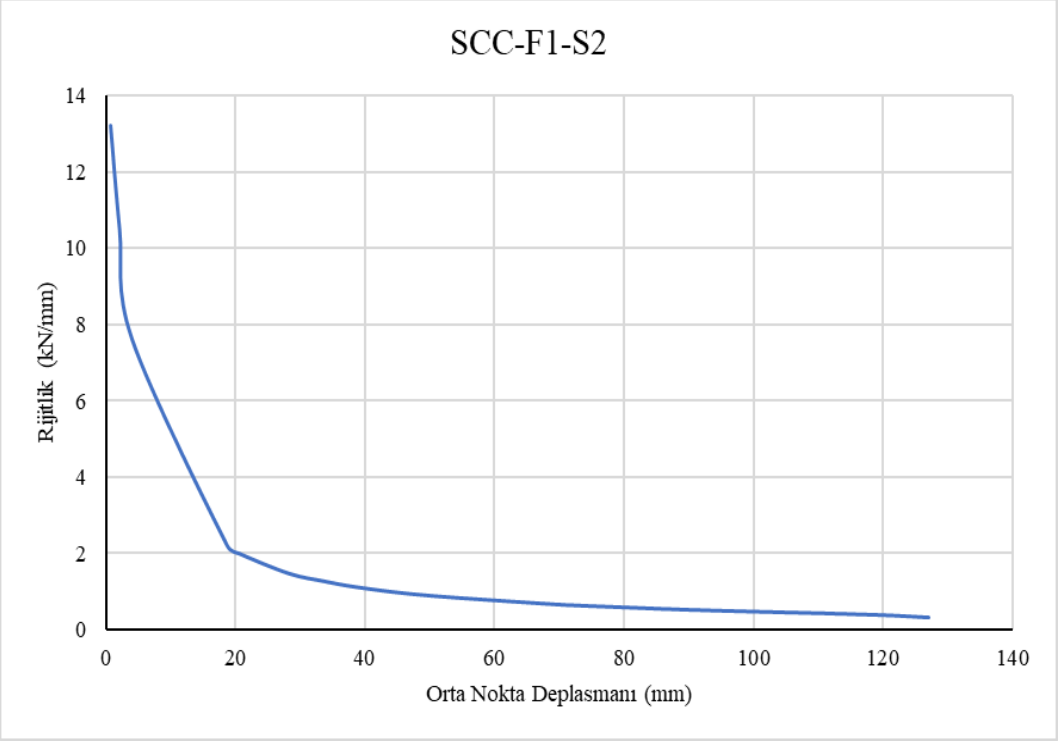


Şekil 4.17. SCC-F1-S2 elemanının deney sonundaki çatlak dağılımı



Şekil 4.18. SCC-F1-S2 elemanına ait yük-deplasman grafiği

Her bir yüklemedeki yük değerinin, o noktadaki deplasman değerine bölünmesiyle elde edilen rijitlik grafiği Şekil 4.19'da verilmiştir.



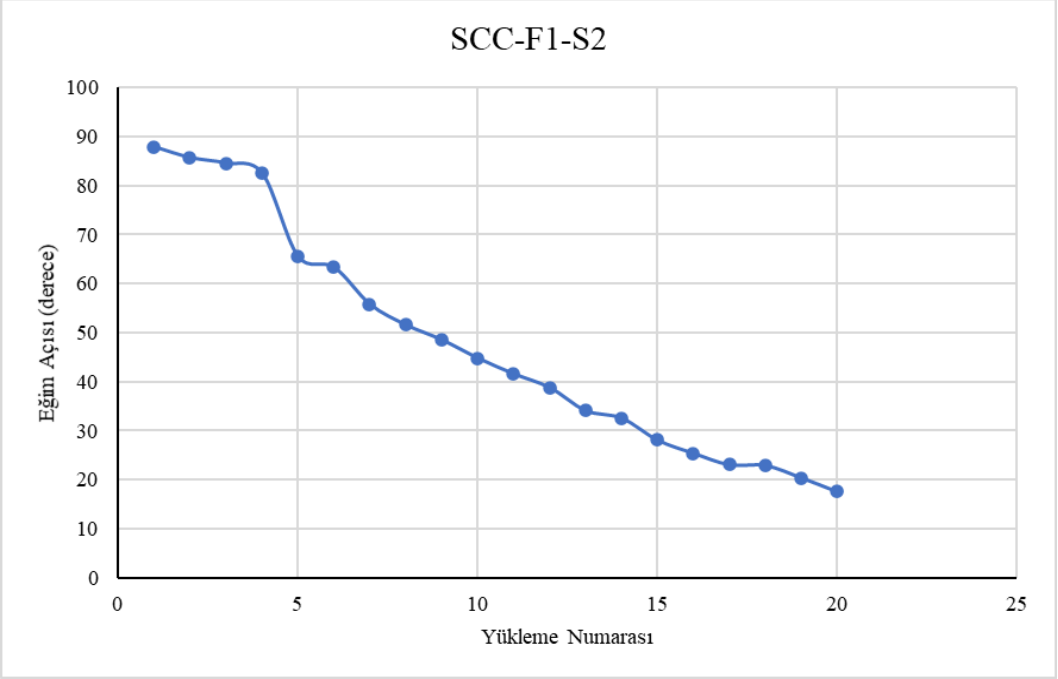
Şekil 4.19. SCC-F1-S2 elemanına ait rijitlik grafiği

Elemanın tüm yüklemelerdeki rijitlik değerinin, ilk yüklemedeki rijitlik değerine bölünmesiyle de K_j/K_{first} grafiği elde edilmiş olup Şekil 4.20'de verilmiştir.

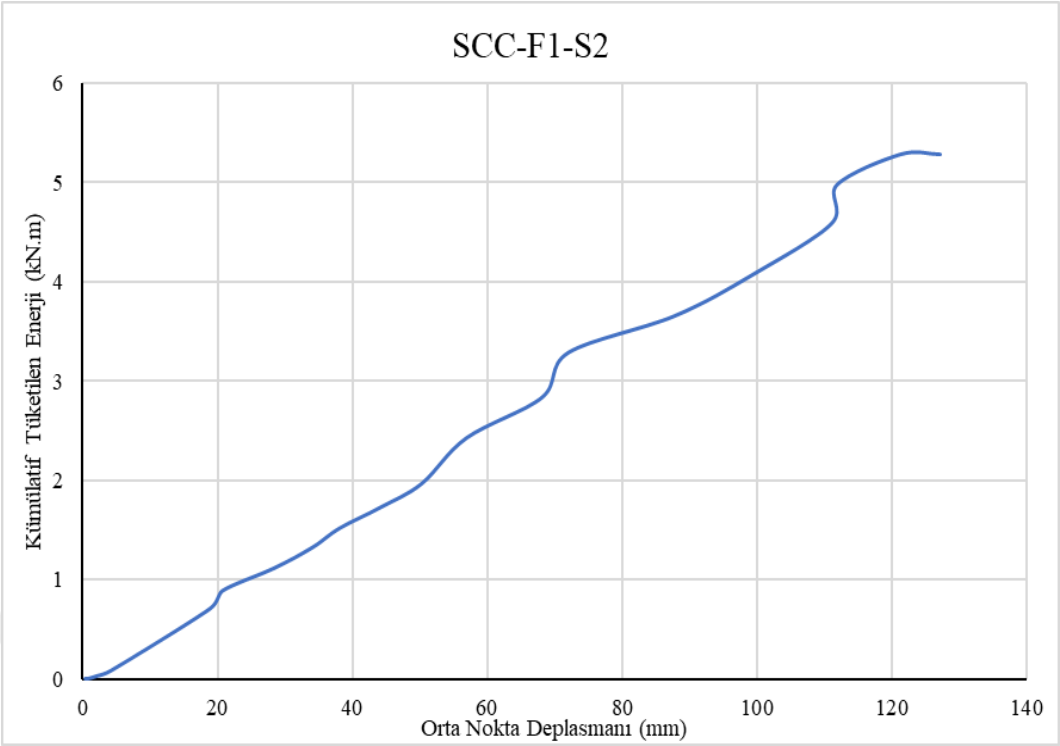
Elemanın davranış özelliklerinde biri olan eğim açısı grafiği Şekil 4.21'de verilmiştir. Elemanın kümülatif tükettiği enerji ise Şekil 4.22'de verilmiştir.



Şekil 4.20. SCC-F1-S2 elemanına ait K_j/K_{first} grafiği



Şekil 4.21. SCC-F1-S2 elemanına ait eğim açısı grafiği



Şekil 4.22. SCC-F1-S2 elemanına ait kümülatif tüketilen enerji grafiği

4.1.3. Üçüncü deney (SCC-F1-S3)

Bu deney elemanı 10 cm etriye aralığına sahip, içerisinde makro lif katkı maddesi bulunmayan kendiliğinden yerleşen beton ile üretilmiş betonarme kiriştir. Deney elemanına ait görüntü Şekil 4.23'de verilmiştir. Deney esnasında uygulanan yüke bağlı olarak oluşan şekil değiştirmeler ve hasarlar Çizelge 4.4'de verilmiştir.



Şekil 4.23. SCC-F1-S3 elemanının ilk görüntüsü

Çizelge 4.4. SCC-F1-S3 elemanının şekil değiştirme ve hasar oluşumları

Çev. No	Yük (kg)	Deplasman (mm)	Çatlak No	Açıklama
1	582,21	0.477		İlk iki yüklemede herhangi bir çatlak oluşumu gözlemlenmemiştir.
2	1044,87	0.770	1,2,3,4	İlk çatlak oluşumları gözlemlenmiştir. Oluşan çatlaklar iki yükleme noktasının arasında ve hizasında sınırlı kalmıştır. Oluşan çatlaklardan iki tanesinin uzunluğu 12 cm, diğer çatlakların uzunlukları yaklaşık 10 ve 9 cm'dir.
3	2285,18	2.049	6,7,8,9 10,11	Bu yükleme adımında toplamda 6 adet yeni çatlak oluşmuştur. Bu yeni çatlakların uzunlukları ortalama 13 cm'dir. Eski çatlakların uzunluklarında 2-3 cm uzamalar gözlemlenmiştir. Çatlaklardan bir tanesi kesme çatlağıdır. Sol yükleme noktası tarafında oluşmuştur.
4	3235,97	5.993	12	Bu yükleme adımında 1 adet yeni çatlak oluşmuştur. Bu yeni çatlağın uzunluğu yaklaşık 6 cm'dir. Eski çatlakların uzunluklarında 2-3 cm uzamalar gözlemlenmiştir. Çatlaklarda dallanmalar gözlemlenmiştir.
5	3985,47	10.539	13	Bu yükleme adımında 1 adet yeni çatlak oluşmuştur. Bu yeni çatlağın uzunluğu yaklaşık 6 cm'dir. Eski çatlakların uzunluklarında 2-3 cm uzamalar gözlemlenmiştir. Çatlaklarda dallanmalar gözlemlenmiştir. Sol yükleme noktası hizasında kesme çatlağı oluşmuştur. Donatı akma noktasına ulaşmış ve deplasman kontrolüne geçilmiştir.

Çev. No	Yük (kg)	Deplasman (mm)	Çatlak No	Açıklama
6	4268,78	15.809		Bu yükleme adımında yeni çatlak oluşumu gözlemlenmemiştir. Eski çatlakların uzunluklarında 1-2 cm uzamalar gözlemlenmiştir. Donatı akma noktasına ulaşmış ve deplasman kontrolüne geçilmiştir. Çekme bölgesinde etriye aralıklarına göre dallanmalar belirgin şekilde meydana gelmiştir.
7	4342,89	19.454		Bu yükleme adımında yeni çatlak oluşumu gözlemlenmemiştir. Eski çatlakların uzunluklarında 1-2 cm uzamalar gözlemlenmiştir. Çatlaklarda dallanmalar artmaya devam etmiştir.
8	4436,13	24.299		Mevcut çatlaklarda uzamalar, çatlak genişliklerinde büyümeler meydana gelmiştir.
9	4515,03	30.175		Mevcut çatlak uzunluklarında 1-2 cm uzamalar gözlemlendi. Çatlaklarda dallanmalar meydana geldi.
10	4561,65	32.374		Mevcut çatlakların boylarında uzamlar gözlemlendi. Bu uzamlardan sonra çatlak boyları kiriş üst noktasına yaklaştı.
11	4621,42	40.110		Eski çatlakların genişliklerinde büyümeler meydana geldi.
12	4690,75	44.832		Yeni çatlak oluşumu gözlemlenmedi. Eski çatlaklarda dallanmalar meydana geldi.
13	4736,17	49.938		Çatlaklarda uzamlar meydana geldi. Yükleme noktası altında çatlaklar kiri en üst noktasına yaklaştı.
14	4801,92	60.044		Sol yükleme noktası altında basınç çatlağı oluştu.
15	4822,24	66.503	15	Bu yükleme adımında 1 adet yani çatlak oluştuğu gözlemlendi. Yeni oluşan çatlak iki yükleme noktası arasındadır.
16	4682,38	71.287		Sol yükleme noktası altında basınç ezilmesi meydana gelmiştir. Yükleme noktası hizasındaki çatlak genişlikleri 0.5 cm'i geçmiştir.
17	4662,06	90.359		Çatlak genişliklerinde artışlar meydana gelmiştir.
18	Deney sonu			Sol yükleme noktası hizasında çekme donatısı kopmuştur ve deney sonlandırılmıştır. Deney sonu kırılan kirişte deplasman değeri ölçülememiştir.

SCC-F1-S3 deney elemanında ilk çatlaklar 1044,87 kg yük değerinde oluşmuştur. Bu yükleme adımına ait görünüm Şekil 4.24'de görülebilir. İlk çatlaklar iki yükleme noktasının arasında ve yükleme noktalarının arasında meydana gelmiştir. Meydana gelen çatlaklar kirişin çekme bölgesinde oluşmuştur.



Şekil 4.24. SCC-F1-S3 elemanında oluşan ilk çatlaklar

SCC-F1-S3 deney elemanı akma noktasına 3616,7 kg yük ve 6,7 mm deplasman değerinde ulaşmıştır. Elemanın bu yüklemedeki görüntüsü Şekil 4.25'te görülebilir.



Şekil 4.25. SCC-F1-S3 deney elemanının akma anındaki görüntüsü

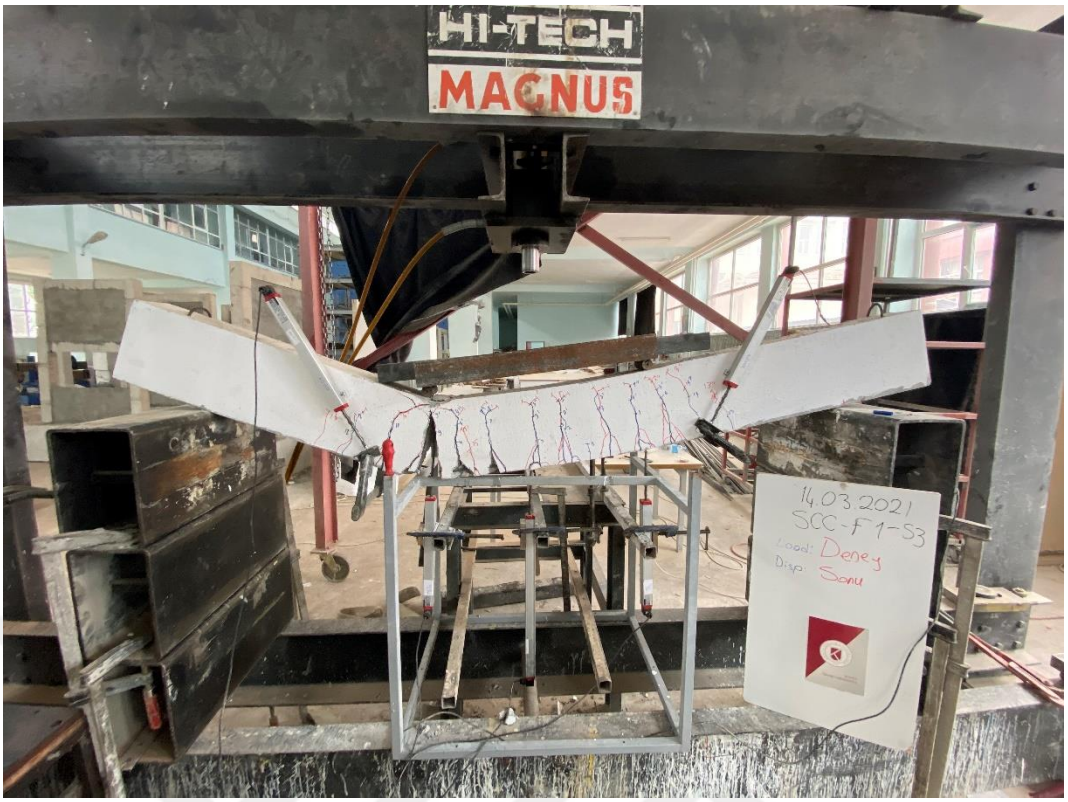
SCC-F1-S3 deney elemanının aldığı maksimum yük 4822,24 kg'dır. Bu yük altındayken yaptığı deplasman değeri 66,50 mm'dir. Bu yükleme adımındaki görüntüsü Şekil 4.26'da görülmektedir.



Şekil 4.26. SCC-F1-S3 elemanının maksimum yük altındaki görüntüsü

SCC-F1-S3 deney elemanına yük verme işlemi elemanın kırılmasından sonra son verilmiştir. Sol yükleme noktasının altında kalan bölgedeki çekme donatısı kopmuş ve deney elemanı daha fazla deplasman yapamayacağından deney sonlandırılmıştır. Deney elemanının deney sonundaki görüntüsü Şekil 4.27'de görülmektedir. Deney sonundaki çatlak dağılımı Şekil 4.28'de görülmektedir.

SCC-F1-S3 deney elemanına ait orta nokta yük-deplasman grafiği Şekil 4.29'da verilmiştir.



Şekil 4.27. SCC-F1-S3 elemanının deney sonundaki görünümü

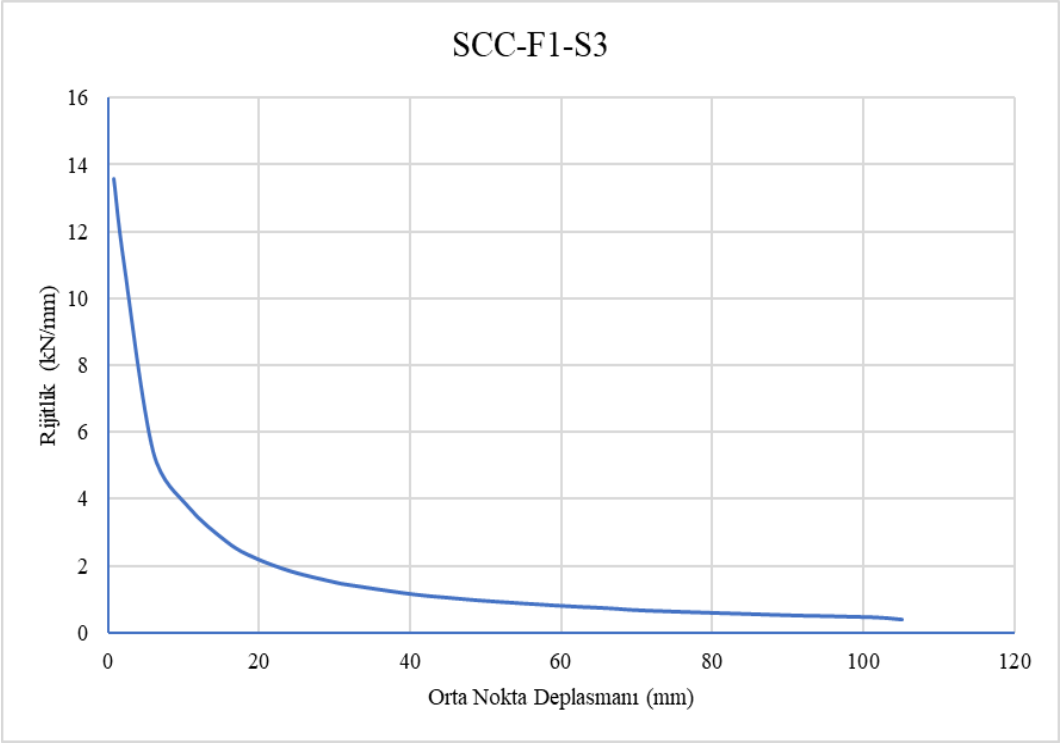


Şekil 4.28. SCC-F1-S3 elemanının deney sonundaki çatlak dağılımı



Şekil 4.29. SCC-F1-S3 elemanına ait yük-deplasman grafiği

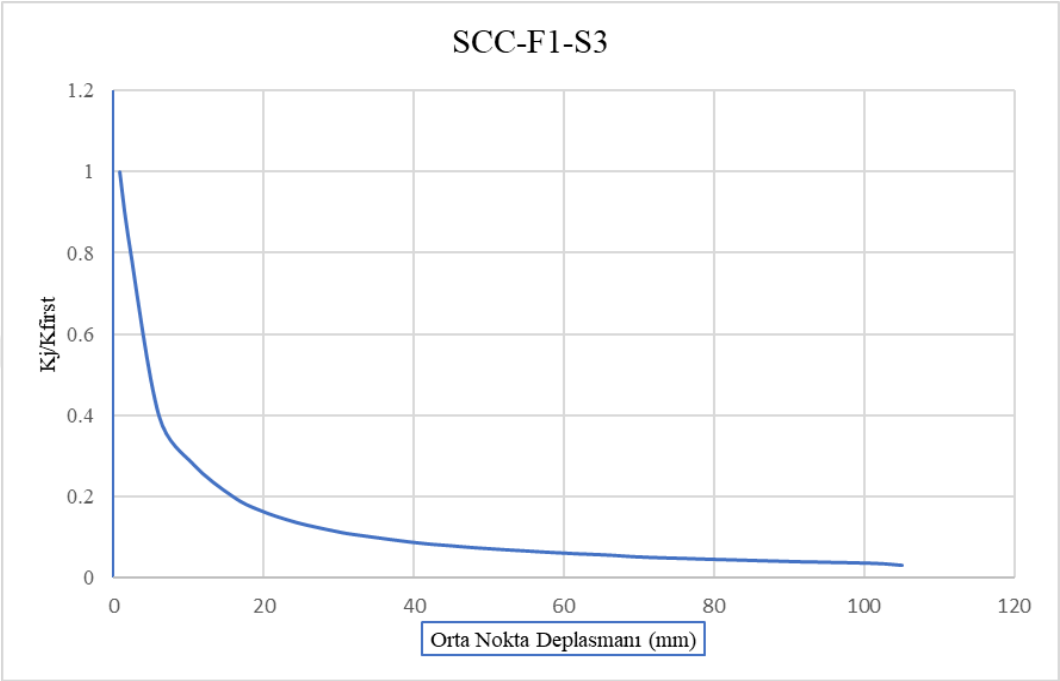
Her bir yüklemedeki yük değerinin, o noktadaki deplasman değerine bölünmesiyle elde edilen rijitlik grafiği Şekil 4.30'da verilmiştir.



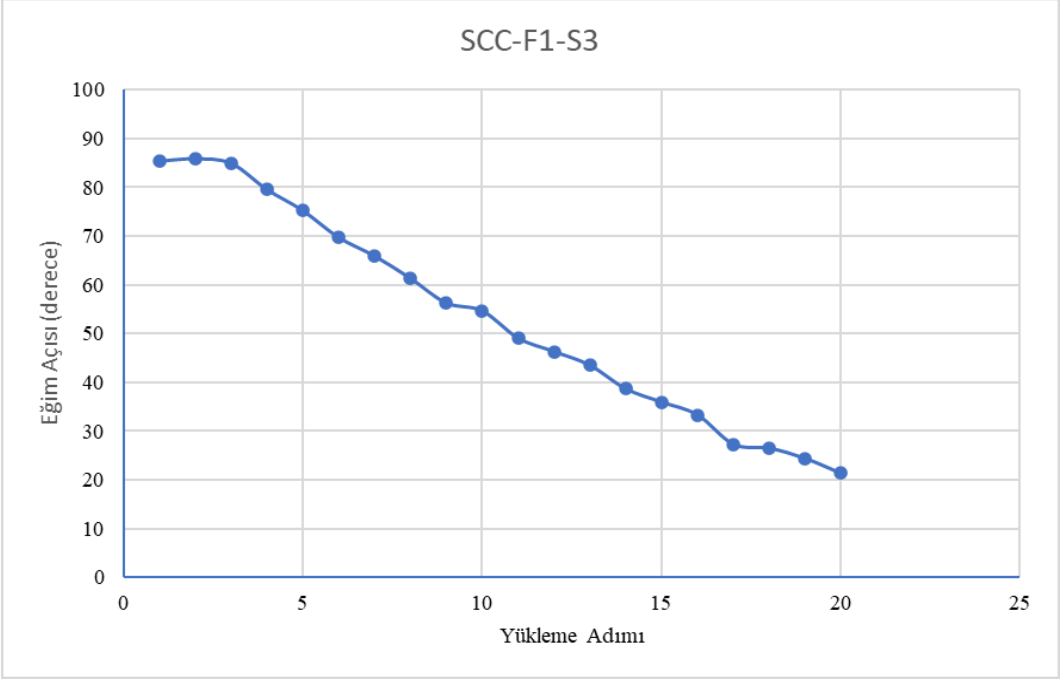
Şekil 4.30. SCC-F1-S3 elemanına ait rijitlik grafiği

Elemanın tüm yüklemelerdeki rijitlik değerinin, ilk yüklemedeki rijitlik değerine bölünmesiyle de K_j/K_{first} grafiği elde edilmiş olup Şekil 4.31'de verilmiştir.

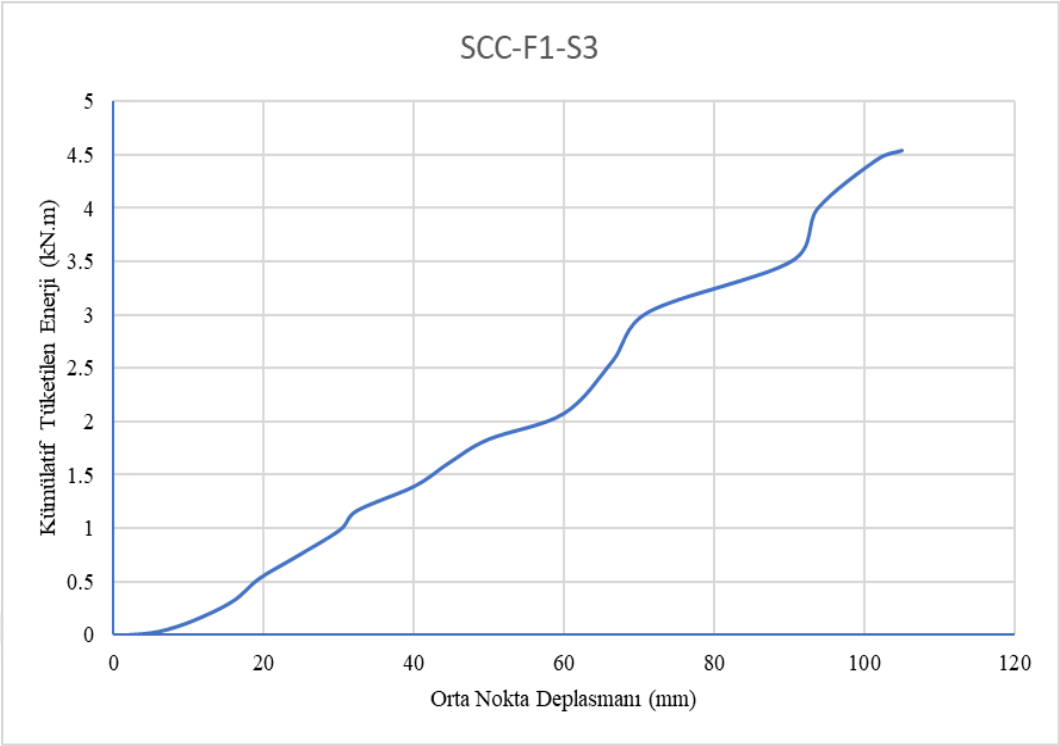
Elemanın davranış özelliklerinde biri olan eğim açısı grafiği Şekil 4.21'de verilmiştir. Elemanın kümülatif tükettiği enerji ise Şekil 4.33'de verilmiştir.



Şekil 4.31. SCC-F1-S3 elemanına ait K_j/K_{first} grafiği



Şekil 4.32. SCC-F1-S3 elemanına ait eğim açısı grafiği



Şekil 4.33. SCC-F1-S3 elemanına ait kümülatif tüketilen enerji grafiği

4.1.4. Dördüncü deney (SCC-F1-S4)

Bu deney elemanı 5 cm etriye aralığına sahip, içerisinde makro lif katkı maddesi bulunmayan kendiliğinden yerleşen beton ile üretilmiş betonarme kiriştir. Deney elemanına ait görüntü Şekil 4.34'de verilmiştir. Deney esnasında uygulanan yüke bağlı olarak oluşan şekil değiştirmeler ve hasarlar Çizelge 4.5'de verilmiştir.



Şekil 4.34. SCC-F1-S4 elemanının ilk görüntüsü

Çizelge 4.5. SCC-F1-S4 elemanının şekil değiştirme ve hasar oluşumları

Çev. No	Yük (kg)	Deplasman (mm)	Çatlak No	Açıklama
1	543.695	0.416029		İlk iki yüklemede herhangi bir çatlak oluşumu gözlemlenmemiştir.
2	1181.34	0.862875		
3	2133.5	1.64871	1,2	İlk çatlak oluşumları gözlemlenmiştir. Oluşan çatlaklar iki yükleme noktasının arasında sınırlı kalmıştır. Oluşan çatlaklardan bir tanesinin uzunluğu 10 cm, diğer çatlağın uzunluğu yaklaşık 11 cm'dir.
4	3096.97	4.7304	3,4,5,6 7,8,9	Bu yükleme adımında toplamda 7 adet yeni çatlak oluşmuştur. Bu yeni çatlakların uzunlukları ortalama 13 cm'dir. Eski çatlakların uzunluklarında 2-3 cm uzamalar gözlemlenmiştir. Çatlaklardan bir tanesi kesme çatlağıdır. Sağ yükleme noktası tarafında oluşmuştur.
5	3977.96	7.0879	10,11,12 13,14	Bu yükleme adımında 5 adet yeni çatlak oluşumu gözlemlenmiştir. Eski çatlakların uzunluklarında 3-4 cm uzamalar gözlemlenmiştir. Sol yükleme noktası hizasında kesme çatlağı oluşmuştur.
6	4197.91	11.1866	15	Bu yükleme adımında bir adet yeni çatlak meydana gelmiştir. Mevcut çatlakların boylarında 3-4 cm uzamalar meydana gelmiştir. Donatı akma noktasına ulaşmış ve deplasman kontrolüne geçilmiştir.
7	4372.44	15.4855		Mevcut çatlakların uzunluklarında 2-3 uzama meydana gelmiştir. Bazı çatlaklar kiriş üst noktasına ulaşmıştır. Çatlaklarda dallanmalar meydana gelmiştir.
8	4530.23	20.1851		Eski çatlaklarda dallanmalar meydana gelmiştir. Çatlak boylarında uzamlar meydana gelmiştir.

Çev. No	Yük (kg)	Deplasman (mm)	Çatlak No	Açıklama
9	4662.92	24.8002		Eski çatlaklarda uzamlar meydana gelmiştir. İki yükleme noktası arasındaki tüm çatlaklar kiriş üst bölgesine ulaşmıştır.
10	4808.75	30.0757		Eski çatlaklarda dallanmalar meydana gelmiştir.
11	4906.78	34.7053		Eski çatlaklarda dallanmalar oluşmaya devam etmiştir. Çatlak genişlikleri artışı fark edilmeye başlanmıştır.
12	4984.55	40.0423		Eski çatlaklarda uzamalar görülmüştür. Bazı çatlaklar dallanmıştır.
13	5072.57	45.041		Çatlak dallanmaları oluşmuştur. Çatlaklarda genişlemeler gözlemlenmiştir.
14	5139.81	50.1781		Sağ ve sol yükleme noktası hizasındaki kesme çatlakları uzamış ve kiriş üst noktasına yaklaşmıştır.
15	5254.72	59.9447		Sol yükleme noktası altında basınç ezilmesi başlangıcı gözlemlendi.
16	5318.29	70.465		Orta bölge ve sol yükleme noktası hizasındaki çatlak genişlikleri 0.5 cm'i geçmiştir. Sol yükleme noktası altındaki basınç ezilmesi daha belirgin hale gelmiştir.
17	5380.64	80.5085		Çatlak genişlikleri 1 cm'e yaklaşmış, kesme çatlakları kiriş üst bölgesine ulaşmaktadır.
18	5434.43	90.3982		Sağ yükleme noktası altında basınç ezilmesi gözlemlenmiştir.
19	5418.54	97.6732		Sağ yükleme noktası altındaki basınç ezilmesi alanı arttı. Çatlaklarda genişlemeler daha büyük hale geldi.
20	5416.09	109.901		Çatlak genişlikleri ileri düzeyde arttı göçme öncesi durum.
21	Deney sonu			Sağ yükleme noktası hizasındaki çekme donatısı kopmuştur. Deney sona ermiştir.

SCC-F1-S4 deney elemanında ilk çatlaklar 2133,5 kg yük değerinde oluşmuştur. Bu yükleme adımına ait görünüm Şekil 4.35'de görülebilir. İlk çatlaklar iki yükleme noktasının arasında ve yükleme noktalarının arasında meydana gelmiştir. Meydana gelen çatlaklar kirişin çekme bölgesinde oluşmuştur.



Şekil 4.35. SCC-F1-S4 elemanında oluşan ilk çatlaklar

SCC-F1-S4 deney elemanı akma noktasına 3978 kg yük ve 7,08 mm deplasman değerinde ulaşmıştır. Elemanın bu yüklemedeki görüntüsü Şekil 4.36'da görülebilir.



Şekil 4.36. SCC-F1-S4 deney elemanının akma anındaki görüntüsü

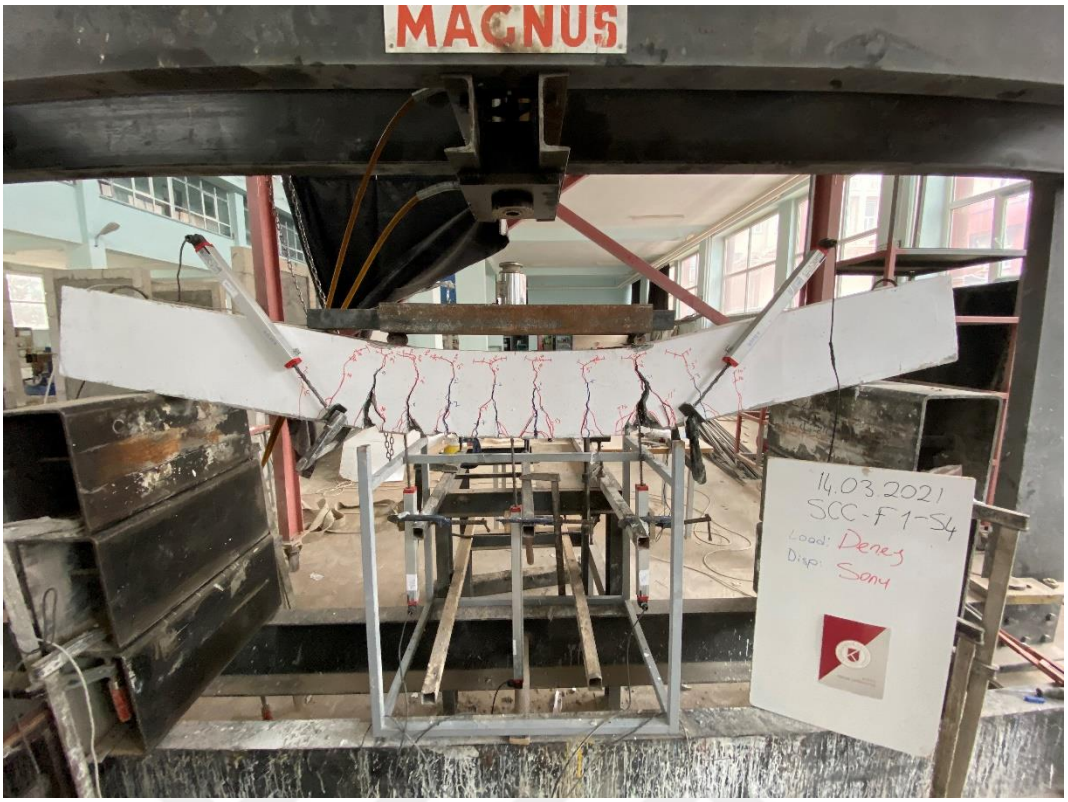
SCC-F1-S4 deney elemanının aldığı maksimum yük 5434,43 kg'dır. Bu yük altındayken yaptığı deplasman değeri 90,398 mm'dir. Bu yükleme adımındaki görüntüsü Şekil 4.37'de görülmektedir.



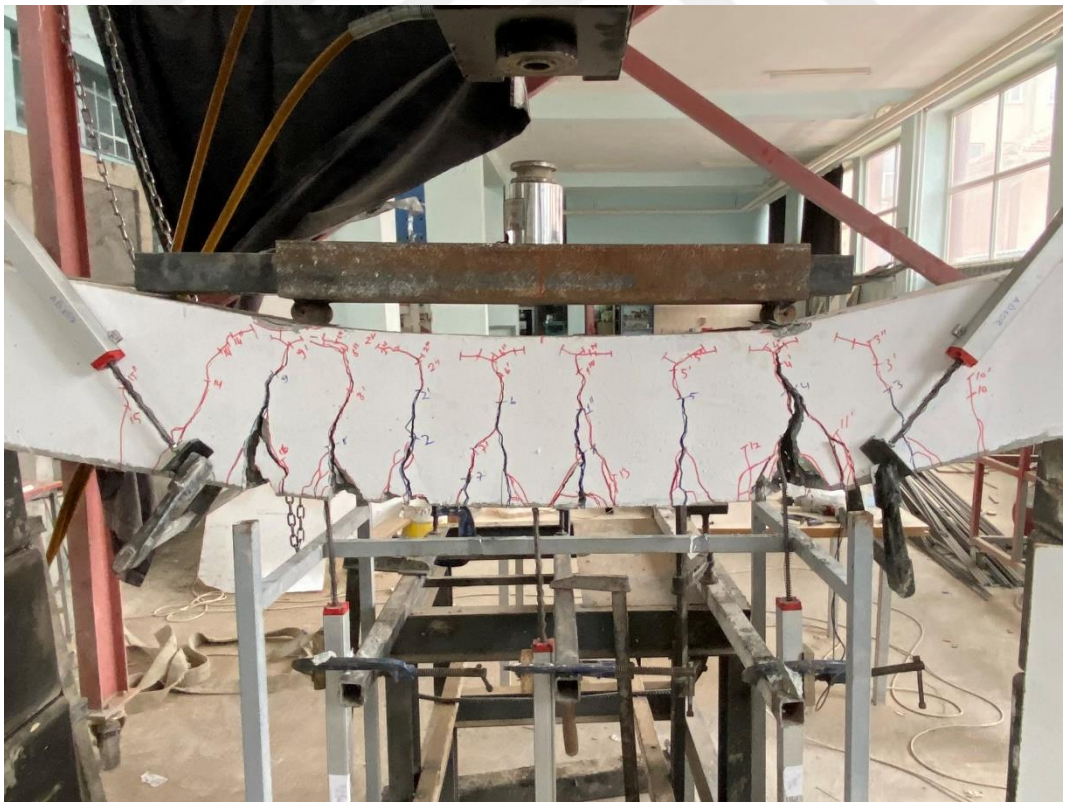
Şekil 4.37. SCC-F1-S4 elemanının maksimum yük altındaki görüntüsü

SCC-F1-S4 deney elemanına yük verme işlemi elemanın kırılmasından sonra son verilmiştir. Sol yükleme noktasının altında kalan bölgedeki çekme donatısı kopmuş ve deney elemanı daha fazla deplasman yapamayacağından deney sonlandırılmıştır. Deney elemanının deney sonundaki görüntüsü Şekil 4.38'de görülmektedir. Deney sonundaki çatlak dağılımı Şekil 4.39'da görülmektedir.

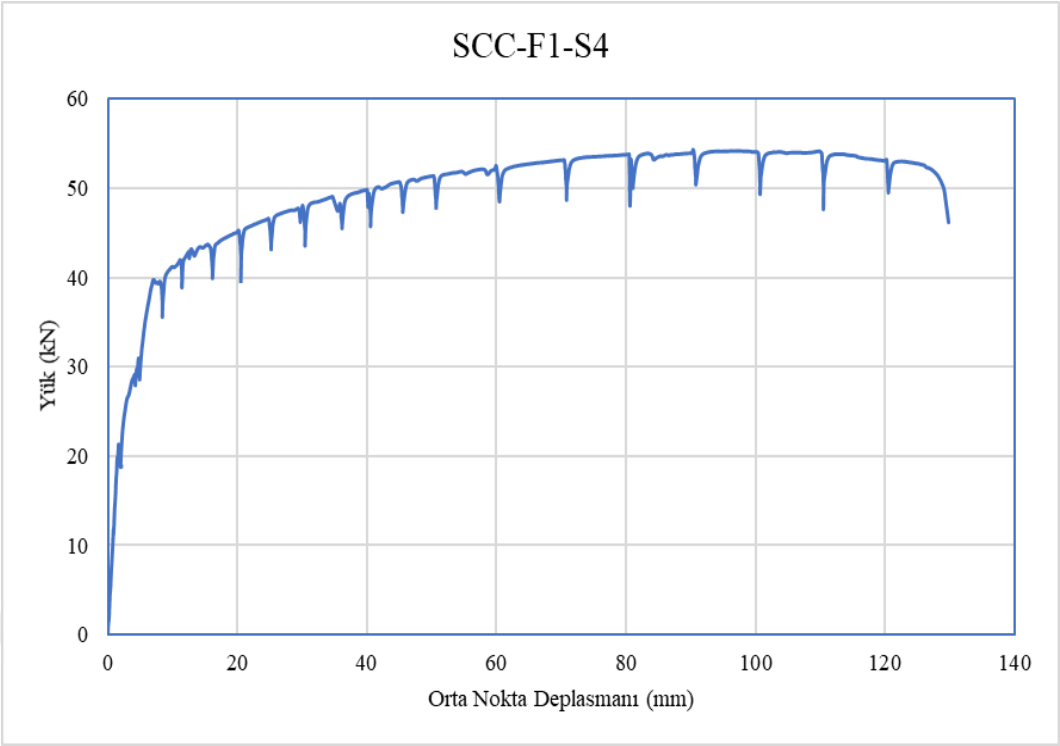
SCC-F1-S4 deney elemanına ait orta nokta yük-deplasman grafiği Şekil 4.40'da verilmiştir.



Şekil 4.38. SCC-F1-S4 elemanının deney sonundaki görünümü

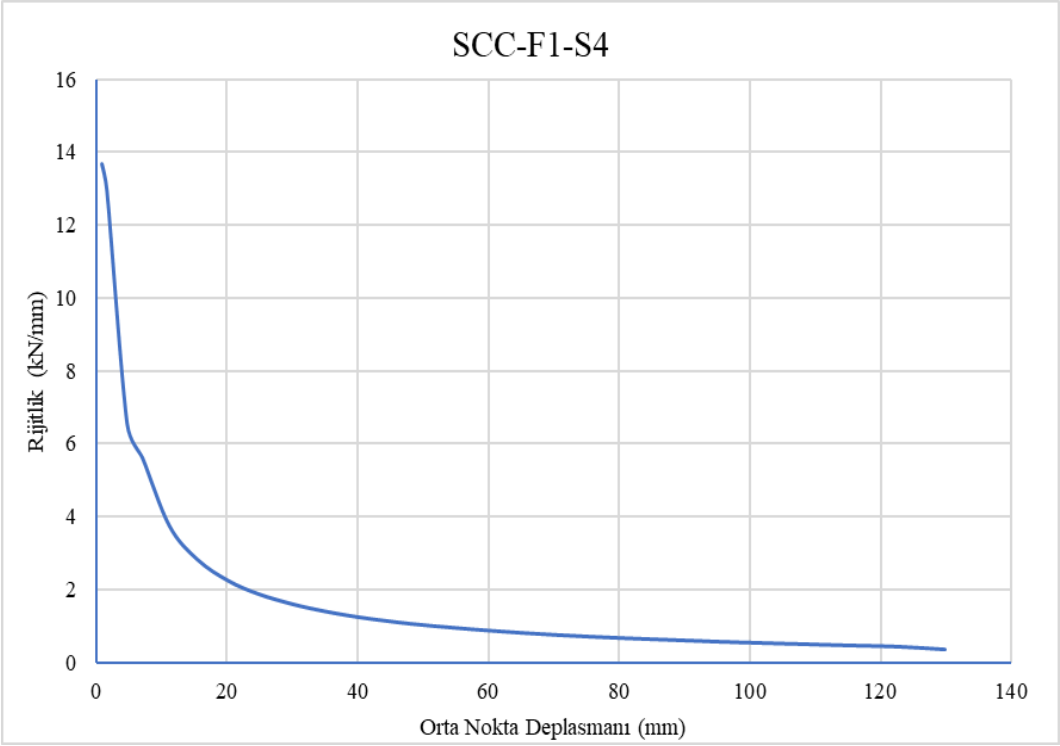


Şekil 4.39. SCC-F1-S4 elemanının deney sonundaki çatlak dağılımı



Şekil 4.40. SCC-F1-S4 elemanına ait yük-deplasman grafiği

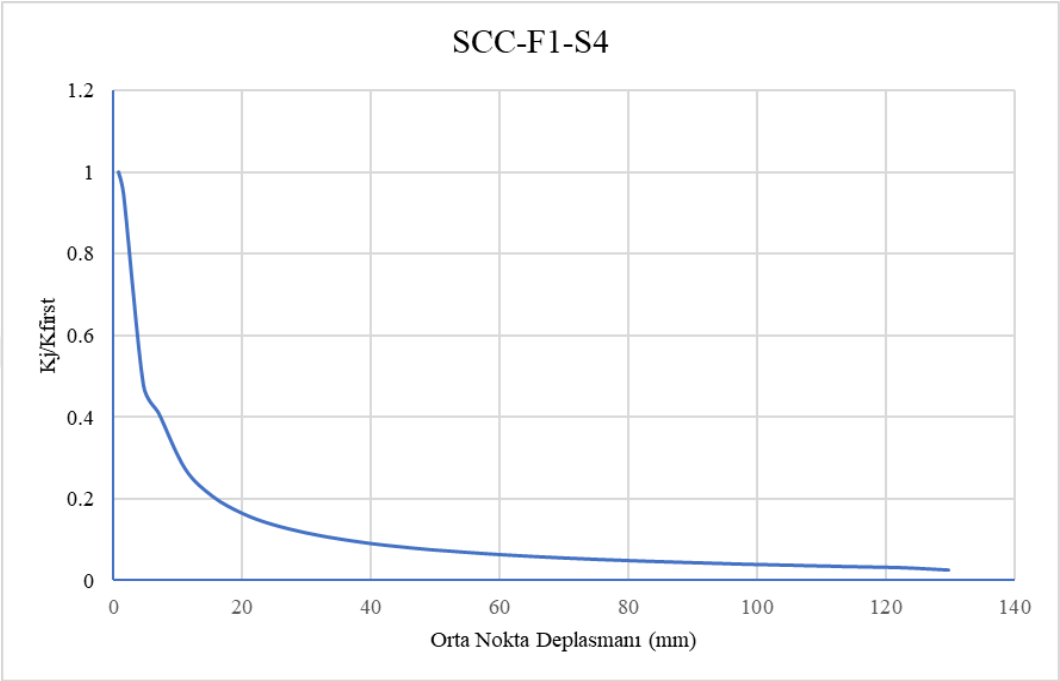
Her bir yüklemedeki yük değerinin, o noktadaki deplasman değerine bölünmesiyle elde edilen rijitlik grafiği Şekil 4.41'de verilmiştir.



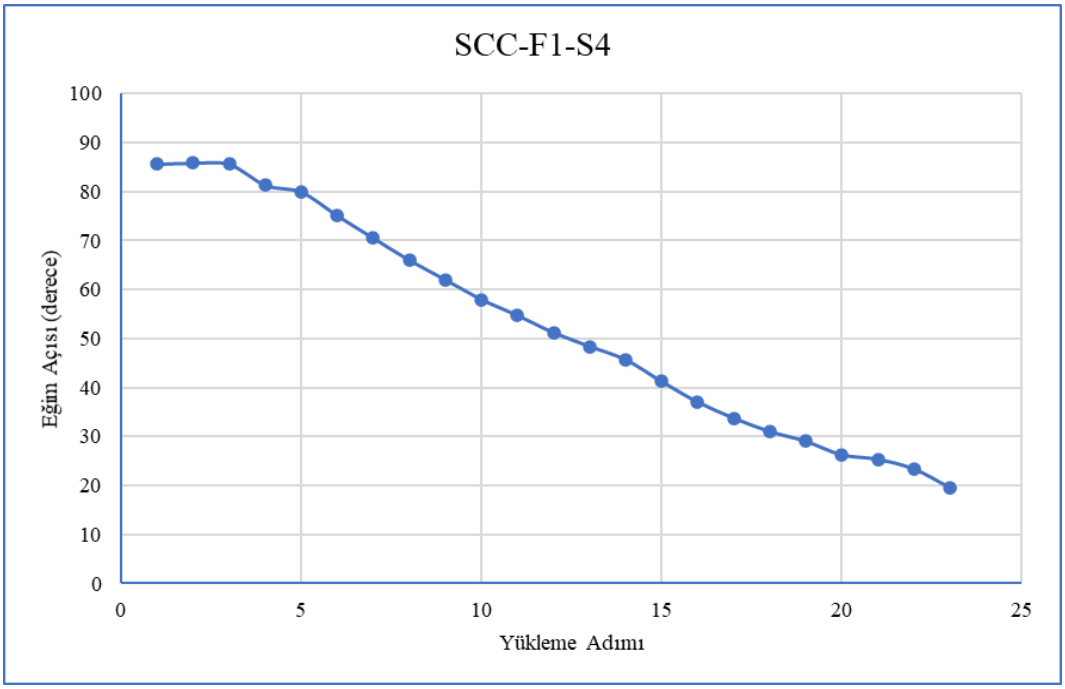
Şekil 4.41. SCC-F1-S4 elemanına ait rijitlik grafiği

Elemanın tüm yüklemelerdeki rijitlik değerinin, ilk yüklemedeki rijitlik değerine bölünmesiyle de K_j/K_{first} grafiği elde edilmiş olup Şekil 4.42'de verilmiştir.

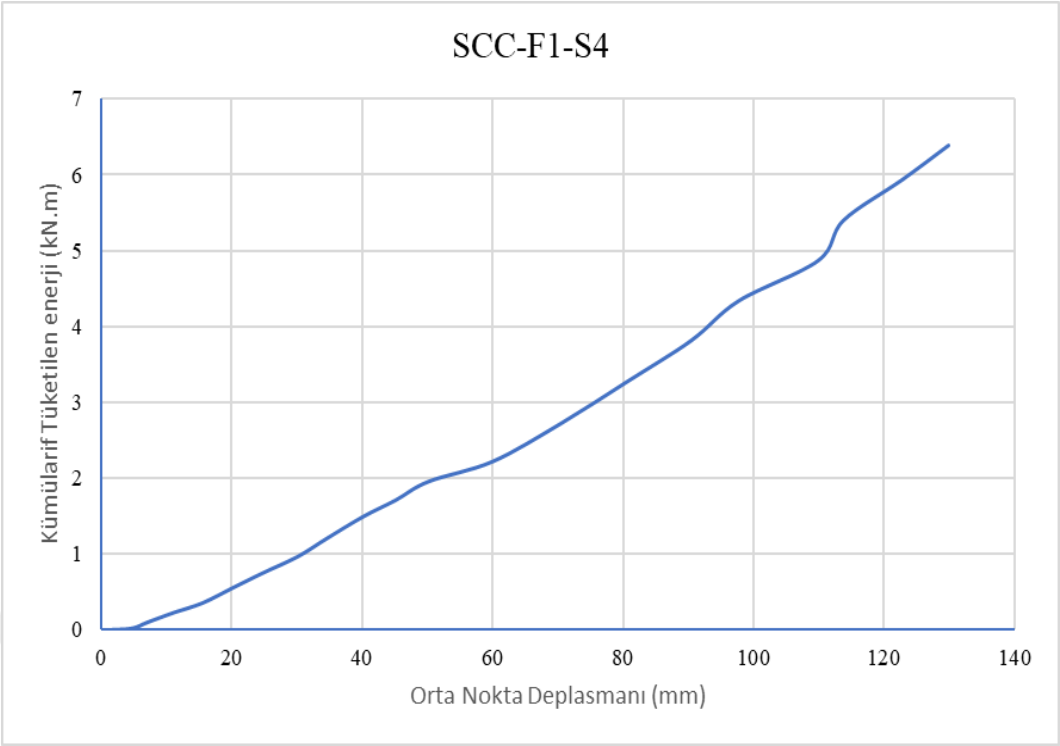
Elemanın davranış özelliklerinde biri olan eğim açısı grafiği Şekil 4.43'de verilmiştir. Elemanın kümülatif tükettiği enerji ise Şekil 4.44'de verilmiştir.



Şekil 4.42. SCC-F1-S4 elemanına ait K_j/K_{first} grafiği



Şekil 4.43. SCC-F1-S4 elemanına ait eğim açısı grafiği



Şekil 4.44. SCC-F1-S4 elemanına ait kümülatif tüketilen enerji grafiği

4.1.5. Beşinci deney (SCC-F2-S1)

Bu deney elemanı bünyesinde etriye bulundurmayan fakat içerisinde makro lif katkı maddesi olarak metreküpte 2,5 kg lif bulunduran kendiliğinden yerleşen beton ile üretilmiş betonarme kiriştir. Deney elemanına ait görüntü Şekil 4.45'de verilmiştir. Deney esnasında uygulanan yüke bağlı olarak oluşan şekil değiştirmeler ve hasarlar Çizelge 6'da verilmiştir.



Şekil 4.45. SCC-F2-S1 elemanının ilk görüntüsü

Çizelge 4.6. SCC-F2-S1 elemanının şekil değiştirme ve hasar oluşumları

Çev. No	Yük (kg)	Deplasman (mm)	Çatlak No	Açıklama
1	518,51	0.539297		İlk iki yüklemede herhangi bir çatlak oluşumu gözlemlenmemiştir.
2	1102,2	1.20186		
3	2469,75	3.42068	1,2,3 4,5,6	İlk çatlak oluşumları gözlemlenmiştir. İlk çatlaklar toplamda 6 adettir. Oluşan çatlaklar iki yükleme noktasının arasında ve denginde sınırlı kalmıştır. Oluşan çatlakların uzunluğu ortalama 10 cm'dir.
4	3230,37	5.40838	7	Bu yükleme adımında sadece 1 adet yeni çatlak oluşmuştur. Bu yeni çatlak sol yükleme noktası ile sol mesnet arasındadır. Uzunluğu yaklaşık olarak 11 cm'dir. Eski çatlakların uzunluklarında 1-2 cm uzamalar gözlemlenmiştir.
5	4386,67	7.96342	8,9,10	Bu yükleme adımında 3 adet yeni çatlak oluşumu gözlemlenmiştir. Eski çatlakların uzunluklarında 1-2 cm uzamalar gözlemlenmiştir. Sol ve sağ yükleme noktası hizasında kesme çatlağı oluşmuştur. Donatı akma noktasına ulaşmış ve deplasman kontrolüne geçilmiştir.
6	4622	15.423	11	Bu yükleme adımında bir adet yeni çatlak meydana gelmiştir. Mevcut çatlakların boylarında 1-2 cm uzamalar meydana gelmiştir. Çatlak genişliklerinde artışlar meydana gelmiştir.
7	4669,9	25.5895	12	Bu yükleme adımında bir adet yeni çatlak meydana gelmiştir. Mevcut çatlakların boylarında 1-2 cm uzamalar meydana gelmiştir. Çatlak genişliklerinde artışlar meydana gelmiştir. Çatlaklarda dallanmalar meydana gelmiştir.

Çev. No	Yük (kg)	Deplasman (mm)	Çatlak No	Açıklama
8	46.38263	27.4967	13	Bu yükleme adımında bir adet yeni çatlak meydana gelmiştir. Mevcut çatlakların boylarında 1-2 cm uzamalar meydana gelmiştir. Çatlak genişliklerinde artışlar meydana gelmiştir.
9	39.69435	28.7		Çatlak genişlikleri artmış çatlak boylarında uzamalar meydana gelmiş ve çatlak genişliklerinde artışlar meydana gelmiştir.
10	Deney sonu			Sol yükleme noktası hizasında kesme kırılması meydana gelmiştir. Deney elemanı daha fazla deplasman yapamayacağından deneye son verilmiştir.

SCC-F2-S1 deney elemanında ilk çatlaklar 2469,75 kg yük değerinde oluşmuştur. Bu yükleme adımına ait görünüm Şekil 4.46'da görülebilir. İlk çatlaklar iki yükleme noktasının arasında ve yükleme noktalarının arasında meydana gelmiştir. Meydana gelen çatlaklar kirişin çekme bölgesinde oluşmuştur.



Şekil 4.46. SCC-F2-S1 elemanında oluşan ilk çatlaklar

SCC-F2-S1 deney elemanı akma noktasına 3502 kg yük ve 5,863 mm deplasman değerinde ulaşmıştır. Elemanın bu yüklemedeki görüntüsü Şekil 4.47'de görülebilir.



Şekil 4.47. SCC-F2-S1 deney elemanının akma anındaki görüntüsü

SCC-F2-S1 deney elemanının aldığı maksimum yük 4669,9 kg'dır. Bu yük altındayken yaptığı deplasman değeri 27,49 mm'dir. Bu yükleme adımındaki görüntüsü Şekil 4.48'de görülmektedir.



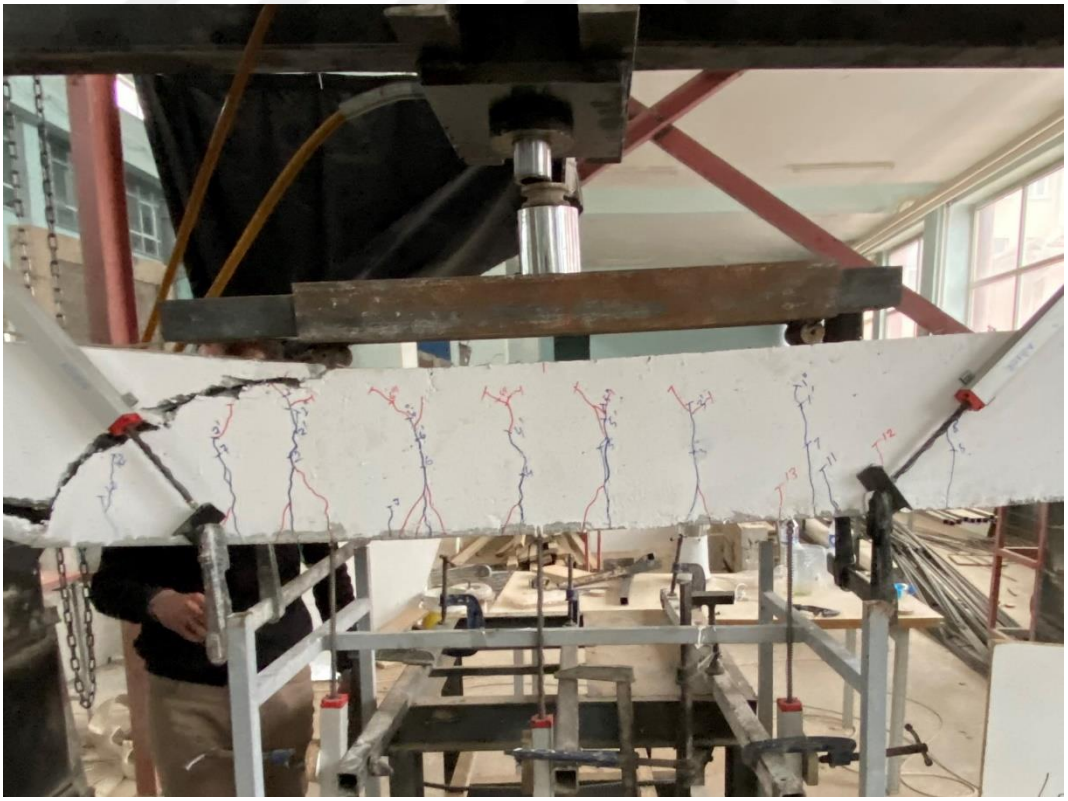
Şekil 4.48. SCC-F2-S1 elemanının maksimum yük altındaki görüntüsü

SCC-F2-S1 deney elemanına yük verme işlemi elemanın kırılmasından sonra son verilmiştir. Sol yükleme noktasının altında kalan bölgedeki kesme kırılmasından dolayı deney elemanı daha fazla deplasman yapamayacağından deney sonlandırılmıştır. Deney elemanının deney sonundaki görüntüsü Şekil 4.49'da görülmektedir. Deney sonundaki çatlak dağılımı Şekil 4.50'de görülmektedir.

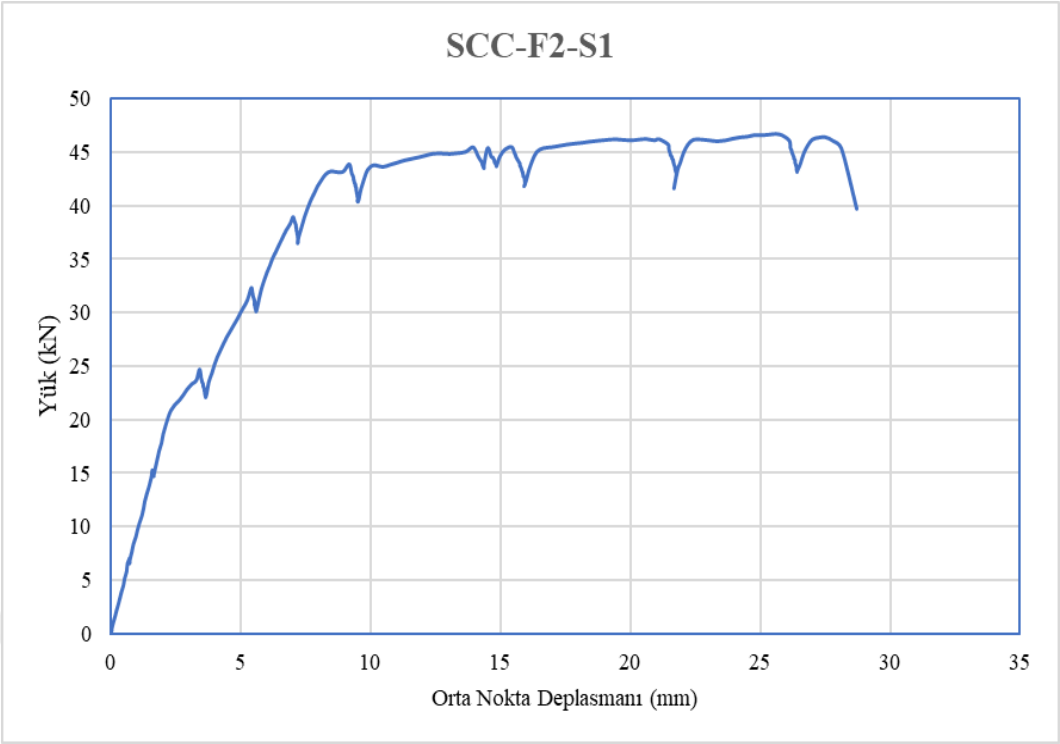
SCC-F2-S1 deney elemanına ait orta nokta yük-deplasman grafiği Şekil 4.51'de verilmiştir.



Şekil 4.49. SCC-F2-S1 elemanının deney sonundaki görünümü



Şekil 4.50. SCC-F2-S1 elemanının deney sonundaki çatlak dağılımı



Şekil 4.51. SCC-F2-S1 elemanına ait yük-deplasman grafiği

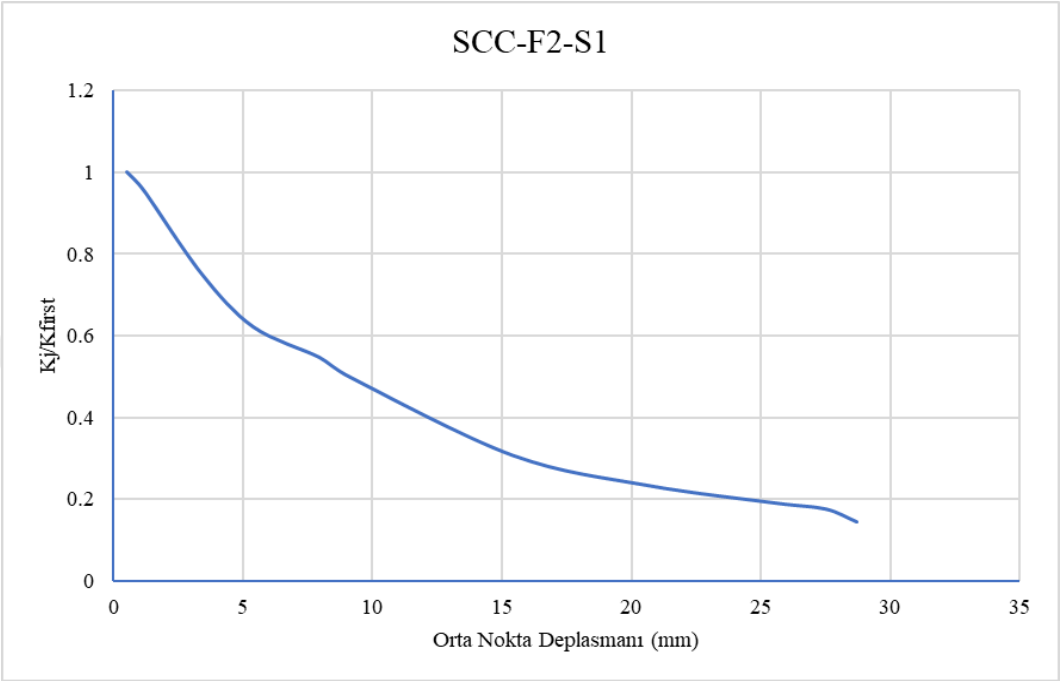
Her bir yüklemedeki yük değerinin, o noktadaki deplasman değerine bölünmesiyle elde edilen rijitlik grafiği Şekil 4.52'de verilmiştir.



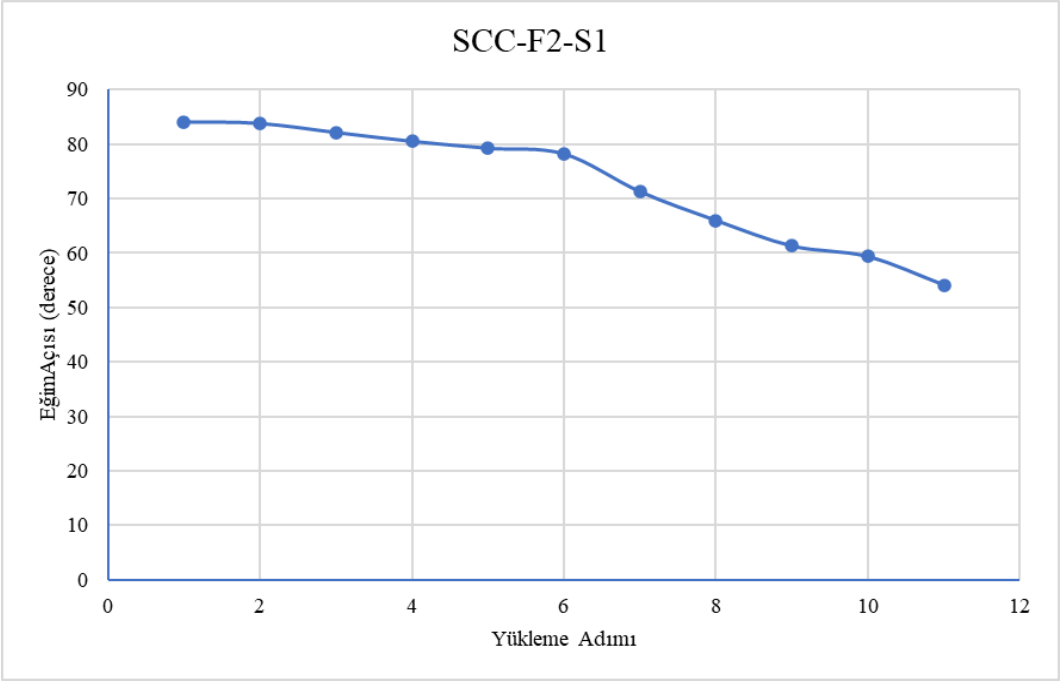
Şekil 4.52. SCC-F2-S1 elemanına ait rijitlik grafiği

Elemanın tüm yüklemelerdeki rijitlik değerinin, ilk yüklemedeki rijitlik değerine bölünmesiyle de K_j/K_{first} grafiği elde edilmiş olup Şekil 4.53'de verilmiştir.

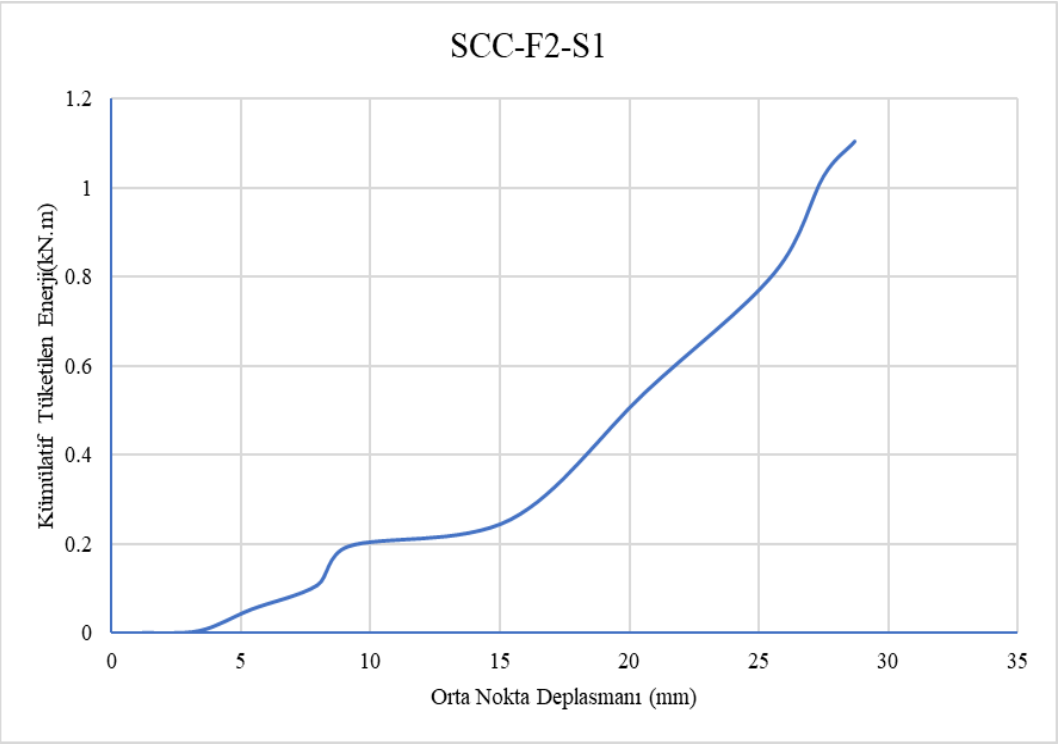
Elemanın davranış özelliklerinde biri olan eğim açısı grafiği Şekil 4.54'de verilmiştir. Elemanın kümülatif tükettiği enerji ise Şekil 4.55'de verilmiştir.



Şekil 4.53. SCC-F2-S1 elemanına ait K_j/K_{first} grafiği



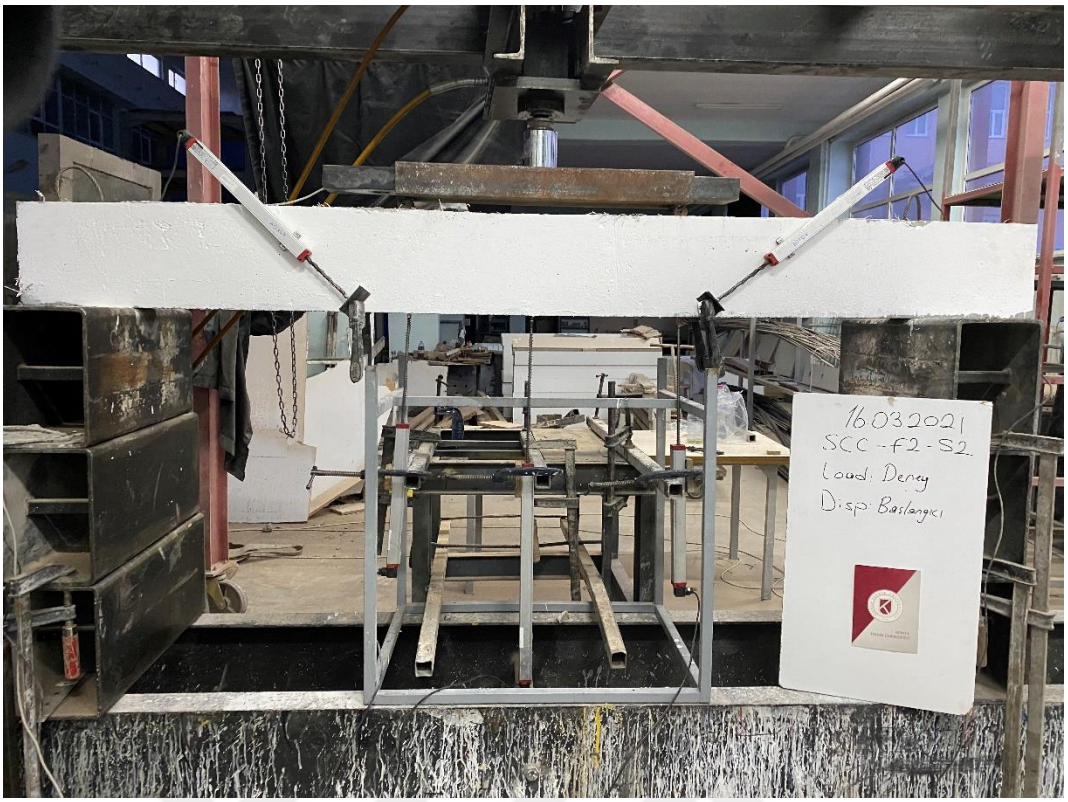
Şekil 4.54. SCC-F2-S1 elemanına ait eğim açısı grafiği



Şekil 4.55. SCC-F2-S1 elemanına ait kümülatif tüketilen enerji grafiği

4.1.6. Altıncı deney (SCC-F2-S2)

Bu deney elemanı 20 cm etriye aralığına sahip, içerisinde makro lif katkı maddesi olarak metreküpte 2,5 kg lif bulunduran kendiliğinden yerleşen beton ile üretilmiş betonarme kiriştir. Deney elemanına ait görüntü Şekil 4.56'da verilmiştir. Deney esnasında uygulanan yüke bağlı olarak oluşan şekil değiştirmeler ve hasarlar Çizelge 4.7'de verilmiştir.



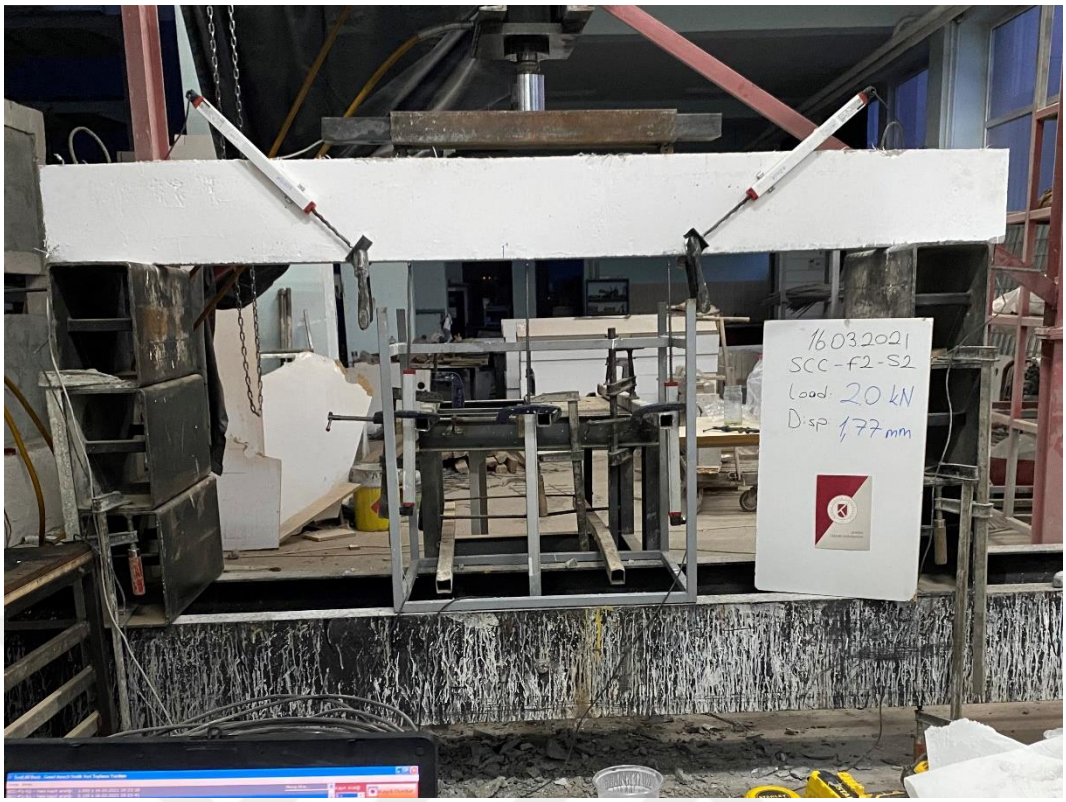
Şekil 4.56. SCC-F2-S2 elemanının ilk görüntüsü

Çizelge 4.7. SCC-F2-S2 elemanının şekil değiştirme ve hasar oluşumları

Çev. No	Yük (kg)	Deplasman (mm)	Çatlak No	Açıklama
1	579,25	0.400621		İlk iki yüklemede herhangi bir çatlak oluşumu gözlemlenmemiştir.
2	1219,85	0.770424	1	İlk çatlak oluşumu gözlemlenmiştir. İlk çatlak toplamda 1 adettir. Oluşan çatlak 3 cm uzunluğunda kiriş orta bölgesinde meydana gelmiştir.
3	2317,58	1.58707	2,3,4,5 6,7,8	Bu yükleme adımında toplamda 7 adet yeni çatlak oluşmuştur. Bu yeni çatlakların 6 tanesi yükleme noktaları arasında ve hizasında meydana gelmiştir. Çatlaklardan bir tanesi sol yükleme noktası tarafında kesme çatlağı olarak meydana gelmiştir. Oluşan ilk çatlağın uzunluğu yaklaşık 11 cm artmıştır.
4	3012	3.57477	9,10,11	Bu yükleme adımında toplamda 3 adet yeni çatlak oluşmuştur. Bu yeni çatlakların uzunlukları birbirinden farklı olarak 15 cm, 11 cm ve 6 cm'dir. Çatlaklardan bir tanesi sol yükleme noktası tarafında kesme çatlağı olarak meydana gelmiştir. Eski çatlakların boylarında 3-4 cm uzama meydana gelmiştir.
5	4024,48	6.14799	12,13,14	Bu yükleme adımında toplamda 3 adet yeni çatlak oluşmuştur. Bu yeni çatlakların uzunlukları birbirine yakın yaklaşık 8 cm'dir. Çatlaklardan bir tanesi sağ yükleme noktası ile sağ mesnet arasında diğer ikisi orta bölgede meydana gelmiştir. Eski çatlakların uzunlukları 2-3 cm artmıştır.
6	4615	10.9554		Eski çatlaklarda uzamalar meydana geldi. Çatlaklarda dallanmalar meydana geldi. Donatı akma noktasına ulaşmış ve deplasman kontrolüne geçilmiştir.

Çev. No	Yük (kg)	Deplasman (mm)	Çatlak No	Açıklama
7	4674,77	15.3623		Bu yükleme adımında yeni çatlak oluşumu gözlemlenmemiştir. Eski çatlakların boylarında 1-2 cm uzama meydana gelmiştir.
8	4895,91	20.1235		Çatlaklarda dallanmalar meydana gelmiştir.
9	5080,76	26.0249		Çatlaklarda dallanmalar artmıştır.
10	5167,55	30.6167		Çatlaklarda dallanmalar artmaya devam etmiştir. Çatlak genişlikleri artmıştır.
11	5251,9	34.7307		Sol yükleme noktası hizasındaki çatlaklar kiriş üst noktasına yaklaşmıştır. Eski çatlaklarda yaklaşık 1 cm uzama meydana gelmiştir.
12	5308,14	39.5072		Sağ yükleme noktası tarafındaki kesme çatlağı uzamıştır.
13	53619,3	45.3825		Çatlak genişlikleri artmıştır.
14	5410,83	49.9967		Sağ yükleme noktası altında basınç ezilmesinin belirtileri başlamıştır.
15	5475,62	60.4708		Çatlaklardaki dallanmalar artmıştır. Kiriş orta bölgesindeki tüm çatlaklar kiriş üst noktasına yaklaşmıştır.
16	5535,52	70.176		Sol yükleme noktasının altında basınç ezilmeleri başlamıştır.
17	5555,08	77.0664		Sol yükleme noktası hizasındaki kesme çatlağı sol yükleme noktasının altına kadar uzamıştır.
18	5401,05	83.1417		Sol yükleme noktası altındaki basınç ezilmesi daha geniş alana yayılmıştır.
19	5123,54	91.8317		Sağ yükleme noktası tarafındaki kesme çatlağı uzamıştır.
20	5103,98	102.414		Çatlaklarda dallanmalar artmaya devam etmiştir. Çatlak genişlikleri artmıştır.
	47.21818	110.458		Göçme öncesi durum. Çatlak genişlikleri ileri düzeyde artmıştır.
	Deney sonu			Sol yükleme noktası hizasındaki çekme donatısı kopmuştur. Eleman daha fazla deplasman yapamayacağından deneye son verilmiştir.

SCC-F2-S2 deney elemanında ilk çatlaklar 1219,85 kg yük değerinde oluşmuştur. Bu yükleme adımına ait görünüm Şekil 4.57'de görülebilir. İlk çatlaklar iki yükleme noktasının arasında ve yükleme noktalarının arasında meydana gelmiştir. Meydana gelen çatlaklar kirişin çekme bölgesinde oluşmuştur.



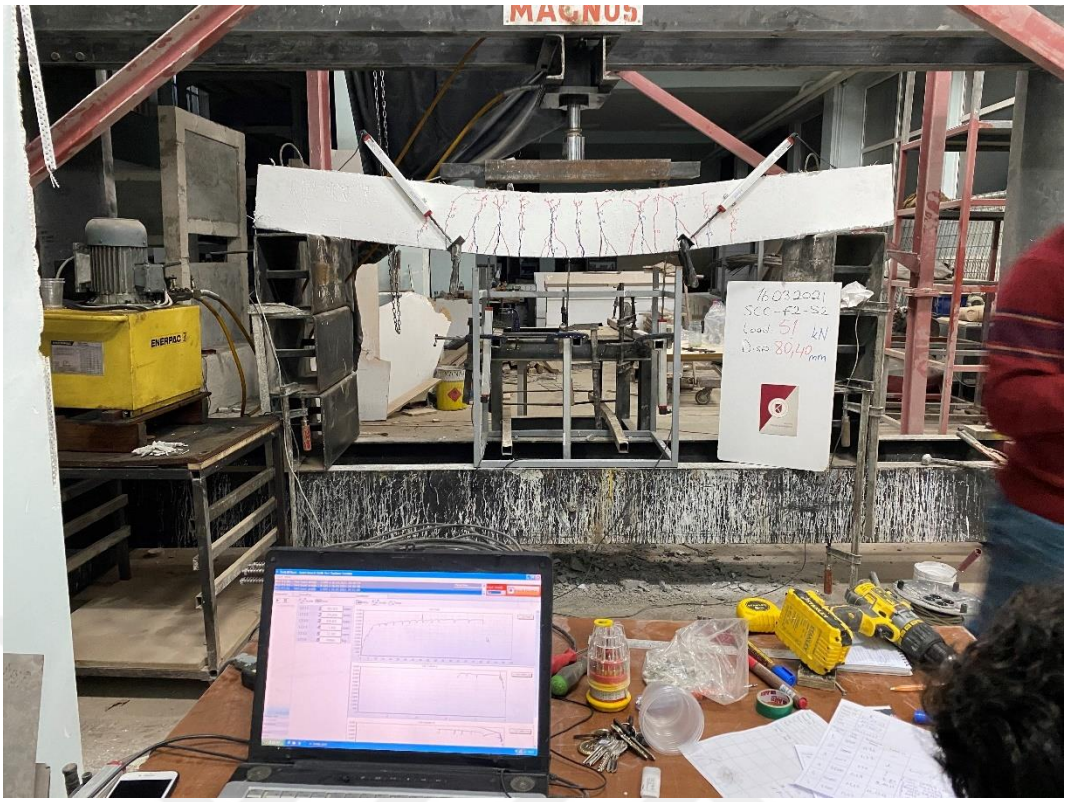
Şekil 4.57. SCC-F2-S2 elemanında oluşan ilk çatlaklar

SCC-F2-S2 deney elemanı akma noktasına 4166,31 kg yük ve 6,36 mm deplasman değerinde ulaşmıştır. Elemanın bu yüklemedeki görüntüsü Şekil 4.58'de görülebilir.



Şekil 4.58. SCC-F2-S2 deney elemanının akma anındaki görüntüsü

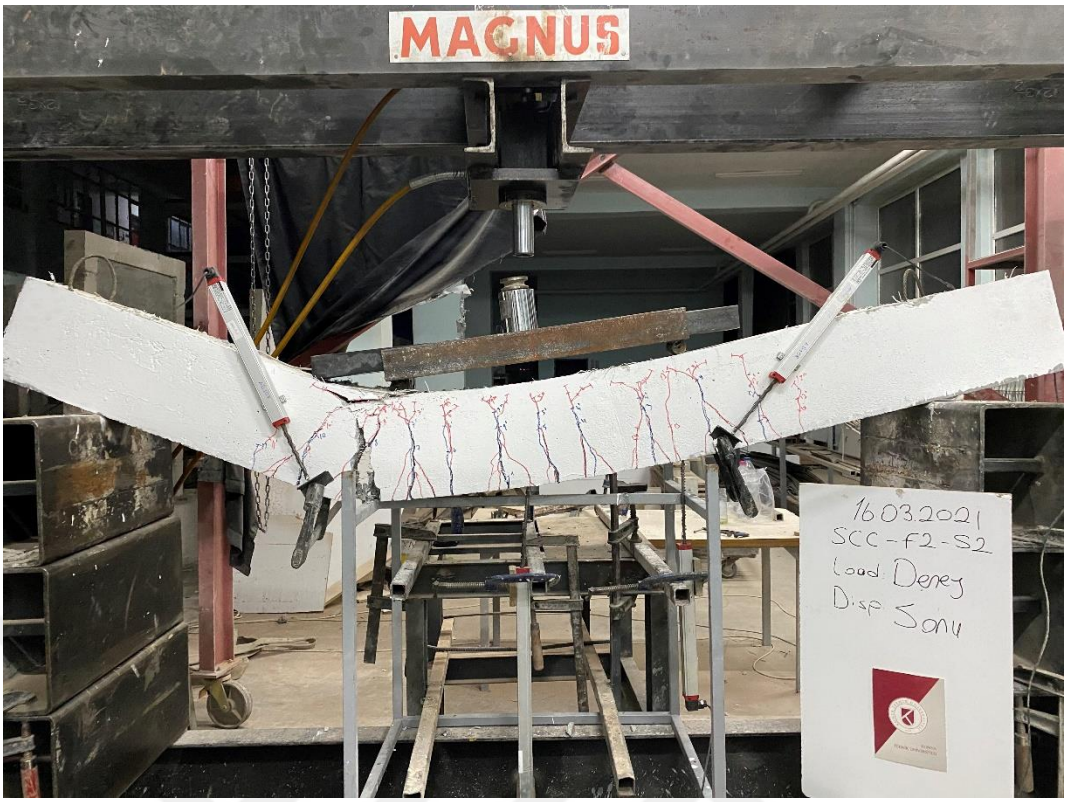
SCC-F2-S2 deney elemanının aldığı maksimum yük 5555,08 kg'dır. Bu yük altındayken yaptığı deplasman değeri 77,06 mm'dir. Bu yükleme adımındaki görüntüsü Şekil 4.59'da görülmektedir.



Şekil 4.60. SCC-F2-S2 elemanının maksimum yük altındaki görüntüsü

SCC-F2-S2 deney elemanına yük verme işlemi elemanın kırılmasından sonra son verilmiştir. Sol yükleme noktasının altında kalan bölgedeki çekme donatısının kırılmasından dolayı deney elemanı daha fazla deplasman yapamayacağından deney sonlandırılmıştır. Deney elemanının deney sonundaki görüntüsü Şekil 4.61'de görülmektedir. Deney sonundaki çatlak dağılımı Şekil 4.60'da görülmektedir.

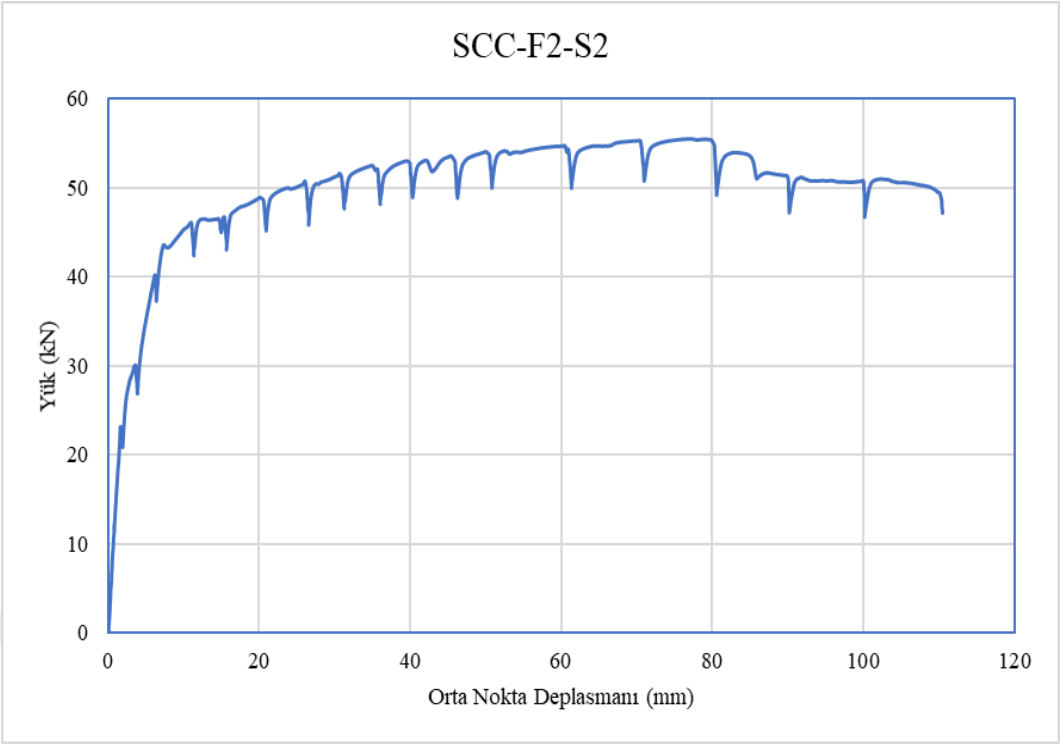
SCC-F2-S2 deney elemanına ait orta nokta yük-deplasman grafiği Şekil 4.62'de verilmiştir.



Şekil 4.60. SCC-F2-S2 elemanının deney sonundaki görünümü

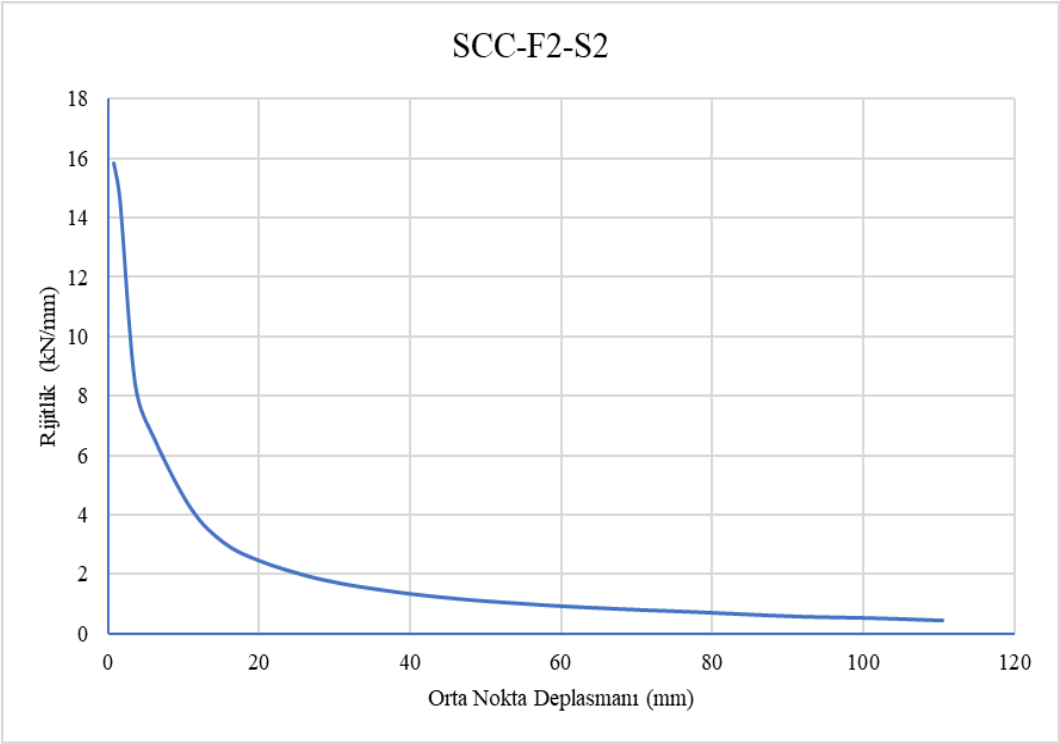


Şekil 4.61. SCC-F2-S2 elemanının deney sonundaki çatlak dağılımı



Şekil 4.62. SCC-F2-S2 elemanına ait yük-deplasman grafiği

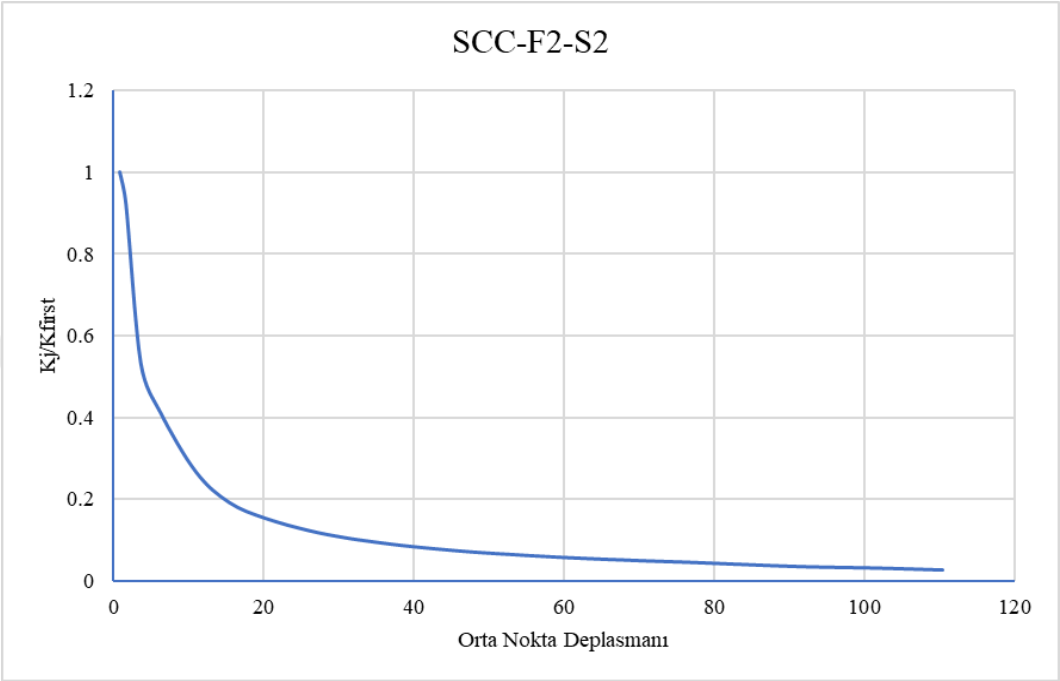
Her bir yüklemedeki yük değerinin, o noktadaki deplasman değerine bölünmesiyle elde edilen rijitlik grafiği Şekil 4.63'de verilmiştir.



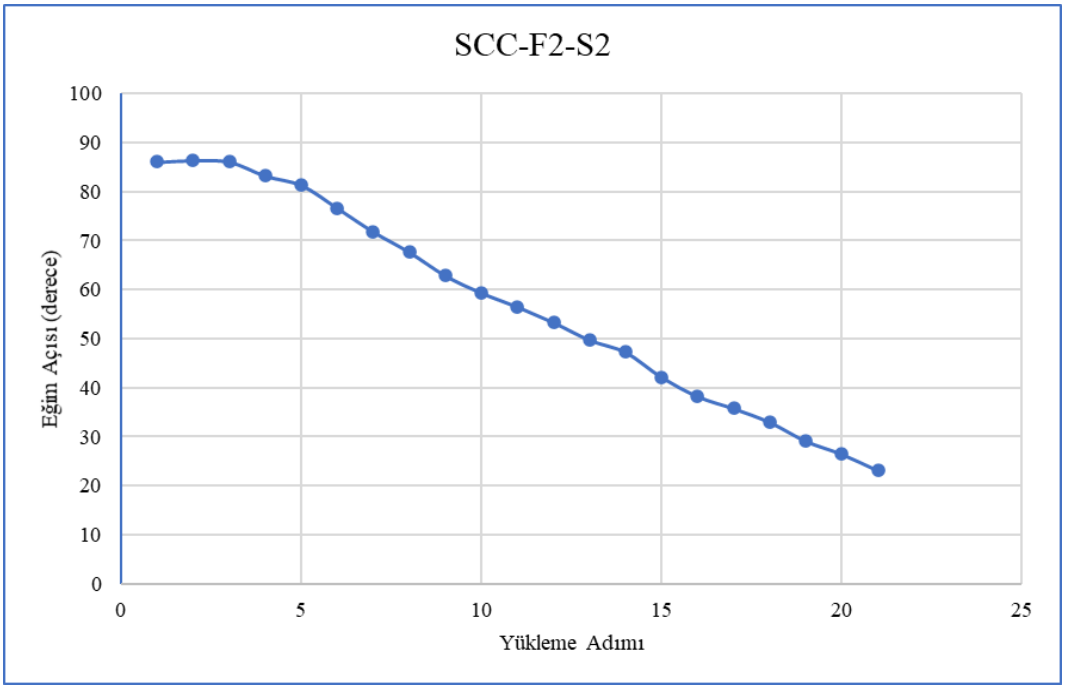
Şekil 4.64. SCC-F2-S2 elemanına ait rijitlik grafiği

Elemanın tüm yüklemelerdeki rijitlik değerinin, ilk yüklemedeki rijitlik değerine bölünmesiyle de K_j/K_{first} grafiği elde edilmiş olup Şekil 4.64'de verilmiştir.

Elemanın davranış özelliklerinde biri olan eğim açısı grafiği Şekil 4.65'de verilmiştir. Elemanın kümülatif tükettiği enerji ise Şekil 4.66'da verilmiştir.



Şekil 4.64. SCC-F2-S2 elemanına ait K_j/K_{first} grafiği



Şekil 4.65. SCC-F2-S2 elemanına ait eğim açısı grafiği



Şekil 4.66. SCC-F2-S2 elemanına ait kümülatif tüketilen enerji grafiği

4.1.7. Yedinci deney (SSC-F2-S3)

Bu deney elemanı 10 cm etriye aralığına sahip, içerisinde makro lif katkı maddesi olarak metreküpte 2,5 kg lif bulunduran kendiliğinden yerleşen beton ile üretilmiş betonarme kiriştir. Deney elemanına ait görüntü Şekil 4.67'de verilmiştir. Deney esnasında uygulanan yüke bağlı olarak oluşan şekil değiştirmeler ve hasarlar Çizelge 4.8'de verilmiştir.



Şekil 4.67. SCC-F2-S3 elemanının ilk görüntüsü

Çizelge 4.8. SCC-F2-S3 elemanının şekil değiştirme ve hasar oluşumları

Çev. No	Yük (kg)	Deplasman (mm)	Çatlak No	Açıklama
1	525,918	0.523		İlk iki yüklemede herhangi bir çatlak oluşumu gözlemlenmemiştir.
2	1176,89	0.94	1,2,3,4	İlk çatlak oluşumları gözlemlenmiştir. İlk çatlaklar toplamda 4 adettir. Oluşan çatlaklar iki yükleme noktasının arasında ve hizasında sınırlı kalmıştır. Oluşan çatlakların uzunluğu ortalama 10 cm'dir.
3	2053,48	1.771	5,6,7,8 9,10,11	Bu yükleme adımında toplamda 7 adet yeni çatlak oluşmuştur. Bu yeni çatlakların 4 tanesi yükleme noktaları arasında ve hizasında meydana gelmiştir. Çatlaklardan bir tanesi sağ yükleme noktası tarafında kesme çatlağı olarak meydana gelmiştir. Eski çatlaklar uzamıştır.
4	3081,77	4.961	12,13	Bu yükleme adımında toplamda 2 adet yeni çatlak oluşmuştur. Bu yeni çatlakların uzunlukları birbirinden farklı olarak 11 cm ve 6 cm'dir. Eski çatlakların boylarında 3-4 cm uzama meydana gelmiştir.
5	4259,22	9.399	14,15,16	Bu yükleme adımında toplamda 3 adet yeni çatlak oluşmuştur. Bu yeni çatlakların uzunlukları birbirine yakın yaklaşık 8 cm'dir. Çatlaklar sağ yükleme noktası ile sağ mesnet arasında meydana gelmiştir. Eski çatlakların uzunlukları 2-3 cm artmıştır. Donatı akma noktasına ulaşmış ve deplasman kontrolüne geçilmiştir. Sağ yükleme noktası hizasında kesme çatlağı meydana gelmiştir.
6	4575,99	16.41		Eski çatlaklarda uzamalar meydana geldi. Çatlaklarda dallanmalar meydana geldi.

Çev. No	Yük (kg)	Deplasman (mm)	Çatlak No	Açıklama
7	4660,86	21.1713		Çatlaklarda dallanmalar meydana gelmiştir.
8	4807,9	25.3409		Bu yükleme adımında yeni çatlak oluşumu gözlemlenmemiştir. Eski çatlakların boylarında 1-2 cm uzama meydana gelmiştir.
9	4891,57	31.0933		Çatlaklarda dallanmalar artmıştır.
10	4908,31	34.9538		Sol yükleme noktası altında kısmi basınç ezilmeleri gözlemlenmiştir.
11	4991,11	39.9832		Kiriş orta bölgesinde bulanan çatlakların tamamı kiriş üst bölgesine ulaşmıştır.
12	5029,01	44.8896		Çatlaklarda dallanmalar artmış. Çatlak genişlikleri büyümüştür.
13	5066,91	49.9806		Çatlak genişlikleri artmıştır.
14	5062,02	57.3632		Sol yükleme noktası altında basınç ezilmesi meydana gelmiştir.
15	5041,23	70.6366		Sol yükleme noktası hizasındaki kesme çatlağı genişlemiştir.
16	4993,56	73.6512		Çatlaklarda dallanmalar artmıştır.
17	4902,33	82.8334		Çatlaklarda dallanmalar artmış. Çatlak genişlikleri büyümüştür.
18	4786,38	94.5226		Sol yükleme noktası hizasındaki kesme çatlağı genişlemiştir.
19	4665,65	102.505		Çatlaklarda dallanmalar meydana gelmiştir.
20	4306,87	105.95		Göçme öncesi durum. Çatlak genişlikleri ileri düzeyde artmıştır.
21	Deney sonu			Sol yükleme noktası hizasındaki çekme donatısı kopmuştur. Eleman daha fazla deplasman yapamayacağından deneye son verilmiştir.

SCC-F2-S3 deney elemanında ilk çatlaklar 1176,89 kg yük değerinde oluşmuştur. Bu yükleme adımına ait görünüm Şekil 4.68’de görülebilir. İlk çatlaklar iki yükleme noktasının arasında ve yükleme noktalarının arasında meydana gelmiştir. Meydana gelen çatlaklar kirişin çekme bölgesinde oluşmuştur.



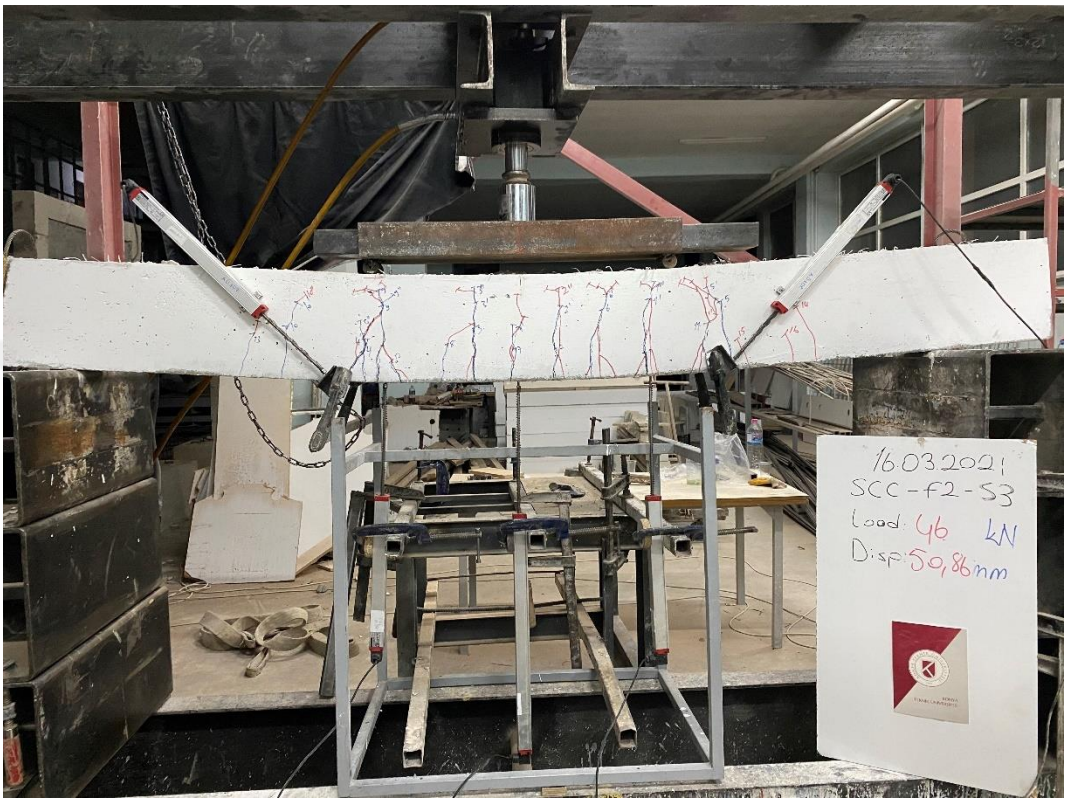
Şekil 4.68. SCC-F2-S3 elemanında oluşan ilk çatlaklar

SCC-F2-S3 deney elemanı akma noktasına 3800 kg yük ve 6,11 mm deplasman değerinde ulaşmıştır. Elemanın bu yüklemedeki görüntüsü Şekil 4.69'da görülebilir.



Şekil 4.69. SCC-F2-S3 deney elemanının akma anındaki görüntüsü

SCC-F2-S2 deney elemanının aldığı maksimum yük 5066,91 kg'dır. Bu yük altındayken yaptığı deplasman değeri 49,98 mm'dir. Bu yükleme adımındaki görüntüsü Şekil 4.70'de görülmektedir.



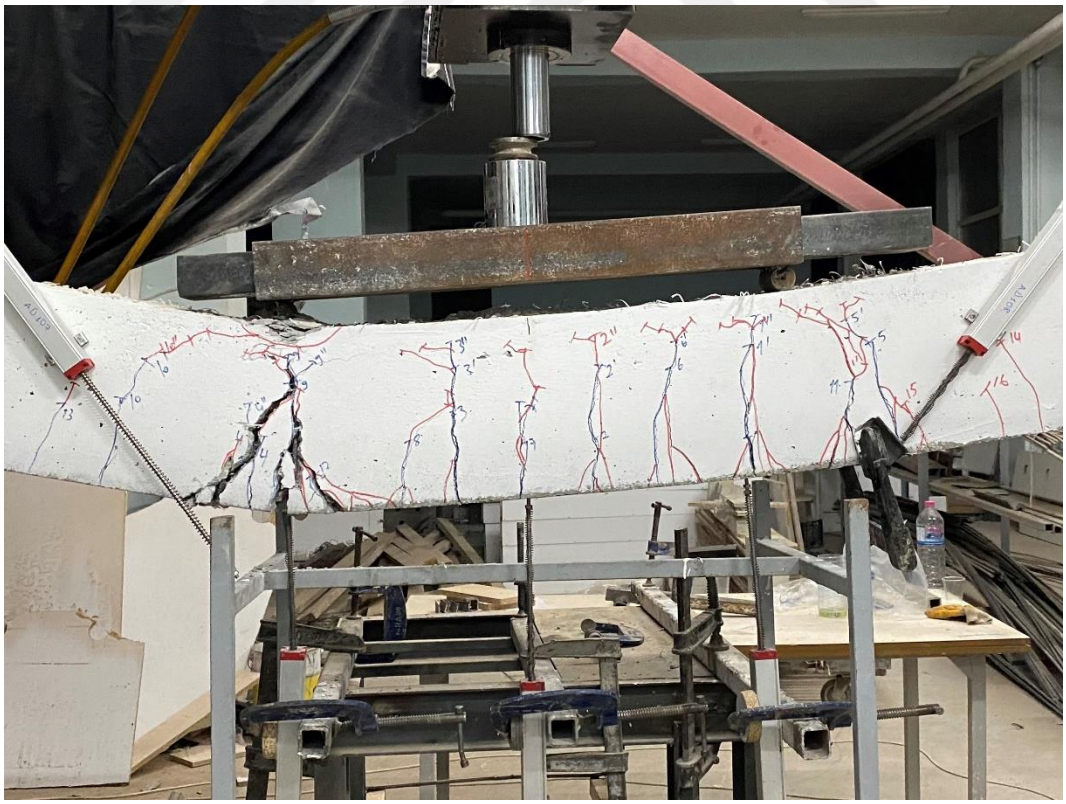
Şekil 4.70. SCC-F2-S3 elemanının maksimum yük altındaki görüntüsü

SCC-F2-S3 deney elemanına yük verme işlemi elemanın kırılmasından sonra son verilmiştir. Sol yükleme noktasının altında kalan bölgedeki çekme donatısının kırılmasından dolayı deney elemanı daha fazla deplasman yapamayacağından deney sonlandırılmıştır. Deney elemanının deney sonundaki görüntüsü Şekil 4.71'de görülmektedir. Deney sonundaki çatlak dağılımı Şekil 4.72'de görülmektedir.

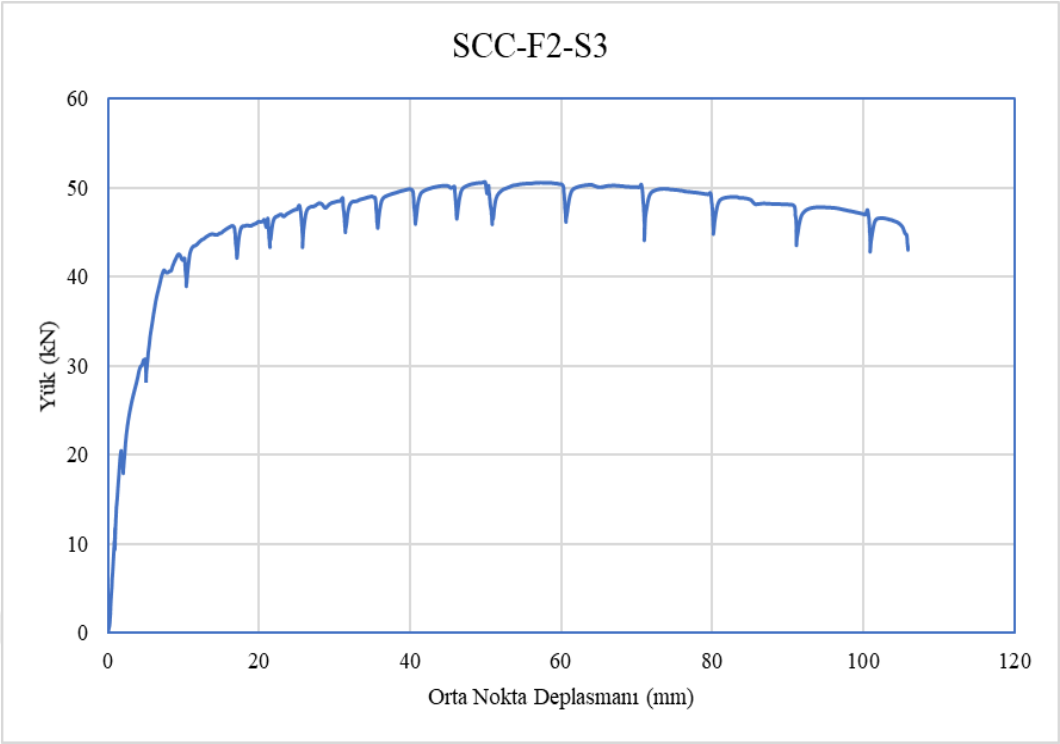
SCC-F2-S3 deney elemanına ait orta nokta yük-deplasman grafiği Şekil 4.73'de verilmiştir.



Şekil 4.71. SCC-F2-S3 elemanının deney sonundaki görünümü

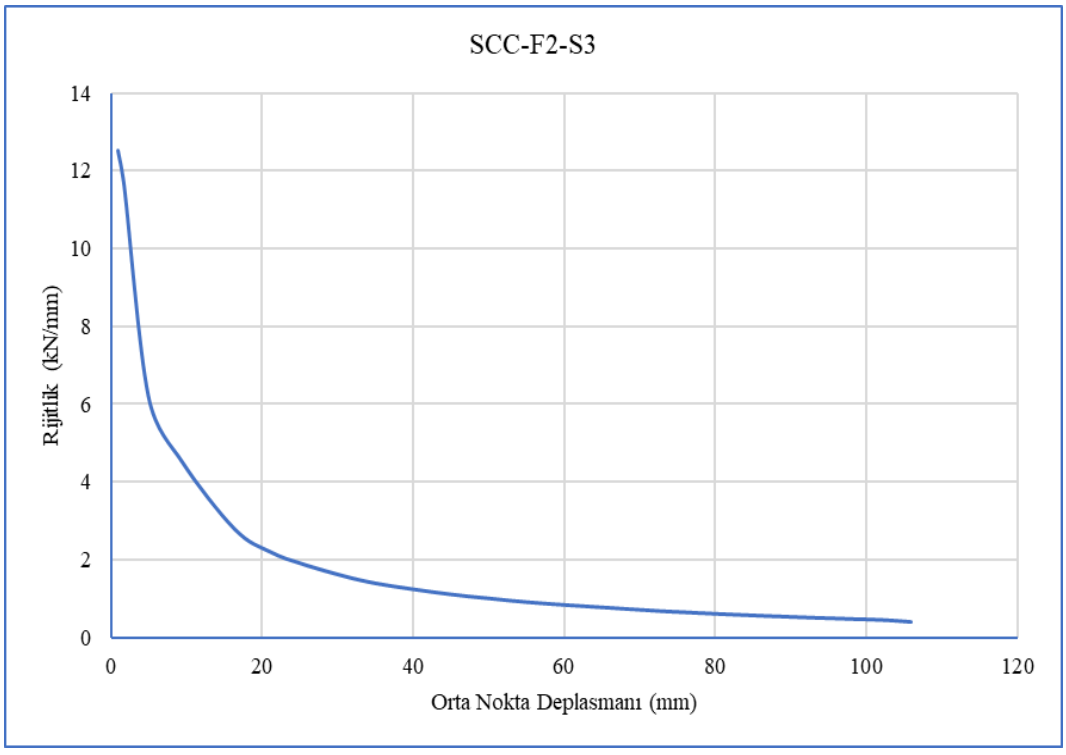


Şekil 4.72. SCC-F2-S3 elemanının deney sonundaki çatlak dağılımı



Şekil 4.73. SCC-F2-S3 elemanına ait yük-deplasman grafiği

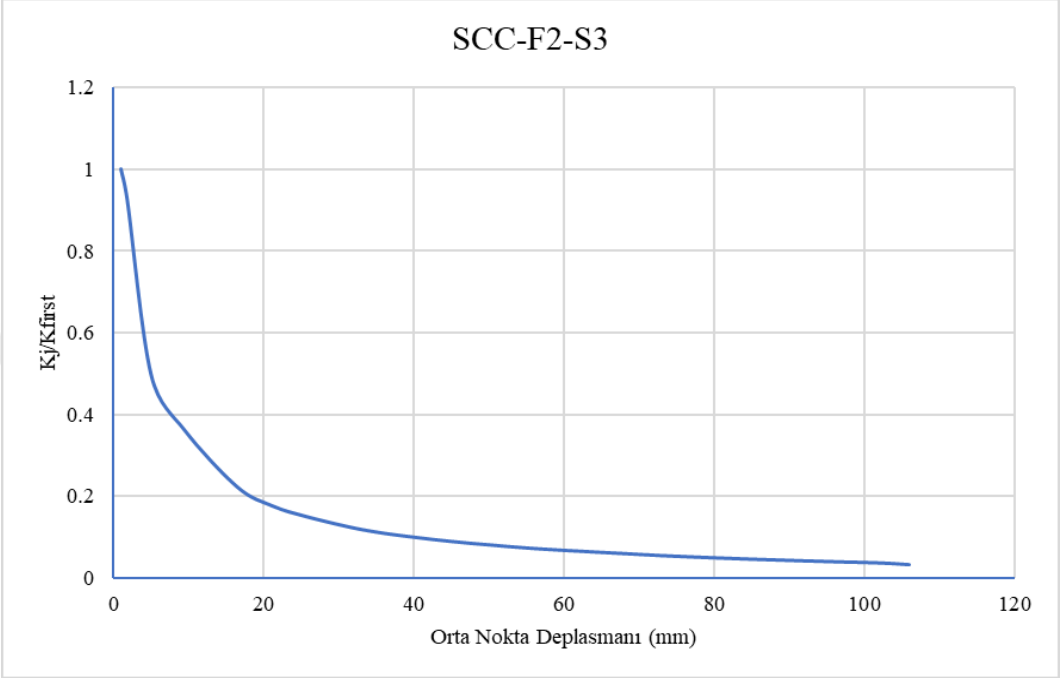
Her bir yüklemedeki yük değerinin, o noktadaki deplasman değerine bölünmesiyle elde edilen rijitlik grafiği Şekil 4.74'de verilmiştir.



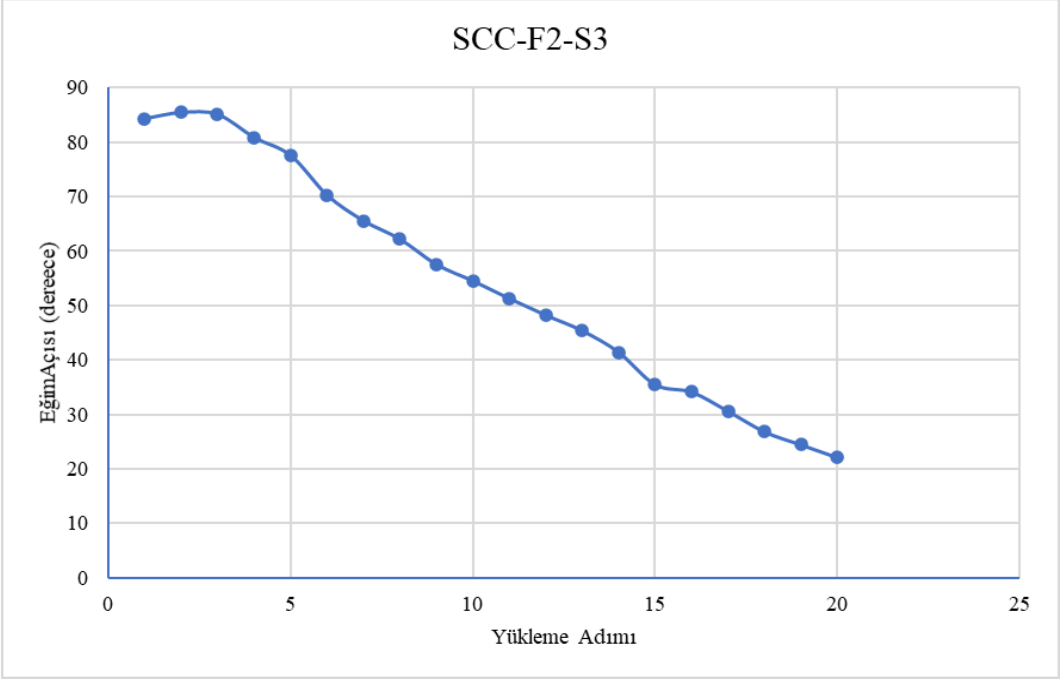
Şekil 4.74. SCC-F2-S3 elemanına ait rijitlik grafiği

Elemanın tüm yüklemelerdeki rijitlik değerinin, ilk yüklemedeki rijitlik değerine bölünmesiyle de K_j/K_{first} grafiği elde edilmiş olup Şekil 4.75'de verilmiştir.

Elemanın davranış özelliklerinde biri olan eğim açısı grafiği Şekil 4.76'da verilmiştir. Elemanın kümülatif tükettiği enerji ise Şekil 4.77'da verilmiştir.



Şekil 4.75. SCC-F2-S1 elemanına ait K_j/K_{first} grafiği



Şekil 4.76. SCC-F2-S3 elemanına ait eğim açısı grafiği



Şekil 4.77. SCC-F2-S3 elemanına ait kümülatif tüketilen enerji grafiği

4.1.8. Sekizinci deney (SCC-F2-S4)

Bu deney elemanı 5 cm etriye aralığına sahip, içerisinde makro lif katkı maddesi olarak metreküpte 2,5 kg lif bulunduran kendiliğinden yerleşen beton ile üretilmiş betonarme kiriştir. Deney elemanına ait görüntü Şekil 4.78'de verilmiştir. Deney esnasında uygulanan yüke bağlı olarak oluşan şekil değiştirmeler ve hasarlar Çizelge 4.9'da verilmiştir.



Şekil 4.78. SCC-F2-S4 elemanının ilk görüntüsü

Çizelge 4.9. SCC-F2-S4 elemanının şekil değiştirme ve hasar oluşumları

Çev. No	Yük (kg)	Deplasman (mm)	Çatlak No	Açıklama
1	522,955	0.493		İlk iki yüklemede herhangi bir çatlak oluşumu gözlemlenmemiştir.
2	1455,54	1.31	1,2,3,4 5,6,7,8	İlk çatlak oluşumları gözlemlenmiştir. İlk çatlaklar toplamda 8 adettir. Oluşan çatlaklar iki yükleme noktasının arasında ve hizasında sınırlı kalmıştır. Oluşan çatlakların uzunluğu ortalama 12 cm'dir.
3	2041,38	3.482	9,10,11	Bu yükleme adımında toplamda 3 adet yeni çatlak oluşmuştur. Bu yeni çatlakların 1 tanesi yükleme noktaları arasında ve hizasında meydana gelmiştir. Çatlaklardan bir tanesi sol yükleme noktası tarafında kesme çatlağı olarak meydana gelmiştir. Eski çatlaklar uzamıştır.
4	3389,99	5.439	12	Bu yükleme adımında toplamda 1 adet yeni çatlak oluşmuştur. Bu yeni çatlağın uzunluğu 11 cm'dir. Çatlaklardan bir tanesi sağ yükleme noktası tarafında kesme çatlağı olarak meydana gelmiştir. Eski çatlakların boylarında 1-2 cm uzama meydana gelmiştir.
5	3975,73	10.693	13	Bu yükleme adımında toplamda 1 adet yeni çatlak oluşmuştur. Bu yeni çatlağın uzunluğu 6 cm'dir. Eski çatlakların boylarında 1-2 cm uzama meydana gelmiştir. Çatlaklarda dallanmalar meydana geldi. Donatı akma noktasına ulaşmış ve deplasman kontrolüne geçilmiştir.
6	4113,58	15.886		Eski çatlaklarda uzamalar meydana geldi. Çatlaklarda dallanmalar meydana geldi. Eski çatlakların boylarında 1-2 cm uzamlar meydana gelmiştir.

Çev. No	Yük (kg)	Deplasman (mm)	Çatlak No	Açıklama
7	4242,3	20.339		Eski çatlakların genişliklerinde artışlar meydana gelmiştir.
8	4348,69	24.453		Bu yükleme adımında yeni çatlak oluşumu gözlemlenmemiştir. Eski çatlakların boylarında 1-2 cm uzama meydana gelmiştir.
9	4484,96	29.984	14	Bu yükleme adımında 1 adet yeni çatlak oluşmuştur. Çatlak sol yükleme noktası ile sol mesnet arasında meydana gelmiştir.
10	4580,59	34.422	15,16	Bu yükleme adımında 2 adet yeni çatlak oluşmuştur. Çatlakların boyları ortalama 8 cm'dir. Çatlaklarda dallanmalar meydana gelmiştir.
11	4657,09	39.923		Kiriş orta bölgesinde bulanan çatlakların tamamı kiriş üst bölgesine ulaşmıştır.
12	4734,79	44.992		Çatlaklarda dallanmalar meydana gelmiştir.
13	4804,13	49.839		Sol yükleme noktası altında basınç ezilmesi oluşmuştur.
14	4831,62	55.037		Eski çatlaklarda uzamalar gerçekleşmiştir. Çatlaklarda dallanmalar meydana gelmiştir.
15	4702,52	62.651		Çatlaklarda dallanmalar meydana gelmiştir.
16	4672,63	74.309		Sol yükleme noktası altındaki basınç ezilmesi alanı artmıştır.
17	4652,31	83.307		Çatlak genişlikleri artmıştır.
18	4106,87	90.228		Göçme öncesi durum. Çatlak genişlikleri ileri düzeyde artmıştır.
19	Deney sonu			Sol yükleme noktası hizasındaki çekme donatısı kopmuştur. Eleman daha fazla deplasman yapamayacağından deneye son verilmiştir.

SCC-F2-S4 deney elemanında ilk çatlaklar 2000 kg yük değerinde oluşmuştur. Bu yükleme adımına ait görünüm Şekil 4.79'da görülebilir. İlk çatlaklar iki yükleme noktasının arasında ve yükleme noktalarının arasında meydana gelmiştir. Meydana gelen çatlaklar kirişin çekme bölgesinde oluşmuştur.



Şekil 4.79. SCC-F2-S4 elemanında oluşan ilk çatlaklar

SCC-F2-S4 deney elemanı akma noktasına 4000 kg yük ve 11,02 mm deplasman değerinde ulaşmıştır. Elemanın bu yüklemedeki görüntüsü Şekil 4.80'de görülebilir.



Şekil 4.80. SCC-F2-S4 deney elemanının akma anındaki görüntüsü

SCC-F2-S4 deney elemanının aldığı maksimum yük 4500 kg'dır. Bu yük altındayken yaptığı deplasman değeri 50,44 mm'dir. Bu yükleme adımındaki görüntüsü Şekil 4.81'de görülmektedir.



Şekil 4.81. SCC-F2-S4 elemanının maksimum yük altındaki görüntüsü

SCC-F2-S4 deney elemanına yük verme işlemi elemanın kırılmasından sonra son verilmiştir. Sol yükleme noktasının altında kalan bölgedeki çekme donatısının kırılmasından dolayı deney elemanı daha fazla deplasman yapamayacağından deney sonlandırılmıştır. Deney elemanının deney sonundaki görüntüsü Şekil 4.82'de görülmektedir. Deney sonundaki çatlak dağılımı Şekil 4.83'de görülmektedir.

SCC-F2-S4 deney elemanına ait orta nokta yük-deplasman grafiği Şekil 4.84'de verilmiştir.



Şekil 4.82. SCC-F2-S4 elemanının deney sonundaki görünümü



Şekil 4.83. SCC-F2-S4 elemanının deney sonundaki çatlak dağılımı



Şekil 4.84. SCC-F2-S4 elemanına ait yük-deplasman grafiği

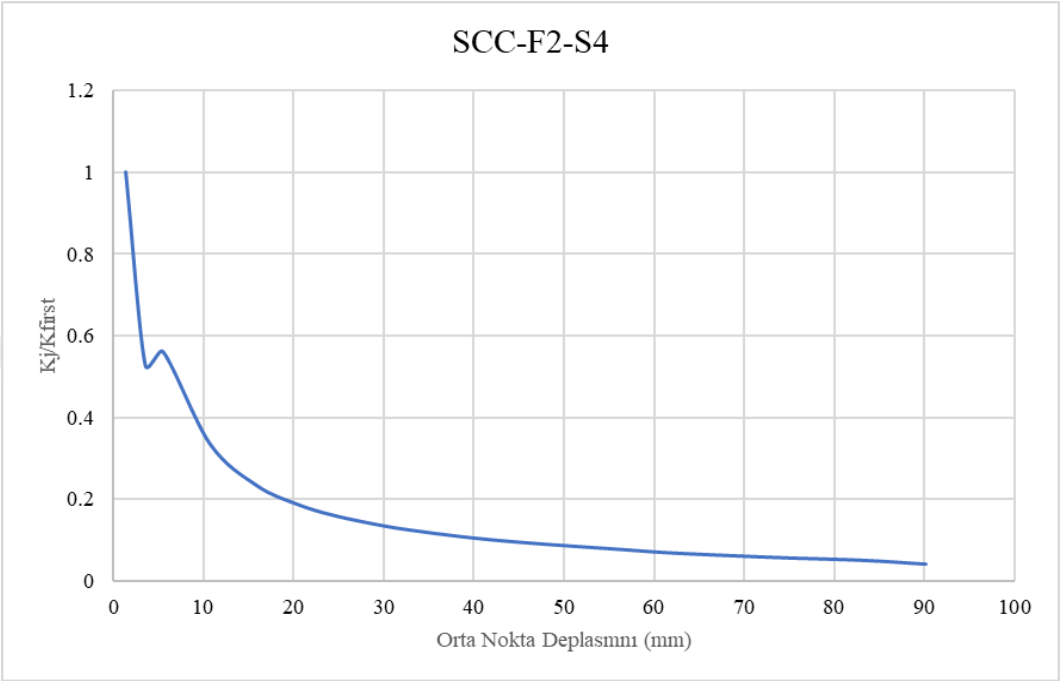
Her bir yüklemedeki yük değerinin, o noktadaki deplasman değerine bölünmesiyle elde edilen rijitlik grafiği Şekil 4.85'de verilmiştir.



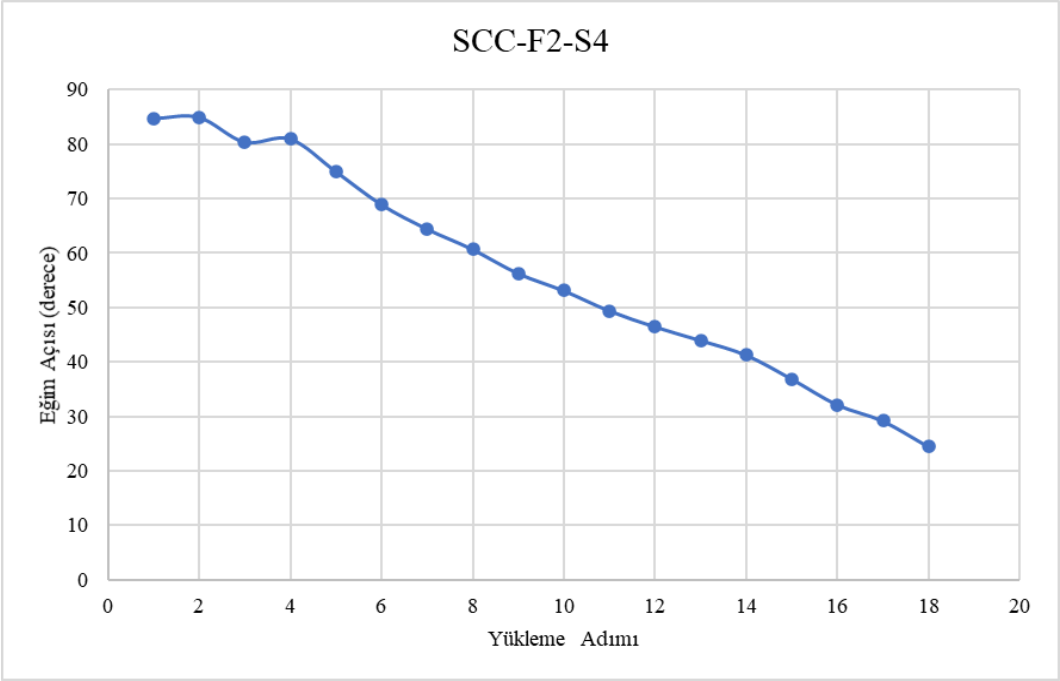
Şekil 4.85. SCC-F2-S4 elemanına ait rijitlik grafiği

Elemanın tüm yüklemelerdeki rijitlik değerinin, ilk yüklemedeki rijitlik değerine bölünmesiyle de K_j/K_{first} grafiği elde edilmiş olup Şekil 4.86'da verilmiştir.

Elemanın davranış özelliklerinde biri olan eğim açısı grafiği Şekil 4.87'de verilmiştir. Elemanın kümülatif tükettiği enerji ise Şekil 4.88'de verilmiştir.



Şekil 4.86. SCC-F2-S4 elemanına ait K_j/K_{first} grafiği



Şekil 4.87. SCC-F2-S4 elemanına ait eğim açısı grafiği



Şekil 4.88. SCC-F2-S4 elemanına ait kümülatif tüketilen enerji grafiği

4.1.9. Dokuzuncu deney (SCC-F3-S1)

Bu deney elemanı bünyesinde etriye bulundurmayan fakat içerisinde makro lif katkı maddesi olarak metreküpte 5 kg lif bulunduran kendiliğinden yerleşen beton ile üretilmiş betonarme kiriştir. Deney elemanına ait görüntü Şekil 4.89'da verilmiştir. Deney esnasında uygulanan yüke bağlı olarak oluşan şekil değiştirmeler ve hasarlar Çizelge 4.10'da verilmiştir.



Şekil 4.89. SCC-F3-S1 elemanının ilk görüntüsü

Çizelge 4.10. SCC-F3-S1 elemanının şekil değiştirme ve hasar oluşumları

Çev. No	Yük (kg)	Deplasman (mm)	Çatlak No	Açıklama
1	627,39	0.755		İlk iki yüklemede herhangi bir çatlak oluşumu gözlemlenmemiştir.
2	1147,43	1.494		
3	2171,29	3.713	1	İlk çatlak oluşumu gözlemlenmiştir. Oluşan çatlak iki yükleme noktasının arasında kiriş çekme bölgesindedir. Çatlak uzunluğu yaklaşık 10 cm'dir.
4	3048,22	6.425	2,3,4 5,6,7	Bu yükleme adımında toplamda 6 adet yeni çatlak oluşmuştur. .Oluşan çatlaklar iki yükleme noktasının arasında ve hizasında sınırlı kalmıştır. Oluşan çatlakların uzunluğu ortalama 12 cm'dir
5	4209,98	11.00	8,9,10,11	Bu yükleme adımında toplamda 4 adet yeni çatlak oluşmuştur. Bu yeni çatlaklardan 2 tanesi sağ ve sol yükleme noktası hizasında kesme çatlağı olarak meydana gelmiştir. Eski çatlaklar 1-4 cm uzamıştır. Donatı akma noktasına ulaşmış ve deplasman kontrolüne geçilmiştir.
6	4263,03	15.454	12,13,14 15,16,17	Bu yükleme adımında toplamda 6 adet yeni çatlak oluşmuştur. Bu yeni çatlaklardan 4 tanesi iki yükleme noktası arasında iken diğer ikisi yükleme noktaları ile mesnetler arasındadır. Eski çatlaklarda dallanmalar meydana gelmiştir. Eski çatlaklar 1-4 cm uzamıştır.
7	4379,41	21.071		Bu yükleme adımında yeni çatlak oluşumu gözlemlenmemiştir. Çatlaklarda dallanmalar vardır. Eski çatlaklarda uzamalar vardır.
8	4448,73	25.424		Bu yükleme adımında yeni çatlak oluşumu gözlemlenmemiştir. Eski çatlakların boylarında 1-2 cm

				uzama meydana gelmiştir. Çatlak genişlikleri artmıştır. Çatlak genişlikleri büyümüştür.
Çev. No	**Yük (kg)**	**Deplasman (mm)**	**Çatlak No**	**Açıklama**
9	4509,49	30.545		Çatlaklar genişlemiştir. Çatlaklarda dallanmalar artmıştır.
10	4518,89	33.960		Sağ yükleme noktası altındaki çatlaklarda dallanmalar artmıştır.
11	4538,58	39.697		Bazı çatlaklar kiriş üst noktasına kadar uzamıştır.
12	4572,81	44.573		Eski çatlaklar uzamıştır. Çatlak genişlikleri artmıştır.
13	4597,62	49.940		Çatlaklarda dallanmalar artmıştır. Çatlak genişlikleri artmıştır.
14	4613,88	59.445		Sağ yükleme noktası altında basınç ezilmesi meydana gelmiştir.
15	4646,40	69.720		Sağ yükleme noktası altındaki basınç ezilmesi büyümüştür.
16	4646,40	77.379		Sol yükleme noktası altında basınç ezilmesi meydana gelmiştir.
17	4642,98	86.100		Sol yükleme noktası altındaki basınç ezilmesi büyüyerek daha belirgin hale gelmiştir.
18	4621,58	94.267		Kiriş orta bölgesinde basınç çatlakları oluşmuştur.
19	3949,44	100.327		Göçme öncesi durum. Çatlak genişlikleri ileri düzeyde artmıştır.
20	Deney sonu			Sağ yükleme noktası hizasındaki çekme donatısı kopmuştur. Eleman daha fazla deplasman yapamayacağından deneye son verilmiştir.

SCC-F3-S1 deney elemanında ilk çatlaklar 2171,29 kg yük değerinde oluşmuştur. Bu yükleme adımına ait görünüm Şekil 4.90'da görülebilir. İlk çatlaklar iki yükleme noktasının arasında ve yükleme noktalarının arasında meydana gelmiştir. Meydana gelen çatlaklar kirişin çekme bölgesinde oluşmuştur.



Şekil 4.90. SCC-F3-S1 elemanında oluşan ilk çatlaklar

SCC-F3-S1 deney elemanı akma noktasına 3484,8 kg yük ve 7,34 mm deplasman değerinde ulaşmıştır. Elemanın bu yüklemedeki görüntüsü Şekil 4.91'de görülebilir.



Şekil 4.91. SCC-F3-S1 deney elemanının akma anındaki görüntüsü

SCC-F3-S1 deney elemanının aldığı maksimum yük 4646,6 kg'dır. Bu yük altındayken yaptığı deplasman değeri 69,72 mm'dir. Bu yükleme adımındaki görüntüsü Şekil 4.92'de görülmektedir.



Şekil 4.92. SCC-F3-S1 elemanının maksimum yük altındaki görüntüsü

SCC-F3-S1 deney elemanına yük verme işlemi elemanın kırılmasından sonra son verilmiştir. Sağ yükleme noktasının altında kalan bölgedeki çekme donatısının kırılmasından dolayı deney elemanı daha fazla deplasman yapamayacağından deney sonlandırılmıştır. Deney elemanının deney sonundaki görüntüsü Şekil 4.93'de görülmektedir. Deney sonundaki çatlak dağılımı Şekil 4.94'de görülmektedir.

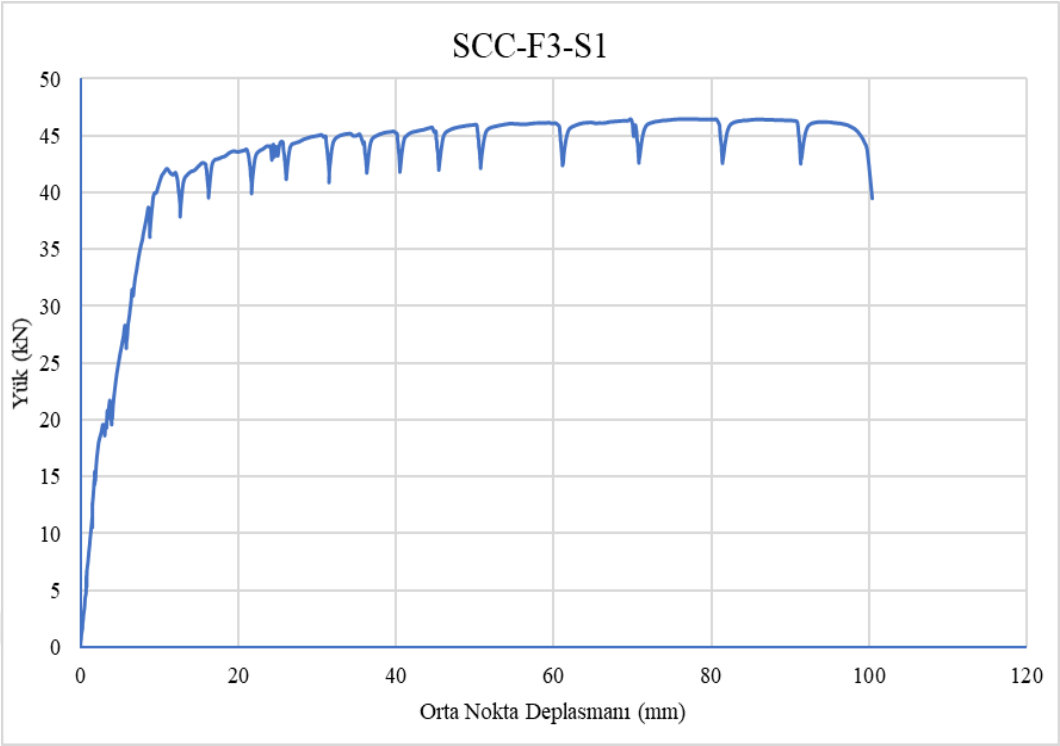
SCC-F3-S1 deney elemanına ait orta nokta yük-deplasman grafiği Şekil 4.95'de verilmiştir.



Şekil 4.93. SCC-F3-S1 elemanının deney sonundaki görünümü

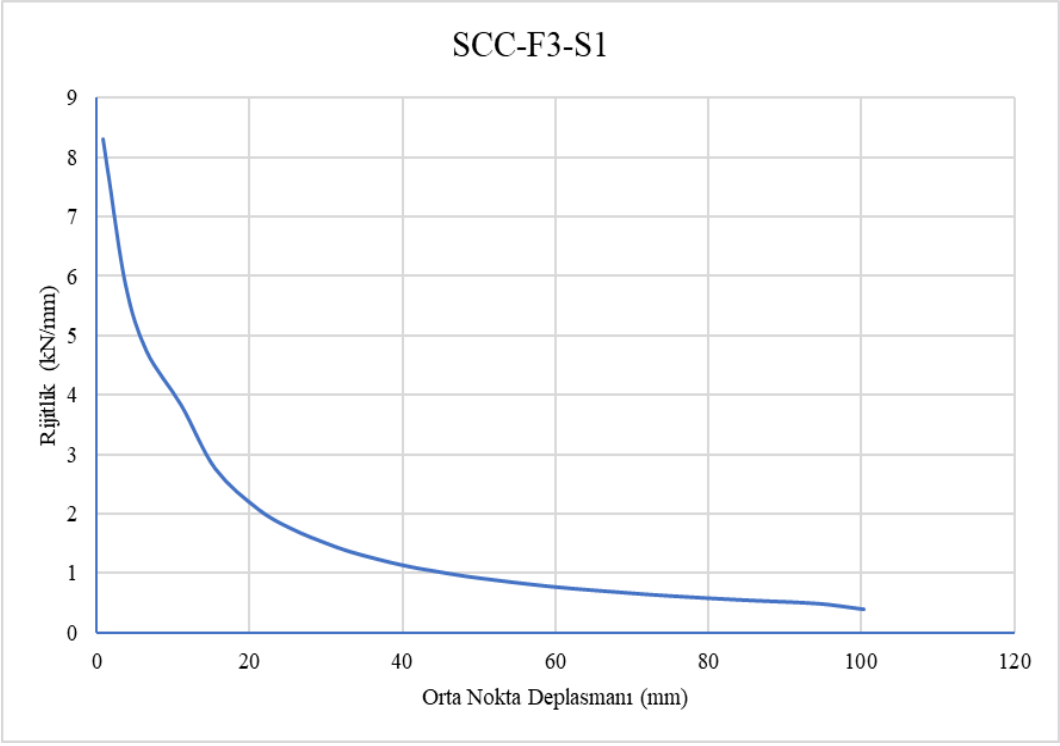


Şekil 4.94. SCC-F3-S1 elemanının deney sonundaki çatlak dağılımı



Şekil 4.95. SCC-F3-S1 elemanına ait yük-deplasman grafiği

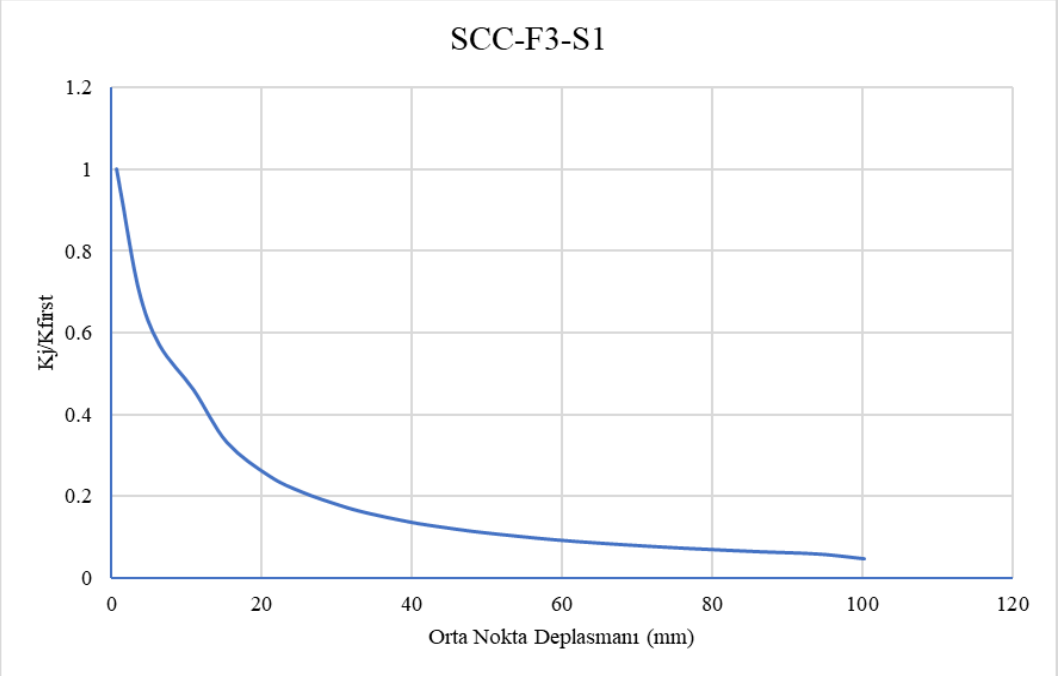
Her bir yüklemedeki yük değerinin, o noktadaki deplasman değerine bölünmesiyle elde edilen rijitlik grafiği Şekil 4.96'da verilmiştir.



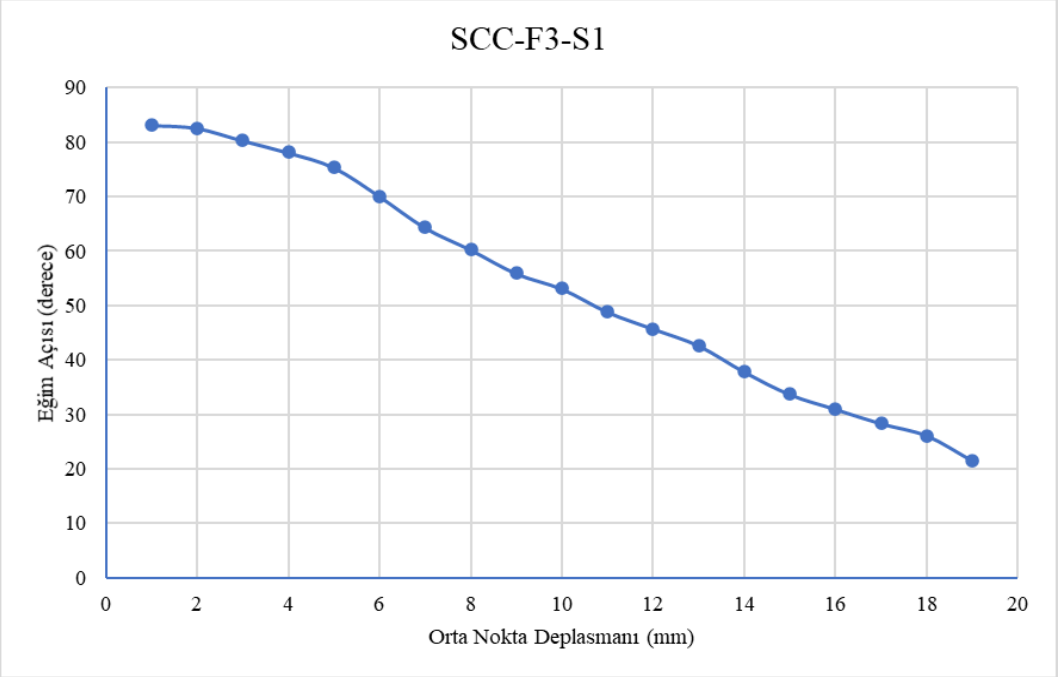
Şekil 4.96. SCC-F3-S1 elemanına ait rijitlik grafiği

Elemanın tüm yüklemelerdeki rijitlik değerinin, ilk yüklemedeki rijitlik değerine bölünmesiyle de K_j/K_{first} grafiği elde edilmiş olup Şekil 4.97'de verilmiştir.

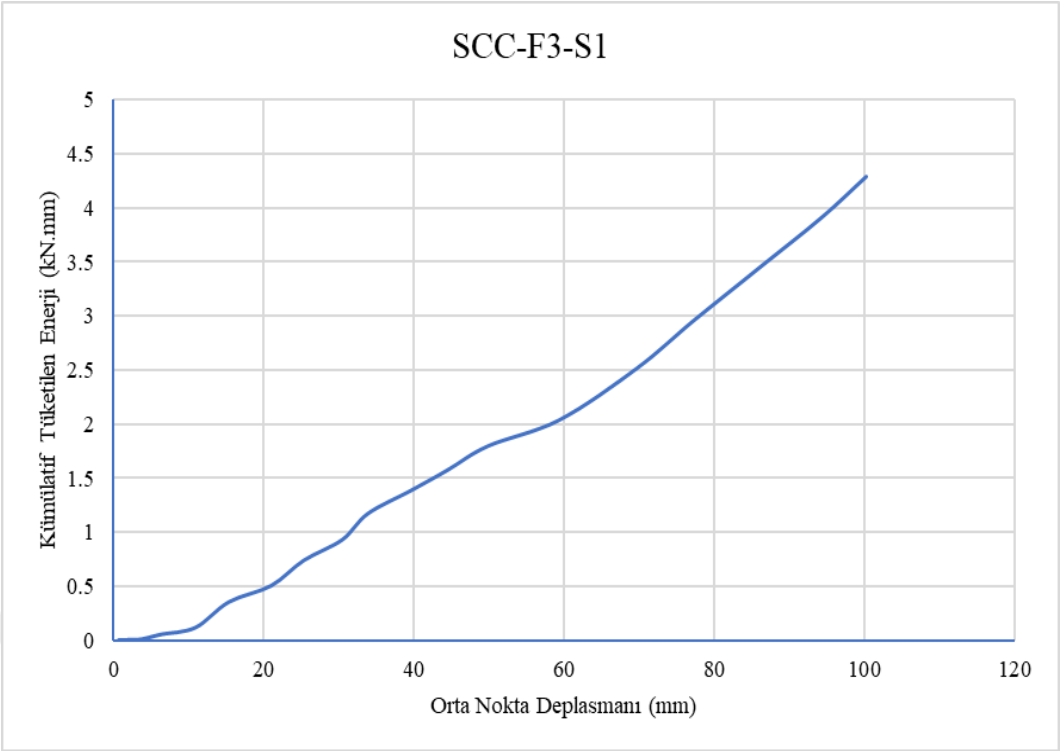
Elemanın davranış özelliklerinde biri olan eğim açısı grafiği Şekil 4.98'de verilmiştir. Elemanın kümülatif tükettiği enerji ise Şekil 4.98'de verilmiştir.



Şekil 4.97. SCC-F3-S1 elemanına ait K_j/K_{first} grafiği



Şekil 4.98. SCC-F3-S1 elemanına ait eğim açısı grafiği



Şekil 4.99. SCC-F3-S1 elemanına ait kümülatif tüketilen enerji grafiği

4.1.10. Onuncu deney (SCC-F3-S2)

Bu deney elemanı 20 cm etriye aralığına sahip, içerisinde makro lif katkı maddesi olarak metreküpte 5 kg lif bulunduran kendiliğinden yerleşen beton ile üretilmiş betonarme kiriştir. Deney elemanına ait görüntü Şekil 4.99'da verilmiştir. Deney esnasında uygulanan yüke bağlı olarak oluşan şekil değiştirmeler ve hasarlar Çizelge 4.11'de verilmiştir.



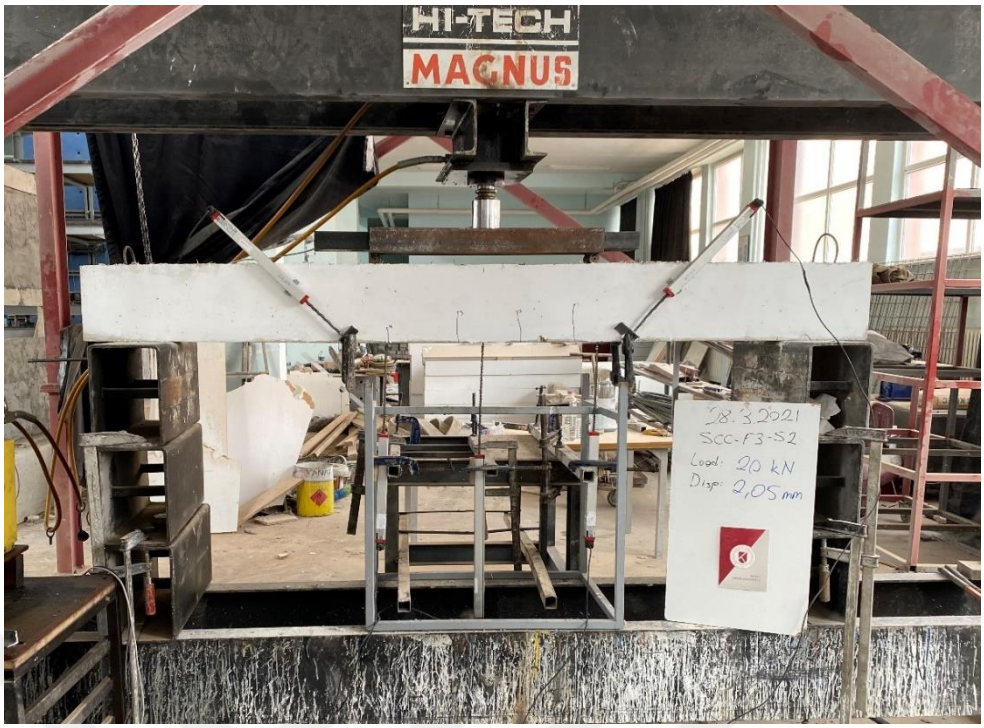
Şekil 4.100. SCC-F3-S2 elemanının ilk görüntüsü

Çizelge 4.11. SCC-F3-S2 elemanının şekil değiştirme ve hasar oluşumları

Çev. No	Yük (kg)	Deplasman (mm)	Çatlak No	Açıklama
1	512,585	0.40		İlk iki yüklemede herhangi bir çatlak oluşumu gözlemlenmemiştir.
2	1017,58	0.77		
3	2033,35	1.91	1,2,3,4	İlk çatlak oluşumları gözlemlenmiştir. İlk çatlaklar toplamda 4 adettir. Oluşan çatlaklar iki yükleme noktasının arasında ve hizasında sınırlı kalmıştır. Oluşan çatlakların uzunluğu ortalama 9 cm'dir
4	3010,23	5.40	5,6,7,8 9,10,11	Bu yükleme adımında toplamda 7 adet yeni çatlak oluşmuştur. Bu yeni çatlaklardan 2 tanesi sağ ve sol yükleme noktası hizasında kesme çatlağı olarak meydana gelmiştir. Eski çatlaklar 1-4 cm uzamıştır.
5	4070,53	9.18	12,13,14	Bu yükleme adımında toplamda 3 adet yeni çatlak oluşmuştur. Bu yeni çatlaklardan 2 tanesi sağ ve sol yükleme noktası hizasında kesme çatlağı olarak meydana gelmiştir. Eski çatlaklar 1-4 cm uzamıştır. Donatı akma noktasına ulaşmış ve deplasman kontrolüne geçilmiştir.
6	4488,91	14.54		Bu yükleme adımında yeni çatlak oluşumu gözlemlenmemiştir. Çatlaklarda dallanmalar vardır. Eski çatlaklarda uzamalar vardır.
7	4621,6	19.84		Bu yükleme adımında yeni çatlak oluşumu gözlemlenmemiştir. Çatlaklarda dallanmalar vardır. Eski çatlaklarda uzamalar vardır.
8	4741,14	25.70	15	Bu yükleme adımında 1 adet yeni çatlak oluşumu gözlemlenmiştir. Yeni çatlak sağ yükleme noktası ile sağ mesnet arasında meydana gelmiştir. Çatlak

				uzunluğu yaklaşık olarak 12 cm'dir. Eski çatlaklar uzamıştır. Dallanmalar artmıştır.
Çev. No	**Yük (kg)**	**Deplasman (mm)**	**Çatlak No**	**Açıklama**
9	4814,06	29.96		Eski çatlaklarda uzamalar meydana gelmiştir. Kiriş orta bölgesindeki çatlaklar kiriş üst noktasına yaklaşmıştır.
10	4928,81	35.49		Sağ yükleme noktası altındaki çatlaklarda dallanmalar artmıştır.
11	4952,72	40.00		Çatlak genişlikleri artmıştır. Bazı çatlaklarda dallanmalar artmıştır.
12	5006,89	45.04		Sağ yükleme noktasında basınç ezilmesi meydana gelmiştir.
13	5028,89	49.33		Çatlaklarda dallanmalar artmıştır. Çatlak genişlikleri artmıştır.
14	5063,12	56.45		Sağ yükleme noktası hizasındaki çatlak genişliği artmıştır.
15	5002	63.96		Sağ yükleme noktası altındaki basınç ezilmesi büyümüştür.
16	4947,94	75.80		Çatlaklarda dallanmalar meydana gelmiştir. Çatlak genişlikleri artıştır.
17	4861,87	84.34		Sağ yükleme noktası altındaki basınç ezilmesi büyümüştür.
18	4802,1	92.78		Çatlaklarda dallanmalar meydana gelmiştir. Çatlak genişlikleri artıştır.
19	4303,65	96.95		Göçme öncesi durum. Çatlak genişlikleri ileri düzeyde artmıştır.
20	Deney sonu			Sağ yükleme noktası hizasındaki çekme donatısı kopmuştur. Eleman daha fazla deplasman yapamayacağından deneye son verilmiştir.

SCC-F3-S2 deney elemanında ilk çatlaklar 2033,35 kg yük değerinde oluşmuştur. Bu yükleme adımına ait görünüm Şekil 4.101'de görülebilir. İlk çatlaklar iki yükleme noktasının arasında ve yükleme noktalarının arasında meydana gelmiştir. Meydana gelen çatlaklar kirişin çekme bölgesinde oluşmuştur.



Şekil 4.101. SCC-F3-S2 elemanında oluşan ilk çatlaklar

SCC-F3-S2 deney elemanı akma noktasına 4500 kg yük ve 15,13 mm deplasman değerinde ulaşmıştır. Elemanın bu yüklemedeki görüntüsü Şekil 4.102'de görülebilir.



Şekil 4.102. SCC-F3-S2 deney elemanının akma anındaki görüntüsü

SCC-F3-S2 deney elemanının aldığı maksimum yük 4500 kg'dır. Bu yük altındayken yaptığı deplasman değeri 15,13 mm'dir. Bu yükleme adımındaki görüntüsü Şekil 4.103'de görülmektedir.



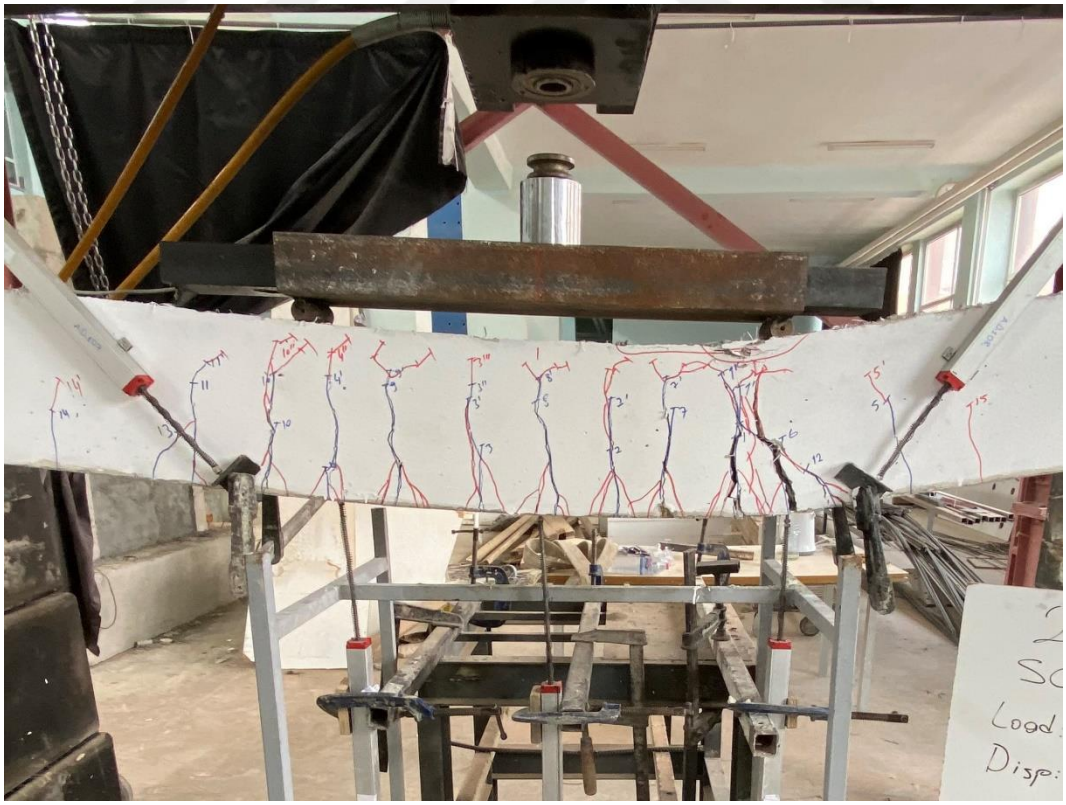
Şekil 4.103. SCC-F3-S2 elemanının maksimum yük altındaki görüntüsü

SCC-F3-S2 deney elemanına yük verme işlemi elemanın kırılmasından sonra son verilmiştir. Sağ yükleme noktasının altında kalan bölgedeki çekme donatısının kırılmasından dolayı deney elemanı daha fazla deplasman yapamayacağından deney sonlandırılmıştır. Deney elemanının deney sonundaki görüntüsü Şekil 4.104'de görülmektedir. Deney sonundaki çatlak dağılımı Şekil 4.105'de görülmektedir.

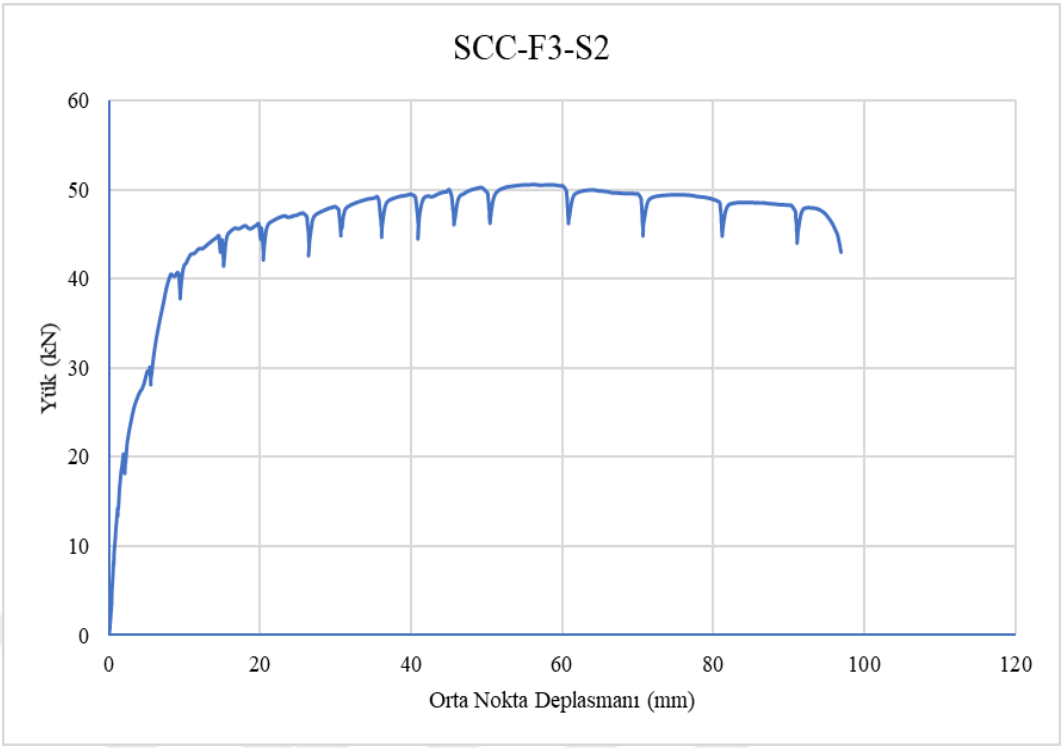
SCC-F-S2 deney elemanına ait orta nokta yük-deplasman grafiği Şekil 4.106'da verilmiştir.



Şekil 4.104. SCC-F3-S2 elemanının deney sonundaki görünümü

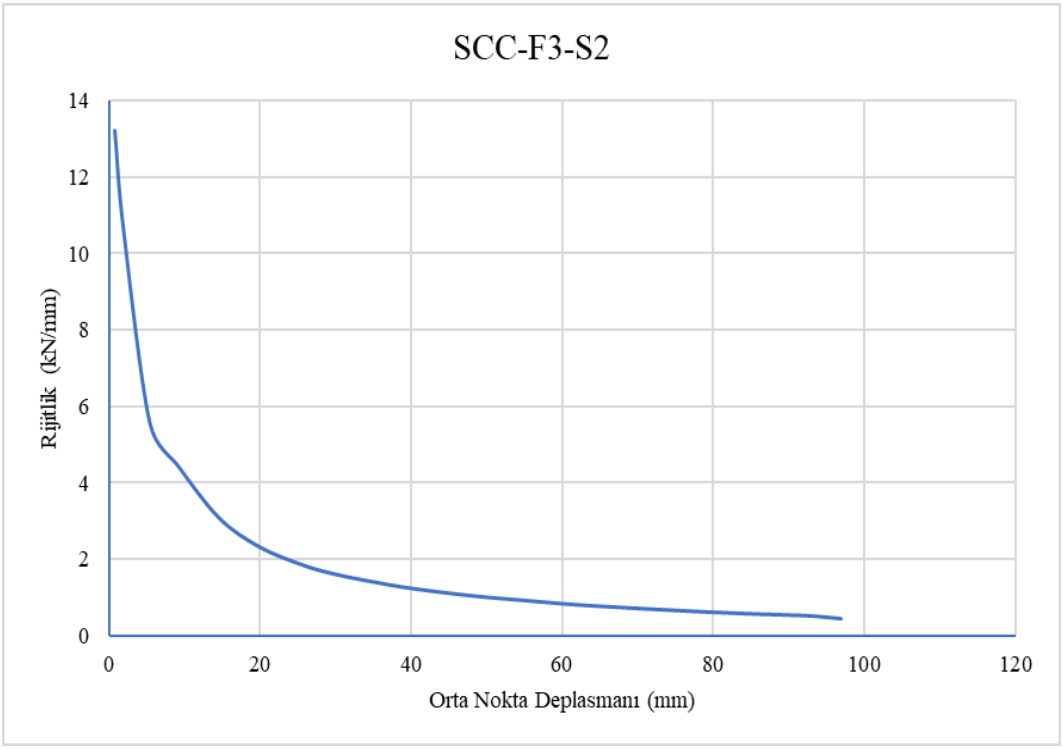


Şekil 4.105. SCC-F3-S2 elemanının deney sonundaki çatlak dağılımı



Şekil 4.106. SCC-F3-S2 elemanına ait yük-deplasman grafiği

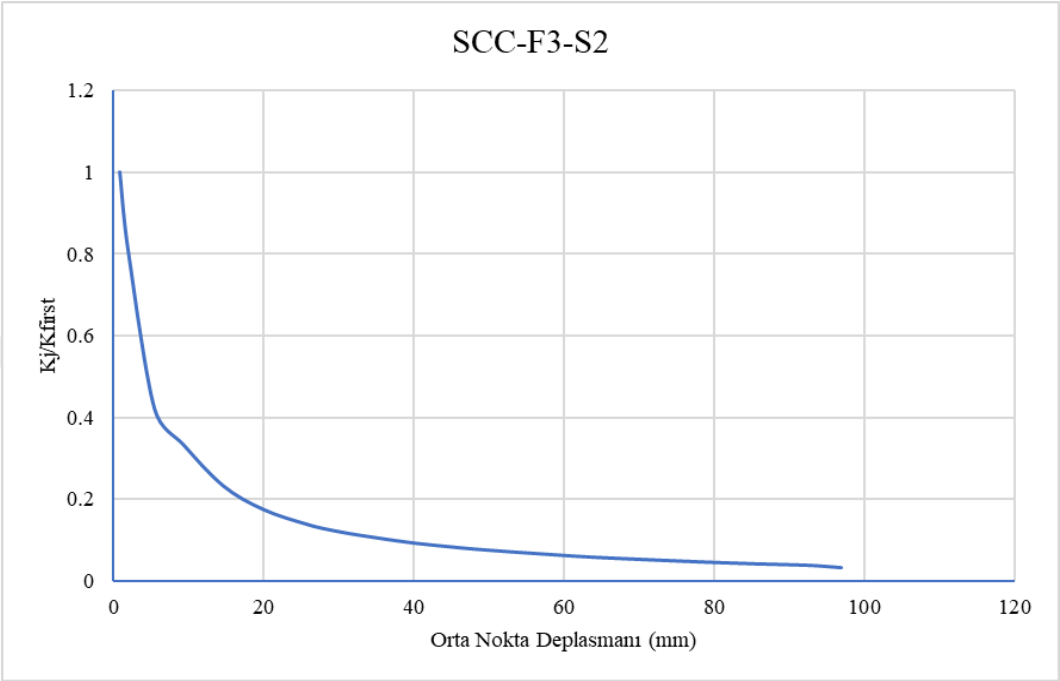
Her bir yüklemedeki yük değerinin, o noktadaki deplasman değerine bölünmesiyle elde edilen rijitlik grafiği Şekil 4.107'de verilmiştir.



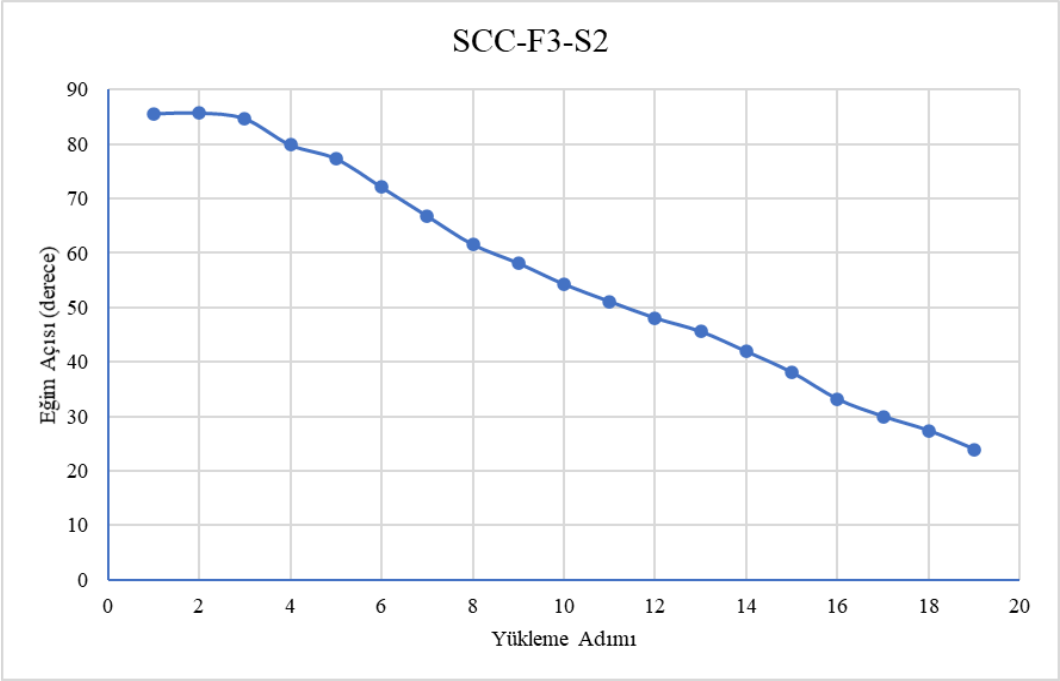
Şekil 4.107. SCC-F3-S2 elemanına ait rijitlik grafiği

Elemanın tüm yüklemelerdeki rijitlik değerinin, ilk yüklemedeki rijitlik değerine bölünmesiyle de K_j/K_{first} grafiği elde edilmiş olup Şekil 4.108'de verilmiştir.

Elemanın davranış özelliklerinde biri olan eğim açısı grafiği Şekil 4.109'da verilmiştir. Elemanın kümülatif tükettiği enerji ise Şekil 4.110'da verilmiştir.



Şekil 4.108. SCC-F3-S2 elemanına ait Kj/Kfirst grafiği



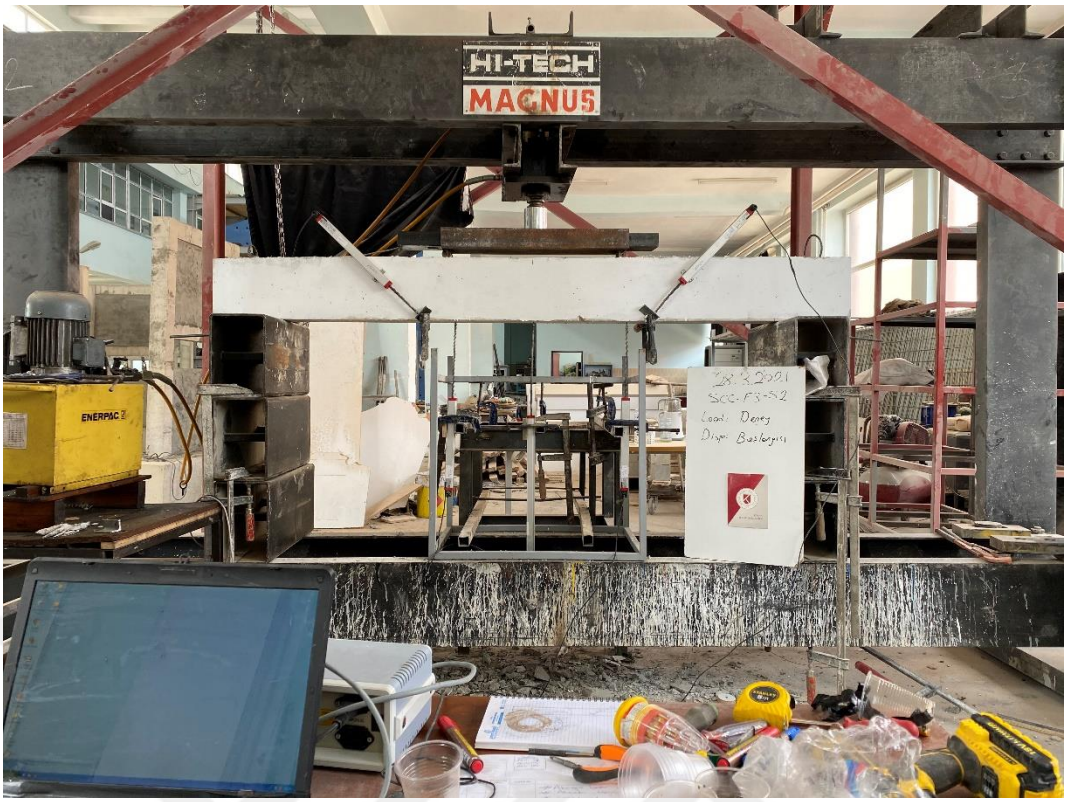
Şekil 4.109. SCC-F3-S2 elemanına ait eğim açısı grafiği



Şekil 4.110. SCC-F3-S2 elemanına ait kümülatif tüketilen enerji grafiği

4.1.11. On birinci deney (SCC-F3-S3)

Bu deney elemanı 10 cm etriye aralığına sahip, içerisinde makro lif katkı maddesi olarak metreküpte 5 kg lif bulunduran kendiliğinden yerleşen beton ile üretilmiş betonarme kiriştir. Deney elemanına ait görüntü Şekil 4.111'de verilmiştir. Deney esnasında uygulanan yüke bağlı olarak oluşan şekil değiştirmeler ve hasarlar Çizelge 4.12'de verilmiştir.



Şekil 4.111. SCC-F3-S3 elemanının ilk görüntüsü

Çizelge 4.12. SCC-F3-S3 elemanının şekil değiştirme ve hasar oluşumları

Çev. No	Yük (kg)	Deplasman (mm)	Çatlak No	Açıklama
1	500,73	0.338		İlk yüklemede herhangi bir çatlak oluşumu gözlemlenmemiştir.
2	1033,45	0.677	1,2,3,4	İlk çatlak oluşumları gözlemlenmiştir. İlk çatlaklar toplamda 4 adettir. Oluşan çatlaklar iki yükleme noktasının arasında ve hizasında sınırlı kalmıştır. Oluşan çatlakların uzunluğu ortalama 11 cm'dir
3	2050,19	1.849	5,6,7,8 9,10,11	Bu yükleme adımında toplamda 7 adet yeni çatlak oluşmuştur. Yeni çatlakların çoğunluğu kiriş orta bölgesinde dağılmıştır. Çatlakların uzunlukları ortalama 13 cm'dir. Eski çatlaklar 1-3 cm uzamıştır.
4	3082,81	4.822	12,13	Bu yükleme adımında toplamda 2 adet yeni çatlak oluşmuştur. Bu yeni çatlaklardan her ikisi de sol yükleme noktası ile sol mesnet arasındadır. Eski çatlaklar 2-3 cm uzamıştır.
5	4266,24	7.889		Bu yükleme adımında yeni çatlak oluşumu gözlemlenmemiştir. Çatlaklarda dallanmalar vardır. Eski çatlaklarda uzamalar vardır. Donatı akma noktasına ulaşmış ve deplasman kontrolüne geçilmiştir.
6	4889,03	14.638		Bu yükleme adımında yeni çatlak oluşumu gözlemlenmemiştir. Çatlaklarda dallanmalar artmıştır. Eski çatlaklarda uzamalar vardır. Sağ yükleme noktası hizasındaki kesme çatlağı uzamıştır.
7	5104,24	20.138		Bu yükleme adımında yeni çatlak oluşumu gözlemlenmemiştir. Çatlaklarda dallanmalar artmıştır. Eski çatlaklar kiriş üst noktasına kadar uzamıştır. Sağ yükleme noktası hizasındaki kesme çatlağı uzamıştır.

Çev. No	Yük (kg)	Deplasman (mm)	Çatlak No	Açıklama
8	5268,06	25.023		Çatlaklarda dallanmalar artmıştır. Çatlak genişlikleri büyümüştür.
9	5387,86	30.447		Çatlaklarda dallanmalar meydana gelmiştir.
10	5490,55	35.307		Çatlak genişlikleri artmıştır. Çatlaklarda uzamalar meydana gelmiştir.
11	5549,23	40.213	14	Bu yükleme adımında 1 adet yeni çatlak oluşmuştur. Yeni çatlak sağ yükleme noktası ile sağ mesnet arasında meydana gelmiştir. Uzunluğu yaklaşık olarak 10 cm'dir.
12	5544,34	43.059		Çatlak genişlikleri artmıştır. Çatlaklarda dallanmalar meydana gelmiştir.
13	5615,24	50.011		Sol yükleme noktası altında basınç ezilmesi meydana gelmiştir.
14	5610,35	54.302		Sol yükleme noktası altındaki basınç ezilmesi büyümüştür. Çatlaklarda genişlemeler meydana gelmiştir.
15	5323,07	63.869		Çatlaklarda dallanmalar meydana gelmiştir.
16	5173,92	74.004		Çatlak genişlikleri artmıştır. Çatlaklarda dallanmalar meydana gelmiştir.
17	5066,35	83.002		Çatlak genişlikleri artmıştır.
18	4772,95	90.492		Göçme öncesi durum. Çatlak genişlikleri ileri düzeyde artmıştır.
19	Deney sonu			Sol yükleme noktası hizasındaki çekme donatısı kopmuştur. Eleman daha fazla deplasman yapamayacağından deneye son verilmiştir.

SCC-F3-S1 deney elemanında ilk çatlaklar 1033,45 kg yük değerinde oluşmuştur. Bu yükleme adımına ait görünüm Şekil 4.112'de görülebilir. İlk çatlaklar iki yükleme noktasının arasında ve yükleme noktalarının arasında meydana gelmiştir. Meydana gelen çatlaklar kirişin çekme bölgesinde oluşmuştur.

SCC-F3-S3 deney elemanı akma noktasına 4211,4 kg yük ve 6,588 mm deplasman değerinde ulaşmıştır. Elemanın bu yüklemedeki görüntüsü Şekil 4.112'de görülebilir.

SCC-F3-S3 deney elemanının aldığı maksimum yük 5615,24 kg'dır. Bu yük altındayken yaptığı deplasman değeri 50,01 mm'dir. Bu yükleme adımındaki görüntüsü Şekil 4.114'de görülmektedir.



Şekil 4.112. SCC-F3-S3 elemanında oluşan ilk çatlaklar



Şekil 4.113. SCC-F3-S3 deney elemanının akma anındaki görüntüsü



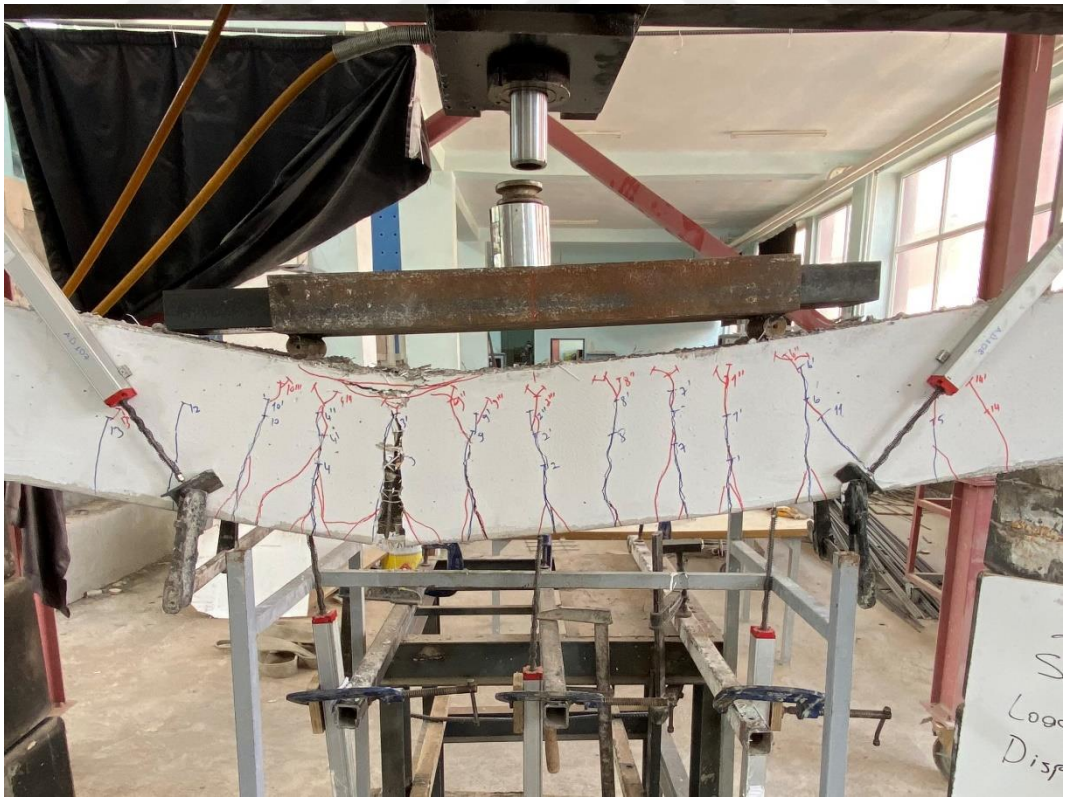
Şekil 4.114. SCC-F3-S3 elemanının maksimum yük altındaki görüntüsü

SCC-F3-S3 deney elemanına yük verme işlemi elemanın kırılmasından sonra son verilmiştir. Sol yükleme noktasının altında kalan bölgedeki çekme donatısının kırılmasından dolayı deney elemanı daha fazla deplasman yapamayacağından deney sonlandırılmıştır. Deney elemanının deney sonundaki görüntüsü Şekil 4.115'de görülmektedir. Deney sonundaki çatlak dağılımı Şekil 4.116'da görülmektedir.

SCC-F-S3 deney elemanına ait orta nokta yük-deplasman grafiği Şekil 4.117'de verilmiştir.



Şekil 4.115. SCC-F3-S3 elemanının deney sonundaki görünümü



Şekil 4.116. SCC-F3-S3 elemanının deney sonundaki çatlak dağılımı



Şekil 4.117. SCC-F3-S3 elemanına ait yük-deplasman grafiği

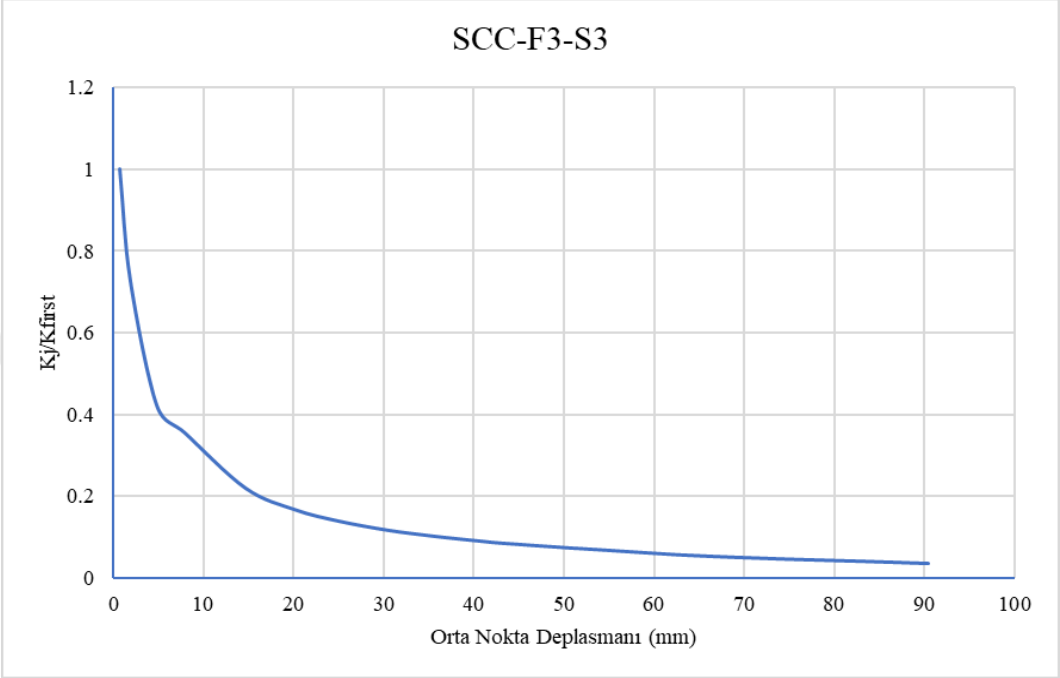
Her bir yüklemedeki yük değerinin, o noktadaki deplasman değerine bölünmesiyle elde edilen rijitlik grafiği Şekil 4.118'de verilmiştir.



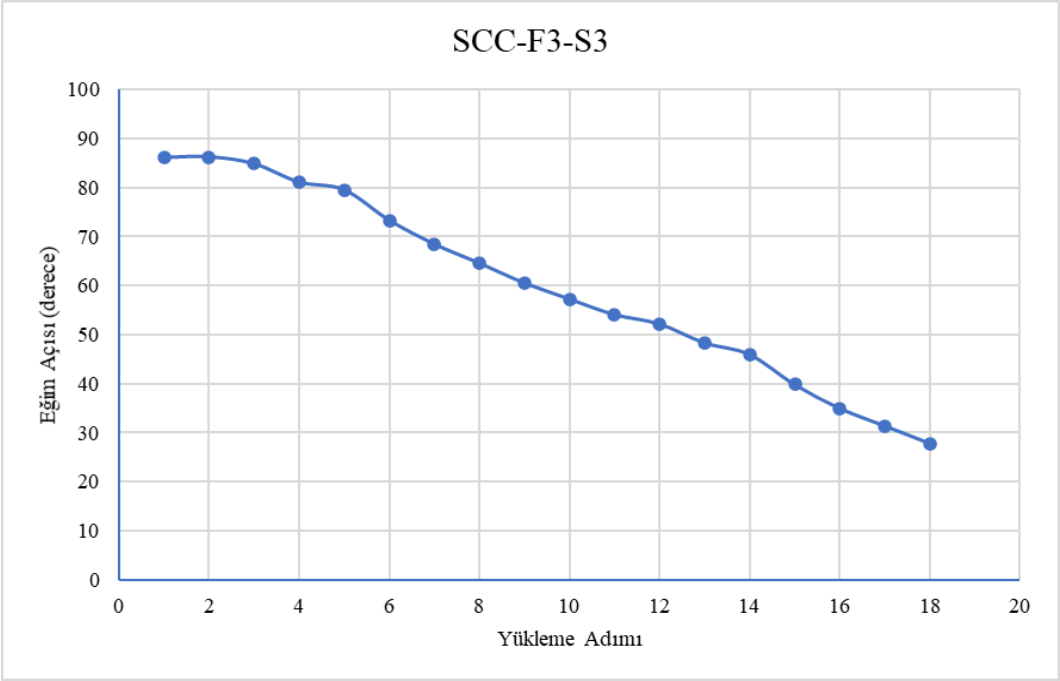
Şekil 4.118. SCC-F3-S3 elemanına ait rijitlik grafiği

Elemanın tüm yüklemelerdeki rijitlik değerinin, ilk yüklemedeki rijitlik değerine bölünmesiyle de K_j/K_{first} grafiği elde edilmiş olup Şekil 4.119'da verilmiştir.

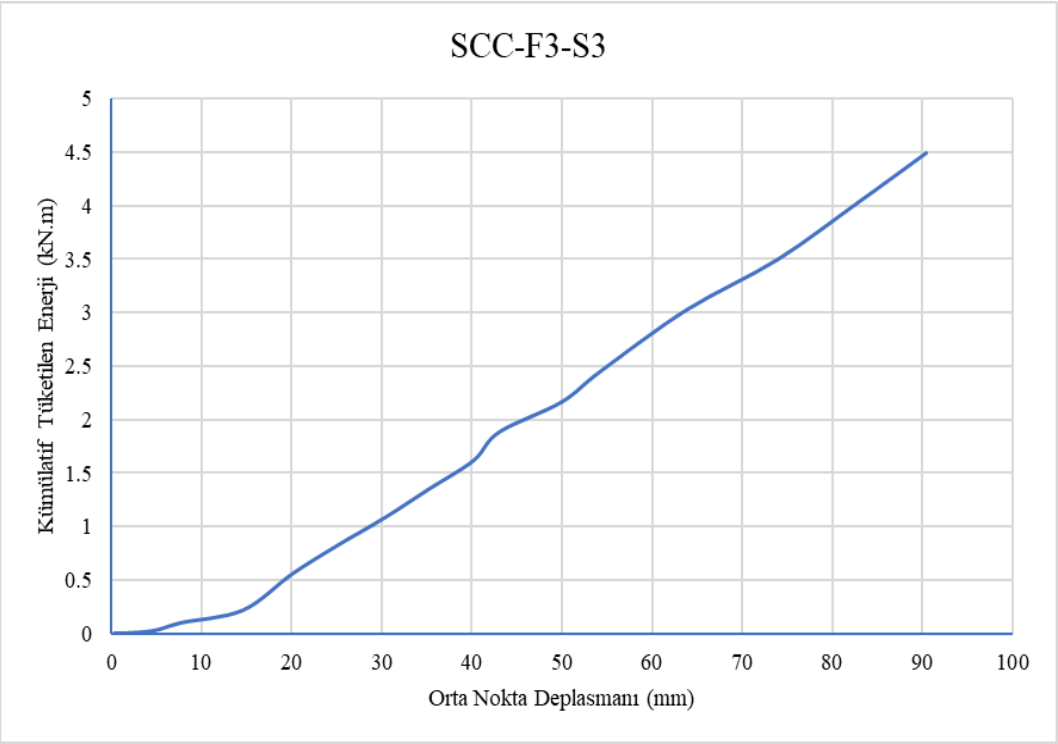
Elemanın davranış özelliklerinde biri olan eğim açısı grafiği Şekil 4.120'de verilmiştir. Elemanın kümülatif tükettiği enerji ise Şekil 4.121'de verilmiştir.



Şekil 4.119. SCC-F3-S3 elemanına ait K_j/K_{first} grafiği



Şekil 4.120. SCC-F3-S3 elemanına ait eğim açısı grafiği



Şekil 4.121. SCC-F3-S3 elemanına ait kümülatif tüketilen enerji grafiği

4.1.12. On ikinci deney (SCC-F3-S4)

Bu deney elemanı 5 cm etriye aralığına sahip, içerisinde makro lif katkı maddesi olarak metreküpte 5 kg lif bulunduran kendiliğinden yerleşen beton ile üretilmiş betonarme kiriştir. Deney elemanına ait görüntü Şekil 4.122'de verilmiştir. Deney esnasında uygulanan yüke bağlı olarak oluşan şekil değiştirmeler ve hasarlar Çizelge 4.13'de verilmiştir.



Şekil 4.122. SCC-F3-S4 elemanının ilk görüntüsü

Çizelge 4.13. SCC-F3-S4 elemanının şekil değiştirme ve hasar oluşumları

Çev. No	Yük (kg)	Deplasman (mm)	Çatlak No	Açıklama
1	524,43	0.369		İlk yüklemede herhangi bir çatlak oluşumu gözlemlenmemiştir.
2	1201,02	0.847	1	İlk çatlak oluşumları gözlemlenmiştir. Oluşan çatlak sol yükleme noktasına yakın olup kiriş orta bölgesindedir. Oluşan çatlağın uzunluğu yaklaşık 6 cm'dir
3	2241	1.571	2,3,4,5 6,7,8,9 10,11	Bu yükleme adımında toplamda 10 adet yeni çatlak oluşmuştur. Yeni çatlakların çoğunluğu kiriş orta bölgesinde dağılmıştır. Çatlakların uzunlukları ortalama 11 cm'dir. Eski çatlak yaklaşık 5 cm uzamıştır.
4	3338,62	4.684	12,13	Bu yükleme adımında toplamda 2 adet yeni çatlak oluşmuştur. Yeni çatlaklar yükleme noktaları ile mesnetler arasındadır. Eski çatlaklar 2-3 cm uzamıştır.
5	4121,59	6.748	14,15	Bu yükleme adımında 2 adet yeni çatlak oluşmuştur. Yeni çatlaklardan bir tanesi sağ yükleme noktası hizasında kesme çatlağı olarak meydana gelmiştir. Çatlaklarda dallanmalar vardır. Eski çatlaklarda uzamalar vardır.
6	4835,24	11.494		Bu yükleme adımında yeni çatlak oluşumu gözlemlenmemiştir. Çatlaklarda dallanmalar artmıştır. Eski çatlaklarda uzamalar vardır. Sağ yükleme noktası hizasındaki kesme çatlağı uzamıştır. Donatı akma noktasına ulaşmış ve deplasman kontrolüne geçilmiştir.
7	5017,45	15.285		Bu yükleme adımında yeni çatlak oluşumu gözlemlenmemiştir. Çatlaklarda dallanmalar artmıştır. Eski çatlaklar kiriş üst noktasına kadar uzamıştır. Çatlak genişlikleri artmıştır.

Çev. No	Yük (kg)	Deplasman (mm)	Çatlak No	Açıklama
8	5209,38	19.954	16	Bu yükleme adımında 1 adet yeni çatlak oluşmuştur. Yeni çatlak sağ yükleme noktası ile sağ mesnet arasında meydana gelmiştir. Uzunluğu yaklaşık olarak 10 cm'dir.
9	5373,19	25.115		Eksi çatlaklarda uzamalar meydana gelmiştir. Çatlaklarda dallanmalar artmıştır.
10	5473,43	30.316		Çatlak genişlikleri artmıştır. Çatlaklarda uzamalar meydana gelmiştir.
11	5593,24	35.515		Çatlaklarda dallanmalar meydana gelmiştir.
12	5648,25	40.145		Çatlaklarda uzamalar meydana gelmiştir. Çatlak genişlikleri artmıştır.
13	5704,48	45.051		Kiriş orta bölgesinde basınç çatlakları oluşmaya başlamıştır.
14	5710,59	50.496	17	Bu yükleme adımında 1 adet yeni çatlak oluşmuştur. Sağ yükleme noktası altında basınç ezilmesi oluşmuştur.
15	5791,28	58.91		Kiriş orta bölgesinde basınç çatlakları oluşmuştur.
16	5768,05	66.568		Sol yükleme noktası altında basınç ezilmesi meydana gelmiştir.
17	5722,82	76.196		Kiriş orta bölgesi basınç çatlakları artmıştır.
18	5464,88	84.702		Çatlaklarda dallanmalar meydana gelmiştir.
19	5228,94	93.838		Çatlak genişlikleri artmıştır.
20	4922,58	101.206		Göçme öncesi durum. Çatlak genişlikleri ileri düzeyde artmıştır.
21	Deney sonu			Kiriş orta bölgesinde çekme donatısı kopmuştur. Eleman daha fazla deplasman yapamayacağından deneye son verilmiştir.

SCC-F3-S4 deney elemanında ilk çatlaklar 1201,02 kg yük değerinde oluşmuştur. Bu yükleme adımına ait görünüm Şekil 4.123'de görülebilir. İlk çatlak iki yükleme noktasının arasında ve yükleme noktalarının arasında meydana gelmiştir. Meydana gelen çatlaklar kirişin çekme bölgesinde oluşmuştur.

SCC-F3-S4 deney elemanı akma noktasına 4343,4 kg yük ve 7,11 mm deplasman değerinde ulaşmıştır. Elemanın bu yüklemedeki görüntüsü Şekil 4.124'de görülebilir.

SCC-F3-S4 deney elemanının aldığı maksimum yük 5791,28 kg'dır. Bu yük altındayken yaptığı deplasman değeri 58,91 mm'dir. Bu yükleme adımındaki görüntüsü Şekil 4.125'de görülmektedir.



Şekil 4.123. SCC-F3-S4 elemanında oluşan ilk çatlaklar



Şekil 4.124. SCC-F3-S4 deney elemanının akma anındaki görüntüsü



Şekil 4.125. SCC-F3-S4 elemanının maksimum yük altındaki görüntüsü

SCC-F3-S4 deney elemanına yük verme işlemi elemanın kırılmasından sonra son verilmiştir. Kiriş orta noktasındaki bölgede çekme donatısının kırılmasından dolayı deney elemanı daha fazla deplasman yapamayacağından deney sonlandırılmıştır. Deney elemanının deney sonundaki görüntüsü Şekil 4.126'da görülmektedir. Deney sonundaki çatlak dağılımı Şekil 4.127'de görülmektedir.

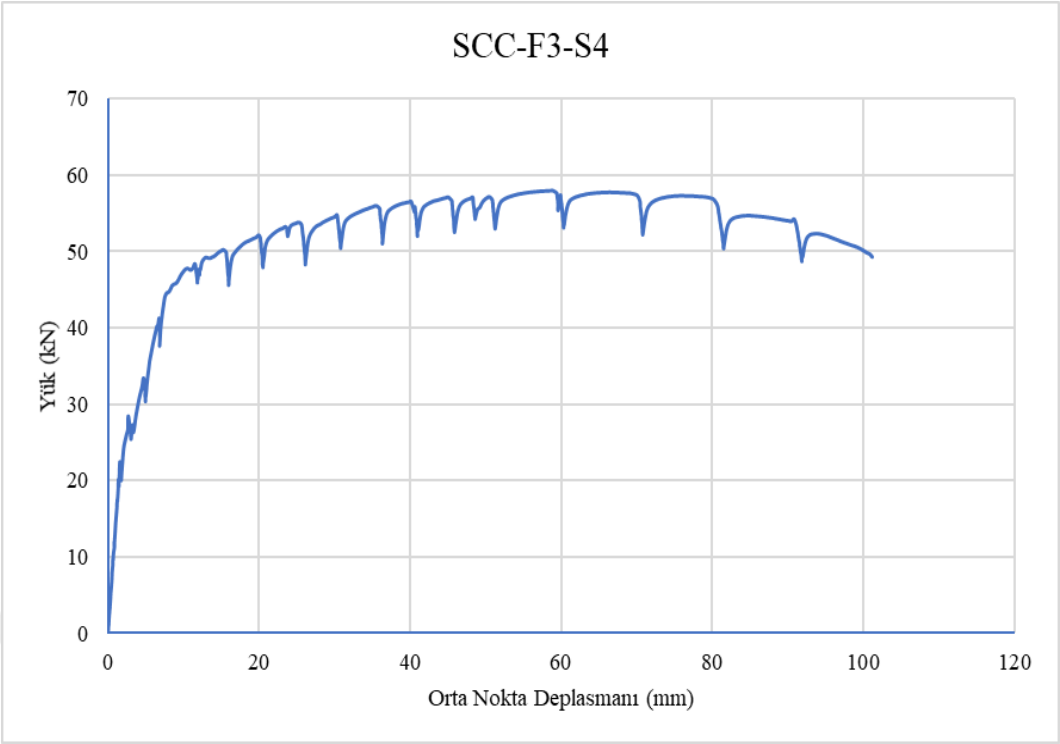
SCC-F3-S4 deney elemanına ait orta nokta yük-deplasman grafiği Şekil 4.128'de verilmiştir.



Şekil 4.126. SCC-F3-S4 elemanının deney sonundaki görünümü

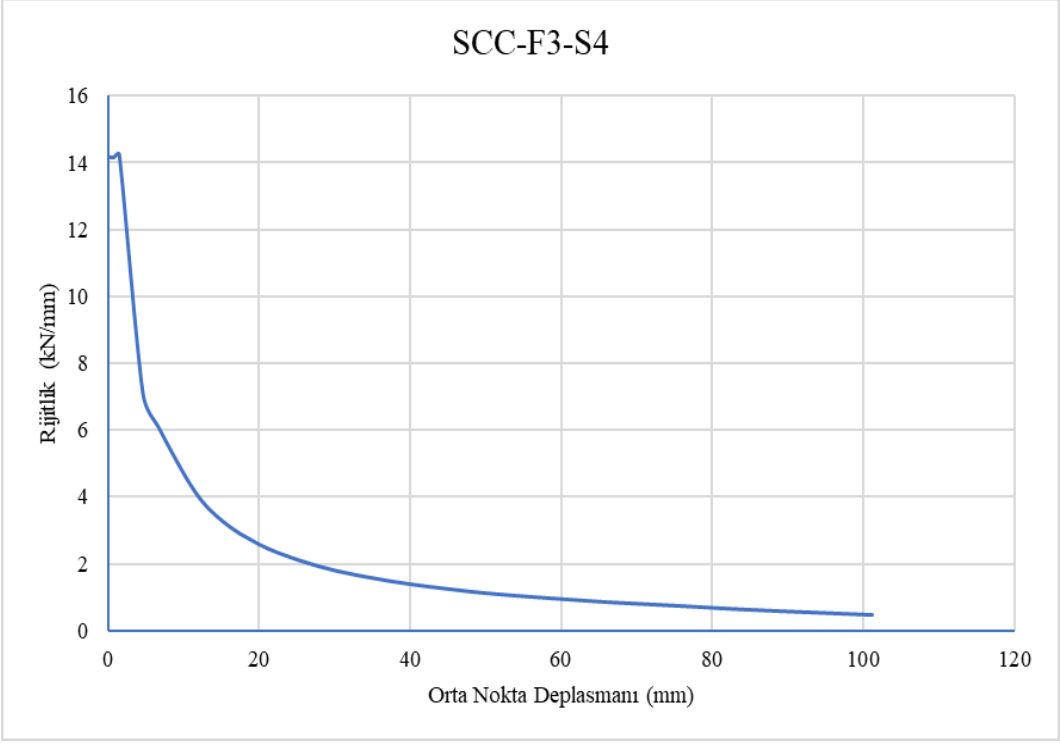


Şekil 4.127. SCC-F3-S4 elemanının deney sonundaki çatlak dağılımı



Şekil 4.128. SCC-F3-S4 elemanına ait yük-deplasman grafiği

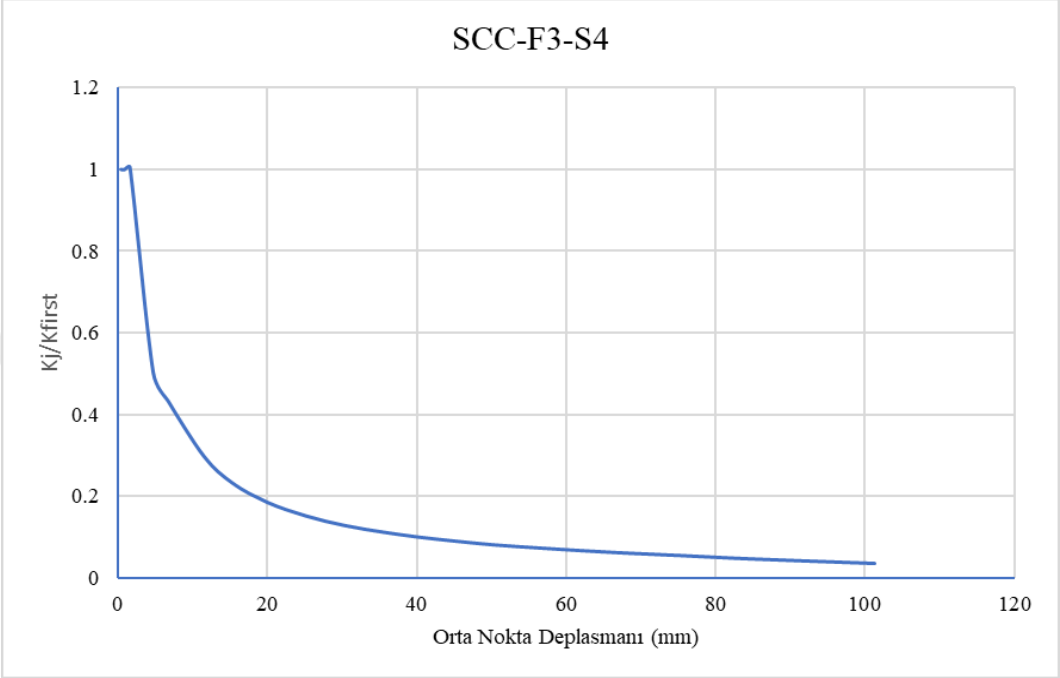
Her bir yüklemedeki yük değerinin, o noktadaki deplasman değerine bölünmesiyle elde edilen rijitlik grafiği Şekil 4.129'da verilmiştir.



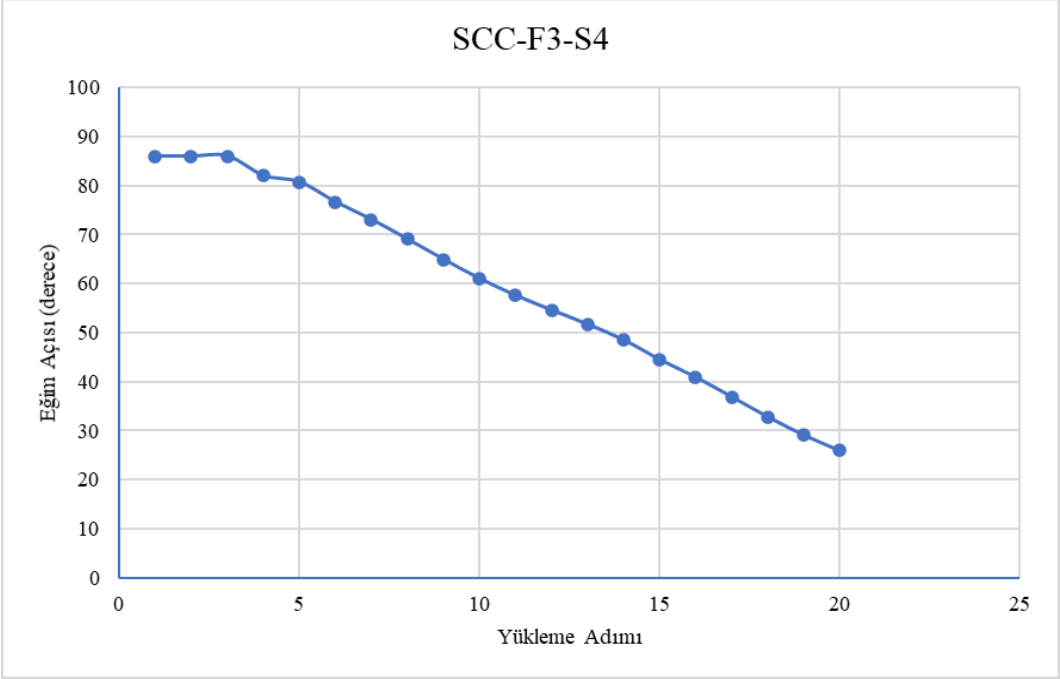
Şekil 4.129. SCC-F3-S4 elemanına ait rijitlik grafiği

Elemanın tüm yüklemelerdeki rijitlik değerinin, ilk yüklemedeki rijitlik değerine bölünmesiyle de K_j/K_{first} grafiği elde edilmiş olup Şekil 4.130'da verilmiştir.

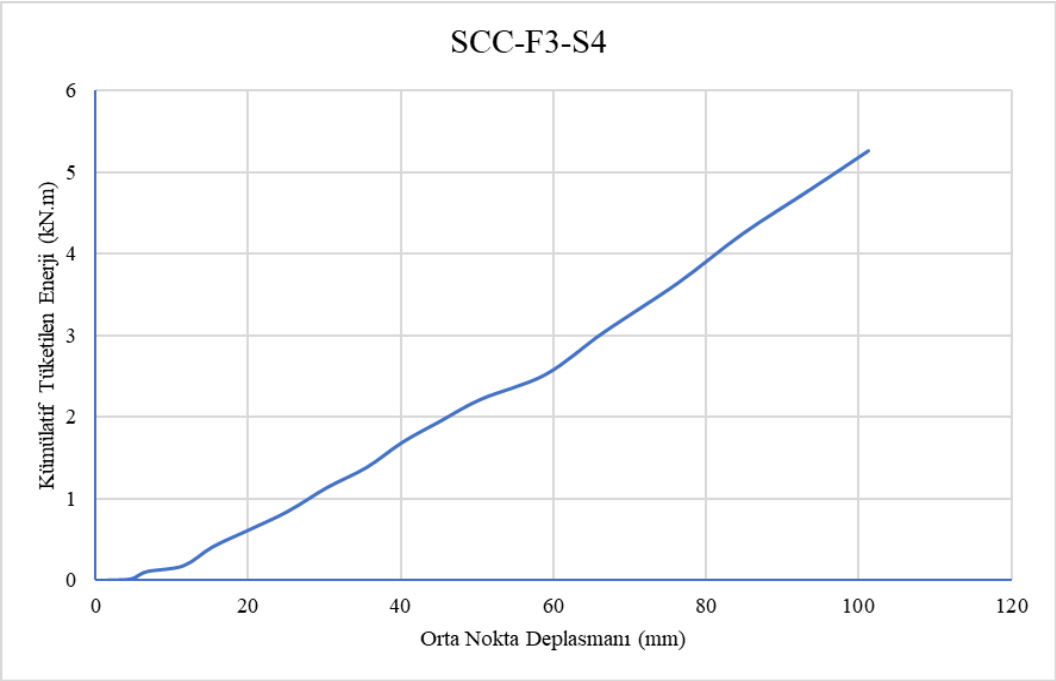
Elemanın davranış özelliklerinde biri olan eğim açısı grafiği Şekil 4.131'de verilmiştir. Elemanın kümülatif tükettiği enerji ise Şekil 4.132'de verilmiştir.



Şekil 4.130. SCC-F3-S4 elemanına ait K_j/K_{first} grafiği



Şekil 4.131. SCC-F3-S4 elemanına ait eğim açısı grafiği



Şekil 4.132. SCC-F3-S4 elemanına ait kümülatif tüketilen enerji grafiği

4.1.13. On üçüncü deney (SCC-F4-S1)

Bu deney elemanı bünyesinde etriye bulundurmayan fakat içerisinde makro lif katkı maddesi olarak metreküpte 10 kg lif bulunduran kendiliğinden yerleşen beton ile üretilmiş betonarme kiriştir. Deney elemanına ait görüntü Şekil 4.133'de verilmiştir. Deney esnasında uygulanan yüke bağlı olarak oluşan şekil değiştirmeler ve hasarlar Çizelge 4.14'de verilmiştir.



Şekil 4.133. SCC-F4-S1 elemanının ilk görüntüsü

Çizelge 4.14. SCC-F4-S1 elemanının şekil değiştirme ve hasar oluşumları

Çev. No	Yük (kg)	Deplasman (mm)	Çatlak No	Açıklama
1	572,43	0.893		İlk yüklemede herhangi bir çatlak oluşumu gözlemlenmemiştir.
2	1474,85	3.482	1,2,3,4 5,6,7	İlk çatlak oluşumları gözlemlenmiştir. İlk çatlaklar toplamda 7 adettir. Oluşan çatlaklar iki yükleme noktasının arasında ve hizasında sınırlı kalmıştır. Oluşan çatlakların uzunluğu ortalama 7 cm'dir
3	2145,21	5.793	8,9,10,11	Bu yükleme adımında toplamda 4 adet yeni çatlak oluşmuştur. Bu yeni çatlaklardan 1 tanesi sağ yükleme noktası hizasında kesme çatlağı olarak meydana gelmiştir. Eski çatlaklar 1-4 cm uzamıştır.
4	3115,86	9.137	12,13	Bu yükleme adımında toplamda 2 adet yeni çatlak oluşmuştur. Bu yeni çatlaklardan 1 tanesi sol yükleme noktası hizasında kesme çatlağı olarak meydana gelmiştir. Eski çatlaklar 1-2 cm uzamıştır.
5	4013,49	13.220	14,15	Bu yükleme adımında toplamda 2 adet yeni çatlak oluşmuştur. Bu yeni çatlaklar yükleme noktaları ile mesnetler arasında meydana gelmiştir. Eski çatlaklar 1-2 cm uzamıştır. Çatlaklarda dallanmalar meydana gelmiştir. Donatı akma noktasına ulaşmış ve deplasman kontrolüne geçilmiştir.
6	4411,41	19.707	16	Bu yükleme adımında toplamda 1 adet yeni çatlak oluşmuştur. Bu yeni çatlak sağ yükleme noktası ile sağ mesnet arasında meydana gelmiştir. Eski çatlaklarda dallanmalar meydana gelmiştir. Eski çatlaklar 1-4 cm uzamıştır. Kiriş orta bölgesinde basınç çatlakları oluşmuştur.

Çev. No	Yük (kg)	Deplasman (mm)	Çatlak No	Açıklama
7	4544,90	24.298	17,18	Bu yükleme adımında 2 adet yeni çatlak oluşmuştur. Yeni çatlaklardan bir tanesi kiriş orta bölgesinde meydana gelirken diğer çatlak sol yükleme noktası ile sol mesnet arasında meydana gelmiştir. Çatlaklarda dallanmalar vardır. Eski çatlaklarda uzamalar vardır.
8	4657,86	29.650		Sağ ve sol yükleme noktaları hizasındaki kesme çatlakları kiriş üst noktasına kadar uzamışlardır.
9	4747,71	35.479		Çatlaklar genişlemiştir. Çatlaklarda dallanmalar artmıştır.
10	4742,58	39.832	19	Bu yükleme adımında 1 adet yeni çatlak oluşmuştur. Yeni çatlak sağ yükleme noktası ile sağ mesnet arasında meydana gelmiştir. Yeni çatlak yaklaşık 15 cm'dir. Eski çatlaklarda dallanmalar oluşmuştur.
11	4804,19	44.523		Sağ yükleme noktası hizasındaki kesme çatlağı kiriş üst noktasına kadar uzamıştır. Eski çatlaklarda uzamalar meydana gelmiştir.
12	4843,55	49.999	20	Bu yükleme adımında 1 adet yeni çatlak oluşmuştur. Yeni çatlak sol yükleme noktası ile sol mesnet arasında meydana gelmiştir. Çatlağın uzunluğu yaklaşık 15 cm'dir. Sol yükleme noktasının altında basınç ezilmesi meydana gelmiştir.
13	4901,75	60.381		Kiriş orta bölgesinde basınç çatlakları oluşmuştur. Çatlak genişlikleri artmıştır.
14	4923,14	66.979	21	Bu yükleme adımında 1 adet yeni çatlak oluşmuştur. Yeni çatlak sol yükleme noktası hizasında meydana gelmiştir. Çatlağın uzunluğu yaklaşık 17 cm'dir. Sağ yükleme noktasının altında basınç ezilmesi meydana gelmiştir.
15	4926,56	79.560		Basınç çatlakları artmıştır. Çatlak genişlikleri büyümüştür. Çatlaklarda dallanmalar artmıştır.
16	4942,82	89.173		Çatlak genişlikleri büyümüştür. Basınç çatlakları büyümüştür.
17	4955,66	93.956		Sol yükleme noktası altındaki basınç ezilmesi alanı büyümüştür. Çatlak genişlikleri artmıştır.
18	4748,56	105.877		Çatlak genişlikleri büyümüştür. Basınç çatlakları büyümüştür.
19	4720,33	112.675		Çatlaklarda dallanmalar artmıştır. Çatlak genişlikleri artmıştır.
20	4212,31	122.15		Göçme öncesi durum. Çatlak genişlikleri ileri düzeyde artmıştır.
21	Deney sonu			Sol yükleme noktası hizasındaki çekme donatısı kopmuştur. Eleman daha fazla deplasman yapamayacağından deneye son verilmiştir.

SCC-F4-S1 deney elemanında ilk çatlaklar 1474,85 kg yük değerinde oluşmuştur. Bu yükleme adımına ait görünüm Şekil 4.134'de görülebilir. İlk çatlaklar iki yükleme noktasının arasında ve yükleme noktalarının arasında meydana gelmiştir. Meydana gelen çatlaklar kirişin çekme bölgesinde oluşmuştur.



Şekil 4.134. SCC-F4-S1 elemanında oluşan ilk çatlaklar

SCC-F4-S1 deney elemanı akma noktasına 3716,7 kg yük ve 10,9 mm deplasman değerinde ulaşmıştır. Elemanın bu yüklemedeki görüntüsü Şekil 4.135'de görülebilir.



Şekil 4.135. SCC-F4-S1 deney elemanının akma anındaki görüntüsü

SCC-F4-S1 deney elemanının aldığı maksimum yük 4955,6 kg'dır. Bu yük altındayken yaptığı deplasman değeri 93,95 mm'dir. Bu yükleme adımındaki görüntüsü Şekil 4.136'da görülmektedir.



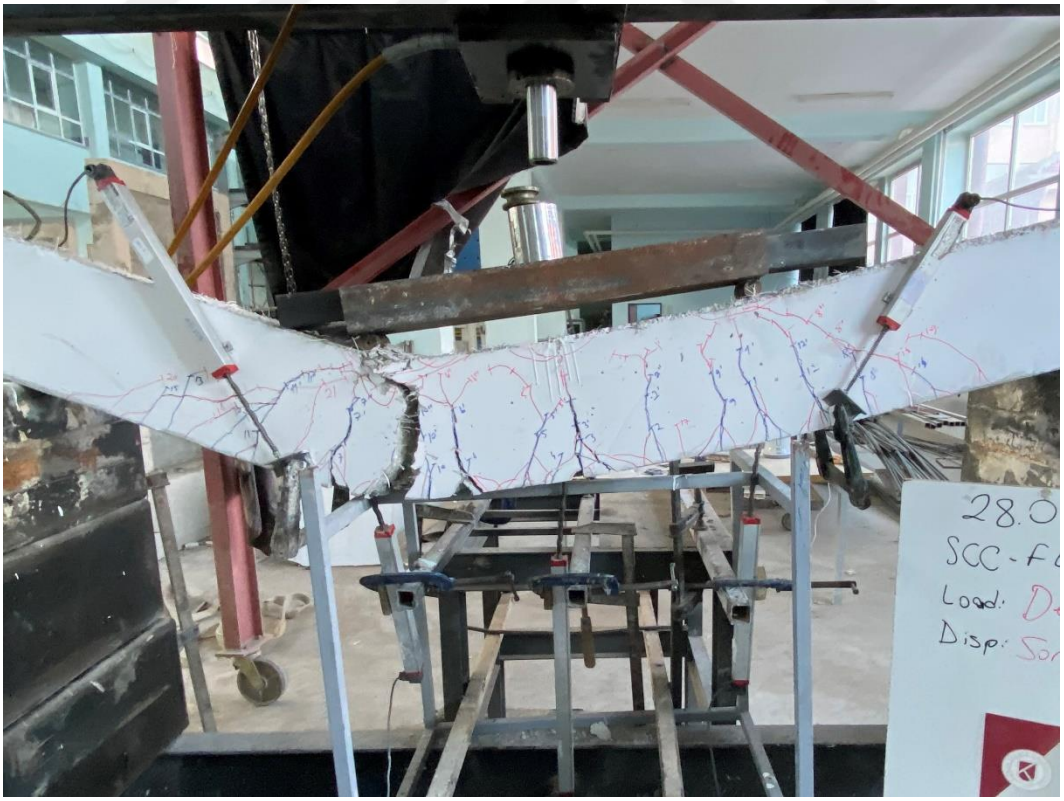
Şekil 4.136. SCC-F4-S1 elemanının maksimum yük altındaki görüntüsü

SCC-F4-S1 deney elemanına yük verme işlemi elemanın kırılmasından sonra son verilmiştir. Kiriş orta noktasındaki bölgede çekme donatısının kırılmasından dolayı deney elemanı daha fazla deplasman yapamayacağından deney sonlandırılmıştır. Deney elemanının deney sonundaki görüntüsü Şekil 4.137'de görülmektedir. Deney sonundaki çatlak dağılımı Şekil 4.138'de görülmektedir.

SCC-F4-S1 deney elemanına ait orta nokta yük-deplasman grafiği Şekil 4.139'da verilmiştir.



Şekil 4.137. SCC-F4-S1 elemanının deney sonundaki görünümü



Şekil 4.138. SCC-F4-S1 elemanının deney sonundaki çatlak dağılımı



Şekil 4.139. SCC-F4-S1 elemanına ait yük-deplasman grafiği

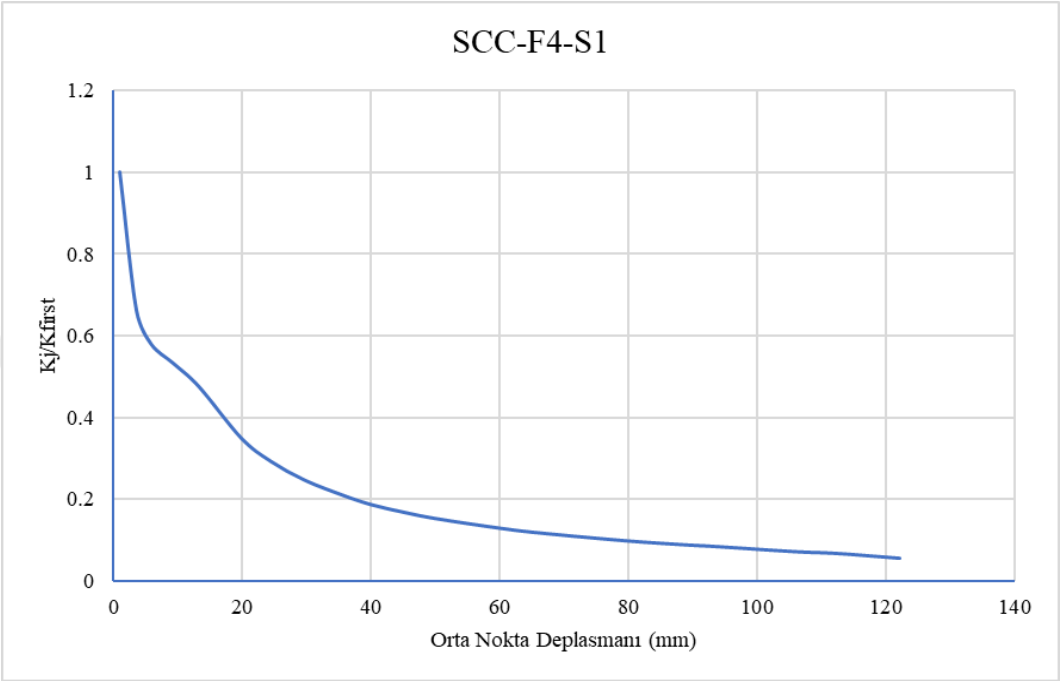
Her bir yüklemedeki yük değerinin, o noktadaki deplasman değerine bölünmesiyle elde edilen rijitlik grafiği Şekil 4.140'da verilmiştir.



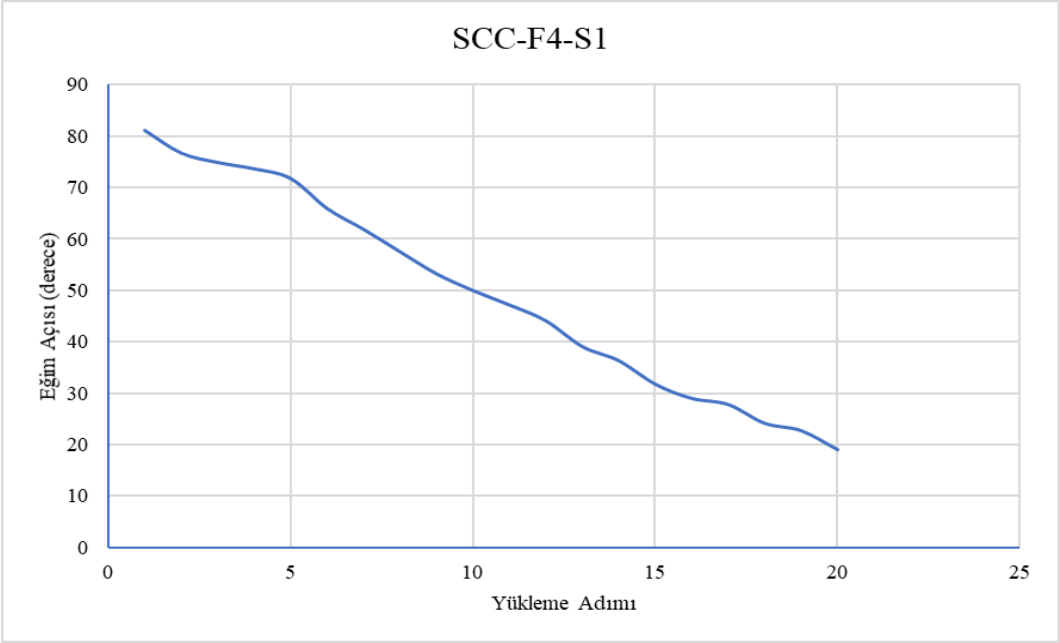
Şekil 4.140. SCC-F4-S1 elemanına ait rijitlik grafiği

Elemanın tüm yüklemelerdeki rijitlik değerinin, ilk yüklemedeki rijitlik değerine bölünmesiyle de K_j/K_{first} grafiği elde edilmiş olup Şekil 4.141'de verilmiştir.

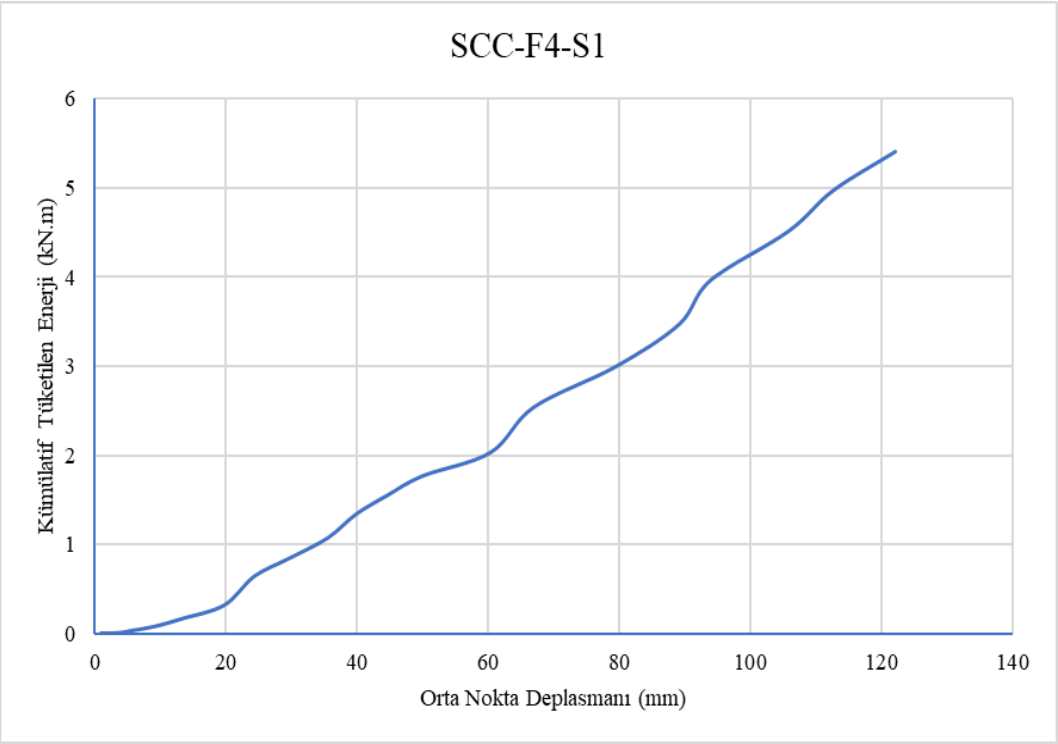
Elemanın davranış özelliklerinde biri olan eğim açısı grafiği Şekil 4.142'de verilmiştir. Elemanın kümülatif tükettiği enerji ise Şekil 4.143'de verilmiştir.



Şekil 4.141. SCC-F4-S1 elemanına ait K_j/K_{first} grafiği



Şekil 4.142. SCC-F4-S1 elemanına ait eğim açısı grafiği



Şekil 4.143. SCC-F4-S1 elemanına ait kümülatif tüketilen enerji grafiği

4.1.14. On dördüncü deney (SCC-F4-S2)

Bu deney elemanı 20 cm etriye aralığına sahip, içerisinde makro lif katkı maddesi olarak metreküpte 10 kg lif bulunduran kendiliğinden yerleşen beton ile üretilmiş betonarme kiriştir. Deney elemanına ait görüntü Şekil 4.144'de verilmiştir. Deney esnasında uygulanan yüke bağlı olarak oluşan şekil değiştirmeler ve hasarlar Çizelge 4.15'de verilmiştir.



Şekil 4.144. SCC-F4-S2 elemanının ilk görüntüsü

Çizelge 4.15. SCC-F4-S2 elemanının şekil değiştirme ve hasar oluşumları

Çev. No	Yük (kg)	Deplasman (mm)	Çatlak No	Açıklama
1	502,21	0.400		İlk iki yüklemede herhangi bir çatlak oluşumu gözlemlenmemiştir.
2	1405,4	1.201		
3	2097,27	2.080	1,2,3,4	İlk çatlak oluşumları gözlemlenmiştir. İlk çatlaklar toplamda 4 adettir. Çatlaklar kiriş orta bölgesinde iki yükleme noktası arasında meydana gelmiştir. Çatlakların uzunlukları ortalama 10 cm'dir.
4	3295,59	5.855	5,6,7,8 9,10,11	Bu yükleme adımında toplamda 7 adet yeni çatlak oluşmuştur. Yeni çatlakların çoğunluğu kiriş orta bölgesinde dağılmıştır. Çatlakların uzunlukları ortalama 14 cm'dir. Eski çatlak yaklaşık 5 cm uzamıştır.
5	4342,74	8.317	12	Bu yükleme adımında 1 adet yeni çatlak oluşmuştur. Yeni çatlak sağ yükleme noktası hizasında meydana gelmiştir. Çatlaklarda dallanmalar vardır. Eski çatlaklarda uzamalar vardır. Donatı akma noktasına ulaşmış ve deplasman kontrolüne geçilmiştir.
6	4847,19	15.253	13	Bu yükleme adımında 1 adet yeni çatlak oluşmuştur. Yeni çatlak sağ yükleme noktası hizasında kesme çatlağı olarak meydana gelmiştir. Çatlaklarda dallanmalar vardır. Eski çatlaklarda uzamalar vardır.
7	5011,33	19.990	14,15	Bu yükleme adımında 2 adet yeni çatlak oluşmuştur. Yeni çatlaklar yükleme noktaları ile mesnetler arasında meydana gelmiştir. Yeni çatlakların uzunlukları yaklaşık 11 cm'dir. Çatlaklarda dallanmalar vardır. Eski çatlaklarda kiriş üst noktasına kadar uzamalar meydana gelmiştir.

Çev. No	Yük (kg)	Deplasman (mm)	Çatlak No	Açıklama
8	5187,37	25.574		Çatlaklarda dallanmalar meydana gelmiştir. Eski çatlaklarda uzamalar vardır.
9	5265,61	29.972		Çatlak genişlikleri artmıştır. Eski çatlaklarda dallanmalar meydana gelmiştir.
10	5353,63	34.387		Eski çatlaklarda uzamalar meydana gelmiştir. Çatlak genişlikleri artmıştır.
11	5439,2	40.139		Kiriş orta bölgesinde basınç çatlağı oluşmuştur. Çatlaklarda dallanmalar meydana gelmiştir.
12	5472,21	45.876		Çatlaklarda dallanmalar meydana gelmiştir.
13	5486,88	50.013		Çatlaklar genişlemiş. Çatlaklarda dallanmalar meydana gelmiştir.
14	5511,33	55.443		Eski çatlaklarda 2-3 cm uzamalar meydana gelmiştir.
15	5444,09	67.439		Çatlaklar genişlemiştir.
16	5433,09	75.53		Kiriş orta bölgesinde basınç çatlakları artmıştır.
17	5390,3	84.450		Çatlak genişlikleri artmıştır. Basınç çatlakları artmıştır.
18	5335,29	94.755		Kiriş orta bölgesinde basınç çatlakları artmıştır.
19	5235,05	101.44		Çatlaklar genişlemiş. Çatlaklarda dallanmalar meydana gelmiştir.
20	4684,63	105.52		Göçme öncesi durum. Çatlak genişlikleri ileri düzeyde artmıştır.
21	Deney sonu			Kiriş orta bölgesinde çekme donatısı kopmuştur. Eleman daha fazla deplasman yapamayacağından deneye son verilmiştir.

SCC-F4-S2 deney elemanında ilk çatlaklar 2097,27 kg yük değerinde oluşmuştur. Bu yükleme adımına ait görünüm Şekil 4.145'de görülebilir. İlk çatlaklar iki yükleme noktasının arasında ve yükleme noktalarının arasında meydana gelmiştir. Meydana gelen çatlaklar kirişin çekme bölgesinde oluşmuştur.



Şekil 4.145. SCC-F4-S2 elemanında oluşan ilk çatlaklar

SCC-F4-S2 deney elemanı akma noktasına 4115 kg yük ve 7,31 mm deplasman değerinde ulaşmıştır. Elemanın bu yüklemedeki görüntüsü Şekil 4.146'da görülebilir.



Şekil 4.146. SCC-F4-S2 deney elemanının akma anındaki görüntüsü

SCC-F4-S2 deney elemanının aldığı maksimum yük 5486,88 kg'dır. Bu yük altındayken yaptığı deplasman değeri 50,01 mm'dir. Bu yükleme adımındaki görüntüsü Şekil 4.147'de görülmektedir.



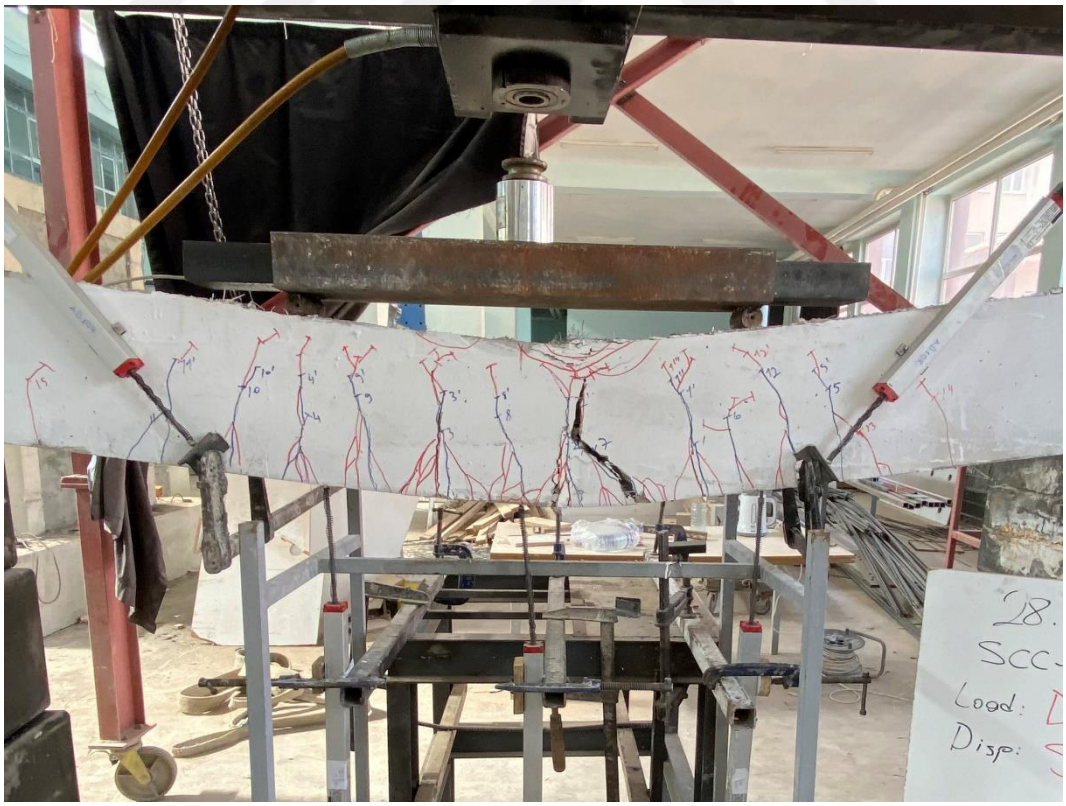
Şekil 4.147. SCC-F4-S2 elemanının maksimum yük altındaki görüntüsü

SCC-F4-S2 deney elemanına yük verme işlemi elemanın kırılmasından sonra son verilmiştir. Kiriş orta noktasındaki bölgede çekme donatısının kırılmasından dolayı deney elemanı daha fazla deplasman yapamayacağından deney sonlandırılmıştır. Deney elemanının deney sonundaki görüntüsü Şekil 4.148'da görülmektedir. Deney sonundaki çatlak dağılımı Şekil 4.149'da görülmektedir.

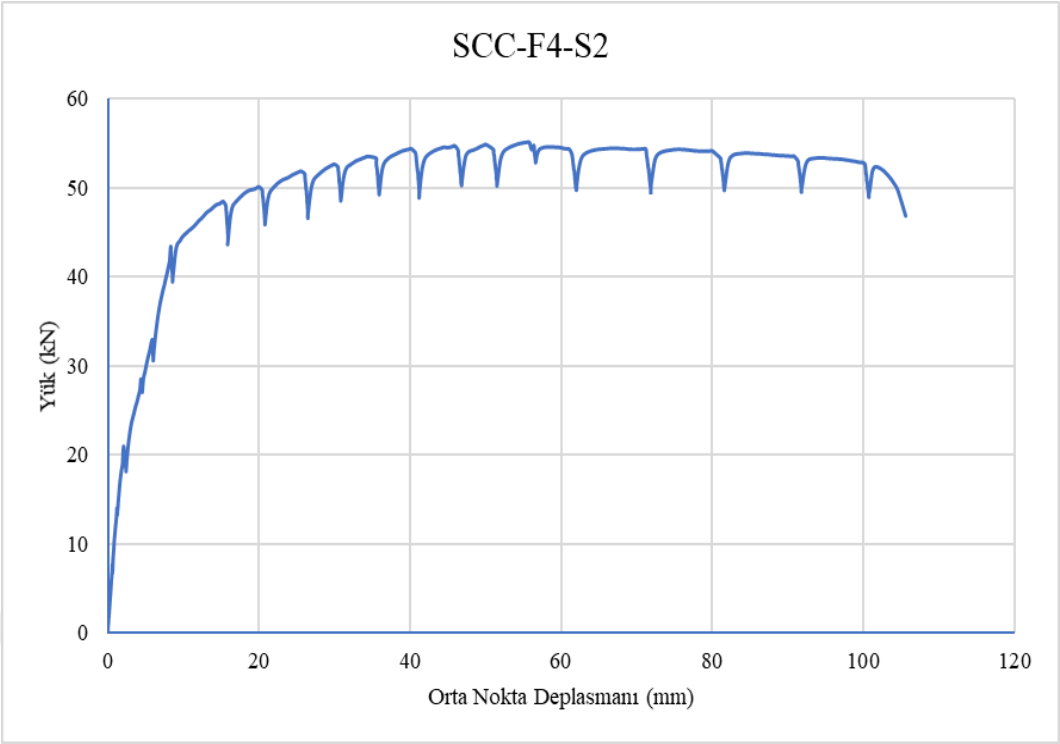
SCC-F4-S2 deney elemanına ait orta nokta yük-deplasman grafiği Şekil 4.150'de verilmiştir.



Şekil 4.148. SCC-F4-S2 elemanının deney sonundaki görünümü



Şekil 4.149. SCC-F4-S2 elemanının deney sonundaki çatlak dağılımı



Şekil 4.150. SCC-F4-S2 elemanına ait yük-deplasman grafiği

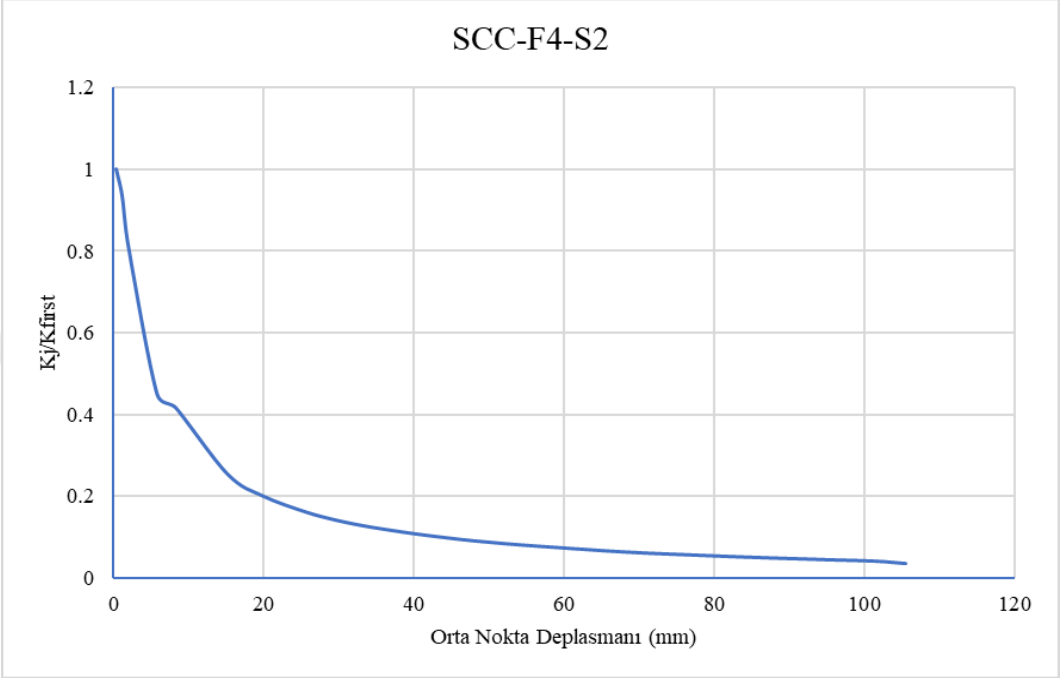
Her bir yüklemedeki yük değerinin, o noktadaki deplasman değerine bölünmesiyle elde edilen rijitlik grafiği Şekil 4.151'de verilmiştir.



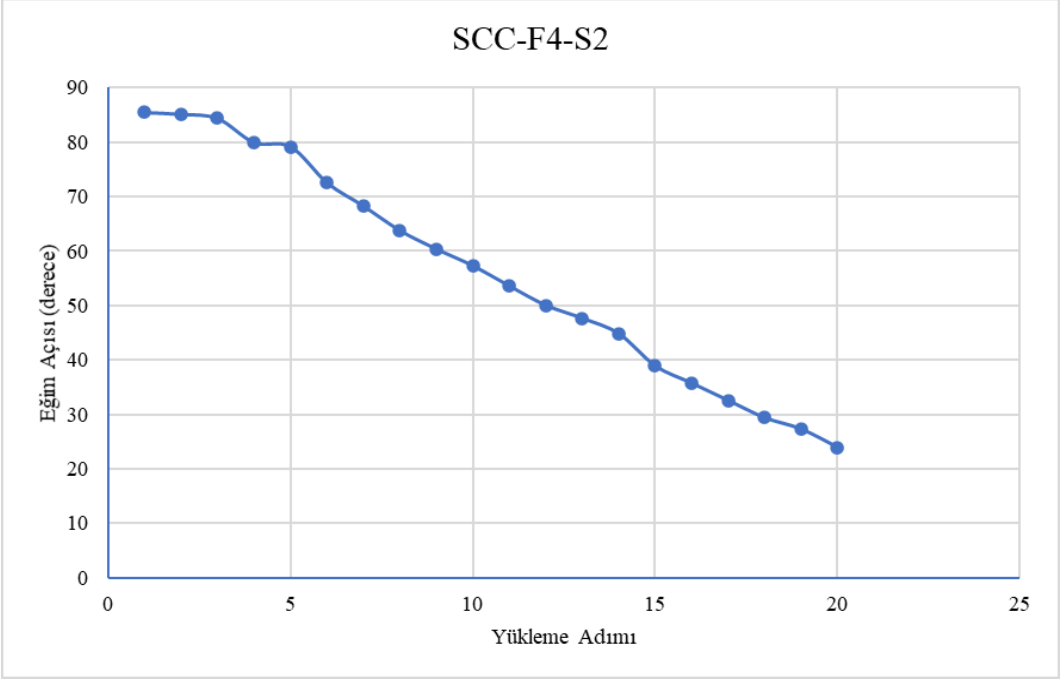
Şekil 4.151. SCC-F4-S2 elemanına ait rijitlik grafiği

Elemanın tüm yüklemelerdeki rijitlik değerinin, ilk yüklemedeki rijitlik değerine bölünmesiyle de K_j/K_{first} grafiği elde edilmiş olup Şekil 4.151'de verilmiştir.

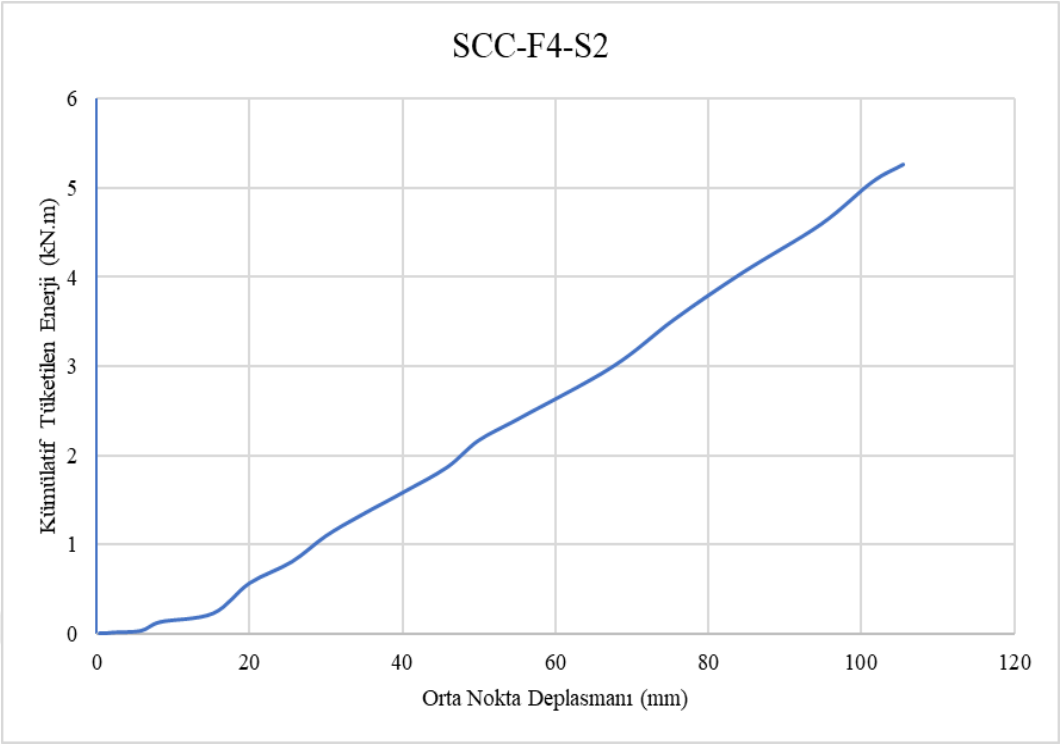
Elemanın davranış özelliklerinde biri olan eğim açısı grafiği Şekil 4.152'de verilmiştir. Elemanın kümülatif tükettiği enerji ise Şekil 4.153'de verilmiştir.



Şekil 4.152. SCC-F4-S2 elemanına ait K_j/K_{first} grafiği



Şekil 4.153. SCC-F4-S2 elemanına ait eğim açısı grafiği



Şekil 4.154. SCC-F4-S2 elemanına ait kümülatif tüketilen enerji grafiği

4.1.15. On beşinci deney (SCC-F4-S3)

Bu deney elemanı 10 cm etriye aralığına sahip, içerisinde makro lif katkı maddesi olarak metreküpte 10 kg lif bulunduran kendiliğinden yerleşen beton ile üretilmiş betonarme kiriştir. Deney elemanına ait görüntü Şekil 4.155'de verilmiştir. Deney esnasında uygulanan yüke bağlı olarak oluşan şekil değiştirmeler ve hasarlar Çizelge 4.16'da verilmiştir.



Şekil 4.155. SCC-F4-S3 elemanının ilk görüntüsü

Çizelge 4.16. SCC-F4-S3 elemanının şekil değiştirme ve hasar oluşumları

Çev. No	Yük (kg)	Deplasman (mm)	Çatlak No	Açıklama
1	515,54	0.430		İlk iki yüklemede herhangi bir çatlak oluşumu gözlemlenmemiştir.
2	1439,25	1.399		
3	2039,79	3.260	1,2,3,4 5,6,7	İlk çatlak oluşumları gözlemlenmiştir. İlk çatlaklar toplamda 7 adettir. Çatlakların biri hariç diğerleri kiriş orta bölgesinde iki yükleme noktası arasında meydana gelmiştir. Çatlakların uzunlukları ortalama 11 cm'dir.
4	3057,13	6.828	8,9,10,11 12,13,14	Bu yükleme adımında toplamda 7 adet yeni çatlak oluşmuştur. Yeni çatlakların 4 tanesi yükleme noktaları ile mesnetler arasında meydana gelmiştir. Diğer çatlaklar kiriş orta bölgesindedir. Çatlaklar ortalama 10 cm'dir. Eski çatlaklar 2-3 cm uzamıştır.
5	4187,96	10.012	15,16	Bu yükleme adımında 2 adet yeni çatlak oluşmuştur. Yeni çatlaklar kiriş orta bölgesinde meydana gelmiştir. Çatlaklarda dallanmalar vardır. Eski çatlaklarda uzamalar vardır. Donatı akma noktasına ulaşmış ve deplasman kontrolüne geçilmiştir.
6	4771,31	16.426	17,18	Bu yükleme adımında 2 adet yeni çatlak oluşmuştur. Yeni çatlağın 1 tanesi kiriş orta bölgesinde, diğer çatlak sağ yükleme noktası ile sağ mesnet arasında meydana gelmiştir. Çatlakların uzunlukları birbirinden farklı 5 ve 7 cm'dir. Çatlaklarda dallanmalar vardır. Eski çatlaklarda uzamalar meydana gelmiştir.
7	4950,62	20.286		Bu yükleme adımında yeni çatlak oluşumu meydana gelmemiştir. Eski çatlaklarda uzamalar olmuştur. Çatlaklarda dallanmalar meydana gelmiştir. Kılcal çatlaklarda genişlemeler vardır.

Çev. No	Yük (kg)	Deplasman (mm)	Çatlak No	Açıklama
8	5057,27	25.131		Çatlaklarda dallanmalar meydana gelmiştir. Eski çatlaklarda uzamalar vardır.
9	5168,52	29.853		Kiriş orta bölgesinde basınç çatlakları oluşmuştur. Çatlaklarda dallanmalar meydana gelmiştir.
10	5234,53	35.175		Eski çatlaklarda dallanmalar meydana gelmiştir.
11	5304,21	40.666		Kiriş orta bölgesinde basınç çatlağı oluşmuştur. Çatlaklarda dallanmalar meydana gelmiştir.
12	5295,66	44.803		Sağ yükleme notası altında basınç ezilmesi meydana gelmiştir. Kiriş orta bölgesindeki basınç çatlakları büyümüştür.
13	5307,88	49.832		Sol yükleme noktası altında basınç ezilmesi meydana gelmiştir. Çatlak genişlikleri artmıştır.
14	5254,09	53.139		Basınç çatlakları büyümüştür. Çatlaklarda dallanmalar artmıştır.
15	5133,06	62.383		Çatlaklarda dallanmalar meydana gelmiştir.
16	4167,6	72.149		Göçme öncesi durum. Çatlak genişlikleri ileri düzeyde artmıştır.
17	Deney sonu			Sol yükleme noktası hizasında çekme donatısı kopmuştur. Eleman daha fazla deplasman yapamayacağından deneye son verilmiştir.

SCC-F4-S3 deney elemanında ilk çatlaklar 2039,79 kg yük değerinde oluşmuştur. Bu yükleme adımına ait görünüm Şekil 4.156'de görülebilir. İlk çatlaklar iki yükleme noktasının arasında ve yükleme noktalarının arasında meydana gelmiştir. Meydana gelen çatlaklar kirişin çekme bölgesinde oluşmuştur.



Şekil 4.156. SCC-F4-S3 elemanında oluşan ilk çatlaklar

SCC-F4-S3 deney elemanı akma noktasına 3981 kg yük ve 8,89 mm deplasman değerinde ulaşmıştır. Elemanın bu yüklemedeki görüntüsü Şekil 4.157'de görülebilir.



Şekil 4.157. SCC-F4-S3 deney elemanının akma anındaki görüntüsü

SCC-F4-S3 deney elemanının aldığı maksimum yük 5307,88 kg'dır. Bu yük altındayken yaptığı deplasman değeri 49,8329 mm'dir. Bu yükleme adımındaki görüntüsü Şekil 4.158'de görülmektedir.



Şekil 4.158. SCC-F4-S3 elemanının maksimum yük altındaki görüntüsü

SCC-F4-S3 deney elemanına yük verme işlemi elemanın kırılmasından sonra son verilmiştir. Sol yükleme noktası hizasında çekme donatısının kırılmasından dolayı deney elemanı daha fazla deplasman yapamayacağından deney sonlandırılmıştır. Deney elemanının deney sonundaki görüntüsü Şekil 4.159'da görülmektedir. Deney sonundaki çatlak dağılımı Şekil 4.160'da görülmektedir.

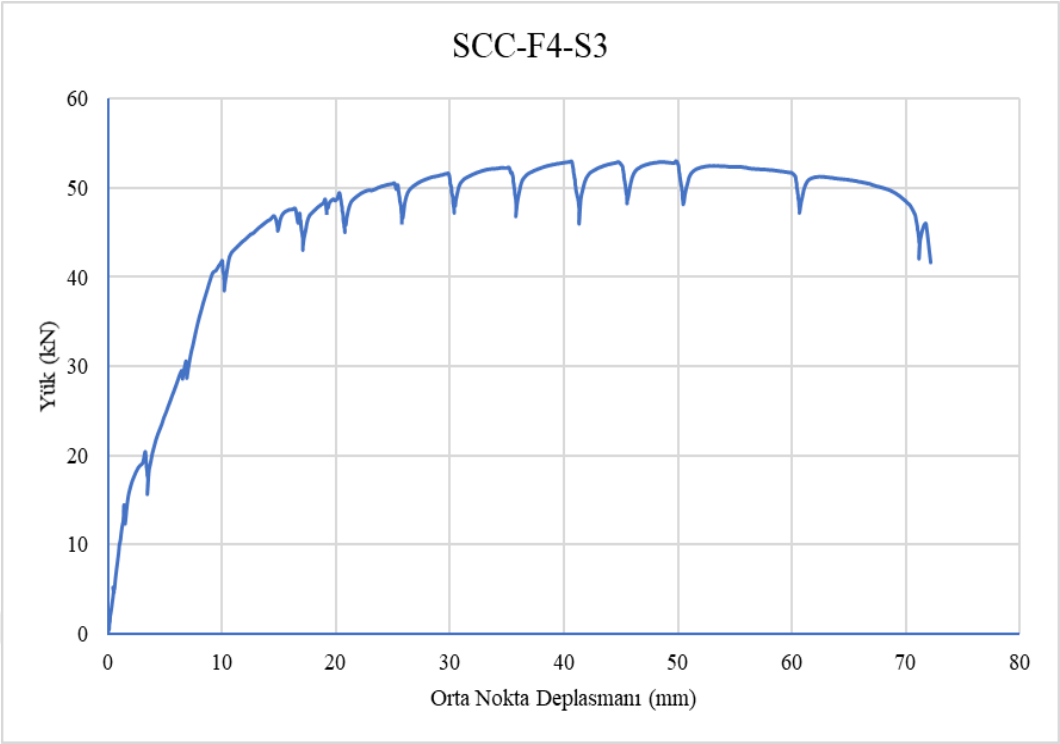
SCC-F4-S3 deney elemanına ait orta nokta yük-deplasman grafiği Şekil 4.161'da verilmiştir.



Şekil 4.159. SCC-F4-S3 elemanının deney sonundaki görünümü



Şekil 4.160. SCC-F4-S3 elemanının deney sonundaki çatlak dağılımı



Şekil 4.161. SCC-F4-S3 elemanına ait yük-deplasman grafiği

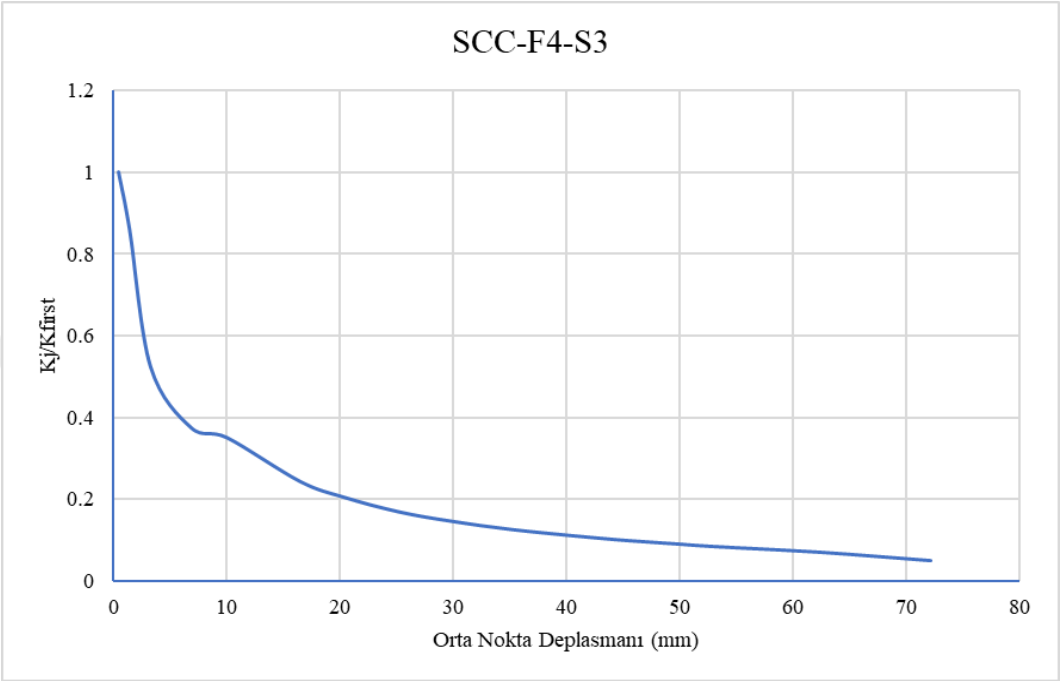
Her bir yüklemedeki yük değerinin, o noktadaki deplasman değerine bölünmesiyle elde edilen rijitlik grafiği Şekil 4.162'de verilmiştir.



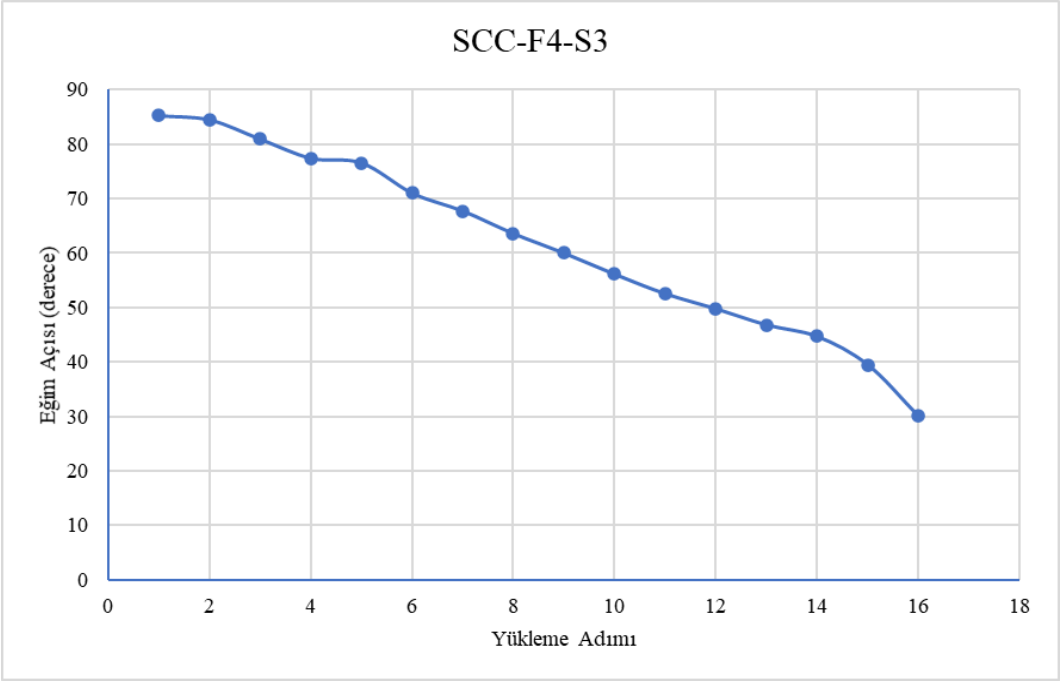
Şekil 4.162. SCC-F4-S3 elemanına ait rijitlik grafiği

Elemanın tüm yüklemelerdeki rijitlik değerinin, ilk yüklemedeki rijitlik değerine bölünmesiyle de K_j/K_{first} grafiği elde edilmiş olup Şekil 4.163'de verilmiştir.

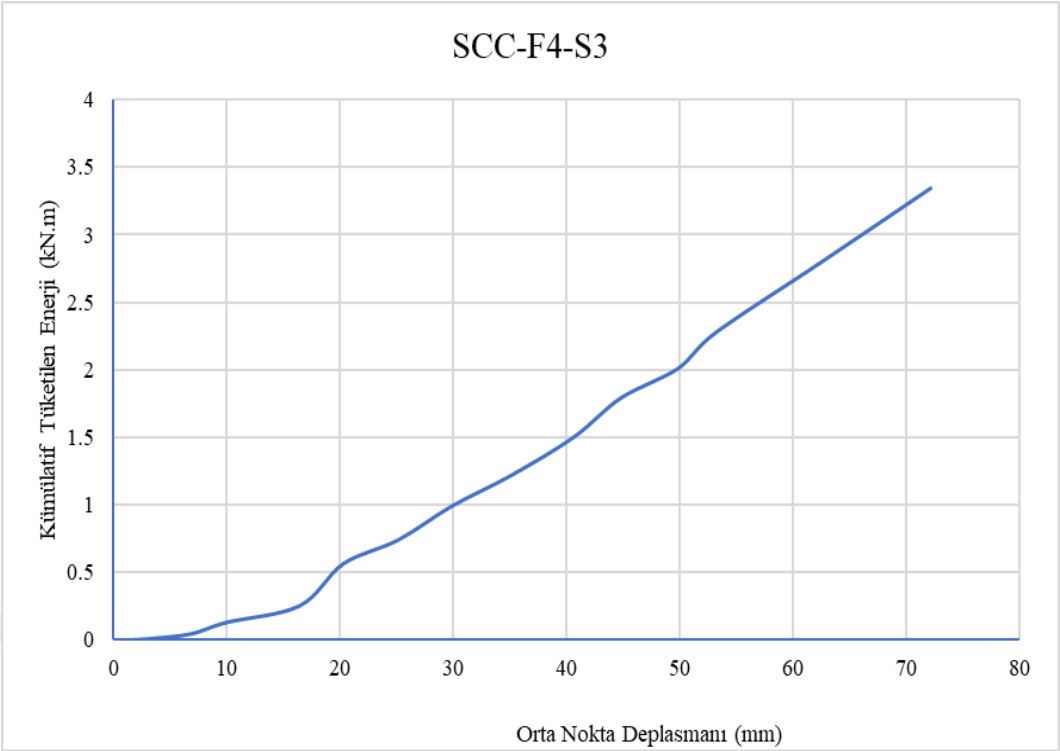
Elemanın davranış özelliklerinde biri olan eğim açısı grafiği Şekil 4.164'de verilmiştir. Elemanın kümülatif tükettiği enerji ise Şekil 4.165'de verilmiştir.



Şekil 4.163. SCC-F4-S3 elemanına ait K_j/K_{first} grafiği



Şekil 4.164. SCC-F4-S3 elemanına ait eğim açısı grafiği



Şekil 4.165. SCC-F4-S3 elemanına ait kümülatif tüketilen enerji grafiği

4.1.16. On altıncı deney (SCC-F4-S4)

Bu deney elemanı 5 cm etriye aralığına sahip, içerisinde makro lif katkı maddesi olarak metreküpte 10 kg lif bulunduran kendiliğinden yerleşen beton ile üretilmiş betonarme kiriştir. Deney elemanına ait görüntü Şekil 4.166'da verilmiştir. Deney esnasında uygulanan yüke bağlı olarak oluşan şekil değiştirmeler ve hasarlar Çizelge 4.17'de verilmiştir.



Şekil 4.166. SCC-F4-S4 elemanının ilk görüntüsü

Çizelge 4.17. SCC-F4-S4 elemanının şekil değiştirme ve hasar oluşumları

Çev. No	Yük (kg)	Deplasman (mm)	Çatlak No	Açıklama
1	517,02	0.584		İlk yüklemede herhangi bir çatlak oluşumu gözlemlenmemiştir.
2	1097,77	1.107	1,2,3,4	İlk çatlak oluşumları gözlemlenmiştir. İlk çatlaklar toplamda 4 adettir. Çatlaklar kiriş orta bölgesinde iki yükleme noktası arasında meydana gelmiştir. Çatlakların uzunlukları ortalama 7 cm'dir.
3	2012,53	2.307	5,6,7,8 9,10,11 12,13,14	Bu yükleme adımında toplamda 10 adet yeni çatlak oluşmuştur. Yeni çatlakların 3 tanesi yükleme noktaları ile mesnetler arasında meydana gelmiştir. Diğer çatlaklar kiriş orta bölgesindedir. Çatlaklar ortalama 10 cm'dir. Eski çatlaklar 2-3 cm uzamıştır.
4	3200,58	6.152	15,16,17	Bu yükleme adımında 3 adet yeni çatlak oluşmuştur. Yeni çatlaklar kiriş orta bölgesinde meydana gelmiştir. Eski çatlaklarda uzamalar vardır.
5	4082,77	9.120	18	Bu yükleme adımında 1 adet yeni çatlak oluşmuştur. Yeni çatlak sol yükleme noktası ile sol mesnet arasında meydana gelmiştir. Çatlaklarda dallanmalar vardır. Eski çatlaklarda uzamalar vardır. Donatı akma noktasına ulaşmış ve deplasman kontrolüne geçilmiştir.
6	4552,55	14.596		Bu yükleme adımında yeni çatlak oluşumu gözlemlenmemiştir. Eski çatlaklarda uzamalar vardır. Eski çatlaklarda dallanmalar vardır.
7	4908,78	20.302		Eski çatlaklarda dallanmalar vardır. Eski çatlaklarda uzamalar oluşmuştur.
8	5071,94	25.254	19	Kiriş orta bölgesinde 1 yeni çatlak oluşmuştur. Eski çatlaklarda uzamalar vardır.

Çev. No	Yük (kg)	Deplasman (mm)	Çatlak No	Açıklama
9	5141,62	29.930		Çatlaklarda dallanmalar meydana gelmiştir. Eski çatlaklarda uzamalar vardır.
10	5199,08	35.344		Çatlak genişlikleri artmıştır. Eski çatlaklarda uzamalar olmuştur.
11	5282,21	40.481		Eski çatlaklarda dallanmalar meydana gelmiştir.
12	5302,99	45.218		Kiriş orta bölgesinde basınç çatlağı oluşmuştur. Sol yükleme noktası altında basınç ezilmesi meydana gelmiştir. Çatlaklarda dallanmalar meydana gelmiştir.
13	5339,66	49.986	20	Kiriş orta bölgesinde yaklaşık 13 cm uzunluğunda 1 yeni çatlak meydana gelmiştir. Kiriş orta bölgesinde basınç çatlakları artmıştır.
14	5360,45	57.692		Kiriş orta bölgesinde basınç çatlakları büyümüştür. Çatlaklarda dallanmalar meydana gelmiştir.
15	5192,97	64.705		Çatlaklarda genişlemeler meydana gelmiştir.
16	5130,62	75.749		Çatlaklarda uzamalar meydana gelmiştir.
17	5090,28	84.162		Çatlaklarda uzamalar artmış ve çatlak genişlikleri artmıştır.
18	5021,82	92.575		Çatlaklarda dallanmalar meydana gelmiştir.
19	4556,38	98.223		Çatlak genişlikleri artmıştır.
20	5141,62	29.930		Göçme öncesi durum. Çatlak genişlikleri ileri düzeyde artmıştır.
21	Deney sonu			Kiriş orta bölgesinde çekme donatısı kopmuştur. Eleman daha fazla deplasman yapamayacağından deneye son verilmiştir.

SCC-F4-S4 deney elemanında ilk çatlaklar 1097,77 kg yük değerinde oluşmuştur. Bu yükleme adımına ait görünüm Şekil 4.167'de görülebilir. İlk çatlaklar iki yükleme noktasının arasında ve yükleme noktalarının arasında meydana gelmiştir. Meydana gelen çatlaklar kirişin çekme bölgesinde oluşmuştur.



Şekil 4.167. SCC-F4-S4 elemanında oluşan ilk çatlaklar

SCC-F4-S4 deney elemanı akma noktasına 4020 kg yük ve 7,73 mm deplasman değerinde ulaşmıştır. Elemanın bu yüklemedeki görüntüsü Şekil 4.168'de görülebilir.



Şekil 4.168. SCC-F4-S4 deney elemanının akma anındaki görüntüsü

SCC-F4-S4 deney elemanının aldığı maksimum yük 5360,45 kg'dır. Bu yük altındayken yaptığı deplasman değeri 57,69 mm'dir. Bu yükleme adımındaki görüntüsü Şekil 4.169'da görülmektedir.



Şekil 4.169. SCC-F4-S4 elemanının maksimum yük altındaki görüntüsü

SCC-F4-S4 deney elemanına yük verme işlemi elemanın kırılmasından sonra son verilmiştir. Kiriş orta bölgesinde çekme donatısının kırılmasından dolayı deney elemanı daha fazla deplasman yapamayacağından deney sonlandırılmıştır. Deney elemanının deney sonundaki görüntüsü Şekil 4.170'de görülmektedir. Deney sonundaki çatlak dağılımı Şekil 4.171'de görülmektedir.

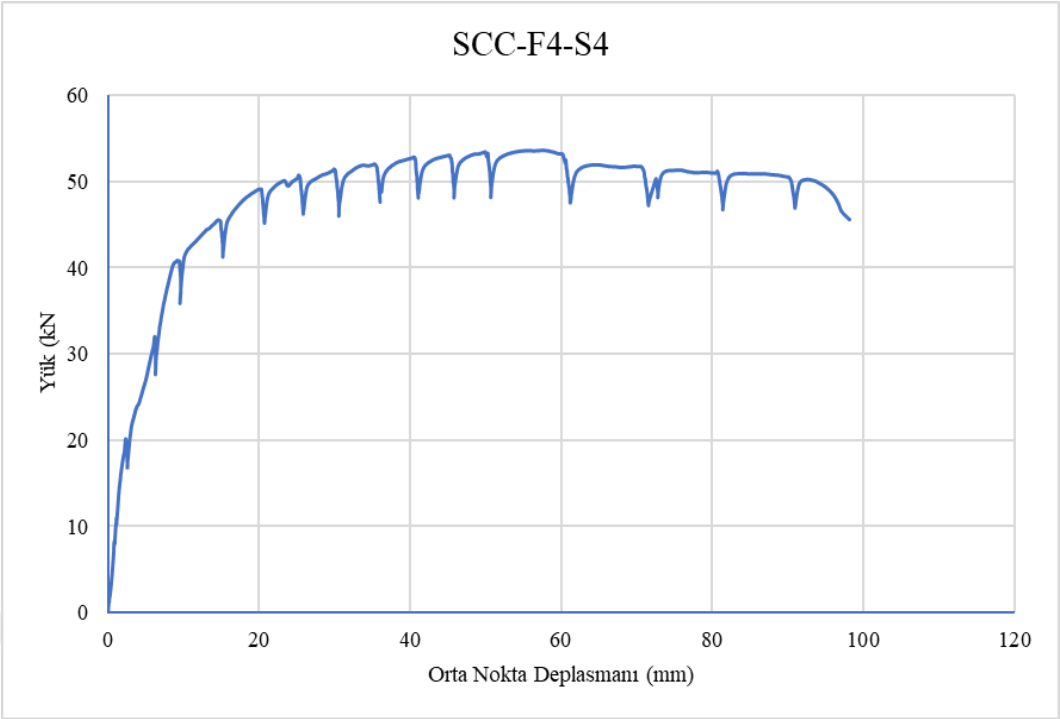
SCC-F4-S4 deney elemanına ait orta nokta yük-deplasman grafiği Şekil 4.172'de verilmiştir.



Şekil 4.170. SCC-F4-S4 elemanının deney sonundaki görünümü

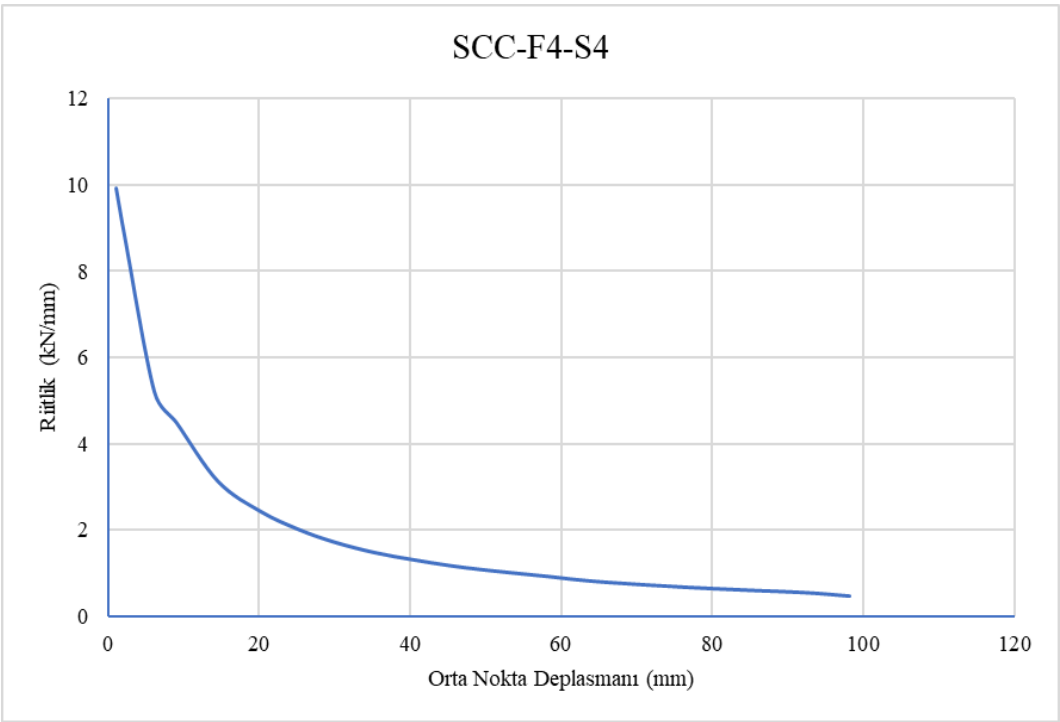


Şekil 4.171. SCC-F4-S4 elemanının deney sonundaki çatlak dağılımı



Şekil 4.172. SCC-F4-S4 elemanına ait yük-deplasman grafiği

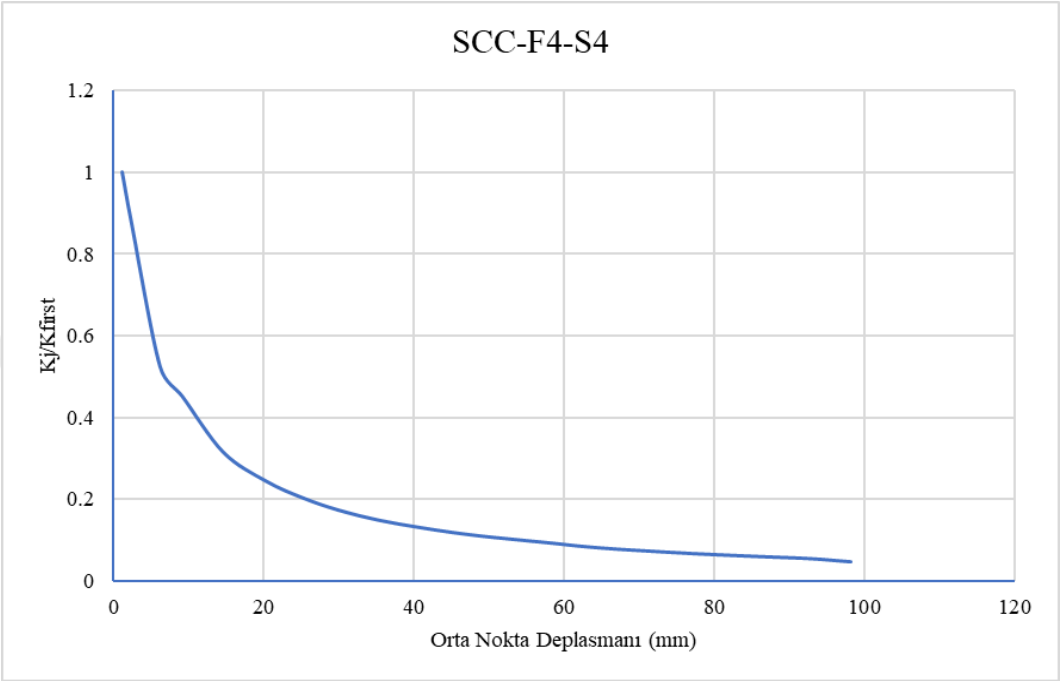
Her bir yüklemedeki yük değerinin, o noktadaki deplasman değerine bölünmesiyle elde edilen rijitlik grafiği Şekil 4.173'de verilmiştir.



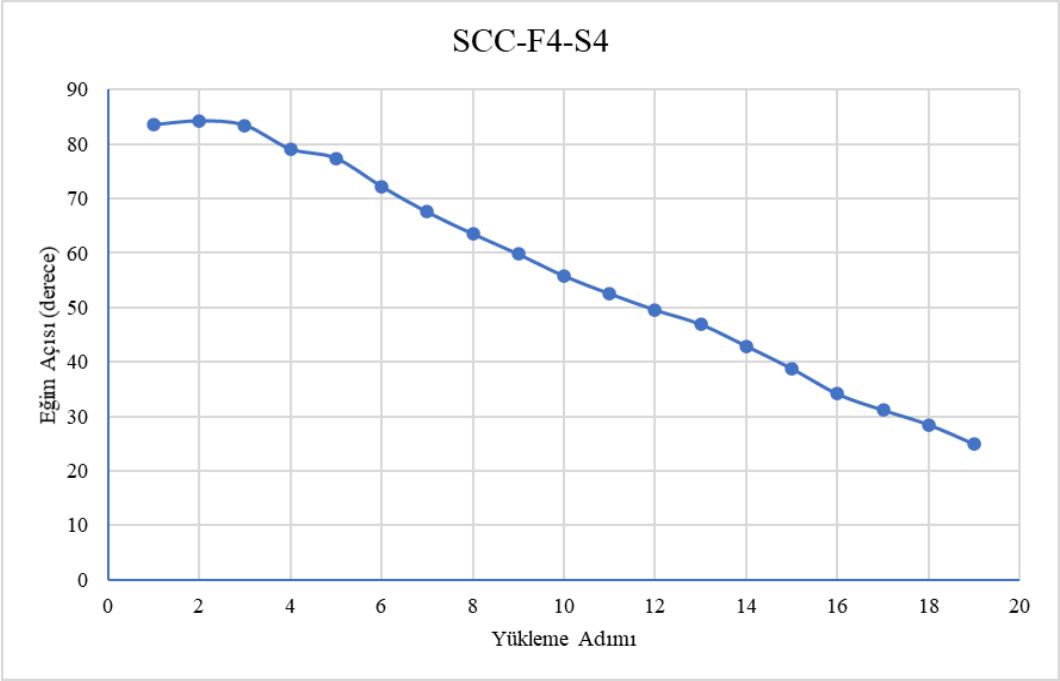
Şekil 4.173. SCC-F4-S4 elemanına ait rijitlik grafiği

Elemanın tüm yüklemelerdeki rijitlik değerinin, ilk yüklemedeki rijitlik değerine bölünmesiyle de K_j/K_{first} grafiği elde edilmiş olup Şekil 4.174'de verilmiştir.

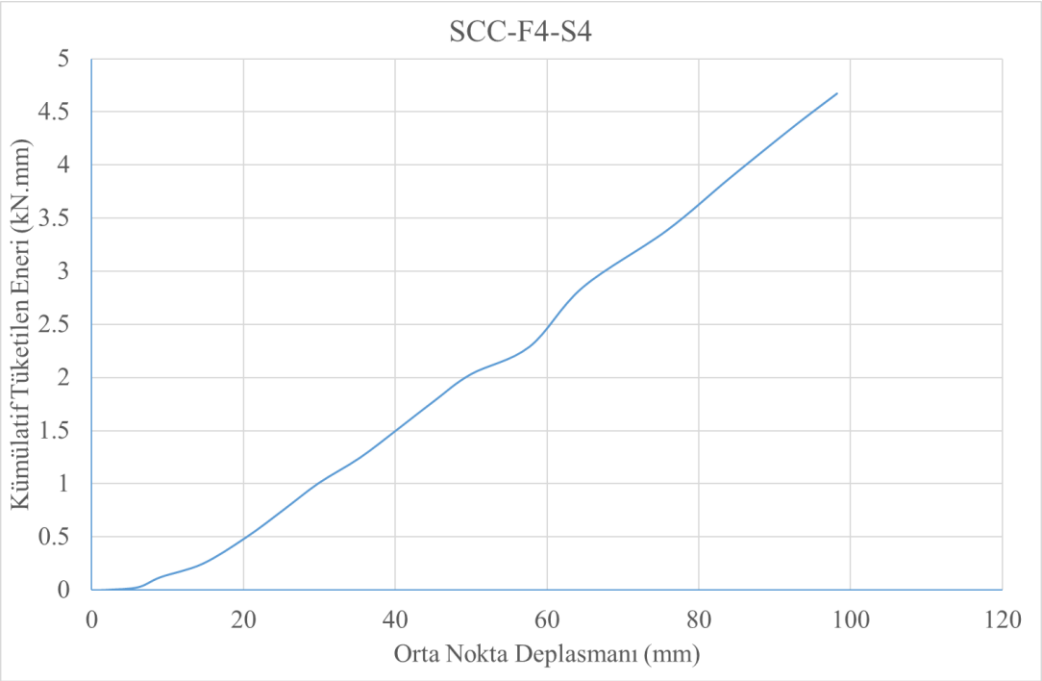
Elemanın davranış özelliklerinde biri olan eğim açısı grafiği Şekil 4.175'de verilmiştir. Elemanın kümülatif tükettiği enerji ise Şekil 4.176'da verilmiştir.



Şekil 4.174. SCC-F4-S4 elemanına ait K_j/K_{first} grafiği



Şekil 4.175. SCC-F4-S4 elemanına ait eğim açısı grafiği



Şekil 4.176. SCC-F4-S4 elemanına ait kümülatif tüketilen enerji grafiği

4.2. Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması

Bu bölümde, 16 adet betonarme kiriş numunesinin deney sonuçları karşılaştırılmıştır. Deney elemanlarının karşılaştırılması yapılırken deney parametreleri dikkate alınıp elemanlar parametrelere göre gruplara ayrılmıştır. Araştırmada kullanılan parametreler, betonarme kiriş elemanlardaki etriye aralıkları ve beton katkı maddesi olarak kullanılan makro liflerin metreküp betondaki ağırlıklarıdır. Deney elemanları gruplar halinde karşılaştırılırken kullanılan grafikler şunlardır;

- Yük-deplasman grafiği
- Rijitlik grafiği
- Eğim açısı grafiği
- Kümülatif tüketilen enerji grafiği.

Gruplar olarak karşılaştırılan tüm deney elemanları ayrıca tüm elemanların yük-deplasman grafikleri tek bir şekil üzerinde verilmiştir. Çizelge 4.17'de eleman grupları belirtilmektedir.

Çizelge 4.17. Deney elemanlarının karşılaştırma grupları

Grup No	Karşılaştırma Metodu	Kullanılan Deney Elemanı
1	Etriye aralığının kiriş davranışına etkisi	A)SCC-F1-S1/SCC-F1-S2/SCC-F1-S3/SCC-F1-S4
		B)SCC-F2-S1/SCC-F2-S2/SCC-F2-S3/SCC-F2-S4
		C)SCC-F3-S1/SCC-F3-S2/SCC-F3-S3/SCC-F3-S4
		D)SCC-F4-S1/SCC-F4-S2/SCC-F4-S3/SCC-F4-S4
2	Lif katkı maddesi miktarının kiriş davranışına etkisi	A)SCC-F1-S1/SCC-F2-S1/SCC-F3-S1/SCC-F4-S1
		B)SCC-F1-S2/SCC-F2-S2/SCC-F3-S2/SCC-F4-S2
		C)SCC-F1-S3/SCC-F2-S3/SCC-F3-S3/SCC-F4-S3
		D)SCC-F1-S4/SCC-F2-S4/SCC-F3-S4/SCC-F4-S4

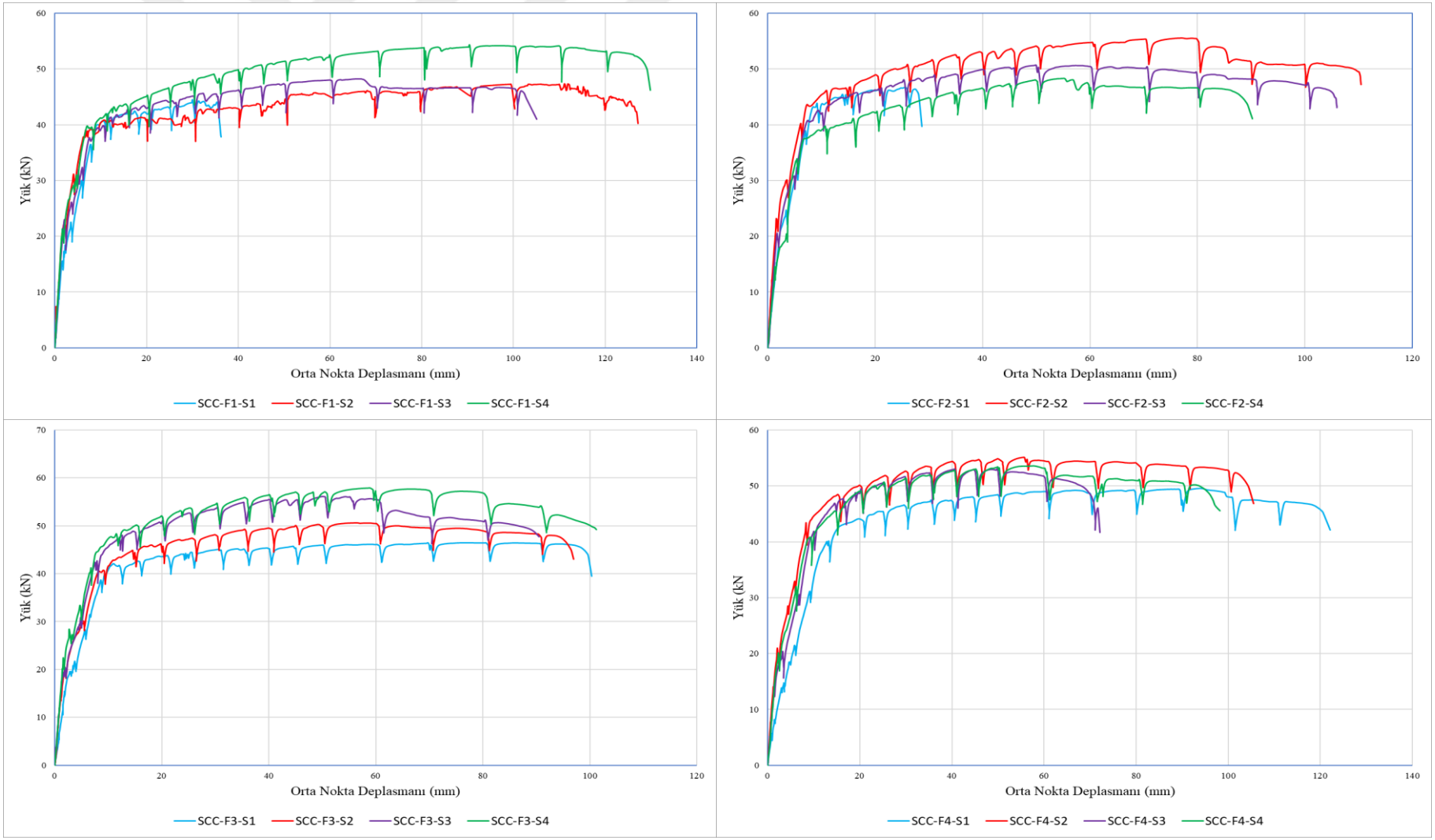
4.2.1. Etriye aralığının kiriş davranışına etkisi

Bu bölümde Çizelge 4.17'de verilen Grup 1'e ait deney sonuçlarının karşılaştırılması yapılacaktır. Tüm özellikleri aynı olan kirişler etriye aralıkları bakımlarından kendi aralarında gruplara ayrılmıştır. Toplam da 4 grup ortaya çıkmıştır bu gruplar etriyesiz, 20 cm etriyeli, 10 cm etriyeli ve 5 cm eriyelidir. Grup 1'e ait yük-deplasman grafiği Şekil 4.177'de verilmiştir.

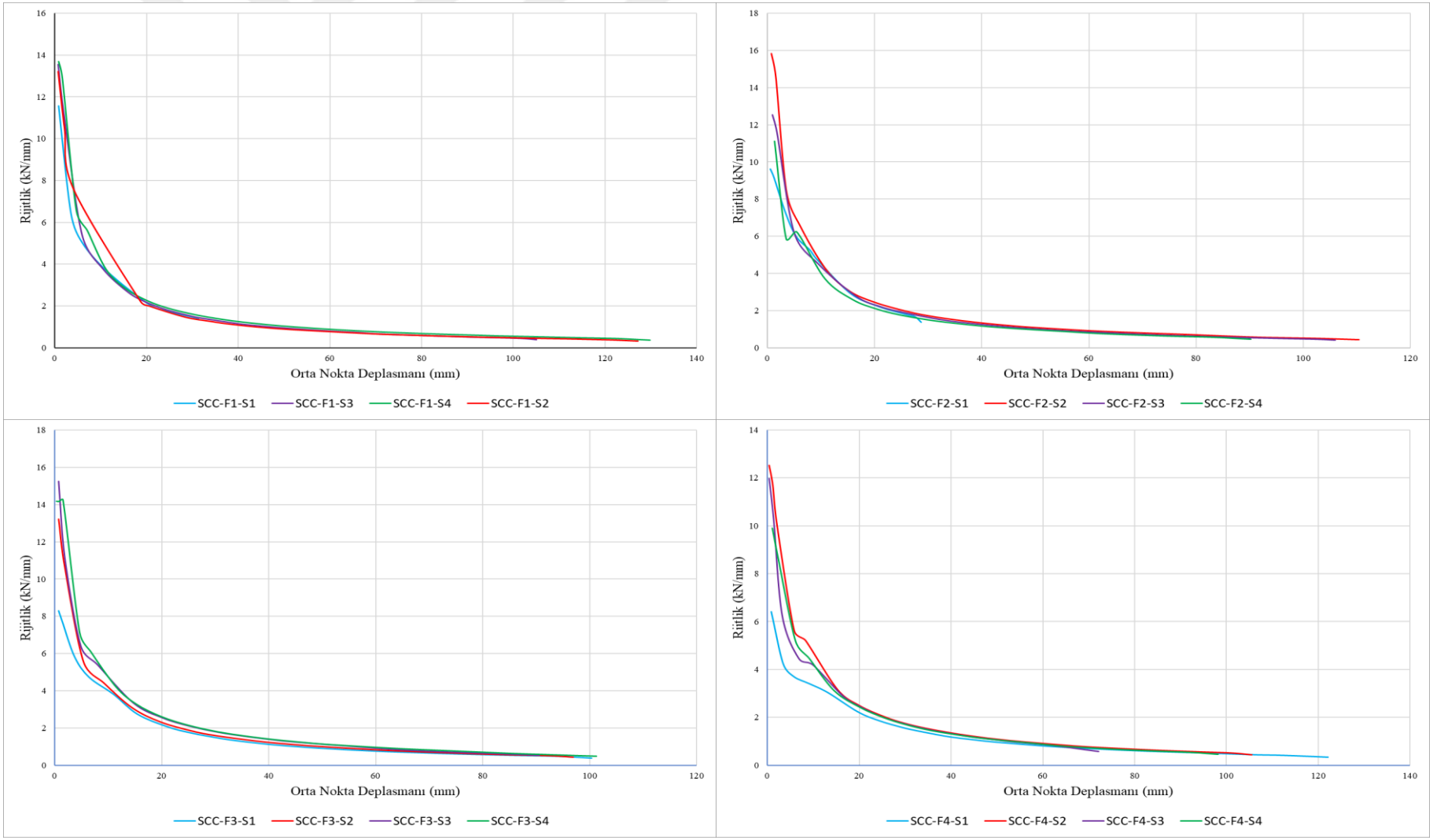
Şekil 4.178'de Grup 1'e ait rijitlik grafikleri görülmektedir. Grafiklerin birbirine yakın olduğu görülmektedir. Deplasman değerleri birbirine yakın olmasına rağmen başlangıç değerleri birbirinde farklıdır. SCC-F1-S3 ve SCC-F1-S4 deney elemanları yaklaşık olarak 13.5 kN/mm rijitlik değeriyle, en yüksek başlangıç rijitlik değerine sahiptir.

Şekil 4.179'da Grup 1'e ait eğim açısı grafikleri görülmektedir. Grafiklerin başlangıç ve bitiş değerleri birbirine yakındır. Etriye aralığı kirişlerin eğim açını ciddi düzeylerde etkilememektedir.

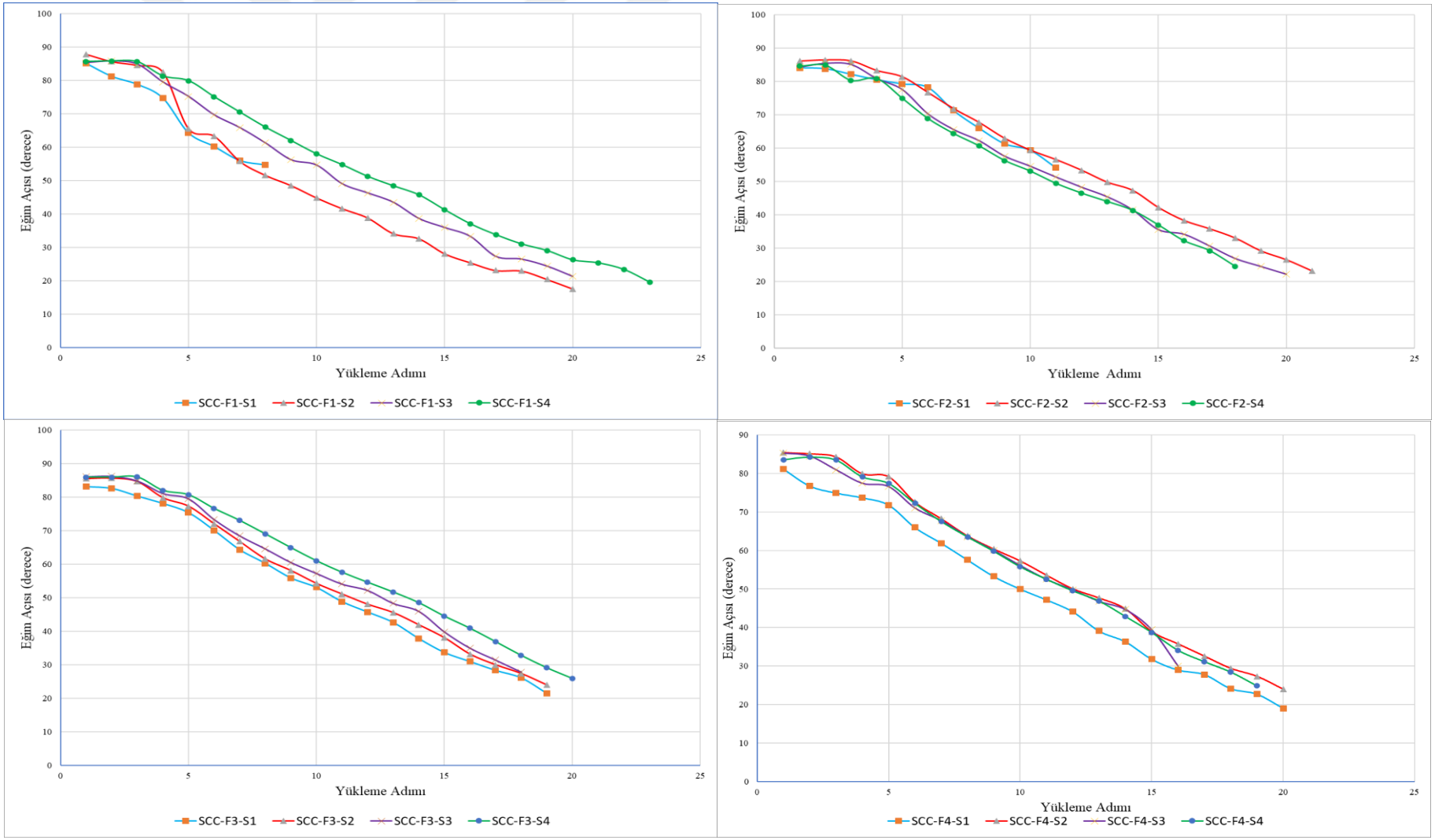
Şekil 4.180'de Grup 1'e ait kümülatif tüketilen enerji grafiği görülmektedir. Grafikler incelendiğinde etriye aralığındaki artış genel olarak tüketilen enerji miktarını arttırmıştır. Tüketilen enerji miktarının artması soğurulan enerjinin miktarının artması demek olduğundan etriye ve etriye aralığının önemi anlaşılmaktadır.



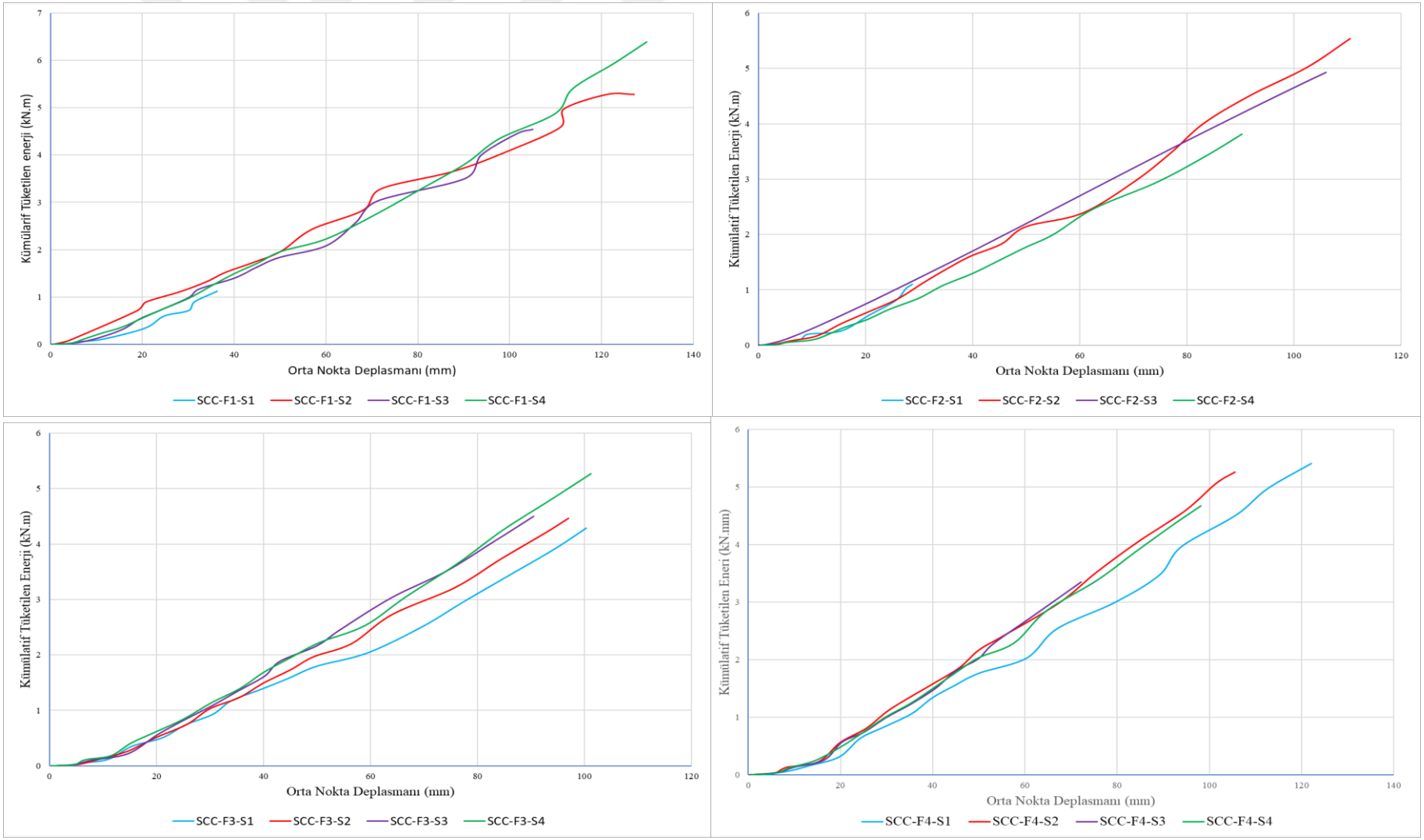
Şekil 4.177. Grup 1'e ait yük-deplasman grafiği



Şekil 4.178. Grup 1'e ait rijitlik grafiği



Şekil 4.179. Grup 1'e ait eğim açısı grafiği



Şekil 4.180. Grup 1'e ait kümülatif tüketilen enerji grafiği

4.2.2. Lif katkı maddesi miktarının kiriş davranışına etkisi

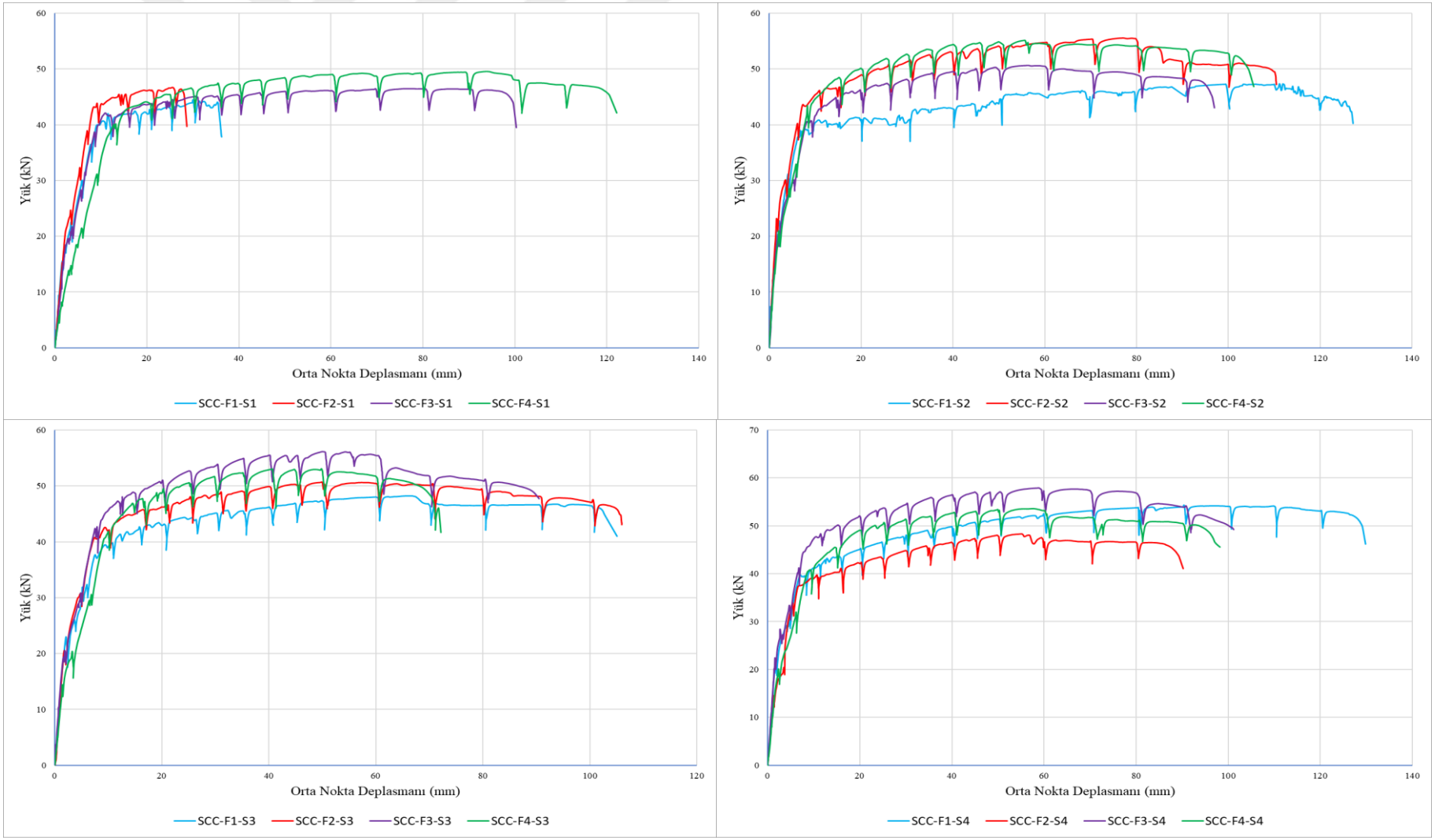
Bu bölümde Çizelge 4.17'de verilen Grup 2'ye ait deney sonuçlarının karşılaştırılması yapılacaktır. Tüm özellikleri aynı olan kirişler makro lif katkı maddesi miktarı bakımından kendi aralarında gruplara ayrılmıştır. Toplam da 4 grup ortaya çıkmıştır bu gruplar lif katkı maddesiz, 2,5 kg/m^3, 5 kg/m^3, 10 kg/m^3'tür.

Şekil 4.181'de verilen Grup 2'ye ait yük-deplasman grafiklerinden lif katkı maddesinin kirişlerde kullanılan etriye ile beraber çalışırken istenilen düzeylere çıkmadığı görülmüştür. Lif katkı maddesi kullanılan etriyesiz deney elemanlarında, lifin getirmiş olduğu avantaj net bir şekilde görülmektedir. Ancak lif katkı maddesi etriyeli elemanlar ile beraber kullanıldığında, betonarme kirişin var olan düzeydeki yük-deplasman eğrisine bile ulaşamadığı görülmektedir.

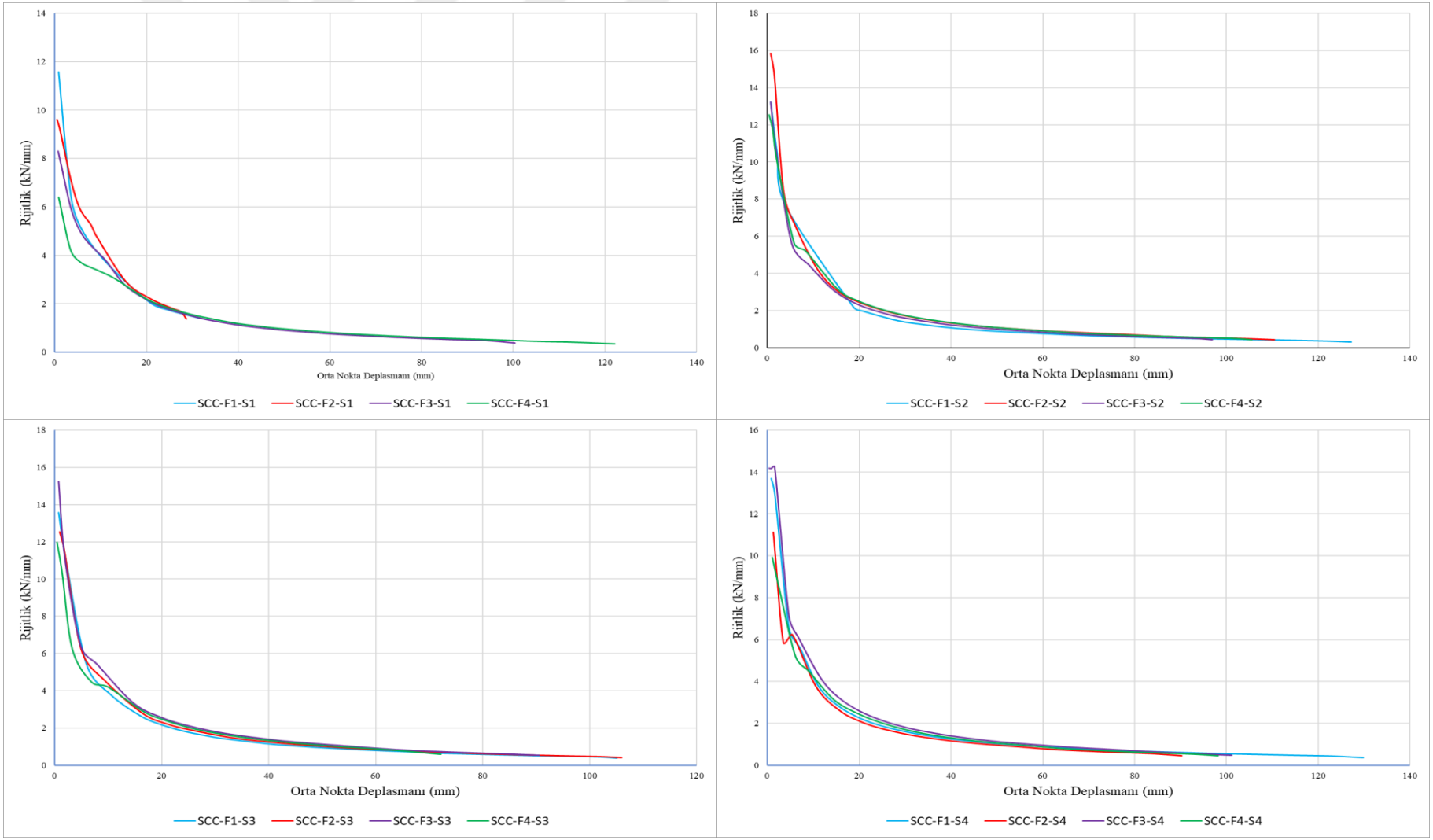
Şekil 4.182'de verilen Grup 2'ye ait rijitlik grafiklerinde lif katkı maddesi miktarının kiriş elemanların rijitliklerini ciddi düzeylerde etkilemediği görülmektedir.

Şekil 4.183'de verilen Grup 2'ye ait eğim açısı grafiklerinden lif katkı maddesi kiriş elemanın eğim açısını ciddi düzeyde etkilemediği görülmektedir. Grafiklerin başlangıç ve bitiş noktaları genel olarak birbirine çok yakındır.

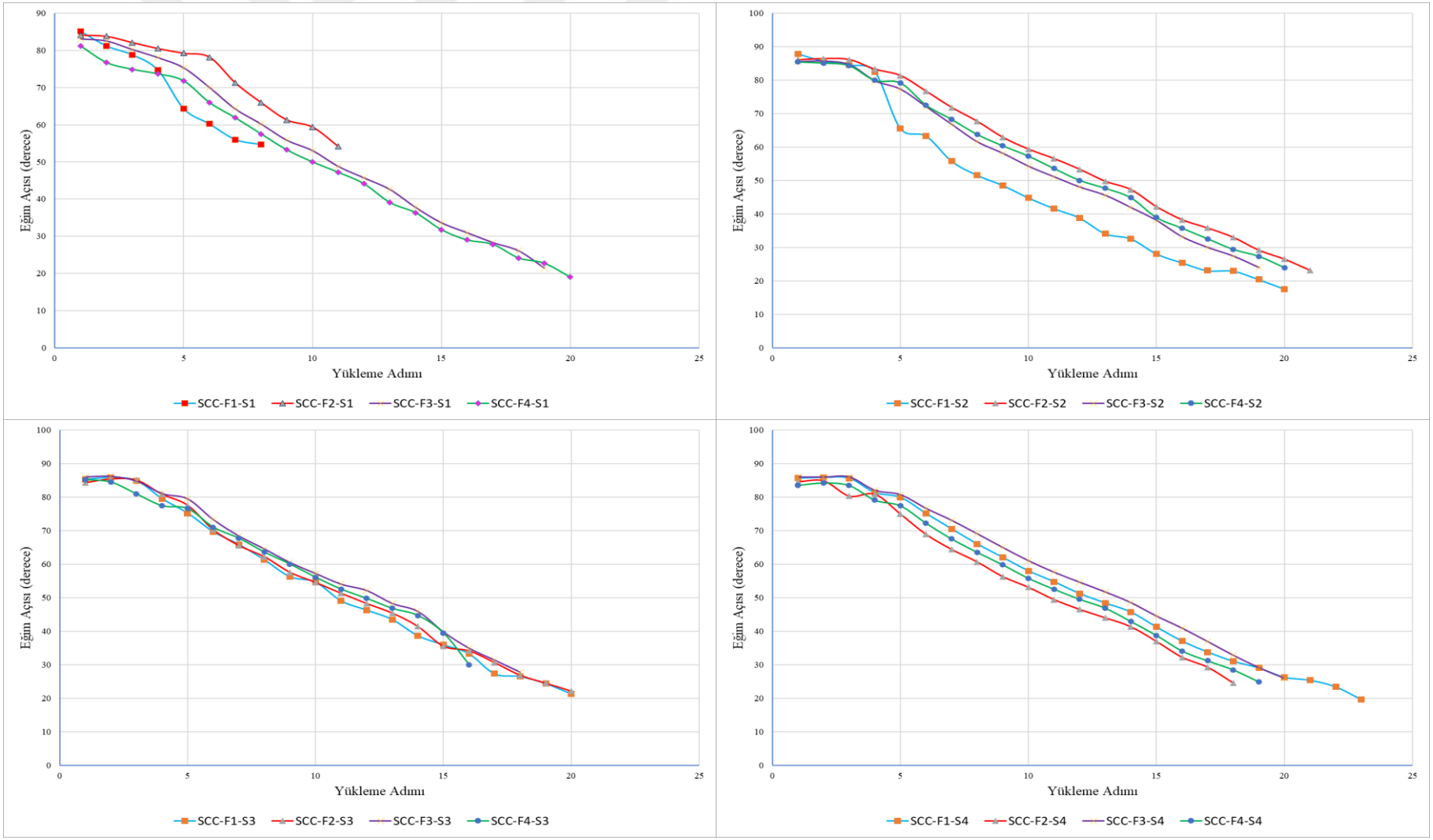
Şekil 4.184'de verilen Grup 2'ye ait kümülatif tüketilen enerji grafiklerinden lif katkı maddesinin tüketilen enerji miktarını bir miktar yukarı çıkardığı görülmektedir. Ancak enerji tüketiminde en büyük etkiyi etriyesiz elemanlarda göstermektedir. Etriyeli elemanlarda bu miktar daha düşük seviyelerde kalmaktadır.



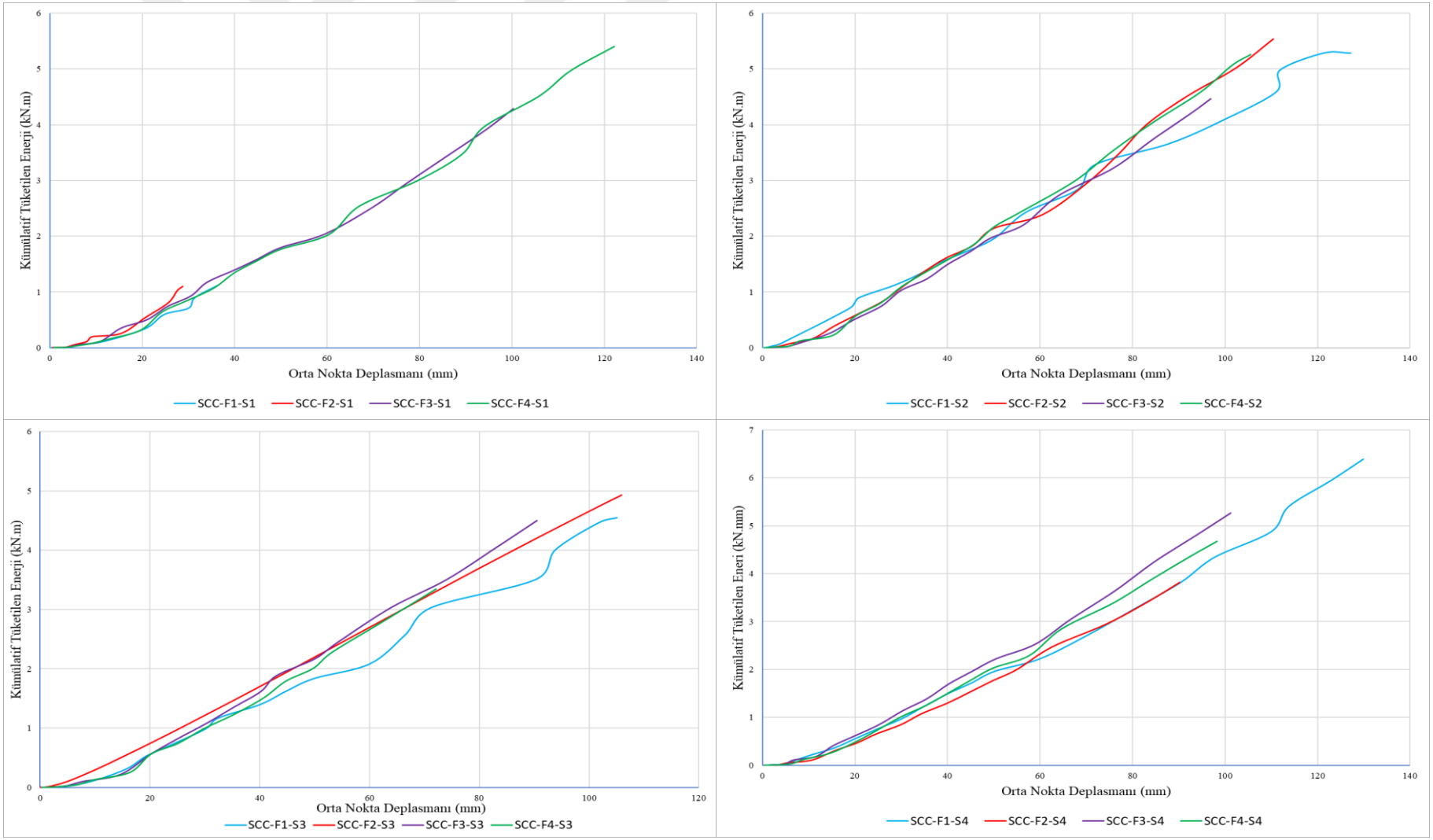
Şekil 4.181. Grup 2'ye ait yük-deplasman grafikleri



Şekil 4.182. Grup 2'ye ait rijitlik grafikleri



Şekil 4.183. Grup 2'ye ait eğim açısı grafikleri



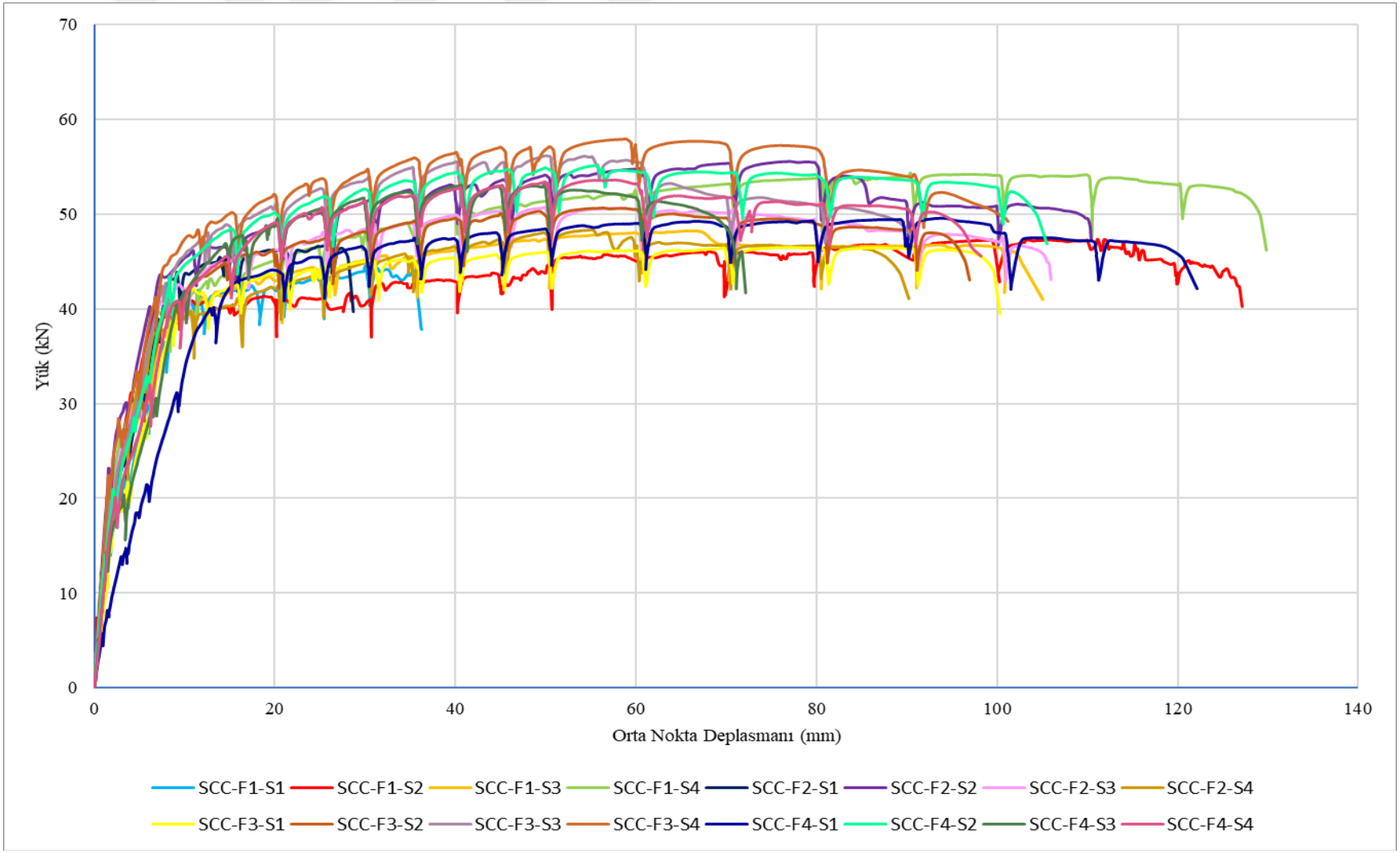
Şekil 4.184. Grup 2'ye ait kümülatif tüketilen enerji grafikleri

Tüm deney elemanlarına ait yük-deplasman grafikleri Şekil 4.185'de verilmiştir. Şekil 4.185 incelendiğinde en fazla yük taşıma kapasitesine sahip olan deney elemanı SCC-F3-S4 deney elemanıdır. Bu grafikler incelendiğinde etriyesiz numunelerde lif katkısının etkisi oldukça fazla olup, kesme davranışı gösteren bu numunelerin lif katkısıyla birlikte eğilme davranışı gösterdikleri görülmektedir. Bunun yanında yoğun enine donatı bulunan numunelerin bazılarında ise lif katkısı numunelerin davranışını olumsuz yönde etkilemiştir. Bu numunelerde göçme noktasına yaklaştıkça bir çatlağın diğer çatlaklardan daha fazla genişlediği görülmüştür. Lifler çatlak genişliğinin artmasını engelledikleri̇nden bir noktada enerji birikmekte ve bu noktadan ani kırılmalar meydana gelebilmektedir. Bu durum da literatürde liflerle ilgili yapılan çalışmalarda bahsedilmektedir (Ünal ve Ark., 2021, Conforti ve Ark., 2019, Conforti ve Ark., 2020, Conforti ve Ark., 2017).

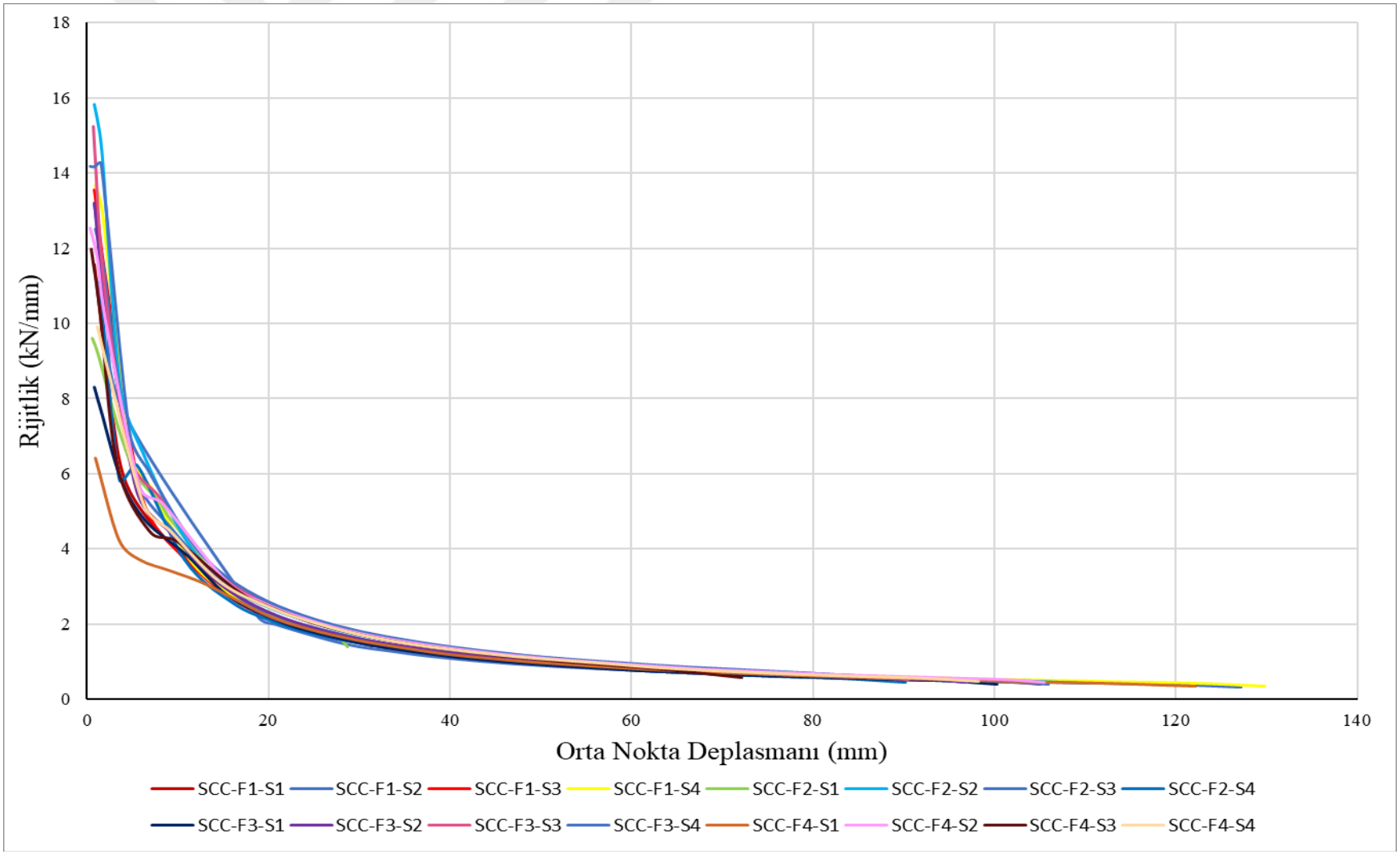
Tüm deney elemanlarına ait rijitlik-deplasman grafikleri Şekil 4.186'da verilmiştir. Şekil 4.186 incelendiğinde en yüksek iki rijitliğe sahip elemanlar SCC-F1-S3, SCC-F1-S4 ve SCC-F2-S2 elemanlarıdır. Bu elemanların rijitlik değerleri yaklaşık olarak, sırasıyla 13.5, 13.5 ve 16 kN/mm'dir. İlk iki elemanın ortak özelliği lifsiz olmasıdır. Üçüncü eleman ilk elemanla ortak bir parametreye sahip değildir.

Tüm deney elemanlarına ait eğim açısı-yükleme adımı grafiği Şekil 4.186'da verilmiştir. Şekil 4.187'de görüldüğü üzere elemanlar yaklaşık olarak benzer grafikler ortaya koymuştur. Bünyesinde hem etriye bulundurmayan hem de makro lif katkı maddesi olmayan deney elemanlarının yükleme adım sayıları düşük kalmıştır. Bunu nedeni deney elemanları aldıkları yükler altında ani olarak kesme kırılması gerçekleşmiş deneyler düşük deplasman değerlerinde bitirilmiştir.

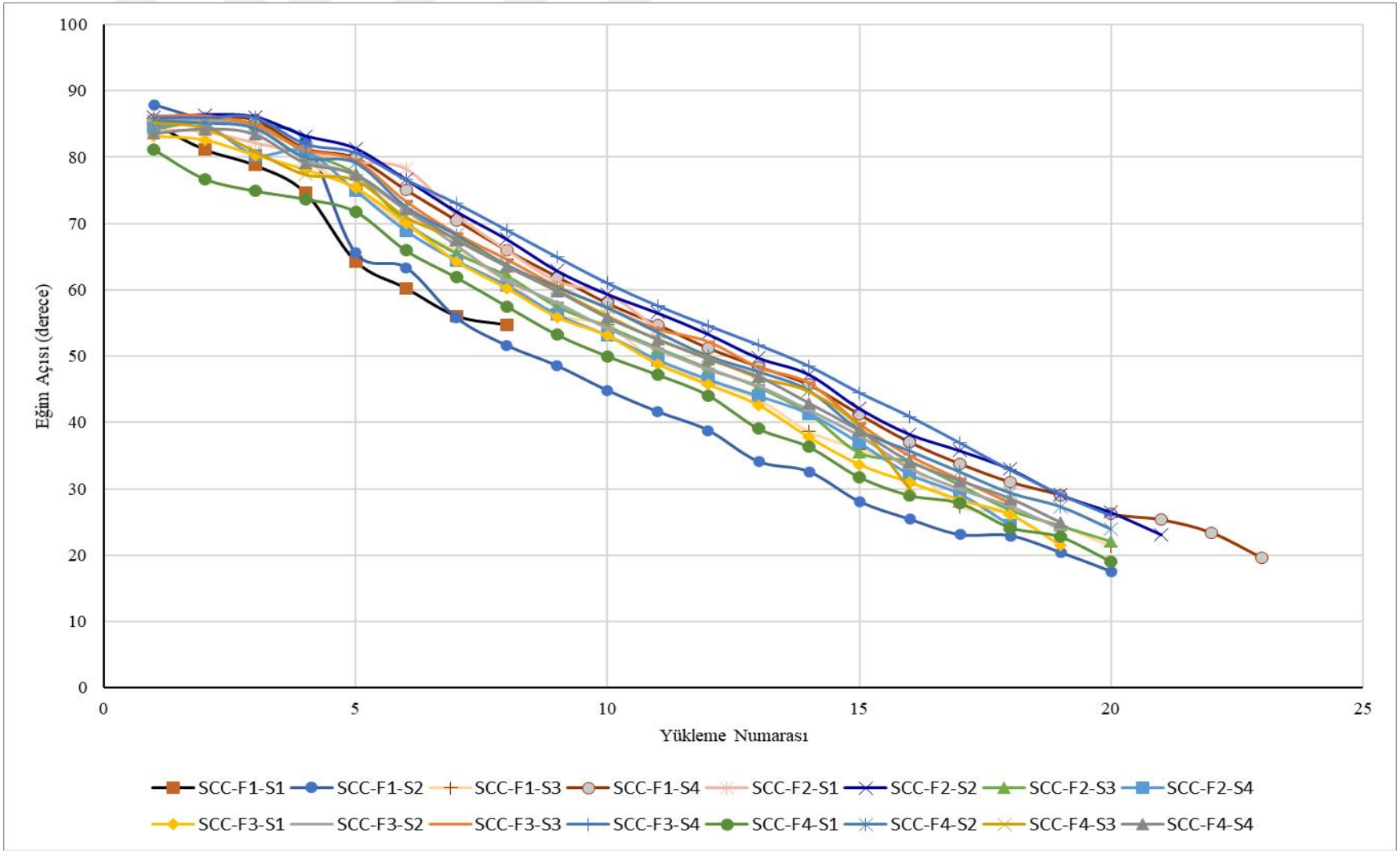
Tüm deney elemanlarına ait kümülatif tüketilen enerji-deplasman grafiği Şekil 4.188'de verilmiştir. Şekil 4.188 incelendiğinde en fazla enerji tüketen eleman bünyesinde makro fiber lifler bulundurmayan ancak en sık etriye aralığına sahip olan SCC-F1-S4 deney elemanıdır. Bünyesinde etriye ve makro lifleri bulundurmayan deney elemanlarının enerji sönümleme kapasiteleri oldukça düşük kalmıştır. Bu deney elemanlarında ani göçmeler meydana geldiği bilinmektedir. Bünyesinde hem 5 kg/m3 oranında makro lifler bulunduran deney elemanları hem de bünyesinde etriye bulunduran deney elemanlarının enerji sönümleme kabiliyetleri genel olarak yüksek seviyelerde kalmıştır.



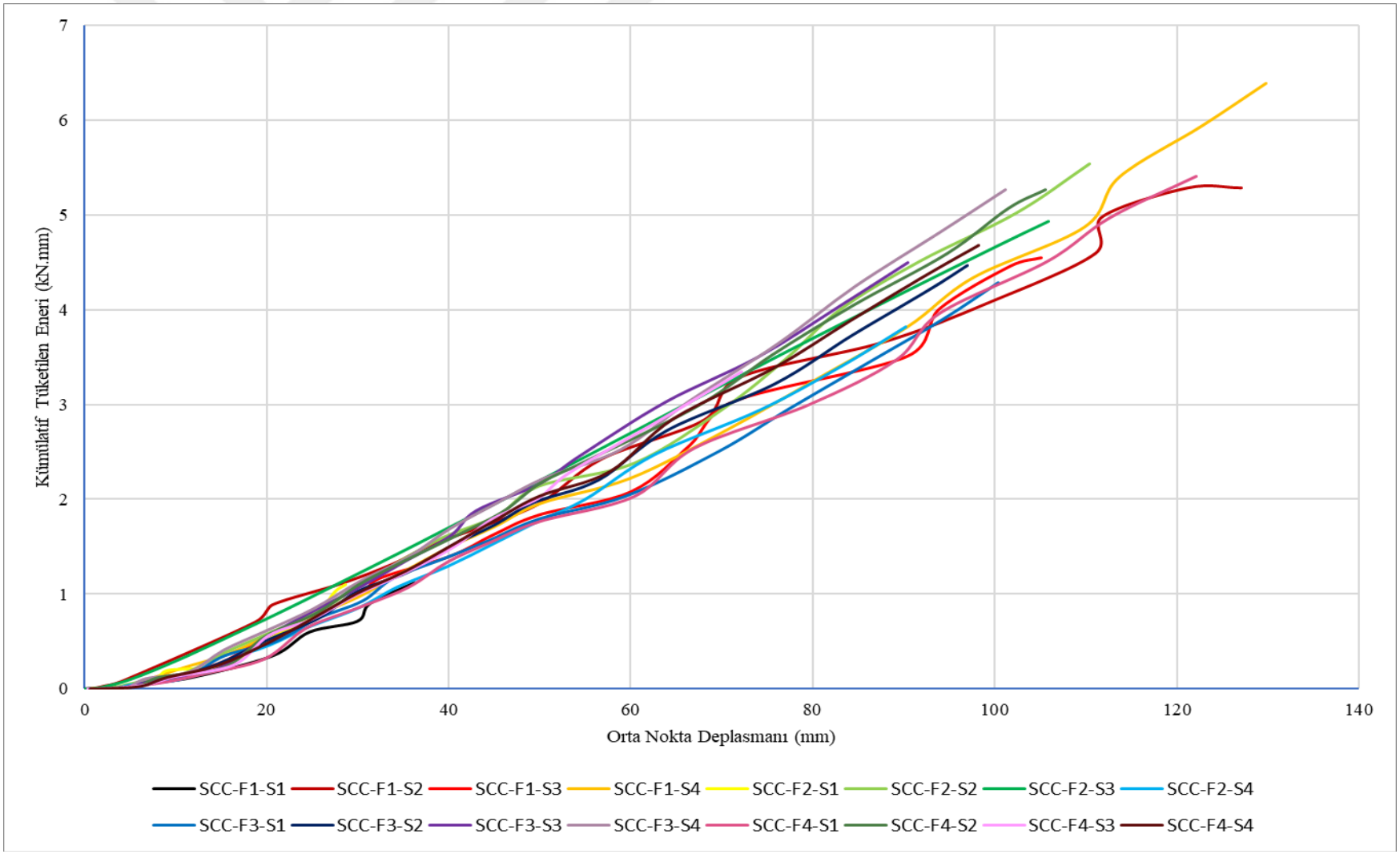
Şekil 4.185. Tüm elemanlara ait yük-deplasman grafiği



Şekil 4.186. Tüm elemanlara ait rijitlik grafiği



Şekil 4.187. Tüm elemanlara ait eğim açısı grafiği



Şekil 4.188. Tüm elemanlara ait kümülatif tüketilen enerji grafiği

Tüm deney numunelerine ait deney sonuçları Çizelge 4.20'de verilmiştir. Bu çizelgeden deneylerden elde edilen farklı sonuçlara ulaşılabilmektedir. Çizelge incelendiğinde;

- Tüm deneylerde çekme donatısı akma noktası 3000 ile 4000 kg arasında kalmıştır. Ancak içerisinde makro lif katkı maddesi bulunduran kirişlerin akma değeri makro lif katkı maddesi olmayan kirişlerden daha yüksek çıkmıştır.
- Maksimum yük taşıma kapasitesi lif oranı bağlı kalmamış her lif oranı için benzer yük değerlerinde maksimum yüke ulaşılmıştır.
- Tüm deneylerde ilk çatlak oluşumu ortalama 1000 ile 2000 kg yük değerinde gerçekleşmiştir. Ancak 1 adet kirişte 1000 kg yük değerinin altında ilk çatlaklar oluşmuştur. Bu iki kirişte etriye bulunmamaktadır. Makro lif katkısı birinde bulunurken diğerinde yoktur.
- Maksimum deplasman değeri deneyler için farklılık gösterse de geneli 90-110 mm deplasman değerini geçmiştir. Ancak 2 adet kirişte kesme kırılması meydana gelmiş ve bu kirişler düşük deplasman değerlerinde göçmüşlerdir. Bu kirişlerde etriye bulunmamakta ve birinde makro lif katkısı yokken diğeriden minimum oranda lif vardır.
- Başlangıç rijitlik değerleri lif katkı maddesi grupları için ortalama olarak benzerlik göstermiştir. Maksimum başlangıç değeri 16 kN/mm değeri ile SCC-F2-S2 elemanında gözlemlenmiştir. Bu deney elemanı 20 cm etriye aralığına ve 2,5 kg/m^3 lif oranına sahiptir.
- Tüketilen enerji miktarları bakımından ortalama en fazla enerji tüketimi 5 kg/m^3 ve 10 kg/m^3 lif oranına sahip kirişlerdir. Kesme kırılması görülen kirişlerde tüketilen enerji miktarı diğer kirişlere göre çok düşük kalmıştır.
- Süneklik değerleri birbirine en yakın ve ortalama olarak yüksek olan kirişler tüketilen enerji miktarında olduğu gibi 5 kg/m^3 ve 10 kg/m^3 lif oranına sahip kirişlerdedir. Ancak en yüksek süneklik değeri 27,28 değeri ile SCC-F1-S2 kirişinde gözlemlenmiştir. Bu kiriş elemanında etriye aralığı 20 cm ve makro lif bulundurmayan kiriştir.

Çizelge 4.20. Tüm numunelere ait deney sonuçları

Numune Adı	İlk Çatlak		Akma Noktası		Maksimum Yük		Çökme Noktası		Başlangıç Rijitliği (kN/mm)	Tüketilen Enerji (kN.m)	Süneklik	Kırılma Türü
	Yük (kN)	Depl. (mm)	Yük (kN)	Depl. (mm)	Yük (kN)	Depl. (mm)	Yük (kN)	Depl. (mm)				
SCC-F1-S1	9,426	0,814	33,371	6,624	44,495	30,00	37,820	36,264	11,5	1,1	5,47	KESME
SCC-F1-S2	22,78	2,33	35,50	4,66	47,338	111,1	40,237	127,14	13	5,2	27,28	EĞİLME
SCC-F1-S3	10,448	0,77	36,167	6,7	48,222	66,50	40,989	105,06	13,5	4,5	15,68	EĞİLME
SCC-F1-S4	21,335	1,648	40,758	7,262	54,344	90,398	46,192	129,83	13,5	6,5	17,88	EĞİLME
SCC-F2-S1	24,697	3,42	35,02	5,863	46,699	27,49	39,964	28,7	9,5	1,1	4,89	KESME
SCC-F2-S2	12,198	0,77	41,6631	6,36	55,5508	77,06	47,218	110,458	16	5,5	17,36	EĞİLME
SCC-F2-S3	11,768	0,94	38,00	6,11	50,6691	49,98	43,068	105,95	12,5	5	17,34	EĞİLME
SCC-F2-S4	14,555	1,31	36,24	5,815	48,3162	55,04	41,068	90,228	11	3,75	15,51	EĞİLME
SCC-F3-S1	21,712	3,713	38,848	7,34	46,466	69,72	39,494	100,327	8,5	4,25	13,66	EĞİLME
SCC-F3-S2	20,333	1,91	37,973	6,822	50,6312	56,459	43,0365	96,951	13	4,5	14,21	EĞİLME
SCC-F3-S3	10,334	0,677	42,114	6,588	56,1524	50,01	47,729	90,492	15	4,5	13,73	EĞİLME
SCC-F3-S4	12,010	0,847	43,434	7,11	57,9128	58,91	49,225	101,206	14	5,25	14,23	EĞİLME
SCC-F4-S1	14,748	3,482	37,167	10,9	49,556	93,95	42,123	122,15	6,5	5,5	11,2	EĞİLME
SCC-F4-S2	20,972	2,08	41,15	7,311	54,868	50,01	46,846	105,52	12,25	5,25	14,43	EĞİLME
SCC-F4-S3	20,397	3,26	39,81	8,89	53,078	49,83	41,67	72,14	12	3,3	8,11	EĞİLME
SCC-F4-S4	10,977	1,107	40,20	7,73	53,604	57,69	45,56	98,22	10	4,75	12,70	EĞİLME

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Yapılan deneyler sonuçlarında 16 adet kirişten şu sonuçlar elde edilmiştir.

- SCC-F1-S1 elemanında ilk çatlak 942,06 kg yük değerinde oluşmuştur. Eleman akma noktasına 3337,1 kg yük seviyesinde ve 6,62 mm deplasman değerinde ulaşmıştır. Elemanın ulaştığı maksimum yük 4449,5 kg'dır. Elemanın yaptığı maksimum deplasman miktarı 36,26 mm'dir. Eleman kesme kırılmasından göçmüştür. Elemanın başlangıç rijitliği yüksek seviyelerde kalmış olsa da enerji tüketim seviyesi oldukça düşük kalmıştır. Hem etriye hem de lif kullanılmaması kiriş elemanı kesme kırılmasına yönünden zayıf hale getirmiş, eleman gevrek bir özellik göstererek kesme kırılmasından göçmüştür. Eleman gevrek bir yapıya sahiptir.
- SCC-F1-S2 elemanında ilk çatlak 2278,02 kg yük değerinde oluşmuştur. Eleman akma noktasına 3550 kg yük seviyesinde ve 4,66 mm deplasman değerinde ulaşmıştır. Elemanın ulaştığı maksimum yük 4733,8 kg'dır. Elemanın yaptığı maksimum deplasman miktarı 127,14 mm'dir. Eleman eğilme kırılmasından göçmüştür. Elemanın başlangıç rijitliği yüksek seviyelerde kalmıştır ve enerji tüketim seviyesi kıyas edilen diğer numunelerden oldukça yüksek seviyelerdedir. Sık olmayan etriye aralığı kullanılmış olmasına rağmen elemanın süneklik düzeyi artmıştır. Etriye kullanımının süneklik özelliğine pozitif katkı sağladığı gözlemlenmiştir. Eleman sünek bir yapıya sahiptir.
- SCC-F1-S3 elemanında ilk çatlak 1044,87 kg yük değerinde oluşmuştur. Eleman akma noktasına 3616,7 kg yük seviyesinde ve 6,7 mm deplasman değerinde ulaşmıştır. Elemanın ulaştığı maksimum yük 4822,24 kg'dır. Elemanın yaptığı maksimum deplasman miktarı 105,06 mm'dir. Eleman eğilme kırılmasından göçmüştür. Elemanın başlangıç rijitliği yüksek seviyelerde kalmıştır ve enerji tüketim seviyesi kıyas edilen diğer numunelerden yüksek seviyelerdedir. Orta sıklıkta etriye aralığı kullanılmış olan elemanın süneklik düzeyi artmıştır. Etriye kullanımının süneklik özelliğine pozitif katkı sağladığı gözlemlenmiştir. Eleman sünek bir yapıya sahiptir.

- SCC-F1-S4 elemanında ilk çatlak 2133,5 kg yük değerinde oluşmuştur. Eleman akma noktasına 4075,8 kg yük seviyesinde ve 7,262 mm deplasman değerinde ulaşmıştır. Elemanın ulaştığı maksimum yük 5434,43 kg'dır. Elemanın yaptığı maksimum deplasman miktarı 129,83 mm'dir. Eleman eğilme kırılmasından göçmüştür. Elemanın başlangıç rijitliği yüksek seviyelerde kalmıştır ve enerji tüketim seviyesi kıyas edilen diğer numunelerden oldukça yüksek seviyelerdedir. Sık etriye aralığı kullanılmış olan elemanın süneklik düzeyi ciddi oranda artmıştır. Etriye kullanımının süneklik özelliğine pozitif katkı sağladığı gözlemlenmiştir. Eleman sünek bir yapıya sahiptir.
- SCC-F2-S1 elemanında ilk çatlak 2469,75 kg yük değerinde oluşmuştur. Eleman akma noktasına 3502 kg yük seviyesinde ve 5,863 mm deplasman değerinde ulaşmıştır. Elemanın ulaştığı maksimum yük 4669,9 kg'dır. Elemanın yaptığı maksimum deplasman miktarı 28,7 mm'dir. Eleman kesme kırılmasından göçmüştür. Elemanın başlangıç rijitliği yüksek seviyelerde kalmış olsa da enerji tüketim seviyesi oldukça düşük seviyelerde kalmıştır. Etriye kullanımı olmayan yalnız düşük oranlarda lif kullanımı olan kiriş elemanda, eleman gevrek bir davranış göstererek kesme kırılmasından göçmüştür. Etriye kullanımı olmayan kirişlere düşük oranda lif kullanımı elemana istenilen düzeylerde süneklik özelliği katmadığı gözlemlenmiştir. Eleman gevrek bir yapıya sahiptir.
- SCC-F2-S2 elemanında ilk çatlak 1219,85 kg yük değerinde oluşmuştur. Eleman akma noktasına 4166,31 kg yük seviyesinde ve 6,36 mm deplasman değerinde ulaşmıştır. Elemanın ulaştığı maksimum yük 5555,08 kg'dır. Elemanın yaptığı maksimum deplasman miktarı 110,458 mm'dir. Eleman eğilme kırılmasından göçmüştür. Elemanın başlangıç rijitliği yüksek seviyelerde kalmıştır ve enerji tüketim seviyesi kıyas edilen diğer numunelerden oldukça yüksek seviyelerdedir. Sık olmayan etriye aralığı ve düşük oranda lif kullanımında elemanın süneklik düzeyinde artışlar meydana geldiği gözlemlenmiştir. Eleman sünek bir yapıya sahiptir.
- SCC-F2-S3 elemanında ilk çatlak 1176,89 kg yük değerinde oluşmuştur. Eleman akma noktasına 3800 kg yük seviyesinde ve 6,11 mm deplasman değerinde ulaşmıştır. Elemanın ulaştığı maksimum yük 5066,91 kg'dır. Elemanın yaptığı maksimum deplasman miktarı 105,95 mm'dir. Eleman eğilme kırılmasından göçmüştür. Elemanın başlangıç rijitliği yüksek seviyelerde kalmıştır ve enerji tüketim seviyesi kıyas edilen diğer numunelerden yüksek

seviyelerdedir. Orta sıklıkta etriye aralığı ve düşük oranda lif kullanımında elemanın süneklik düzeyinde artışlar meydana geldiği gözlemlenmiştir. Eleman sünek bir yapıya sahiptir.

- SCC-F2-S4 elemanında ilk çatlak 1455,54 kg yük değerinde oluşmuştur. Eleman akma noktasına 3624 kg yük seviyesinde ve 5,815 mm deplasman değerinde ulaşmıştır. Elemanın ulaştığı maksimum yük 4831,62 kg'dır. Elemanın yaptığı maksimum deplasman miktarı 90,228 mm'dir. Eleman eğilme kırılmasından göçmüştür. Elemanın başlangıç rijitliği yüksek seviyelerde kalmıştır ve enerji tüketim seviyesi kıyas edilen diğer numunelere göre biraz düşük seviyelerdedir. Sık etriye aralığı ve düşük oranda lif kullanımında elemanın süneklik düzeyinde kıyas edilen diğer kirişlere göre süneklik düzeyinde beklenen performans görülememiştir. Etriye aralığı sıklaştıkça, lif kullanımının kiriş davranışına negatif etki ettiği gözlemlenmiştir. Eleman sünek bir yapıya sahiptir.
- SCC-F3-S1 elemanında ilk çatlak 2171,29 kg yük değerinde oluşmuştur. Eleman akma noktasına 3484,8 kg yük seviyesinde ve 7,34 mm deplasman değerinde ulaşmıştır. Elemanın ulaştığı maksimum yük 4646,6 kg'dır. Elemanın yaptığı maksimum deplasman miktarı 100,32 mm'dir. Eleman eğilme kırılmasından göçmüştür. Elemanın başlangıç rijitliği diğer numunelerden biraz düşük seviyelerde kalmıştır. Enerji tüketim seviyesi kıyas edilen diğer numunelere göre biraz düşük seviyelerdedir. Ancak eleman içerisinde etriye bulunmazken bu değerlerde rijitlik ve enerji tüketim seviyesi değerleri göstermesi yapısında bulunan makro lifler bulundurmasından olduğu düşünülmektedir. Etriye kullanımı olmayan ancak orta oranda lif kullanımı elemanın süneklik düzeyinde ciddi artışlar meydana getirdiği gözlemlenmiştir. Eleman sünek bir yapıya sahiptir.
- SCC-F3-S2 elemanında ilk çatlak 2033,35 kg yük değerinde oluşmuştur. Eleman akma noktasına 3797,3 kg yük seviyesinde ve 6,822 mm deplasman değerinde ulaşmıştır. Elemanın ulaştığı maksimum yük 5063,12 kg'dır. Elemanın yaptığı maksimum deplasman miktarı 96,95 mm'dir. Eleman eğilme kırılmasından göçmüştür. Elemanın başlangıç rijitliği yüksek seviyelerde kalmıştır ve enerji tüketim seviyesi kıyas edilen diğer numunelere göre biraz düşük seviyelerdedir. Sık olmayan etriye kullanımı ile beraber orta oranda lif katkı maddesi kullanımı malzemenin süneklik özelliğine kıyas edilen diğer kirişlere göre negatif etkisi olduğu gözlemlenmiştir. Eleman sünek bir yapıya sahiptir.

- SCC-F3-S3 elemanında ilk çatlak 1033,45 kg yük değerinde oluşmuştur. Eleman akma noktasına 4211,4 kg yük seviyesinde ve 6,588 mm deplasman değerinde ulaşmıştır. Elemanın ulaştığı maksimum yük 5615,24 kg'dır. Elemanın yaptığı maksimum deplasman miktarı 90,49 mm'dir. Eleman eğilme kırılmasından göçmüştür. Elemanın başlangıç rijitliği yüksek seviyelerde kalmıştır ve enerji tüketim seviyesi kıyas edilen diğer numunelere göre biraz düşük seviyelerdedir. Orta sıklıkta etriye kullanımı ile beraber orta oranda lif katkı maddesi kullanımı malzemenin süneklik özelliğine kıyas edilen diğer kirişlere göre negatif etkisi olduğu gözlemlenmiştir. Eleman sünek bir yapıya sahiptir.
- SCC-F3-S4 elemanında ilk çatlak 1201,02 kg yük değerinde oluşmuştur. Eleman akma noktasına 4343,4 kg yük seviyesinde ve 7,11 mm deplasman değerinde ulaşmıştır. Elemanın ulaştığı maksimum yük 5791,28 kg'dır. Elemanın yaptığı maksimum deplasman miktarı 101,206 mm'dir. Eleman eğilme kırılmasından göçmüştür. Elemanın başlangıç rijitliği yüksek seviyelerde kalmıştır ve enerji tüketim seviyesi kıyas edilen diğer numunelere göre ortalama seviyelerdedir. Sık etriye kullanımı ile beraber orta oranda lif katkı maddesi kullanımı malzemenin süneklik özelliğine kıyas edilen diğer kirişlere göre negatif etkisi olduğu gözlemlenmiştir. Eleman sünek bir yapıya sahiptir.
- SCC-F4-S1 elemanında ilk çatlak 1474,85 kg yük değerinde oluşmuştur. Eleman akma noktasına 3716,7 kg yük seviyesinde ve 10,9 mm deplasman değerinde ulaşmıştır. Elemanın ulaştığı maksimum yük 4955,6 kg'dır. Elemanın yaptığı maksimum deplasman miktarı 122,15 mm'dir. Eleman eğilme kırılmasından göçmüştür. Enerji tüketim seviyesi kıyas edilen diğer numunelere göre biraz düşük seviyelerdedir. Ancak eleman içerisinde etriye bulunmazken bu değerlerde rijitlik ve enerji tüketim seviyesi değerleri göstermesi yapısında bulunan makro lifler bulundurmasından olduğu düşünülmektedir. Etriye kullanımı olmayan ancak yüksek oranda lif kullanımı elemanın süneklik düzeyinde ciddi artışlar meydana getirdiği gözlemlenmiştir. Eleman sünek bir yapıya sahiptir.
- SCC-F4-S2 elemanında ilk çatlak 2097,27 kg yük değerinde oluşmuştur. Eleman akma noktasına 4115 kg yük seviyesinde ve 7,311 mm deplasman değerinde ulaşmıştır. Elemanın ulaştığı maksimum yük 5486,88 kg'dır. Elemanın yaptığı maksimum deplasman miktarı 105,52 mm'dir. Eleman eğilme kırılmasından göçmüştür. Elemanın başlangıç rijitliği yüksek seviyelerde

kalmıştır ve enerji tüketim seviyesi kıyas edilen diğer numunelere göre ortalama seviyelerdedir. Sık olmayan etriye kullanımı ile beraber yüksek oranda lif katkı maddesi kullanımı malzemenin süneklik özelliğine kıyas edilen diğer kirişlere göre negatif etkisi olduğu gözlemlenmiştir. Eleman sünek bir yapıya sahiptir.

- SCC-F4-S3 elemanında ilk çatlak 2039,79 kg yük değerinde oluşmuştur. Eleman akma noktasına 3981 kg yük seviyesinde ve 8,89 mm deplasman değerinde ulaşmıştır. Elemanın ulaştığı maksimum yük 5307,88 kg'dır. Elemanın yaptığı maksimum deplasman miktarı 72,15 mm'dir. Eleman eğilme kırılmasından göçmüştür. Elemanın başlangıç rijitliği yüksek seviyelerde kalmıştır ve enerji tüketim seviyesi kıyas edilen diğer numunelere göre ortalama seviyelerdedir. Orta sıklıkta etriye kullanımı ile beraber yüksek oranda lif katkı maddesi kullanımı malzemenin süneklik özelliğine kıyas edilen diğer kirişlere göre negatif etkisi olduğu gözlemlenmiştir. Eleman sünek bir yapıya sahiptir.
- SCC-F4-S4 elemanında ilk çatlak 1097,77 kg yük değerinde oluşmuştur. Eleman akma noktasına 4020 kg yük seviyesinde ve 7,73 mm deplasman değerinde ulaşmıştır. Elemanın ulaştığı maksimum yük 5360,45 kg'dır. Elemanın yaptığı maksimum deplasman miktarı 98,22 mm'dir. Eleman eğilme kırılmasından göçmüştür. Elemanın başlangıç rijitliği yüksek seviyelerde kalmıştır ve enerji tüketim seviyesi kıyas edilen diğer numunelere göre ortalama seviyelerdedir. Sık etriye kullanımı ile beraber yüksek oranda lif katkı maddesi kullanımı malzemenin süneklik özelliğine kıyas edilen diğer kirişlere göre negatif etkisi olduğu gözlemlenmiştir. Eleman sünek bir yapıya sahiptir.

Yapısal Makro Fiber Sentetik Liflerin Betonarme Kirişlerin Eğilme Davranışına Etkisi adlı yapılan tez çalışmasında elde edilen sonuçlar beton içerisine karıştırılan makro fiber sentetik liflerin betonarme bir elemanda başlangıç rijitliğinin artması ve tüketilen enerji miktarına katkı sağladığını göstermektedir. Çalışmada betonarme bir elemanda optimum lif kullanım oranı 5 kg/m^3 olarak tespit edilmiştir. Yüksek oranda lif kullanımı betonarme elemanda kullanılan donatının beton ile aderansına negatif etkisi olduğu gözlemlenmiştir. Bundan dolayı donatı kullanımı yoğun olan betonarme elemanda lif kullanımının davranışa negatif etkisi olduğu ortaya çıkmıştır. Özellikle etriyesiz olarak imal edilmiş betonarme kiriş elemanlarda süneklik düzeyinin artmasına olumlu etkide bulunduğu tespit edilmiştir. Etriyesiz olarak imal edilen betonarme kirişlere makro sentetik liflerin kullanılmaması neticesinde veya hacimce düşük miktarlarda kullanılması

sonucunda elemanlar gevrek bir davranış göstererek kesme kırılması sonucu göçmüştür. Yapılan deneylerden elde edilen veriler etriye kullanımının yoğun olmadığı kirişlerde lifler davranışa pozitif katkı sağlarken, etriye kullanımının yoğun olduğu kirişlerde davranışa negatif etkisi olduğu görülmüştür. Bu sebepten dolayı yapı elemanlarının üretiminde bu ve benzeri lifler kullanılacaksa özellikle enine donatı kullanımı olmayan yapı elemanlarımda tercih edilmesi tavsiye edilmektedir. Kullanılan lif katkı maddesinin erime sıcaklığı 160°C'dir. Erime sıcaklığı düşük olan lif katkı maddesinin kullanımında yangın için özel önlemler alınması yapıya daha güvenli hale getirecektir. Bu lifin kullanımında yangın için özel önlemler alınması tavsiye edilmektedir.

5.2. Öneriler

- Bu çalışmada deneye tabii tutulan deney elemanları ½ ölçeklidir. 1/1 ölçekli numuneler kullanmak daha gerçekçi sonuçlar verecektir.
- Bu çalışmada her bir deney elemanından bir adet üretilmiştir. Her bir elemandan üçer adet üretmek daha gerçekçi sonuçlar verecektir.
- Bu çalışmada bir adet sabit ve bir adet hareketli mesnet kullanılmıştır. Ankastre mesnet düzenlenerek çalışmaya mesnet etkisi dahil edilebilir.
- Çalışmaya farklı beton türleri eklenerek parametre arttırılabilir.
- Çalışmaya farklı beton dayanımı eklenerek parametre arttırılabilir.
- Çalışmada farklı lif çeşidi/çeşitleri kullanılarak parametre arttırılabilir.
- Çalışmada lif oranları değiştirilerek veya yeni lif oranları ekleyerek parametre arttırılabilir.
- Çalışmada farklı a/d oranları kullanılarak parametre arttırılabilir.
- Çalışmada kullanılan kirişler bilgisayarda modellenerek kıyas edilebilir.
- Çalışmada kullanılan liflerin yangın dayanımı araştırılabilir.

KAYNAKLAR

Alexandra, C., Bogdan, H., Camelia, N., Zoltan, K., 2018, Mix Design Of Self-Compacting Concrete with Limestone Filler Versus Fly Ash Addition, *Procedia Manufacturing*, 301-308.

Altın, M., Çöğürcü, M.T., Döndüren, M.S., 2006, Kendiliğinden Yerleşen Betonun Dayanım Özellikleri İçin Deneysel Bir Çalışma, *Selçuk-Teknik Dergisi*, 5(3), 77-88.

Anonim, 2009a, https://santiyeci.blogspot.com/2009/06/uc-nokta-silindir-deneyi.html [Ziyaret Tarihi: 22 Mart 2021].

Anonim, 2017a, http://www.bakcivi.com.tr/civi-ve-tel [Ziyaret Tarihi: 15 Nisan 2021].

Anonim, 2019a, https://www.kobibest.com/yildiz-havsa-basli-matkap-uclu-vida-258 [Ziyaret Tarihi: 15 Nisan 2021].

Anonim, 2020a, https://muhendisce.com/vibrasyon-titresim-nedir-betona-vibrasyon-uygulamasi-nasil-yapilmali/ [Ziyaret Tarihi: 22 Mart 2021].

Anonim, 2020b, https://www.bisantiye.com/kendiliginden-yerlesen-beton-kyb/ [Ziyaret Tarihi: 4 Nisan 2021].

Anonim, 2021a, https://www.utest.com.tr/tr/20623/J-Halkasi [Ziyaret Tarihi: 4 Nisan 2021].

Aryan, A., 2014, Polioropilen Lif Takviyeli Betonarme Kirişlerin Deneysel ve Analitik Olarak Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.

ASTM C1116/C116M, 2015, Standard Specification for Fiber-Reinforced Concrete.

Atabey. V., 2019, Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda Kullanılan Deneyler [online], https://volkanatabey.com.tr/kendiliginden-yerlesen-betonlarda-kullanilan-deneyler/ [Ziyaret Tarihi: 4 Nisan 2021].

Aydın, A.C. ve Bayrak, B., 2016, Kendiliğinden Yerleşen ve Normal Betonlu Betonarme Kirişlerin Burulma Davranışının Deneysel ve Teorik Olarak İncelenmesi, *Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 1(1), 23-32.

Banthia, N. And Nandakumar, N., 2003, Crack Growth Resistance of Hybrid Fiber Reinforced Cement Composites, *Cement and Concrete Compısites*, 25(1), 3-9.

Bello, H. J., 2014, Flexural Behavior of Lightly and Heavily Reinforced Steel Fiber Concrete Beams, Yüksek Lisans Tezi, *Atılım Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.

Benaichaa, M., Alaouib, A. H., Jalbaudc, O., Burtschell, Y., 2019, Dosage Effect of Superplasticizer on Self-Compacting Concrete Correlation Between Rheology and

Strenght, *Journal of Materials Research and Technology*, doi:10.1016/.jmrt.2019.01.015.

Birincioğlu, M. İ., 2016, Çelik Lifli Betonarme Kirişlerin Kesme Mukavemeti, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.

Birol, T., 2016, Ultra Yüksek Performanslı Lifli Beton İle Üretilen Betonarme Kirişlerin Eğilme Davranışının İncelenmesi, Doktora Tezi, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Balıkesir.

Cengiz, S., 2019, Kendiliğinden Yerleşen Beton ile Üretilmiş, Sabit Dikdörtgen Kesitli Betonarme Kirişlerde Kesme ve Eğilme Davranışının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Konya.

CEN "EN 14651, 2005, Test method for metallic fibre concrete - Measuring the flexural tensile strength", CEN, Brussels, Belgium.

Cimilli, T., 1978, Donatılı Betonlarda Matrix-Lif Aderansı, Türkiye İnş. Müh. 7. Teknik Kongresi, Ankara.

Conforti, A., Tiberti, G., Plizzari, G. A., Caratelli, A., Meda, A., 2017, Precast Tunnel Segments Reinforced By Macro-Synthetic Fibers, *Tunnelling and Underground Space Technology*, 63, pp. 1–11.

Conforti, A., Zerbino, R., Plizzari, G. A., 2020, Assessing The İnfluence Of Fibers On The Flexural Behavior Of Reinforced Concrete Beams With Different Longitudinal Reinforcement Ratios, *Structural Concrete*.

Conforti, A., Zerbino, R., Plizzari, G. A., 2019, Influence of Steel, Glass and Polymer Fibers on the Cracking Behavior of Reinforced Concrete Beams Under Flexure, *Structural Concrete*, 20(1), pp. 133–143.

Demirel, B., Gönen, T., 2007, Karbon Fiber Takviyeli Betonda Farklı Fiber Boyunun Kapilariteye Etkisi, F. Ü. DAUM Dergisi, 6 (1) 200712-15.

Faeq, M. N. F., 2015, Flexural Behavior Of Reinforced Concrete Beams Having Various Layers Of Conventional And Steel Fiber Reinforced Concrete, Yüksek Lisans Tezi, *Atılım Üniversitesi Fen Bilimleri Üniversitesi*, Ankara.

Felekoğlu B., 2003, Kendiliğinden Yerleşen Betonun Fiziksel Ve Mekaniksel Özelliklerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir.

İnan, B., 2003, Kendiliğinden Yerleşen Betonun Fiziksel ve Mekaniksel Özelliklerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir.

İnkaya, N., 2018, Çeşitli Fiber Katkılı Polimerlerle Güçlendirilmiş Betonarme Kirişlerin Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Modellenmesi Ve Analizi, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.

Kamanlı, M., 1999, Değişken Kesitli Kirişlerin Davranışının Teorik Ve Deneysel Olarak İncelenmesi, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.

Karahan, O., 2006, Liflerle Güçlendirilmiş Uçucu Küllü Betonların Özellikleri, Doktora Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana.

Kassami, F., El-Sayed, A. K. And Khayat, K. H., 2014, Performance of Fiber-Reinforced Self-Consolidating Concrete for Repair of Reinforced Concrete Beams, *ACI Structural Journl, November-December*, 111(6), 1277-1284.

Kim, J. K., Yi, S.T., Park, C.K. and Eo, S.H., 1999, Size Effect on Compressive Strenght of Plain and Spirally Rein-Forced Concrete Cylinders, *AC/ Structural Journal*, 96(1),88-94.

MacGregor, J.G., Wight, J.K., Teng, S., Irıwan, P., 1997, Reinforced Concrete: Mechanics and Design [online], https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=Reinforced%20Concrete%3A%20Mechanics%20and%20Design&publication_year=1997&author=J.G.%20MacGregor [Ziyaret Tarihi: 15 Mayıs 2021]

Mermerdaş, K., 2015, Kendiliğinden Yerleşen Beton ve Özellikleri [online], https://slideplayer.biz.tr/slide/2592684/ [Ziyaret Tarihi: 15 Mayıs 2021]

Nasim, S. Musa, M. H., Hasan, K., 2018, Shear Capacity Investigation of Self Compacting Concrete Beams With Rectangular Spiral Reinforced, *Construction and Building Materials, 189*, 640-648.

Okamura, H. 1997, Self Compacting High Performance Concrete, Concrete International, *19*(7), 50-54.

Özcan, D. M., 2003, Betonarme Kiriş Elemanlarda Çelik Lif Katkısının Taşıma Gücüne Etkisinin Deneysel İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Üniversitesi*, Kayseri.

Öztürk, B., 2018, FRP Donatılı Betonarme Kirişlerin Eğilme Etkisi Altındaki Davranışı, Yüksek Lisans Tezi, *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Niğde.

Sağlam A. R. ve Özkul M. H., 2006, Kendiliğinden Yerleşen Betonların Reolojik Özelliklerine Bileşim Parametrelerinin Etkisi, *İTÜ Mühendislik Dergisi*, 5(1b), 239-250

Sayın, B., 2009, Lif Takviyeli Plastik Levhalar ile Güçlendirilmiş Betonarme Kirişlerin Yük Taşıma Kapasitesini Belirlenmesi, Doktora Tezi, *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.

Skarendahl, A., Petersson, Ö., 2000, Self Compacting Concrete, RILEM publication: State-of-the-Art Report Of RILEM Technical Comittee 174-SCC

Şahiner, H., 2018, Fiber Takviyeli Polimer Donatının Betonarme Kiriş Dayanımına Etkisinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir.

Taşkın, V., 2016, Bitlis Pomzası İle Kendiliğinden Yerleşen Hafif Beton Tasarımı ve Özelliklerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bitlis.

TBDY, 2018, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara.

Topçu İ.B., Bilir T., Baylavlı H., 2008, Kendiliğinden Yerleşen Betonun Özellikleri, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Müh. Ve Mim. Fak. Dergisi*, 21(2), 1-22.

TS EN 14651, 2006, Metal lifli beton – Deney metodu- Eğilmede çekme dayanımının tayini, Ankara.

TS EN 14889-2, 2006, Lifler – Betonda Kullanım İçin- Bölüm 2: Polimer Lifler, Ankara.

Ünal, A., 2016, Sabit Dikdörtgen Kesitli Kirişlerin Farklı Mesnet Koşullarında Kesme Kapasitesinin Araştırılması, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.

Ünal, A., Cengiz, S., Kamanlı, M., 2021, Effect of Stirrup Spacing and Polypropylene Fiber Ratio on Behavior of Reinforced Concrete Beams, *Periodica Poltechnica Civil Engineering*, 65(2), pp. 522-536.

Yardımcı, M. Y., 2007, Çelik Lifli Kendiliğinden Yerleşen Betonların Reolojik, Mekanik, Kırılma Parametrelerinin Araştırılması ve Optimum Tasarımı, Doktora Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir.