



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**SAPLAMA KİRİŞ SEBEBİYLE OLUŞAN
HASARLARIN DENEYSEL OLARAK
İNCELENMESİ VE UYGUN
DONATILANDIRMA VE GÜÇLENDİRME
YÖNTEMİNİN BELİRLENMESİ**

Jamal İbrahim ALİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat mühendisliği Anabilim Dalı

Mayıs-2022
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Jamal İbrahim ALİ tarafından hazırlanan “SAPLAMA KİRİŞ SEBEBİYLE OLUŞAN HASARLARIN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ VE UYGUN DONATILANDIRMA VE GÜÇLENDİRME YÖNTEMİNİN BELİRLENMESİ.” adlı tez çalışması 27/05/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Prof. Dr. Mehmet KAMANLI

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Alptuğ ÜNAL

Üye

Doç. Dr. Fatih BAHADIR

İmza

.....

.....

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN
Enstitü Müdürü

Bu tez çalışması Konya Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından 211004059 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.

Jamal Ibrahim ALI

Tarih: 30.05.2022

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SAPLAMA KİRİŞ SEBEBİYLE OLUŞAN HASARLARIN DENEYSSEL OLARAK İNCELENMESİ VE UYGUN DONATILANDIRMA VE GÜÇLENDİRME YÖNTEMİNİN BELİRLENMESİ

Jamal İbrahim ALİ

**Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Alptuğ ÜNAL

2022, 103 Sayfa

Jüri

**Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Alptuğ ÜNAL
Prof. Dr. Mehmet KAMANLI
Doç. Dr. Fatih BAHADIR**

Türkiye’de geçmişten günümüze kadar meydana gelen depremler incelendiğinde, bina hasar tespit çalışmalarına göre binalarda meydana gelen hasarlardan bir tanesinin, saplama kirişten dolayı esas kirişte oluşan kesme hasarları ve kesme çatlakları olduğu bilinmektedir. Saplama kirişler, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018’de verilen hükümlere tabi olmayıp yardımcı eleman olarak kullanılmaktadır. Ayrıca betonarme saplama kiriş ile ilgili mevcut literatürde yapılmış sınırlı sayıda makale veya tez bulunduğundan dolayı konu hakkında araştırma yapılması önem kazanmıştır. Bu amaçla bu çalışmada olası bir deprem durumunda saplama kirişten dolayı esas kiriş üzerinde oluşan hasarlar ve bu hasarları önleme yöntemleri araştırılmıştır. Böylelikle mevcut yönetmeliklere de katkı sağlayacak bir çalışma olması hedeflenmiştir. Tez kapsamında deneysel bir çalışma yapılmış olup, 6 farklı numune üretilmiştir. İlk 4 deneyde etriye aralığının ve yatay pilye kullanımının esas kiriş davranışına etkisi incelenmiş, son iki deneyde ise karbon ve cam fiber güçlendirme polimer (FRP) tekstil malzemeleriyle esas kirişte hasar alması muhtemel bölgeler güçlendirilmiş ve bu güçlendirmenin esas kiriş davranışına etkisi incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışmadan elde edilen veriler kullanılarak her deney için deplasman, rijitlik, tüketilen enerji ve eğim açısı grafikleri çizilmiştir. Her deneyde oluşan hasarlar ve çatlaklar, çizilen grafiklerin ışığında yorumlanmış ve deneylerin sonuçları birbirleri ile karşılaştırılması yapılmıştır. Sonuç olarak yeni yapılacak binalar için, esas kirişin saplama kiriş ile kesiştiği bölgede enine donatı sıklaştırması ve yatay pilye ile birlikte kullanılmasının iyi bir seçenek olduğu ortaya konulmuştur. Mevcut yapıları temsilen oluşturulan kirişlerde ise karbon fiber güçlendirme polimer kumaşı ile güçlendirilen deney elemanının (SB-CFRP), tüm deneyler içerisinde en iyi yük taşıma kapasitesine sahip olduğu görülmüştür. Ancak düşük deplasman seviyesinden dolayı tüketilen enerji ve sünekliği diğer yeni donatı tasarımı yapılan (esas kiriş saplama kiriş ile kesiştiği bölgede enine donatı sıklaştırılmış (SB-STR), esas kiriş saplama kiriş ile kesiştiği bölgede iki adet yatay pilye konulmuş (SB-BB), esas kiriş saplama kiriş ile kesiştiği bölgede hem enine donatı sıklaştırması hem de iki adet yatay pilye konulmuş (SB-STR-BB)) numunelere göre daha düşük sonuç vermiştir. Güçlendirme yapılan SB-CFRP ve cam fiber güçlendirme polimer kumaşı ile güçlendirilen deney elemanı (SB-GFRP) deney elemanlarının yapısal sonuçları karşılaştırıldığında SB-CFRP numunesinin enerji tüketiminin daha düşük ama daha sünek bir davranışa sahip olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Betonarme esas kiriş, Betonarme saplama kiriş, CFRP, GFRP, etriye sıklaştırması, yatay pilye

ABSTRACT

MS THESIS

EXPERIMENTAL STUDY OF DAMAGES CAUSED BY SECONDARY BEAMS AND DETERMINATION OF THE APPROPRIATE REINFORCEMENT AND RETROFITTING METHOD

Jamal Ibrahim ALI

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Civil Engineering**

Advisor: Asst. Prof. Alptuğ ÜNAL

2022, 103 Pages

Jury

**Advisor: Assist. Prof. Dr. Alptuğ ÜNAL
Prof. Dr. Mehmet KAMANLI
Assoc. Prof. Dr. Fatih BAHADIR**

Building damage assessment studies show that the common damages that occur in buildings are the shear damages and shear cracks that occur on the main beam due to the stud beam after examining earthquakes occurring from past to present in Turkey. Stud beams are not subject to the provisions given in the Turkish Building Earthquake Regulation 2018 and are used as auxiliary elements. Furthermore, since there are a limited number of articles or thesis made in the current literature on reinforced concrete stud beam, it has gained importance to conduct research on the subject. For this purpose, damages to the main beam due to the stud beam in the event of a possible earthquake and methods to prevent these damages were investigated. Thus, it is aimed to be a study that will contribute to the existing regulations. In addition, reinforced concrete stud beam related researches have gained importance since there are a limited number of researches made on this topic. Therefore, damages occurring on the main beam due to the stud beam in the event of a possible earthquake and methods of preventing these damages were investigated. Thus, it is aimed to be a study that will contribute to the existing regulations.

In this thesis, 6 different samples were prepared for experimental study. In the first 4 experiments, the effect of stirrup spacing and cranked bars usage on the behavior of the main beam was examined, and in the last two experiments, carbon and glass fiber strengthening polymer (FRP) textile materials were used to strengthen the areas that are likely to be damaged in the main beam and the effects of this strengthening on the behavior of the main beam were examined. Using the data obtained from the experimental study, displacement, rigidity, energy consumed and tilt angle graphs were obtained in each experiment. The damages and cracks that occurred in each experiment were interpreted in the light of the graphs obtained and the results of the experiments were compared with each other. As a result, tightening the transverse reinforcement in the area where the main beam intersects with the stud beam and using horizontal cranked shafts was obtained to be good option for new buildings. Additionally, it was observed that the SB-CFRP strengthened beam samples had the best load carrying capacity among all experiments carried out. However, the energy consumed due to low displacement level and ductility of these samples has given lower result than other internal reinforced samples (SB-STR, SB-BB, SB-STR-BB). After comparing the experimental results of SB-CFRP and SB-GFRP reinforced samples, it was observed that the energy consumption of the SB-CFRP sample had a lower but more ductile behavior.

Keywords: Reinforced concrete main beam, reinforced concrete secondary beam, CFRP, GFRP, stirrup spacing, cranked bars

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitim hayatım boyunca bilgisini ve tecrübesini benimle paylaşan, aynı zamanda maddi ve manevi desteğini hiç esirgemeyen değerli danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Alptuğ ÜNAL'a şükranlarım sunarım.

Bu tezde kullanılan karbon fiber güçlendirme polimer kumaşını hibe olarak gönderen Beşoğlu endüstri firmasına şükranlarım sunarım.

Bu tezin oluşmasında finansal destek sağlayan Konya Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne teşekkürlerimi sunarım.

Konya Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Yapı ve Deprem Araştırma Laboratuvar görevlisi Mehmet Emin GÜRHAN'a fiziki yardımlarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi desteğini hiç esirgemeyen değerli aileme sonsuz şükranlarım sunarım.

Jamal İbrahim ALI
KONYA-2022

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	iv
1. GİRİŞ	1
1.1. Amaç	4
1.2. Tezin Önemi	5
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	7
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	14
3.1. Deneş Elemanlarının Özellikleri	14
3.2. Deneş Numunelerinin Malzeme Özellikleri.....	19
3.2.1. Beton	19
3.2.2. Çelik donatı.....	20
3.2.3. Karbon fiber güçlendirme polimer (CFRP) kumaş malzemesi	21
3.2.4. Cam fiber güçlendirme polimer (GFRP) tekstil malzemesi	23
3.2.5. FRP kumaş ile kullanılan epoksi reçinesi	25
3.3. Deneş Elemanlarının Üretilmesi	26
3.3.1. Donatıların hazırlanması.....	26
3.3.2. Kalıpların hazırlanması.....	27
3.3.3. Beton dökümü.....	27
3.4. FRP Kumaş ile Güçlendirilen Kirişlerin Hazırlanması	28
3.5. Deneş Düzenegi.....	32
3.6. Ölçüm Tekniğı	34
3.7. Ölçümlerin Değerlendirilmesi	35
3.7.1. Yük-Deplasman grafiklerinin çizilmesi.....	35
3.7.2. Rijitlik grafiklerinin çizilmesi.....	36
3.7.3. Tüketilen enerji grafiklerinin çizilmesi.....	37
3.7.4. Süneklik değerlerinin elde edilmesi.....	38
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	40
4.1. Deneş Sonuçları.....	40
4.1.1. Deneş-1 (SB-REF)	40
4.1.2. Deneş-2 (SB-STR)	49
4.1.3. Deneş-3 (SB-BB)	57
4.1.4. Deneş-4 (SB-STR-BB).....	65
4.1.5. Deneş-5 (SB-CFRP)	73
4.1.6. Deneş-6 (SB-GFRP).....	81

4.2. Deneý Sonuçların Karşılaştırılması	89
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	97
5.1 Sonuçlar	97
5.2 Öneriler	99
KAYNAKLAR	101
ÖZGEÇMİŐ	103



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

- a: Kesme açıklığı, mm
A_c: Kiriş enkesit alanı, mm²
A_s: Kiriş çekme donatısı alanı, mm²
A_{sb}: Dengeli durumda çekme donatısı alanı, mm²
A_{sw}: Kesme donatısı toplam kesme alanı, mm²
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 aksenal çekme dayanımı, MPa
f_{ctf}: Betonun eğilmede çekme dayanımı, MPa
f_{ctk}: Beton karakteristik aksenal 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
k₁: 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
l_n: 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/mm²)
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 Nd: Aksenal yük, kN
P: Kirişe uygulanan yük, kN
s: Enine donatı aralığı, mm
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

ACI: American Concrete Institute
BB: yatay pilye kullanımı
BFRP: Bazalt fiber güçlendirme polimeri
CFRP: karbon fiber güçlendirme polimeri
GFRP: cam fiber güçlendirme polimeri
REF: kontrol amacı ile yapılan referansı numune olduğunu
FRP: fiber güçlendirme polimeri
SB: betonarme kiriş numunesi
STR: enine donatı sıklaştırması olduğunu
TBDY 2018: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği

1. GİRİŞ

Betonarme yapılar dünya çapında en yaygın olarak kullanılan yapı türüdür. Tercih edilme sebebi ise diğer yapılara göre maliyetinin daha az olması, işçiliğinin daha az olması ve bakımının daha kolay olmasıdır. Türkiye’de eskiden yapılmış, basınç dayanımı düşük, yetersiz çelik donatıya sahip, işçiliğinin kötü ve yapı tasarımı standartlarının altında olan çok sayıda betonarme yapı mevcuttur. Bu yapılarda özellikle deprem etkisiyle çeşitli hasarlar meydana gelmektedir. Meydana gelen bu hasarlar eğer belirli bir düzeyin altında kalıyorsa onarım ve güçlendirme yöntemleri ile bu olumsuzlukların önüne geçilebilir.

Betonarme taşıyıcı elemanlarda yapılan güçlendirme çalışmaları ile eğilme, kesme ve enerji yutma kapasitesinde (süneklik davranışı) iyileştirmeler olması beklenmektedir. Betonarme kirişlerde hasar olarak genellikle eğilme ve kesme çatlakları meydana gelmektedir ve mevcut yapıları güçlendirmek için FRP kumaş türleri (bazalt, aramid, karbon ve cam), çelik levhalar ve betonarme mantolama yöntemleri kullanılmaktadır. Güçlendirme yöntemi seçilirken yapının taşıyıcı elemanların mekanik özelliklerinin ne kadar iyileştirileceği, güçlendirme işleminin süresi ve maliyeti dikkate alınır.

Türkiye’de geçmişte meydana gelmiş depremler incelendiğinde bina hasar tespit çalışmalarına göre binalarda meydana gelen hasarlardan bir tanesinin saplama kirişten dolayı esas kirişte oluşan kesme hasarları ve kesme çatlakları olduğu öne sürülmüştür Taşkiran ve ark. (2020). Saplama kirişler, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018’de verilen hükümlere tabi olmayıp yardımcı eleman olarak kullanılmaktadır.

Saplama kiriş, kendi yükü ve üzerindeki yükü kesiştiği esas kirişe tekil yük olarak aktaran ve en az bir tarafı esas kiriş ile mesnetli olan, diğer tarafı ise kolon ile düğümlü olan bir kiriştir. Bunun yanında kolon ile doğrudan bağlantısı olmayan, yani her iki tarafı da esas kiriş ile mesnetli olan kirişlere de saplama kiriş adı verilir (Topçu, 2017). Saplama kirişin ana amacı ise kolon olmadan büyük açıklıklı döşeme alanını bölmektir. Saplama kiriş esas kiriş ve döşemeyi desteklemek için kullanılır. Yapılan literatür çalışmalarından, saplama kirişi taşıyan esas kirişin moment ve kesme kuvveti yüksek olduğundan, yapıda saplama kiriş kullanılması pek fazla tavsiye edilmediği görülmüştür. Aynı zamanda deprem esnasında esas kirişe yatay kuvvet etkir ve yatay kuvvetin kolondan kolana aktarımı zorlaşır, bu sebeple saplama kiriş kullanımının çoğu araştırmacılar tarafından

sakıncalı durum olduğunu düşünülmektedir (Çelikkollu, 2017). Ancak, uygulamada betonarme yapılarda saplama kiriş sıklıkla kullanılmaktadır.

Saplama kirişlerin, döşeme yükleme alanını azaltılması, yapı rijitliğinin artırması, döşeme sapmasının azaltılması ve döşeme kalınlığının sınırlı tutulması gibi pozitif yönleri vardır. Negatif yönleri ise yatay bir yük etki ettiğinde esas kirişe tekil yük olarak bu yükün etkimesidir ve deprem anında nasıl bir davranış göstereceğinin belirgin olmamasıdır.

Yapılan literatür çalışmasına göre eğer saplama kiriş esas kirişten daha sağlam olursa, yani hem kesit boyutu daha büyük hem de daha fazla donatı kullanılırsa, deprem anında esas kiriş saplama kirişten gelen yükü karşılamaya çalışır. Bu sebeple, saplama kiriş esas kirişten daha sağlam olmamalı, özellikle kesit boyutu esas kirişten daha küçük veya eşit olmalıdır (Topçu, 2017).

Daha önce betonarme yapılar için saplama kiriş hakkında yapılmış tez veya makale literatürde bulunamamıştır. Saplama kirişlerin istenilen şekilde davranması için saplandığı esas kiriş önemli rol oynamaktadır. Esas kirişin binadaki diğer kirişlerden çok daha özel tasarlanması gerekmektedir. Çünkü, bir kiriş kolon üzerine otururken kiriş üzerine yayılı yük etki eder ve basit eğilme altında tasarımı yapılır, ancak saplama kirişin yükü, taşıyan esas kirişe tekil yük etkimesinden dolayı moment ve kesme kuvveti değerleri ani olarak değişecektir. Eğer saplama kiriş ve esas kirişin kesiştiği bölge kolana yakın ise büyük kesme kuvveti meydana gelir, orta bölgede kesiştiyse büyük moment oluşur ve büyük kesme kuvveti çok sakıncalı olduğundan dolayı orta bölgede kesişmesi tercih edilir.

Betonarme kirişlerde en çok eğilme ve kesme çatlaklarına rastlanılır. Kirişte eğilme çatlakları çok geniş olmadığı takdirde herhangi bir tehlike oluşmaz iken kesme çatlakları ani (gevrek) kırılmalar meydana getireceğinden dolayı dikkat edilmesi gerekmektedir. Özellikle saplama kirişten dolayı esas kirişe meydana gelebilecek zorlamalardan dolayı ilave tedbirlerin alınması gerekmektedir.

Kirişlerin birleşim bölgelerinde deprem yükleri altında zorlamalar meydana gelir. Kirişin altında ve üstünde dik eğilme çatlakları ve 45 derece çapraz kesme çatlaklar oluşur. Şekil 1.1'de İzmir 2020 depreminde bina hasar tespit çalışmalarında saplama kirişten dolayı esas kirişe meydana gelen hasarlar gözükmemektedir.



Şekil 1.1. Saplama kirişten dolayı esas kirişte oluşan çatlaklar (AFAD,2020)

Kolona çok yakın bölgede saplanan saplama kirişten dolayı esas kirişte büyük kesme kuvveti oluşmaktadır. Şekil 1.2’de İzmir 2020 depremi, bina hasar tespit çalışmasında kolon dibine saplanan saplama kirişten dolayı esas kirişe meydana gelen kesme çatlakları ve çekme bölgesinde beton ezilmesi gösterilmiştir.



Şekil 1.2. Kolon dibine saplanan kirişten dolayı esas kirişte oluşan kesme çatlakları (AFAD,2020)

Bu deneysel çalışmada saplama kirişlerin neden olduğu hasarları önlemek amacıyla iki tür yöntem araştırılmıştır. Birinci grup, mevcut yapıların güçlendirilmesi ve ikinci grup ise yeni yapılacak binalarda uygun şekilde donatılandırma yönteminin belirlenmesidir.

Birinci grup olan mevcut binaların güçlendirmesinde, FRP güçlendirme kumaşı ile saplama kirişin esas kiriş ile kesiştiği bölge (hasar oluşabilecek bölge) sarılmıştır. Bu güçlendirme yöntemi dünyada en çok betonarme yapı taşıyıcıyı sisteminde kolon ve kiriş elemanlara uygulanmaktadır. Bu çalışmada karbon fiber güçlendirme polimer kumaşı (GFRP) ve cam fiber güçlendirme polimer kumaşı (CFRP) kullanılmıştır. Bu güçlendirme yöntemi tarihi yapılar, eskiden yapılmış yetersiz donatı ve düşük beton basınç dayanımlı betonarme binalar ve deprem görmüş hasarlı binaların güçlendirilmesinde önemli ölçüde etkili olmaktadır.

İkinci grup, yeni yapılacak yapıların uygun şekilde donatılandırma yöntemidir. Bu yöntem genellikle betonarme yapılarda birbirine mesnetlenen kirişler veya kolon-kiriş mesnet bölgesinde etriye sıklaştırması ve/veya askı donatı ile uygulanmaktadır. Bu araştırmada ise saplama kirişten dolayı esas kirişe üzerine gelebilecek zorlamaların önüne geçmek için yapılmıştır. Bu yöntem için toplam 3 numune üretilmiş ve yeni yapılacak binalar için en uygun donatılandırma yöntemi saptanmaya çalışılmıştır.

1.1. Amaç

Betonarme yapı taşıyıcı elemanlarından biri olan ana kirişler (esas kirişler) döşemeden gelen yükleri sağlam bir şekilde kolonlara aktarmaktadır. Saplama kiriş ise üzerindeki döşemenin yükünü yandaki esas kirişe tekil yük olarak aktaran yardımcı bir elemandır. Çelik ve betonarme kompozit yapılarda; elektrik santralleri ve büyük açıklıklı endüstri yapıları gibi kullanılan ve betonarme esas kirişe gömülü olan çelik saplama kirişler (yüksek atalet momentine sahip çelik profiller) ve kompozit bağlantıların davranışlarının araştırılması ile ilgili çalışmalar son zamanlarda literatürde yaygınlaşmıştır. Ama betonarme saplama kiriş ile ilgili çalışmalar literatürde oldukça kısıtlı bilgiler olduğunu saptanmıştır. Bu nedenle betonarme saplama kiriş için hem mevcut yapıların FRP kumaşı ile güçlendirilmesi hem de yeni yapılacak yapıların uygun şekilde donatı ile dayanımlarının artırılması amacıyla bu araştırmanın yapılması düşünülmüştür.

Bu çalışmanın asıl amacı saplama kirişlerin esas kiriş üzerindeki etkilerini incelemektir. Bu bağlamda, saplama kiriş bulunan esas kirişlerdeki hasar durumu incelenmiş, esas kirişteki donatı düzeninin hasar durumuna etkisi incelenmiş ve esas kirişte hasar oluşabilecek bölgeleri güçlendirilmiştir. Tez kapsamında deneysel bir çalışma yapılmış olup, 6 farklı numune üretilmiştir. İlk 4 deneyde etriye aralığının ve

yatay pilye kullanımının esas kiriş davranışına etkisi incelenmiş, son iki deneyde ise karbon ve cam fiber güçlendirme polimer (FRP) tekstil malzemeleriyle esas kirişte hasar alması muhtemel bölgeler güçlendirilmiş ve bu güçlendirmenin esas kiriş davranışına etkisi incelenmiştir.

1.2. Tezin Önemi

Bu çalışmanın önemi, betonarme yapılarda saplama kirişlerin davranışlarının incelenerek belirlenmesidir. Saplama kirişler, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018’de verilen hükümlere tabi olmayıp yardımcı eleman olarak kullanılmaktadır. Bu sebeple saplama kirişlerin esas kirişte oluşturabileceği hasarlar hakkında deneysel bir çalışma yapılması ve saplama kirişin betonarme yapılarda kullanılması durumunda nelere dikkat edilmesi gerektiği, uygulamada saplama kirişin saplandığı esas kirişte donatı yerleşiminin etkisi ve esas kirişte hasar oluşabilecek bölgelerin güçlendirilmesi hedeflenmiştir.

Yapılacak tez çalışmasında bir tane kontrol kiriş olmak üzere 6 farklı deney yapılmış, deneylerin kesit boyutu ve malzeme özellikleri aynı olacak ve sadece etriye aralığı, pilye kullanımı ve polimer kumaşlı tekstil malzeme kullanımı değişken olmuştur. Bu konu hakkında daha önce yapılmış makale veya tez literatürde çok sınırlı olduğundan dolayı literatürdeki bu boşluğun yapılacak bu çalışmayla birlikte doldurulması hedeflenmektedir. Bu çalışma sonucunda, saplama kirişler hakkında araştırma yapmak isteyen veya betonarme binalar için uygulamada saplama kiriş kullanmak isteyen mühendisler için yol gösterici olması hedeflenmektedir. Ayrıca, saplama kiriş ile ilgili sınırlı bilgi olduğundan, mevcut yönetmeliklere de katkı sağlayacak bir çalışma olması hedeflenmiştir.

Tez kapsamında deneysel bir çalışma yapılmış olup, toplam 6 farklı numune üretilmiştir. İlk numunede herhangi bir ilave güçlendirme yapılmamış olup kontrol numunesi olarak kullanılmıştır. Birinci grup olarak yeni yapılacak binaların uygun donatılandırma önerisi için esas kirişin saplama kiriş ile kesiştiği bölgede etriye sıklaştırması, yatay pilye kullanımı, etriye sıklaştırması ile beraber yatay pilye kullanımı olarak toplam 3 deney yapılmıştır. Böylelikle numunelerde etriye aralığının ve yatay pilye kullanımının esas kiriş davranışına etkisi incelenmiştir. İkinci grup ise mevcut yapıların güçlendirilmesi için CFRP ve GFRP kumaşı kullanılarak toplam 2 adet deney yapılmıştır. Bu ikinci grup için karbon ve cam fiber güçlendirme polimer (FRP) tekstil

malzemeleriyle esas kirişte hasar alması muhtemel bölgeler güçlendirilmiş ve bu güçlendirmenin esas kiriş davranışına etkisi incelenmiştir.

Mevcut yapıların güçlendirilmesinde karbon fiber güçlendirme polimer kumaşı ile güçlendirilmiş betonarme kiriş deney elemanı (SB-CFRP), tüm deneyler içerisinde en iyi yük taşıma kapasitesine sahip numunedir. Ancak deplasmanı düşük kaldığından dolayı tüketilen enerji ve sünekliği diğer yeni donatı tasarımına sahip olan numunelere göre daha düşük sonuç vermiştir. Mevcut yapıların güçlendirmesinde kullanılan SB-CFRP ve SB-GFRP deney elemanlarının sonuçları karşılaştırıldığında SB-CFRP numunesinin enerji tüketimi daha düşük ama daha sünek davranışa sahip olduğu görülmüştür. Bu iki deney sonuçları farkı olsa da birbirine yakın sonuçlar verdiği görülmekte ancak maliyetleri CFRP kumaşına göre çok daha pahalı olduğundan GFRP tercih edilmesi önerilmektedir.

Yeni yapılacak yapıların yeni donatı tasarımı için yapılan deneylerden, enine donatı sıklaştırması yapılan numuneler (SB-STR ve SB-STR-BB), tüm deneyler içerisinde en yüksek deplasman seviyesine ulaştıkları görülmüştür. Yeni donatı tasarımı yapılan deneyler içerisinde yatay pilye kullanımı ile (SB-BB ve SB-STR-BB) akma ve maksimum noktalarındaki yük taşıma kapasiteleri en yüksek değerleri vermiştir. Böylelikle betonarme esas kirişin saplama kiriş ile kesiştiği bölgede enine donatı ve yatay pilye ile birlikte donatılandırılması yapılan SB-STR-BB deney elemanı hem tüketilen enerji, hem de süneklik bakımından tüm deneyler içerisinde en iyi sonucu vermiştir. Bu şekilde yeni donatı tasarımı yapılacak binalarda, esas kirişin saplama kiriş ile kesiştiği bölgede enine donatı sıklaştırması ile birlikte yatay pilye kullanımının tüm numuneler içerisinde en uygun yöntem olduğu gözlemlenmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu tez çalışmasında betonarme saplama kirişin esas kirişe yaptığı etkisi ile ilgili açık literatürde tez veya makale bulunmadığı için tezin parametreleri ve tezde etkisi incelenmiş olan parametreler incelenmiştir. Bu bölümde kirişlerin FRP kumaş ile güçlendirilmesi, normal kirişlere tekil veya darbe yük uygulanması ve betonarme esas kirişe gömülü çelik saplama kiriş ile ilgili kaynaklar incelenmiştir.

Sun ve ark. (2021), yaptığı çalışmada, gömülü bir parça kullanılarak betonarme ana kirişe bağlı I-profilli çelik saplama kirişin 1:3 ölçeğini benimseyerek basitleştirilmiş bir çalışma sunulmuştur. Altı numune test edilmiştir. Farklı betonarme ana kiriş yüksekliklerinin (245 mm ve 295 mm) etkileri, betonarme döşeme levhası, çelik saplama kirişin rijitliği ve saplama kiriş ile ana kiriş arasındaki yükseklik farkı, numunelerin mekanik performans ve göçme modu üzerindeki davranışları analiz edilmiştir. Sonuçlar, eğilme kırılmasının genellikle çelik saplama kirişte bulunduğunu göstermiştir. Ancak, çelik kirişin rijitliği orta açıklık bölgesinde lokal olarak arttırılırsa, göçme modu ana kirişteki bağlantı hasarına dönüşecektir. Ayrıca, döşeme levhasının ayarlanması ve çelik saplama kirişin rijitliğinin arttırılması, birleşimin yük taşıma kapasitesini artırabilmiştir. Birleşimin güvenliği, gömülü parçaya bitişik etriyelerin ve parçanın altındaki boyuna donatıların güçlendirilmesiyle elde edilebileceği belirtilmiştir.

Abbasalizade ve Chavoshi. (2020), yaptıkları çalışmada, betonarme kirişe gömülü çelik saplama kiriş derzlerinin beton kiriş içindeki kompozit bağlantısının uygun sayısal analiz ile gerçekleştirilmesini ele almışlardır. Önerilen model referans çalışmalarda sunulmuş, deneysel verilerle doğrulanmıştır. Bununla birlikte, bu çalışmada çelik kirişin beton kirişe bağlantısının performansı, gömme oranı, çift gövde açısı, gövde açısının boyutu, bağlantı mesafeleri, saplama, çelik kiriş gövdesindeki plakalar dahil olmak üzere farklı yaklaşımlarla değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, bağlantının maksimum eğilme kapasitesini elde etmek için uygun bir gömme oranı sunulmuştur. Ayrıca, gömme bölgesinde çift gövde açıları kullanılması gömme oranını azaltmıştır. Hasar analizleri, bağlantı bölgesinde beton kirişin eğilme kapasitesinin biraz azaldığını göstermiştir. Kompozit bağlantı yaklaşımları arasında bağlantı bölgesinde gövdeye monte edilen çelik levhanın daha iyi performans gösterdiği görülmüştür. Bağlantı bölgesinde düşük bağlantı mesafelerinin kullanılması kapasiteyi %10 arttırmıştır. Ayrıca, çift gövde açısının performansı, histeretik ve monotonik yükler altında karşılaştırılmıştır. Bağlantının

histeretik davranışındaki gömme oranı, monotonik yüklemeninkinden %20 daha yüksek olmuştur.

Qiong ve ark. (2012), Betonarme çerçeve kirişine yerleştirilen çelik saplama kirişin derzlerinin iç kuvvet analizi ve gerilme dağılımı için modellenerek analiz edilmiştir. Yatay iç kuvvet ve düşey kuvvet hesaplama ve analiz sürecinde ayrı ayrı ele alınmıştır. Yatay kuvvet dikkate alınmazken düşey iç kuvvetin eğilme-kesme korelasyonu incelenmiştir. Sonuçlar, boyutsal olmayan momentin boyutsal olmayan kesme kuvveti ile doğrusal olarak değiştiğini göstermiştir. Buna dayanarak, birleşim momenti ve kesme kuvvetinin hesaplandığı formüller türetilmiştir ve daha sonra yatay kuvvet altında birleşim momenti kapasitesini hesaplama yöntemi öne sürülmüştür. Moment ve kesme kuvveti değişimini araştırarak, levhadaki çubuğun akma gerilimi ile çelik saplama kiriş kırılma altındaki beton sınırındaki ilişkisi tanımlanmıştır. Sonuç olarak, pratik tasarım yöntemi önerilmekte ve daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulan sorunlardan bahsedilmiştir.

Hao ve ark. (2017), yaptıkları çalışmada, darbe yüklerine maruz kalan fiber takviyeli polimer (FRP) ile güçlendirilmiş 5 tane kiriş ve bir tane kontrol kiriş olmak üzere toplam 6 tane betonarme kirişlerin performansını araştırmak için deneysel ve sayısal simülasyonlar yapmışlardır. Dikdörtgen betonarme kirişler, düşme ağırlığı test cihazı altında deneysel olarak test edilmiş ve yoğun sayısal simülasyonlar LS-Dyna kullanılarak nümerik analizleri gerçekleştirilmiş. Betonarme kirişlerin darbe davranışı gözlemlenmiş ve statik yükleme altında muadili ile karşılaştırılmıştır. Betonarme kirişlerinin darbe tepki özellikleri tartışılmıştır. Darbe yükleri altında, kirişin dengesinin esas olarak, darbe işleminin ilk aşamasında kirişin atalet direnci ile korunduğu, reaksiyon kuvvetlerinden gelen katkının ihmal edilebilir olduğunu gözlenmiştir. Aynı kirişin eğilme dayanımının 4 katı kesme dayanımına sahip olmasına ve statik yükler altında eğilme modunda başarısız olmasına rağmen, darbe yükleri altında kesme kırılmasının kritik olduğu bulunmuştur. Darbe yükünün neden olduğu plastik mafsal, nispeten uzun kirişlerdeki sınır koşullarından bağımsız olarak betonarme kirişlerin darbe davranışını önemli ölçüde etkilemiştir. Betonarme kirişlerin FRP ile güçlendirilmesi hem eğilme hem de kesme eksikliği olan kirişlerde darbe tepkilerini önemli ölçüde azaltabilmektedir. Bu nedenle, betonarme kirişlerin FRP ile güçlendirilmesi, darbe yüküne karşı performanslarını artırmak için etkili bir yöntem olmuştur.

Severcan ve ark. (2016), yaptıkları çalışmada laboratuvar ortamında farklı donatı oranlarına sahip betonarme kirişlerin orta noktasından tekil yük ve iki noktalı yük

uygulanarak yükleme tipi ve büyüklüğü ile donatı oranlarının deplasman üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Deneyleri gerçekleştirilen kirişler çatlamların etkisini dikkate alınarak betonarme yapıların analizi için geliştirilen analitik yöntem ile analiz edilmiştir. Elde edilen analitik sonuçlar ile deneysel sonuçlar karşılaştırılmıştır. Donatı oranı aynı olan kirişler incelendiğinde açıklık ortasına tekil yük uygulanan kirişler, iki noktasal yük uygulanan kirişlere göre daha yüksek deplasman seviyelerine ulaşıldığı görülmüştür. Analitik yöntem ile bulunan sonuçlara bağlı olarak betonarme kirişlerde kullanılan boyuna donatı miktarı artıka uygulanan yükler de artığı için kayma deformasyonları etkisinin deplasmanlar üzerine daha önemli bir etkiye sahip olduğu ortaya çıkmıştır.

Huang ve ark. (2021), yaptıkları çalışmada statik ve darbe yükleri altında bazalt FRP çubuklarla güçlendirilmiş betonarme kirişleri üzerinde deneysel ve sayısal bir çalışma sunmuştur. Bu çalışmada 6 numune BFRP (Bazalt FRP) donatı kullanılarak betonarme kiriş yarı-statik ve darbe yükleri altında test edilmiştir. Kritik-kesmede kirişlerde darbe yükleri altında diyagonal kesme çatlakları oluşmuştur. Ancak kirişlerin her iki tarafında daha fazla beton dökülmeleri ve daha kritik diyagonal çatlaklar gözlemlenmiştir. Yüksek mukavemetli beton kirişlerin darbe performansı, kırılma dayanımının artması nedeniyle normal mukavemetli beton kirişlerden daha üstün olmayabilmektedir. Ayrıca, LS-DYNA'da darbe yükleri altında test edilen kirişlerin sayısal bir modeli geliştirilmiştir. Sayısal sonuçlar, artan gerilim güçlendirme oranının, göçme modunu, azaltılmış maksimum orta açıklık sapsması ile eğilmeden kesmeye değiştirebileceğini göstermiştir. FRP donatı çubukları kullanılan betonarme kirişleri, normal çelik donatı kullanılan betonarme kirişleri ile karşılaştırılabilir derecede darbeye dayanıklı performansa sahip olmuştur.

Huo ve ark. (2018), yaptıkları çalışmada, karbon fiber takviyeli polimer (CFRP) ile güçlendirilmiş betonarme kirişlerde darbe yükü altında kırılma mekanizmaları üzerindeki etkilerini ve CFRP güçlendirme kumaşın kesme dayanımının katkısını araştırmak üzere deneysel bir çalışma yapmışlardır. Statik yükler altında beş kiriş ve darbe (ani) yükleri altında 10 adet betonarme kiriş test edilmiştir. Darbe yüklerinin altında CFRP ile güçlendirilmiş betonarme kirişlerin kırılma şekli ve kesme dayanımı değerleri elde edilmiştir. Deney kırılma işlemi iki aşamaya ayrılmıştır: darbe yükü altında orta açıklıklı bölüme bitişik kirişlerin yerel kısmının kesme kırılması ve daha sonra yanındaki bölümünün oluşan reaksiyon kuvveti altında kesmeden dolayı meydana gelen kırılmalarıdır. Test sonuçları, CFRP güçlendirmenin kullanılmasının kirişin dinamik davranışına katkısında önemli ölçüde etkili olmuştur. Gerilme hızı ve yayılma etkileri

dikkate alındığında, kesme dayanıma ilk aşamada CFRP güçlendirmenin katkısı hesaplanmış ve deneysel kesme dayanımıyla doğrulanmıştır. Betonarme kirişlerinin CFRP ile güçlendirilerek darbe yükleri altında kırılmasının değerlendirilmesi için dinamik kırılma kriteri önerilmiştir.

Soleimani ve ark. (2019), yaptıkları çalışmada, cam fiber güçlendirme polimer kumaşı (GFRP) ile güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş betonarme kirişler darbe ve yarı-statik yükler altında test edilmiştir. Darbe yüklemesi için, 14.5 kJ kapasiteye sahip düşme ağırlıklı darbe makinesi kullanılmıştır. Farklı düşme yüksekliği ve yükleme hızı kullanılmıştır. Betonarme kirişlerin darbe yükü altındaki yük taşıma kapasitesi, aletli örs destekleri kullanılarak (destek reaksiyonları toplanarak) elde edilmiştir. Yarı-statik yükleme koşullarında, kirişler Baldwin Universal Test Makinesi kullanılarak üç noktalı yüklemede test edilmiştir. Test edilen betonarme kirişlerin bazılarını modellemek için sonlu elemanlar analizi ABAQUS yazılımı kullanılmıştır. Sonuç olarak betonarme kirişlerin rijitliği darbe yükün düşme yüksekliği arttıkça azaldığı görülmüştür. Betonarme kirişlerin yüzeyine cam fiber güçlendirme polimer kumaşlar uygulanmasının rijitliği arttırdığı da gösterilmiştir. Yazılım analizlerinden elde edilen sonuçlar ile deneysel test sonuçları birbiri ile uyumlu sonuçlar vermiştir.

Tarigan ve ark. (2018), yaptıkları çalışmada araştırmacılar, çelik levhalar ve fiber güçlendirme polimer kumaşı (FRP) kullanarak betonarme kirişlerin eğilme mukavemetinin arasındaki farkı hem analitik hem de deneysel olarak karşılaştırmışlardır. Bu durumda, araştırmacılar dıştan güçlendirme olarak karbon fiber güçlendirme polimeri (CFRP) ve cam fiber güçlendirme polimeri (GFRP) kullanılmıştır. Kirişlerin kesit boyutu 150x250 mm olup uzunluğu 3200 mm'dir. Analitik sonuçlara göre, CFRP kumaşı, GFRP kumaşı ve çelik levhanın ilk dayanımı kontrol kirişe göre sırasıyla 1.991, 1.877 ve 1.646 katı bulunmuştur. Test sonuçlarına göre, CFRP kumaşı, GFRP kumaşı ve çelik levhanın ilk dayanımı kontrol kirişe göre sırasıyla 1.444, 1.333 ve 1.167 katı bulunmuştur. Bu test sonuçlarına dayanarak, yazarlar bina teknolojisinde dış güçlendirme için CFRP kumaşının diğerlerinden daha iyi bir seçim olduğu sonucuna varmıştır.

Köksal ve Ark. (2017), yaptıkları çalışmada, karbon fiber güçlendirme polimeri (CFRP) ile dıştan güçlendirilmiş 7 betonarme kiriş üretilerek 3 nokta eğilme altında test edilmiştir. 150x250x1500mm boyutlarında numuneler üretilmesi için 2 farklı basınç dayanıma sahip beton karışımı hazırlanarak dökümünü gerçekleştirmiştir. Birinci grupta 4 numune, ortalama basınç dayanımı 25.7 Mpa olan beton ile hazırlanırken diğer ikinci grup için 3 numunenin Türkiye'de 70'li ve 80'li yıllarda yapılmış betonarme yapılarda

görülmesi beklenen düşük basınç dayanımı yansıtması için 6.8 Mpa beton ile hazırlanmıştır. Çalışmada Betonarme kirişlerin CFRP kumaşı ile güçlendirmede 3 farklı şekilde uygulanmıştır: 1) sadece kirişin alt yüzeyi 2) kirişin alt yüzeyi, pas payını ve çekme donatını kapsayan 50 mm yüksekliğinde yan yüzeyleri ve 3) U şeklinde uygulanması. Deneylerin sonuçları güçlendirilmiş numunelerin göçme mekanizmaları ve mekanik davranışları, her güçlendirme yöntemin etkisi dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Sonuç olarak ikinci grup kiriş serisi için eğilme davranışında hafif bir artış gözlenmiştir. Basınç dayanımı değeri 25.7 MPa olan ilk grup kiriş serisinde, güçlendirilmiş kirişlerin nihai yük kapasitesi, kontrol kirişinin nihai yükünün neredeyse %165'ine ulaşmıştır.

Zhang ve ark. (2004), yaptıkları çalışmada dıştan güçlendirilmiş CFRP kesme takviyeli derin kirişlerin kesme davranışını araştırmak için, New Jersey Institute of Technology'nin beton laboratuvarında çelik kesme takviyesiz 16 derin kiriş dökülmüştür. Kirişler kütleme odasında 28 gün bekletildikten sonra, kirişlerin eksenine göre çeşitli yönlerde dış güçlendirmesi CFRP şeritler ve kumaşlar ile uygulanmıştır. Tüm kirişler 979 kN MTS test makinesinde test edilmiştir. Test sonuçları, CFRP dış güçlendirmesi olarak uygulanan ve epoksi ile yapıştırılmış, Derin kirişlerin kesme kapasitesini onarmak veya arttırmak için CFRP sistemi kullanmanın fizibilitesini göstermiştir. CFRP sistemi, beton kirişin servis edilebilirliğini, sünekliğini ve nihai kesme dayanımını önemli ölçüde artırılmış ve böylece CFRP kullanarak derin kiriş kesme mukavemetinin geri kazanılması oldukça etkili bir teknik olmuştur. Ayrıca, harici olarak bağlanmış CFRP kumaşı derin kirişlerin kesmeye karşı güçlendirilmesi için bir analiz ve tasarım yöntemi önerilmiştir.

Hamrat ve ark. (2020), yaptıkları çalışmada, fiber takviyeli polimer (FRP) levhaları/laminatları önceden çatlamış ve onarılmış betonarme kirişlerin eğilme sapması üzerindeki etkisi araştırmak için bir tane kontrol kiriş ile toplam 7 kiriş, üç noktalı eğilme altında testi yapılarak deneysel ve sayısal çalışması sunulmuştur. Deney programı, onarılmamış ve onarılmış betonarme kirişlerde meydana gelebilecek göçme modları ile yük-deplasman eğrileri vasıtasıyla onarılan kirişlerin taşıma kapasitesini incelemeyi amaçlamışlardır. Test programında FRP donatı tipleri (CFRP levha, GFRP levha ve CFRP laminat) ve FRP tabaka sayısı iki ana parametre olarak seçilmiştir. Betonarme kirişlerinin yük-deplasman davranışını tahmin etmek için ANSYS yazılımı kullanılarak sonlu elemanlar analizi sunulmuş ve göçme kırılmasına odaklanarak ara yüzey kayma gerilmelerini değerlendirmek için sayısal bir analizle tamamlanmıştır. Deneysel sonuçlar, FRP levhalar/laminatlar ile onarılmış betonarme kirişlerin, kontrol kirişine kıyasla %13

ile %100 arasında değişen nihai yük artışı görülmüştür ancak onarılmış kirişlerin orta açıklıktaki deplasmanlarında kontrol kirişine kıyasla %15 ile %35 arasında bir azalma meydana gelmiştir. Öte yandan, ana kod modelleri, FRP levhalar/laminatlar ile güçlendirilmiş betonarme kirişlerinin moment kapasitesini, 1.40'a yakın bir şekilde tahmin edilememiştir. Ayrıca, sayısal sonlu elemanlar analiz tahminleri, test edilen tüm kirişler için yük-deplasman sonuçlarının daha iyi olduğunu göstermiştir. Ayrıca, sayısal analiz sonuçları, kesme gerilmelerinin FRP tabaka sayısı ile arttığını göstermiştir.

Meikandaan ve Murthy. (2017), yaptıkları çalışmada, betonarme kirişlere cam elyaf takviyeli polimer (GFRP) kumaşı sarılması ile betonarme kirişinin eğilme davranışı üzerine deneysel bir çalışma incelemiştir. GFRP kumaşlar ile dışarıdan güçlendirilmiş betonarme kirişin, simetrik iki noktalı statik yükleme sistemi ile göçmeye karşı test edilmiş. Bu deneysel çalışmada 6 betonarme kiriş dökülmüştür. Tüm dökülmüş kirişler eğilme açısından zayıftır ve aynı güçlendirme detaylarına sahiptir. Kontrol kirişler olarak üç kiriş kullanılmış ve GFRP kumaşların tam tabanı sarılarak üç kiriş güçlendirilmiştir. Deneysel sonuçlarına göre, CFRP kumaşı ile güçlendirilmiş kiriş grubu, kontrol kiriş grubuna göre nihai yük taşıma kapasitesi %14 daha yüksek bulunmuştur.

Barris. (2020), yaptığı çalışmada, cam fiber güçlendirme polimer (GFRP) donatıları ile iç güçlendirilmesi ve yüzeye yakın montaj tekniği kullanılarak CFRP şeritlerle dış güçlendirilmiş betonarme kirişlerin eğilme davranışını inceleyen deneysel bir çalışma sunulmuştur. Teorik yük taşıma kapasiteleri çatlak kesit analizi ile değerlendirilmiştir. GFRP donatı çubuklarının betonarme kirişlerde yüksek derecede deformabilitesine rağmen, CFRP kumaşı ile dış güçlendirmesi olan yüzeye yakın montaj tekniği ile GFRP çubuklarıyla dahili olarak güçlendirilmiş betonarme kirişlerinin eğilme kapasitesini arttırmak için etkili bir teknik sağladığı görülmüştür. Ek olarak, farklı parametrelerin çelik veya GFRP çubuklarla içten güçlendirilmiş yüzeye yakın montaj edilme tekniği CFRP takviyeli beton kirişlerin eğilme kapasitesi üzerindeki etkisini değerlendirmek için analitik bir çalışma yapılmıştır. Genel olarak, takviye oranının ve mekanik özelliklerin artırılması, iç veya yüzeye yakın montaj edilme tekniği, eğilme kapasitesini arttırmıştır. Bununla birlikte, parametrelerdeki değişiklik, artış oranlarını farklı bir şekilde etkileyebilmekte ve farklı göçme modlarına neden olabilmektedir.

Osman ve ark. (2017), yaptıkları çalışmada, betonarme kirişleri etkili bir şekilde güçlendiren aramid fiber güçlendirme polimer (AFRP) tabakalarının bir tamir edilme tekniğini sunulmuştur. Dairesel borular kullanılarak beton dökümünden önce boşlukları oluşturulan ve daha sonra ön hasar verilerek betonarme kirişlerin hem çatlaklarına hem

de gerilme dağılımına karşı kontrol altında alınması ve kirişlerin ömrünün artırılması amaçlanmıştır. Servis yükünün neden olduğu olası hasarı araştırmak ve sahadaki yapı davranışlarını simüle etmek için kapsamlı bir deneysel çalışma yapılmıştır. İki güçlendirilmemiş kontrol kirişi, AFRP tabakalarının uygulanmasından önce çatlatılmış 4 kiriş ve önceden çatlamadan güçlendirilmiş bir kiriş olmak üzere toplam 7 büyük ölçekli kiriş test edilmiştir. Çatlama ilk önce indüklenmiş, ardından AFRP tabakalarının çeşitli yönelimleri kullanılarak onarım yapılmış ve daha sonra kirişler göçmeye karşı test edilmiştir. Güçlendirme işlemi sırasında yük sabit tutulmuştur. Sonuçlar, hem önceden verilmiş olan hasar seviyesinin hem de FRP yöneliminin etkinliğini güçlendirme ve göçme modu üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Güçlendirilmiş numunelerin tümü % (21.8-66.4) arasında değişen daha yüksek kapasitelere ulaşılmış ve çatlak genişliği, kontrol kirişine kıyasla göçme yükünde % (25.6–82.7) oranında azalmıştır. Son olarak, yazarlar ACI 440.2R-08 kılavuzlarını kullanarak deneysel sonuçlar ile tahminler arasında bir karşılaştırma sunmuşlardır.

Karzad ve ark. (2017), yaptıkları çalışmada, devam eden bir araştırmanın bir parçası olarak dışarıdan güçlendirilmiş karbon fiber güçlendirme polimeri (CFRP) ile güçlendirilmiş betonarme kirişlerin davranışı incelenmiştir. Bu çalışmada daha önce kesme yükü nedeniyle hasar görmüş toplam 5 adet büyük ölçekli dikdörtgen kesitli kirişler, CFRP dış güçlendirme kumaşı ile onarılmış ve test edilmiştir. Hasar gören kirişlerin ana çatlaklarına epoksi enjekte edilmiş, kirişler 100 mm genişliğinde ve 150 mm merkezden merkeze 2 kat dış güçlendirme CFRP ile sarılmıştır. Kirişler, basit mesnet ile üç nokta yükleme altında göçmeye karşı test edilmiştir. Kirişlerin dikkate alınan test parametreleri deplasman, maksimum yük ve CFRP şeritlerindeki gerilmeler olmuş ve göçme modları da gözlenmiştir. Dış güçlendirmede CFRP şeritlerinin uygulanmasının kirişin normal kesme kapasitesine göre kesme mukavemetini önemli ölçüde arttırmıştır. Ayrıca, bu çalışmada kullanılan dış güçlendirme CFRP şeritlerinin uygulanmasının, hasarlı kirişleri onarmak ve güçlendirmek için kullanılabilecek etkili bir güçlendirme yöntemi olduğu gözlenmiştir.

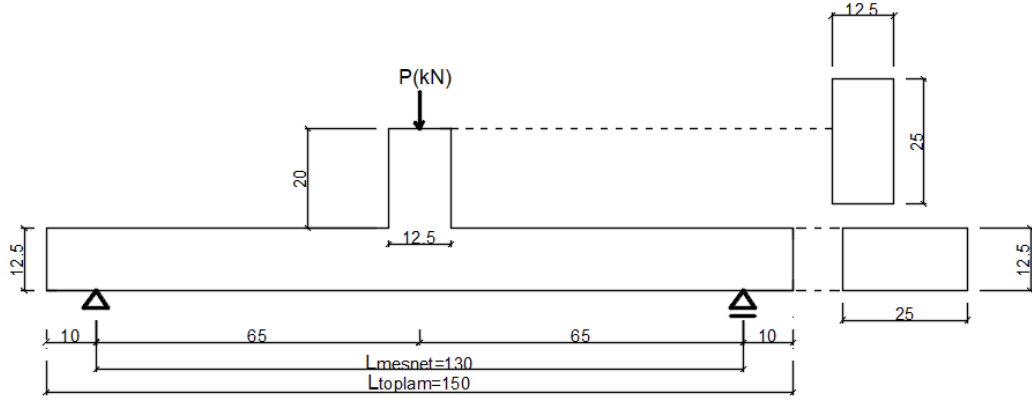
3. MATERYAL VE YÖNTEM

Betonarme yapı taşıyıcı sistemin ana elemanlarından olan esas kirişler, döşemeden gelen yükleri güvenli bir şekilde kolonlara aktaran yapı elemanlardır. Saplama kiriş ise betonarme yapı taşıyıcı sistemin yardımcı bir elemanıdır. Saplama kirişler döşemelerden gelen yükleri esas kirişlere (veya bir taraf kolona diğer taraf esas kirişe) aktaran bir yapı elemanıdır. Esas kirişlerin hem döşemelerden gelen yükleri hem de saplama kirişlerden gelen yatay yükleri etkili bir şekilde kolonlara aktarması gerekmektedir. Olası bir deprem durumunda saplama kirişler esas kirişlere noktasal yük aktarmaktadır. Bu sebeple esas kirişte, saplama kirişin bağlandığı bölgelerde hasarlar meydana gelmektedir. Bu amaçla bu çalışmada saplama kirişin esas kiriş üzerindeki etkisinin araştırılması hedeflenmiştir.

3.1. Deney Elemanlarının Özellikleri

Bu çalışmada, saplama kirişlerin esas kirişler üzerindeki etkisini araştırmak üzere, Konya Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Deprem Araştırma Laboratuvarında 6 adet deney elemanı üretilmiş ve üç noktalı eğilme düzeneğinde test edilmiştir. Şekil 3.1’de deney planı çizimlerinde görüldüğü üzere, esas kirişin uzunluğu 1500 mm, saplama kiriş uzunluğu ise modellenerek 200 mm olarak alınmıştır. Saplama kirişin uzunluğu uygulamada daha fazla olmasına rağmen, bu çalışmada saplama kirişe sadece yükleme yapılacağından ve esas kirişin davranışı inceleneceğinden boyu kısa tutulmuştur. Saplama kiriş ve esas kiriş kesitleri aynı olup 125x250 mm kesitindedir. Ayrıca bu çalışma kapsamında saplama kiriş tüm numunelerde esas kirişin orta noktasından düğümlenmiştir. Deneylerde C30 beton sınıfı ve S420 donatı kullanılmıştır.

Deney elemanları test edilirken yükleme işlemi boyunca saplama kiriş üzerine tek noktalı yükleme yapılmıştır. Şekil 3.1’de deney elemanlarının yükleme düzeneği ve ölçüm mesafeleri gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Deneysel elemanların yüklemeye noktası ve ölçüm mesafeleri (ölçüler cm cinsindedir)

Deneysel çalışmalar kapsamında yapılan toplam 6 deneysel çalışmanın daha kolay tanımlanabilmesi ve yorumlanabilmesi için kısaltılmış isimleri verilmiştir. Çizelge 3.1’de betonarme numunelerine ait özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.1. Betonarme kiriş numunelerine ait özellikleri

Numune No	Numune Adı	b_w (cm)	h (cm)	d (cm)	Enine donatı (cm)	Enine donatı sıklaştırması (cm)	pilye	Çekme donatı	Basınç donatı
1	SB-REF	12.5	25	22	12.5	-	-	2Ø8	2Ø8
2	SB-STR	12.5	25	22	12.5	5	-	2Ø8	2Ø8
3	SB-BB	12.5	25	22	12.5	-	2Ø8	2Ø8	2Ø8
4	SB-STR-BB	12.5	25	22	12.5	5	2Ø8	2Ø8	2Ø8
5	SB-CFRP	12.5	25	22	12.5	-	-	2Ø8	2Ø8
6	SB-GFRP	12.5	25	22	12.5	-	-	2Ø8	2Ø8

Çizelge 3.1’de verilerin deneysel isimlerinin deneysel elemanlarına ait bilgileri içermektedir. Deneysel isiminde “-” ile ayrılan her bir kısaltılmış ifadenin numuneye ait bir özelliktir. Kullanılan kısaltılmış ifadeleri şunlardır.

SB: betonarme kiriş numunesi

REF: kontrol amacı ile yapılan referans numune olduğunu

STR: enine donatı sıklaştırması olduğunu

BB: yatay pilye kullanımı

CFRP: karbon fiber güçlendirme polimeri

GFRP: cam fiber güçlendirme polimeri

Deneysel çalışmalarda boyuna donatı ve pilye için Ø8 etriye ise Ø6 donatı kullanılmıştır. Yapılmış olan deneysel çalışmaları için hazırlanan kesit ve donatı şemalarından da görüldüğü üzere

SB-REF kontrol numunesidir. Bu numunede saplama kirişin saplandığı bölgede herhangi bir enine ve boyuna ilave donatı bulunmamaktadır. Esas kiriş ve saplama kirişte 2Ø8 üstte 2Ø8 altta boyuna donatı bulunmaktadır. Ayrıca enine donatı sabit tutulmuş olup esas kiriş ve saplama kirişte Ø6/125 mm enine donatı kullanılmıştır. Bu numune deprem sırasında saplama kiriş sebebiyle hasar gören esas kirişlerin davranışını incelemek amacıyla test edilmiştir (Şekil 3.2).

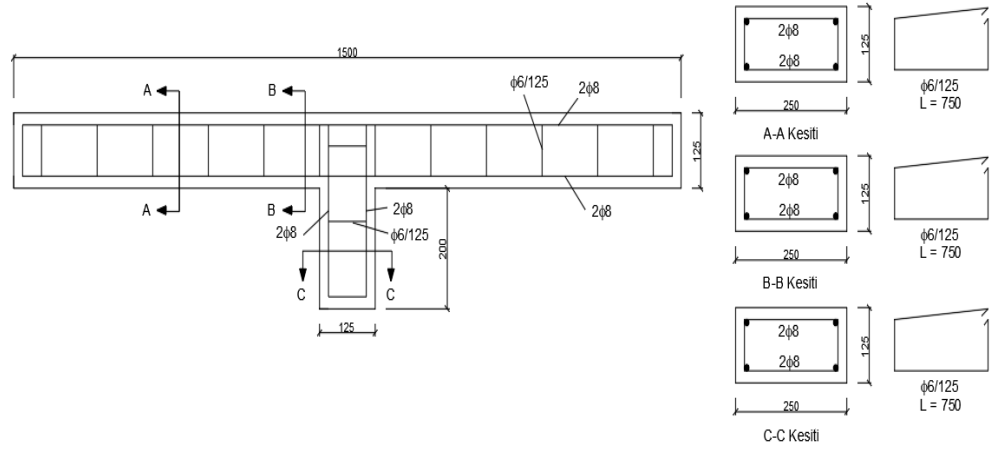
SB-STR numunesinde referans deney elemanına ek olarak, saplama kirişin esas kirişe düğümlendiği bölgelerde (hasar oluşabilecek bölgeler) toplam uzunluğu 400 mm boyunca Ø6/50 mm etriye sıklaştırılması yapılmıştır (Şekil 3.3).

SB-BB numunesinde referans deney elemanına ilave olarak, saplama kirişin esas kirişe düğümlendiği bölgelerde (hasar oluşabilecek bölgeler) toplam uzunluğu 400 mm boyunca 2Ø8 mm yatay pilye yapılmıştır (Şekil 3.4).

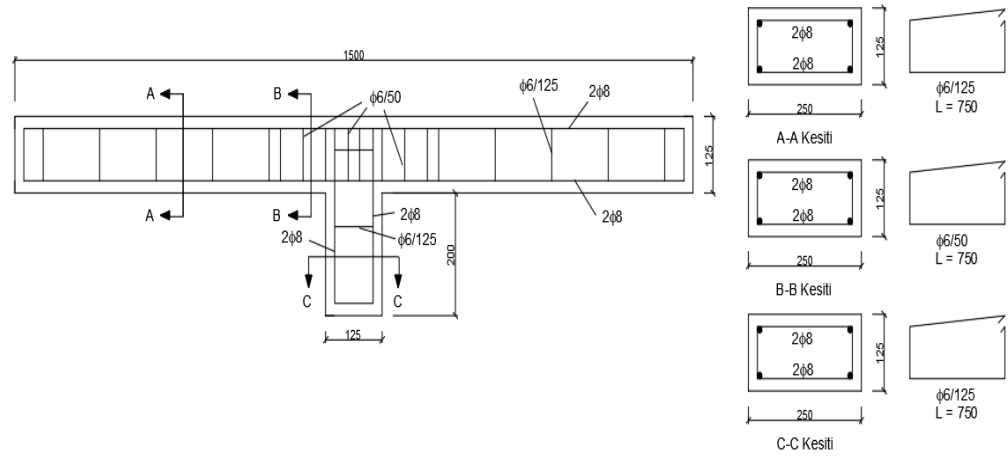
SB-STR-BB numunesinde Referans deney elemanına ilave olarak esas kirişte hasar görmesi tahmin edilen bölgelerde (hasar oluşabilecek bölgeler) toplam uzunluğu 400 mm boyunca 2Ø8 yatay pilye ve Ø6/50 mm enine donatı kullanılmıştır (Şekil 3.5).

SB-CFRP numunesinde referans deney elemanında hasar oluşabilecek bölgelerde toplam uzunluğu 400 mm boyunca karbon fiber güçlendirme polimer tekstil malzemesi (CFRP uygulaması) ile şerit şeklinde güçlendirme yapılarak bu bölgelerde oluşabilecek hasarların önüne geçilmesi hedeflenmiştir (Şekil 3.6). Çalışmada 90 derece açıyla tüm birleşim bölgesini kapsayacak şekilde 870 gr/m² ağırlıklı CFRP tekstil malzemesi kullanılmıştır.

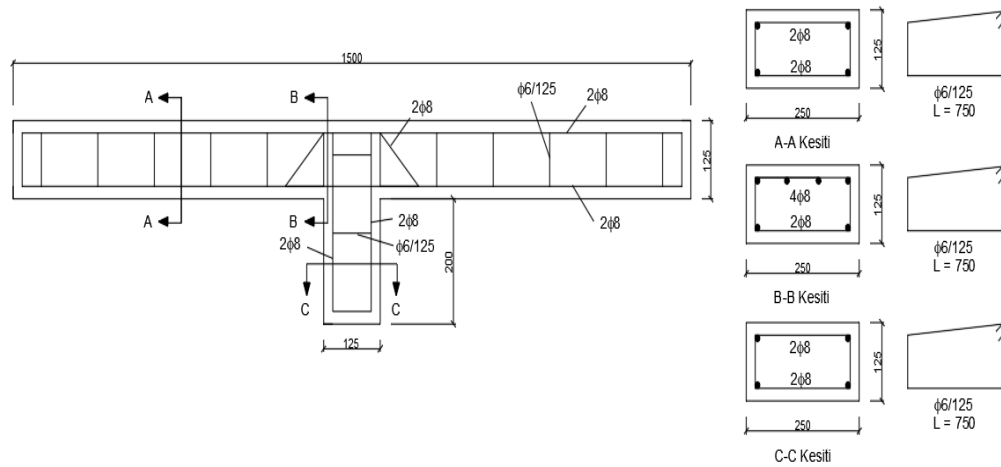
SB-GFRP numunesinde referans deney elemanında hasar oluşabilecek bölgelerde toplam uzunluğu 400 mm boyunca cam fiber güçlendirme polimer tekstil malzemesi (GFRP uygulaması) ile şerit şeklinde güçlendirme yapılarak bu bölgelerde oluşabilecek hasarların önüne geçilmesi hedeflenmiştir (Şekil 3.7). Çalışmada 90 derece açıyla tüm birleşim bölgesini kapsayacak şekilde 900 gr/m² ağırlıklı GFRP tekstil malzemesi kullanılmıştır.



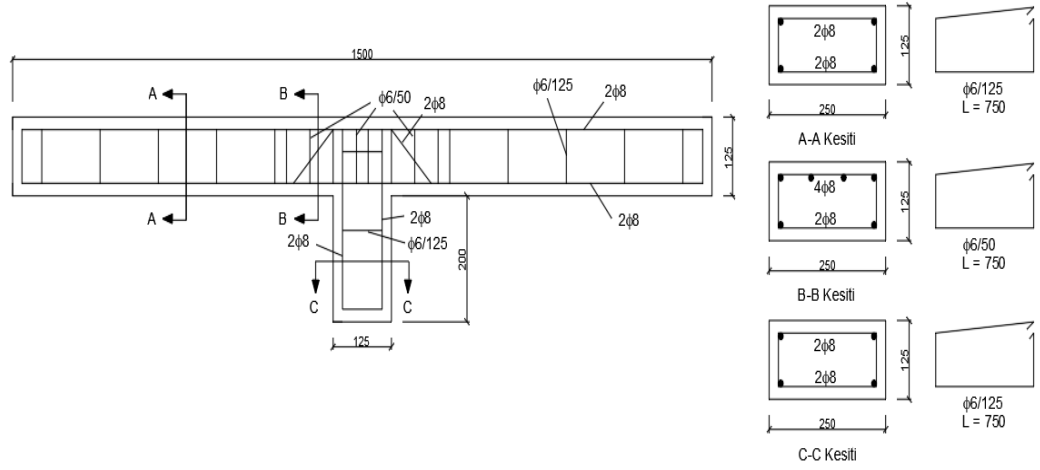
Şekil 3.2. SB-REF deney elemanın donatı şeması



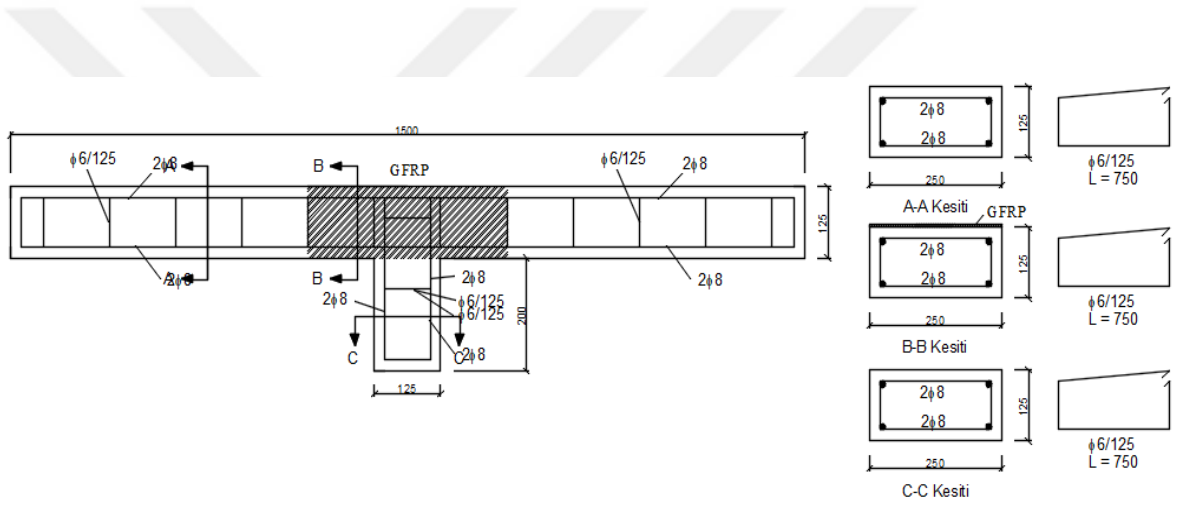
Şekil 3.3. SB-STR deney elemanın donatı şeması



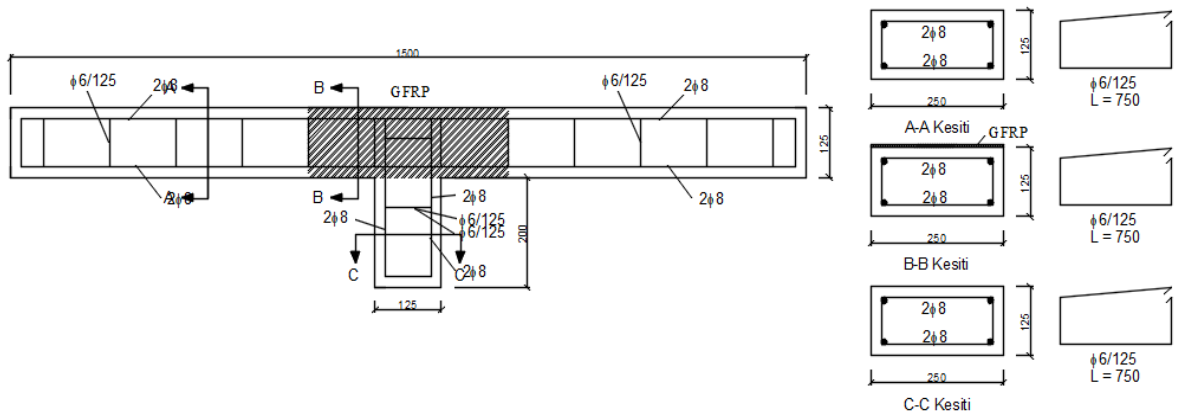
Şekil 3.4. SB-BB deney elemanın donatı şeması



Şekil 3.5. SB-STR-BB deney elemanın donatı şeması



Şekil 3.6. SB-CFRP deney elemanın donatı ve CFRP şeması



Şekil 3.7. SB-GFRP deney elemanın donatı ve GFRP şeması

3.2. Deney Numunelerinin Malzeme Özellikleri

3.2.1. Beton

Çalışmada kullanılan betonun, basınç dayanımını belirlemek amacıyla $15 \times 15 \times 15$ cm boyutunda 3 adet küp numune kalıplara dökülmüştür (Şekil 3.8). Küp numuneler 1 günlük priz süresi bittikten sonra kalıptan çıkartılarak 28 günlük kür süresi için kür havuzunda bekletilmiştir. Beton numunelerinin basınç dayanımının belirlenmesi için 28 gün bittikten sonra havuzdan çıkartılmış ve basınç deneyi gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.9).



Şekil 3.8. Küp numuneleri



Şekil 3.9. Basınç deneyi gerçekleştirilmesi

Beton basınç dayanımı belirlenmesi için küp numuneleri pres makinesinde test edilmiştir. Beton numunelerin silindir dayanımı bulmak için küp numunelerin basınç dayanımı 0.85 katsayısı ile çarpılarak bulunmuştur. Küp numunelerin ortalama basınç dayanımı 36.44 MPa olarak bulunmuştur. Ortalama silindir basınç dayanımı ise 30.97 MPa olarak bulunmuştur. Bulunan sonuçlara göre sipariş verilen beton sınıfını doğrulanmıştır (C30/35). Beton basınç dayanımı sonuçları Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Beton basınç deney sonuçları

Numune No	Yük (kN)	Kesit alanı (cm ²)	Küp dayanımı (MPa)	Ortalama küp Dayanımı (MPa)	Silindir Dayanımı (MPa)	Ortalama Silindir Dayanımı (MPa)
1	812.9	225	36.13		30.71	
2	815.3	225	36.24	36.44	30.80	30.97
3	831.7	225	36.96		31.41	

3.2.2. Çelik donatı

Bu çalışmada 2 farklı donatı kullanılmıştır. Çekme ve basınç bölgesinde boyuna donatı için Ø8, kesme kuvvetini karşılayan etriye donatı için ise Ø6 çapında çelik donatı kullanılmıştır. Kullanılan donatı nervürlü donatı olup donatı sınıfı S420’dir. Çelik çekme deneyi için Konya Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Malzeme Laboratuvarında her bir donatı çapı için 3’er adet çekme deneyi gerçekleştirilmiş ve donatıların mekanik özellikleri tespit edilmiştir. Çekme deney düzeneği Şekil 3.10’da gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Çekme deneyi

Çekme deneyi gerçekleştirilerek donatıların akma dayanımı, çekme dayanımı, kopma dayanımı ve elastisite modülü belirlenmiştir. Çizelge 3.3'te çekme deneyi sonucunda elde edilen mekanik özelliklerin değerleri verilmiştir.

Çizelge 3.3. Çekme deneyin mekanik özellikleri

Mekanik özellik	1. Numune	2. Numune	3. Numune	Ortalama
Akma Dayanımı (MPa)	417.85	395.61	435.31	416.26
Çekme Dayanımı (Mpa)	518.41	486.38	492.33	499.04
Kopma Dayanımı (Mpa)	494.20	477.39	465.87	479.15
Elastisite Modülü (Mpa)	198070	212460	225540	212023

3.2.3. Karbon fiber güçlendirme polimer (CFRP) kumaş malzemesi

Betonarme kirişlerin çekme yüzeyine CFRP kumaş yapıştırılarak güçlendirilmesi oldukça yaygın kullanılan bir yöntemdir. CFRP kumaşlar yüksek dayanıma sahip olmasına rağmen süneklik davranışı oldukça düşüktür ve hiç haber vermeksizin anı kırılma meydana gelmektedir. Karbon lifler genellikle betonarme taşıyıcı elemanların dış

cephesinin güçlendirilmesi için kullanılmaktadır (Aykaç ve ark, 2013). Karbon fiber takviyeli polimer, çelik levhadan daha fazla gerilme mukavemetine ve yüksek sertliğe sahiptir, CFRP kurulumu kolaydır ve çelik levhadan daha hafiftir. CFRP korozyona karşı dayanıklıdır. Nispeten maliyeti yüksek olmasına rağmen, CFRP, işçilik maliyetlerini ve süresini önemli ölçüde azaltabileceğinden, güçlendirme için en ekonomik çözümü sunar (Tarigan ve ark, 2018).

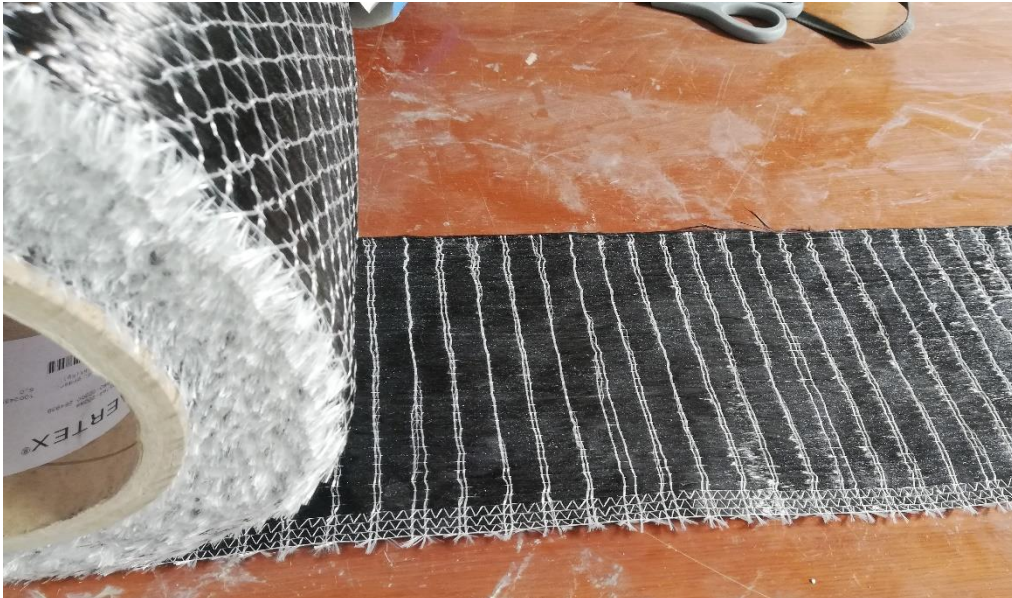
Avantajları:

- Eğilme dayanımı ve rijitliği yüksek olması
- Korozyona karşı dayanıklı olması
- Hafif öz ağırlık ve yüksek dayanıklılık özelliklerine sahip olması.
- İşçiliği az olup kısa sürede kolay bir şekilde binaya uygulanabilmesi

Dezavantajları:

- Gevrek kırılma olması
- Diğer bazı liflere göre maliyeti yüksek olması

Bu çalışmada kullanılan GFRP kumaşı Beşoğlu Endüstri firmasından temin edilmiştir. Esas kirişin saplama kiriş ile kesiştiği bölgenin güçlendirilmesi için tek yönlü CFRP kumaşı kullanılmıştır (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. CFRP kumaşı

CFRP kumaşın malzeme özellikleri tespit edilen firma tarafından alınmıştır. Karbon fiber kumaşın fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.4. CFRP kumaşın malzeme özellikleri

	GFRP Özellikleri	Miktarı
1	Yoğunluğu	1.79 gr/cm ³
2	Gramajı	870 g/m ²
3	Genişliği/uzunluk	20 cm/35m
4	Elastisite modülü	240 Gpa
5	Çekme dayanımı	4000 Mpa
6	Kopma uzaması	1.7%
7	Elektriksel Direnç	1.55 Ω m

3.2.4. Cam fiber güçlendirme polimer (GFRP) tekstil malzemesi

Cam fiber güçlendirme polimeri (GFRP) bina taşıyıcı elemanların dış cepesinde güçlendirme elemanı olarak yaygın olarak kullanılan bir malzemedir. GFRP yüksek dayanıma sahiptir ayrıca; çok iyi ısı yalıtımına sahip olması, yüksek ısı direnci ve düşük maliyete sahip olmasından dolayı köprülerde, tarihi yapılarda ve betonarme yapı taşıyıcı elemanlarında güçlendirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Dindar, 2020). GFRP, karbon ve aramid gibi diğer polimer malzemelere kıyasla maliyeti en düşük olması tercih sebebidir. Bu sebeple bina taşıyıcı elemanlarının dış cephe güçlendirilmesinde en çok tercih edilen malzemedir (Brothers, 2001).

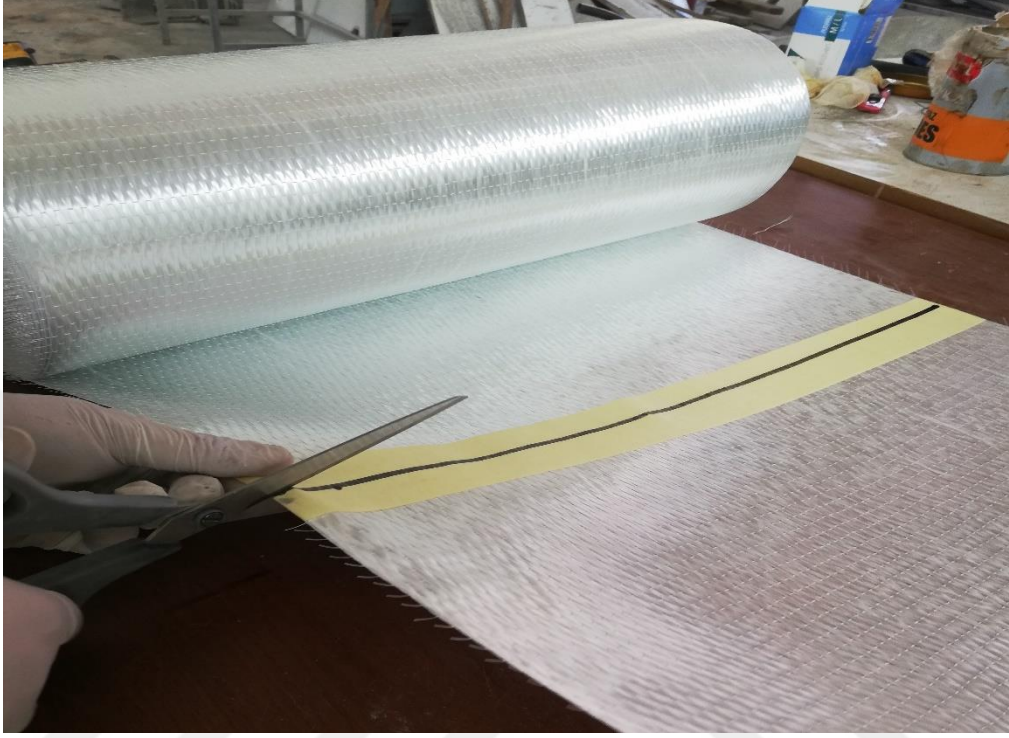
Avantajları (Maraş, 2020):

- Diğer fiber güçlendirme polimerler ile kıyasla düşük maliyetli olması.
- Yüksek güç/ağırlık oranı.
- Korozyona karşı dayanıklı olması.

Dezavantajları:

- Kompozit malzemelerle yapıların dışarıdan güçlendirilmesinin ana dezavantajı, güçlendirme korunmadığı sürece yangına karşı riskli olmasıdır.
- Basınç dayanımının çekme mukavemetinden daha düşük olması.

Bu çalışmada kullanılan GFRP kumaşı Dostkimya firmasından temin edilmiştir. Esas kirişin saplama kiriş ile kesiştiği bölgenin güçlendirilmesi için tek yönlü GFRP kumaşı kullanılmıştır (Şekil 3.12).



Şekil 3.12. GFRP kumaşı

GFRP kumaşın malzeme özellikleri tespit edilen firma tarafından alınmıştır. Cam fiber kumaşın fiziksel ve kimyasal özellikleri çizelge 3.5'te verilmiştir.

Çizelge 3.5. GFRP kumaşın malzeme özellikleri

	GFRP Özellikleri	Miktarı
1	Yoğunluğu	2.54 g/cm ³
2	Gramajı	900 g/m ²
3	Genişliği/uzunluk	50 cm/50m
4	Elastisite modülü	76 Gpa
5	Çekme dayanımı	2300 Mpa
6	Kopma uzaması	3%
7	Elektriksel Direnç	$4 \times 10^{13} \Omega m$

3.2.5. FRP kumaş ile kullanılan epoksi reçinesi

FRP kumaşının güçlendirme işeminde beklenen performansı sağlanması için FRP kumaşlarını kiriş yüzeyine bağlayan epoksi reçinenin dayanımı oldukça önemlidir. Bu çalışmada kullanılan epoksi reçine MAPEİ firması tarafından üretilmiştir. Bu epoksi reçinenin ayrı ayrı iki bileşenden oluşur ve her bir bileşeni de A bileşeni (epoksi) ve B bileşeni (katalizör)'den oluşur. Kirişlere uygulanırken önce epoksi reçinesi (MapeWrap Primer 1) A ve B bileşeni firma tarafından önerilen ağırlıkça 3/1 oranı ile birlikte homojen oluncaya kadar plastik kaptaki karıştırma aparatı takılı matkap ile karıştırılmalı ve kiriş yüzeyine uygulanmalıdır (Çizelge 3.6 ve Çizelge 3.7). Ardından diğer epoksi reçinenin (MapeWrap 31 T) ağırlıkça 4/1 oranı birlikte aynı şekilde karıştırılmalı ve kiriş yüzeyine uygulanmalıdır (Çizelge 3.8 ve Çizelge 3.9). Şekil 3.13'te epoksi reçinelerin görüntüleri verilmiştir.

Çizelge 3.6. MapeWrap Primer 1 epoksi reçinesinin malzeme özellikleri

Özellikleri	A Bileşeni	B Bileşeni
Kıvam	Sıvı	Sıvı
Renji	Açık sarı	Açık sarı
Viskozitesi	350 mPa·s	50 mPa·s
Yoğunluk	1.12 g/cm ³	1 g/cm ³
Karışım oranı	3	1

Çizelge 3.7. MapeWrap Primer 1 epoksi reçinesinin uygulama bilgisi

Karışım Oranı	A bileşeni: B bileşeni = 4: 1
Karışımın Kıvamı	Sıvı
Karışımın Renji	Açık Sarı
Karışımın yoğunluğu	1.1 g/cm ³
Viskozitesi	300 mPa·s
Çalışıla bilirlilik süresi +23°C	40 dakika
Priz alma süresi: +23°C	4 saat
Uygulama sıcaklığı	+5°C ile +30°C arası

Çizelge 3.8. Mapewrap 31 T epoksi reçinesinin malzeme özellikleri

Özellikleri	A Bileşeni	B Bileşeni
Kıvam	Macun	Macun
Rengi	Koyu sarı	Açık sarı
Viskozitesi	200.000 c	20.000 mPa·s
Yoğunluk	1.34 g/cm ³	1.25 g/cm ³
Karışım oranı	4	1

Çizelge 3.9. Mapewrap 31 T epoksi reçinesinin uygulama bilgisi

Karışımın yoğunluğu	1.30 g/cm ³
viskozitesi	70.000 mPa·s
Çalışıla bilirlik süresi +23°C	40 dakika
Priz alma süresi: +23°C	4 saat
Uygulama sıcaklığı	+5°C ile +30°C arası
Karışım Oranı	A bileşeni:B bileşeni = 4: 1
Karışımın Kıvamı	tiksotropik macun
Karışımın Rengi	Sarı

**Şekil 3.13.** Epoksi reçinelerin görüntüleri a) 1.reçine bileşeni b) 2.reçine bileşeni

3.3. Deney Elemanlarının Üretilmesi

3.3.1. Donatıların hazırlanması

Betonarme saplama ve esas kirişlerde kullanılacak olan boyuna donatılar uygun uzunlukta 15 mm gönyeli olacak şekilde bükülmüştür. Enine donatı 95 x 220 mm boyutta ve 135° derecede kancalı olarak hazırlanmıştır (Şekil 3.14).



Şekil 3.14. Donatıların hazırlanması

3.3.2. Kalıpların hazırlanması

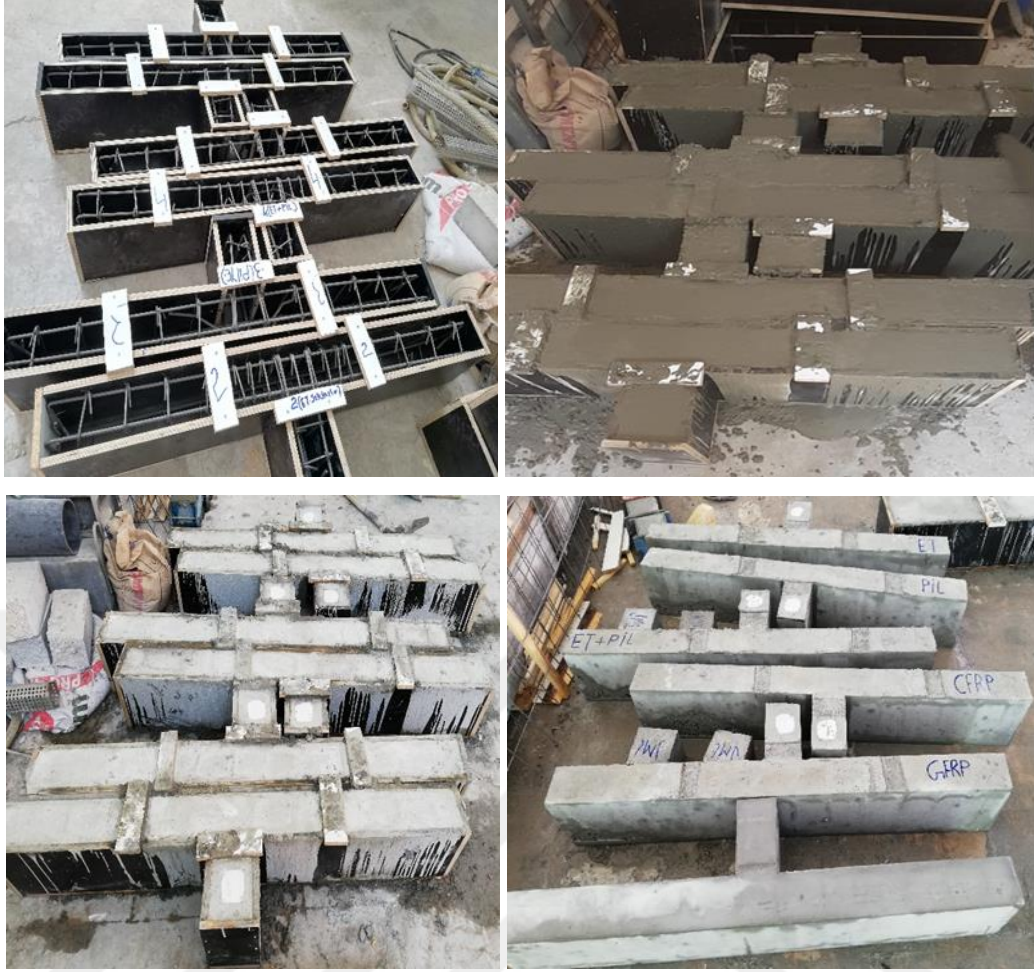
Daha önce hazırlanmış kiriş planlarına uygun olacak şekilde playwood kalıbı bir firmada kestirilerek sipariş verilmiştir. Beton dökme işlemi yapılırken kalıp arasından beton sızmasını önlemek için uygun aralıkla vidalama işlemi yapılmıştır (Şekil 3.15).



Şekil 3.15. Kalıpların hazırlanması

3.3.3. Beton dökümü

Beton dökme işlemi yapılmadan önce betonun kalıba yapışmaması için kalıpların yağlanması yapılmıştır. Daha önce hazırlanmış olan donatılar kalıbın içine uygun bir şekilde konulmuş ve plastik paspayı takılarak donatılar için paspayı bırakılması sağlanmıştır. Beton dökülürken homojen olarak kalıba yerleşmesi için elektrikli vibratör ve çelik çubuklar ile sıkıştırma işlemi yapılmıştır (Şekil 3.16).



Şekil 3.16. Beton dökme işlemi

3.4. FRP Kumaşı ile Güçlendirilen Kirişlerin Hazırlanması

FRP kumaşı ile güçlendirmede epoksi reçinenin kalitesi, karışım oranı ve kiriş yüzeyine uygulama şekli önemli rol oynamaktadır. Kirişlerin beton dökümünden 28 gün geçtikten sonra güçlendirme işlemi için esas kirişin saplama kiriş ile kesiştiği bölgede, tam orta noktadan yanlara doğru 200 mm olacak şekilde toplam 400 mm orta bölgede, kiriş yüzeylerin temizlenmesi yapılmıştır. Kiriş yüzeylerin temizleme işlemi yapılırken, elektrikli zımpara makinesi ile gevşek tanecikler temizlenmiştir. Kirişin güçlendirme bölgesi tüm yüzeyleri kapsayacağından köşeleri zımpara makinesi ile pahlanıp yuvarlatılmıştır. Son olarak temizleme işlemi bittikten sonra basınçlı hava kompresörü ile kiriş yüzeyleri tozdan temizlenmiştir (Şekil 3.17).



Şekil 3.17. FRP kumaşı ile güçlendirecek olan numunelerin yüzeylerinin hazırlanması

Temizleme ve kiriş yüzeylerinin düzeltme işlemi bittikten sonra epoksi reçinelerin karıştırılması ve kiriş yüzeyine uygulaması işlemi başlatılmıştır. Birinci epoksi reçinesi olan MapeWrap Primer 1, A ve B bileşeni ağırlıkça 150/50 gr olarak homojen oluncaya kadar plastik kaptaki plastik karıştırma aparatı takılı matkap ile düşük hızda yavaşça karıştırılmış ve Şekil 3.18’de gösterildiği gibi kiriş yüzeyine uygulanmıştır. Ardından diğer epoksi reçine MapeWrap 31 T, A ve B bileşeni ağırlıkça 300/75gr olarak aynı şekilde karıştırılmış ve Şekil 3.19’da gösterildiği gibi kiriş yüzeyine uygulanmıştır.



(a)



(b)

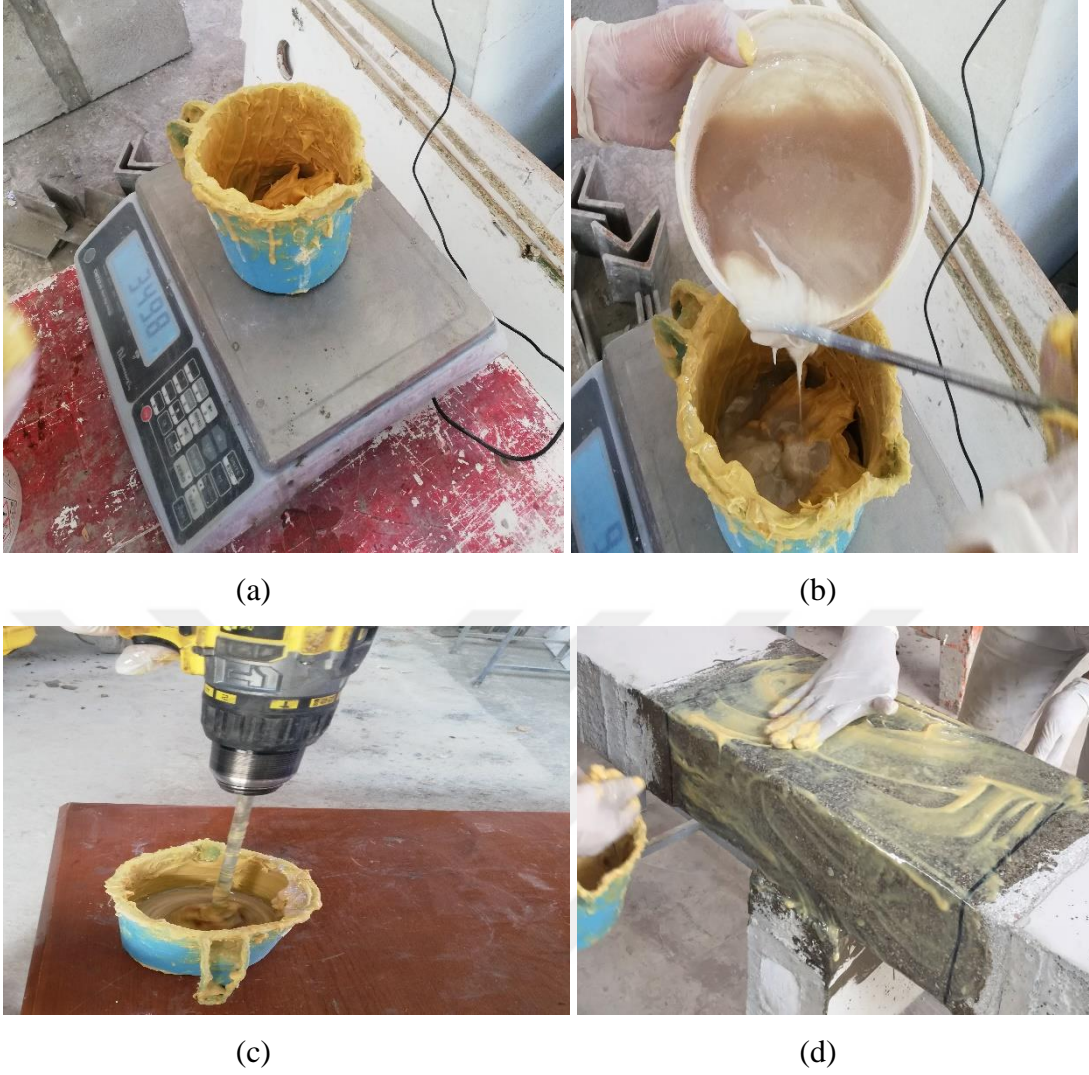


(c)



(d)

Şekil 3.18. Epoksi reçinesi MapeWrap Primer 1'in hazırlanması (A ve B bileşeninin karıştırıp kirişe uygulanması)



Şekil 3.19. Epoksi reçinesi MapeWrap 31 T'in hazırlanması (A ve B bileşeninin karıştırıp kirişe uygulanması)

Son adım olarak CFRP ve GFRP kumaşları kirişlerde epoksi reçinesi kaplayan alana yapıştırılmıştır. Kumaş ile beton arasına oluşabilecek hava kabarcıkları gidermek için mala ile düzgün bir şekilde sıkıştırma işlemi uygulanmıştır. Kiriş yüzeyine sürülmüş olan epoksi reçinenin kurumadan kumaşların uygulanması için bu işlem hızlı bir şekilde yapılmıştır. CFRP ve GFRP kumaşların kirişlere uygulama işlemi, laboratuvar ortamında yaklaşık olarak (23°C) sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. CFRP ve GFRP kumaşların uygulama işlemi Şekil 3.20 ve Şekil 3.21'de gösterilmiştir.



Şekil 3.20. CFRP kumaşın kirişe uygulanması



Şekil 3.21. GFRP kumaşın kirişe uygulanması

3.5. Deney Düzenegi

Deneyel çalışma için Konya Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı ve Deprem Araştırma Laboratuvarında olan 3 noktalı eğilme deney düzenegi hazırlanarak deneyler yapılmıştır. Betonarme esas kirişin orta noktasına saplanan saplama kirişin üzerine tek noktalı eğilme yüklemesi için deney düzenegi tasarlanmış ve deneyler gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.22’de deney yükleme düzeneginin şematik gösterimi verilmiştir. Şekil 3.23’te ise hazırlanan deney yükleme düzeneginin fotoğrafı verilmiştir.

3.6. Ölçüm Tekniği

Deney çalışması boyunca, deneylere iletilen yükün anlık ölçümü için bir adet yük hücresi (loadcell) ve bu yüke bağlı olarak oluşan yer değiştirmeleri ölçmek için 3 adet potansiyometrik cetvel (LVDT) kullanılmıştır. Yük hücresi ve potansiyometrik cetvellere bağlanan kablolar ile veri toplama sistemine aktarılmaktadır. Veri toplama sistemine gelen veriler aygıt geçidi denilen bir alet yardımıyla bilgisayar ortamına aktarılmaktadır. Daha sonra bilgisayara aktarılan veriler bir yazılım sayesinde yük-deplasman grafiklerinin eşzamanlı olarak çizilmektedir. Daha sonra bilgisayarda toplanan veriler farklı programlara aktırılarak istenilen grafiklerin çizilmesi için kullanılabilir. Şekil 3.24'te her deneyde kullanılan veri toplama sistemi görülmektedir.

Deneylerde toplam 3 adet potansiyometrik cetvel kullanılmıştır. Cetveller esas kirişin altında, bir tanesi orta noktada ve diğerleri yanlara doğru 200 mm'lik mesafede yerleştirilmiştir. Deneylerde kullanılan potansiyometrik cetvellerin hassasiyeti 0.001 mm'dir. Şekil 3.25'te kullanılan yük hücresi ve potansiyometrik cetvel gösterilmiştir.



Şekil 3.24. Deneylerde kullanılan veri toplama sistemi



Şekil 3.25. Deneylerde kullanılan potansiyometrik cetvel ve yük hücresi

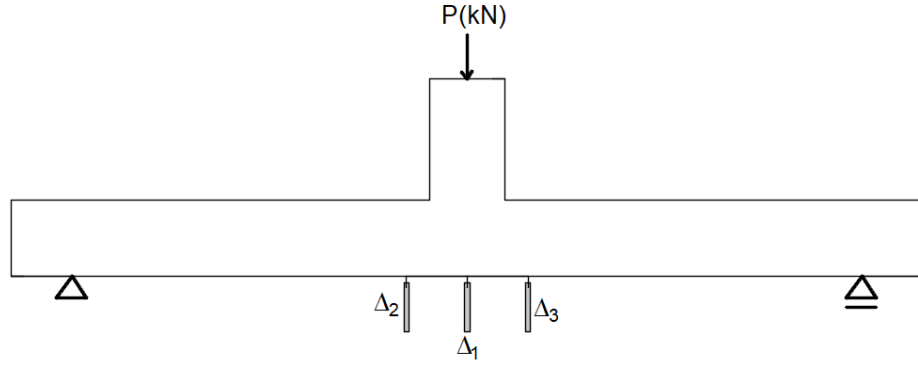
3.7. Ölçümlerin Değerlendirilmesi

Deney sonucunda elde edilen verilere bağlı olarak numunelerin mekanik davranış özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaç doğrultusunda her numune için sırasıyla yük-deplasman grafikleri, rijitlik grafikleri, eğim açısı grafikleri ve kümülatif tüketilen enerji grafikleri çizilmiştir. Bu bölümde, çizilen grafiklerin nasıl elde edildiği anlatılmıştır.

3.7.1. Yük-Deplasman grafiklerinin çizilmesi

Deney sırasında yük hücresi ve potansiyometrik cetvelden alınan ve bilgisayar ortamına aktarılan verilerden yararlanarak yük-deplasman grafikleri çizilmiştir. Şekil 3.26'da gösterildiği gibi esas kirişin orta noktası ile kesişen saplama kirişinin üzerine tek noktadan (P) yükleme yapılmıştır.

Deneylerde toplam 3 adet deplasman ölçümü alınmıştır. Şekil 3.26'da gösterildiği gibi "Δ1" kirişin orta noktasındaki deplasman ölçümünü göstermektedir. Ortasından yanlara doğru 20'şer cm ile sol "Δ2" ve sağ tarafta "Δ3" deplasman ölçümü yapılmıştır. Potansiyometrik cetvellerden alınan veriler ile yük hücresinden alınan veriler bilgisayar ortamında işlenerek yük-deplasman eğrileri oluşturulmuştur. Eğrilere yatay eksen deplasman değerlerini, düşey eksen ise yük değerlerini göstermektedir.



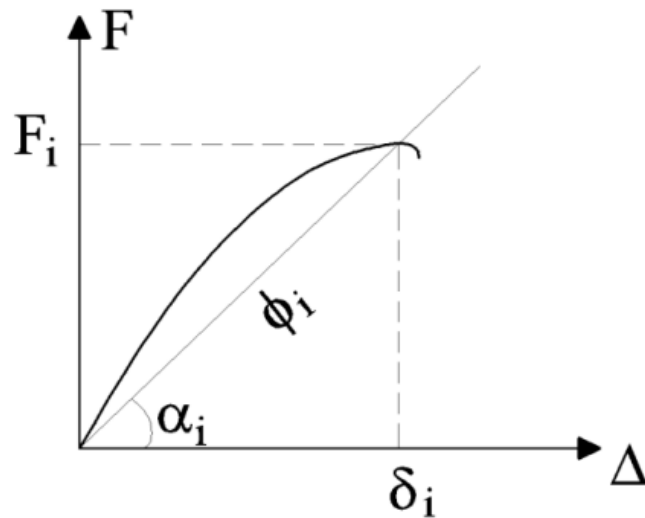
Şekil 3.26 Deney elemanlarına uygulanan yüklerin ve deplasman ölçümlerinin isimlendirmesi

3.7.2. Rijitlik grafiklerinin çizilmesi

Rijitlik, yapı elemanın üzerine gelen yükün yer değiştirmeye karşı gösterdiği direncidir. Yapı elemanına gelen yük sebebiyle oluşan hasarlar arttıkça rijitlik azalmaktadır.

Her deney elemanının rijitlik grafikleri ile ilgili 2 tane grafik çizilmiştir. Bu grafikler, rijitlik azalım grafiği ve eğim açısı grafiğidir. Numunenin rijitlik değerleri her yüklemde Yük-Orta Nokta Deplasman Grafiğinin eğimi hesaplanarak belirlenmiştir.

Şekil 3.27’de verilen grafikte her yüklemde F_i yükünün δ_i deplasman değerine bölünmesiyle elde edilen değer o yüklemenin rijitliğini vermektedir. Deney işlemi boyunca yapılan tüm yüklemelerin rijitlik değerleri hesaplanmıştır. Numunelerin rijitlik azalım grafikleri çizilirken düşey eksende rijitlik değerleri, yatay eksen de o yüklemdeki orta nokta deplasmanı bulunmaktadır.



Şekil 3.27. Numunelerin rijitliklerinin belirlenmesi

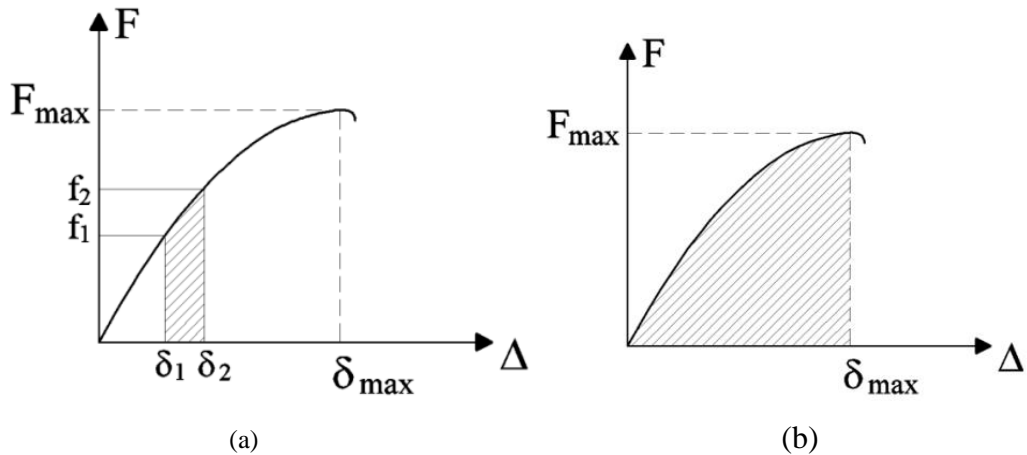
$$\text{Rijitlik}(\phi_i) = F_i/\delta_i \quad (3.1)$$

Eğim açısı grafiklerinde Şekil 3.27’de α_i olarak gösterilen açı deney başlangıcında yaklaşık olarak 90° değerinde olup deplasmanın artmasıyla ve rijitliğin azalması ile bu açı gittikçe azalmaktadır. Böylelikle deney elamanının eğim açısının azalarak devam etmesi, ilerleyen yüklemelerde rijitlik değerlerinin azalacağını göstermektedir. Numunenin eğim açısı grafiklerinde düşey ekseninde açı değerleri yatay ekseninde ise yükleme numaraları gösterilmektedir.

3.7.3. Tüketilen enerji grafiklerinin çizilmesi

Numunelerin tüketilen enerji kapasitesi yük-orta nokta deplasmanı eğrisinin altında kalan alanların hesaplanması ile bulunmuştur. Şekil 3.27(a)’da gösterildiği gibi her yüklemeye karşı bir birimlik alan bulunmuş ve daha sonra o yüklemeye bulunan maksimum yüke kadar toplanmasıyla o yüklemeye tüketilen enerji değerleri bulunmuştur (Şekil 3.27(b)). Şekil 3.27(a)’da gösterilmiş taralı alan, küçük bir trapez gibi düşünülerek Denklem 3.2 ile hesaplanmıştır.

$$dA = (\delta_2 - \delta_1) \times \frac{(f_1 + f_2)}{2} \quad (3.2)$$



Şekil 3.28. Deneylerde tüketilen enerjinin hesaplanması (a) bir birimlik alan (b) yüklemedeki toplam alan

Toplam tüketilen enerji grafiklerinde her yükleme için yük-deplasman eğrisi altında kalan alan hesaplanmıştır. İlk yüklemedeki alan hesaplandıktan sonra ikinci yüklemeye geçilirken ikinci yüklemeye önceki enerji değeri sıfırlanmıştır. Bu şekilde

her yükleme için tüketilen enerji değerleri ayrı ayrı hesaplanmıştır. Böylelikle her yüklemde ne kadar enerji tüketildiği ayrı ayrı hesaplanmıştır. Toplam tüketilen enerji grafiklerinde düşey eksen toplam tüketilen enerji miktarı, yatay eksen de orta nokta deplasmanı olarak gösterilmektedir.

Toplam tüketilen enerji miktarını belirlemek için her yüklemde hesaplanan enerji değerlerinin toplamı kümülatif tüketilen enerjiyi verecektir. Kümülatif tüketilen enerji grafiğinin çizilmesinde ilk yükleme sonucunda bulunan toplam tüketilen enerji ile ikinci yükleme sonucunda bulunan toplam tüketilen enerji toplanmıştır. Her yüklemde sonra bu değerlerin toplanması ile kümülatif tüketilen enerji grafiği çizilmiştir. Kümülatif tüketilen enerji grafiği yük-deplasman eğrisinin altında kalan toplam alanı vermektedir. Toplam tüketilen enerji grafiklerinde düşey eksen kümülatif tüketilen enerji miktarları, yatay eksen ise orta nokta deplasmanlarını göstermektedir.

3.7.4. Süneklik değerlerinin elde edilmesi

Süneklik; bir yapının veya yapı elamanının, yük taşıma kapasitesinde önemli kaybı uğramadan büyük şekil değiştirme yapabilme kabiliyeti olarak tanımlanmaktadır (Kaltakçı, 2002; Ersoy ve Özcebe, 2016). Herhangi bir yapı elamanının maksimum noktasındaki deplasman değerinin (δ_u), akma başladığı andaki deplasman değerine (δ_y) oranı sistemin sünekliği olarak tanımlanmaktadır (Eurocode 8, 2004).

Bu çalışmada süneklik değerini hesaplamak için; yük-deplasman eğrilerinin ait akma ve göçme noktaları belirlenerek bu noktalara karşılık gelen değerler işaretlenip akma (δ_y) ve göçme (δ_u) deplasmanları bulunmuştur. Göçme deplasmanının akma deplasmanına oranı (δ_u/δ_y) belirlenip her deney elemanın süneklik değerleri hesaplanmıştır. Akma ve göçme noktaları belirlenirken şu kabuller yapılmıştır: yatay yük-kat deplasmanı eğrisinin yatay konuma geldiği nokta nominal akma noktası olarak belirlenmiştir. Bu noktanın hesaplanması için ilk olarak maksimum yükten (F_{max}) yatay eksene paralel olarak bir doğru çizilir. Ardından F_{max} 'ın %75'inin ($0.75F_{max}$) yatay yük-kat deplasmanı eğrisini kestiği nokta belirlenir. Ondan sonra eğrinin başlangıç noktasından $0.75F_{max}$ noktasından geçecek şekilde F_{max} doğrusuna bir çizgi çizilir. F_{max} ile kesişen doğrudan düşey eksene çizilen doğrunun, yatay yük-kat deplasmanı eğrisini kestiği nokta akma noktası olarak belirlenir. Her bir numunenin yatay yük-kat deplasmanı eğrisinde ulaşılan maksimum yük değeri belirlenmiştir. Ayrıca, numunelerdeki göçme

noktası belirlenirken yatay yük-kat deplasmanı eğrisinde maksimum yüke ulaştıktan sonra maksimum yükte %20 azaldığı nokta bulunmuş ve bu nokta göçme noktası olarak belirlenmiştir Ugur ve Alptuğ. (2022).



4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde tez kapsamında birbirinden farklı özelliklere sahip olan toplam 6 adet deney sonuçları sunulmuştur. Her deney elemanına ait davranış özelliklerini belirlemek amacıyla farklı grafikler çizilmiş ve sonuçları ayrı ayrı irdelenmiştir.

Deney çalışması boyunca tüm deneyler aynı yükleme adımları altında test edilmiştir. Yapılan yükleme adımlarının sırası şu şekildedir:

- Tüm deneylere 5 kN yükleme ile başlanmıştır.
- İlk yüklemeden sonra deney elemanları akma noktasına ulaşıncaya kadar 5 kN'luk yükleme artışı yapılmıştır.
- Akma noktası ulaşıldıktan sonra 50 mm deplasmana kadar 5 mm deplasman artışı yapılmıştır.
- 50 mm deplasman ulaşıldıktan sonra her yüklemede 10 mm deplasman artışı yapılmıştır.
- Her deney elemanı göçme noktasına ulaşıncaya kadar yüklemeler bu şekilde devam ettirilmiştir.

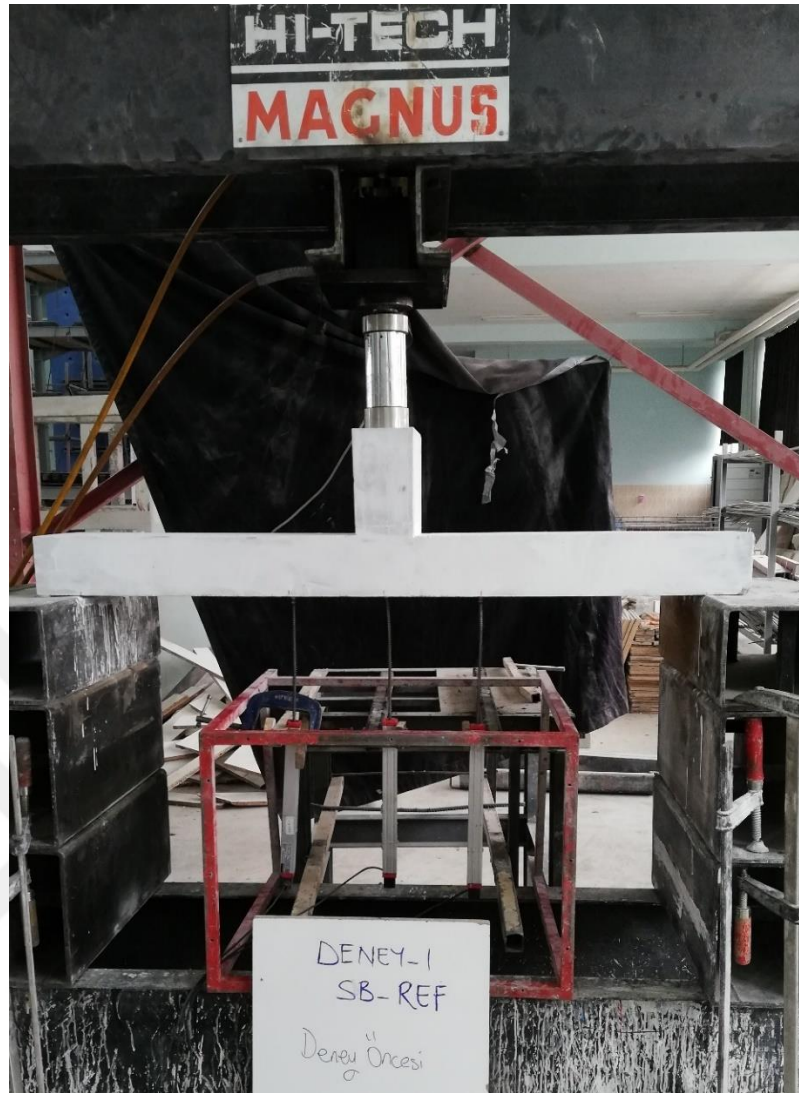
Her deney elemanının yükleme işlemi bittikten sonra verileri uygun bir şekilde işlenip farklı grafikleri ayrı ayrı çizilerek verilmiştir. En sonda ise tüm deneylerin grafiklerinin karşılaştırması yapılmıştır. Her deney elemanı için hazırlanan grafikler şu şekildedir:

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

4.1. Deney Sonuçları

4.1.1. Deney-1 (SB-REF)

Bu deney elemanı kontrol amacıyla yapıldığı için herhangi bir ilave güçlendirme yapılmamıştır. SB-REF numunesinin yükleme öncesi görüntüsü Şekil 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1. SB-REF deney elemanının yükleme öncesi görünümü

Deney yükleme esnasında, her yüklemeye karşı gelen hasar ve çatlaklar Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. SB-REF deney elemanında oluşan çatlak ve hasarlar

Yükleme No	Yük (kN)	Deplasman (mm)	Çatlak No	Açıklama
1	10	1.95	1,2,3,4	Numunede ilk çatlaklar meydana gelmiştir. 2 numaralı çatlak genişliği başlangıç noktasında 0.1mm’dir.
2	20	4.80	5,6,7	Bu yüklemde eğilme bölgesinde toplam 3 tane yeni çatlaklar oluşmuştur. Ortalama çatlak uzunlukları yaklaşık olarak 10 cm’dir. Mevcut çatlakların uzunlukları uzamıştır.

3	16.84	5.28	-	Deney elemanı akma noktasını ulaşmıştır. Akma anına kadar oluşan çatlak genişlikleri 1'den 7 numaralıya kadar sırasıyla şu şekildedir:1, 0.1, 1.6, 0.1, 0.1, 0.1, 0.1 mm.
4	22.45	24.25	-	Deney elemanı maksimum yük taşıma kapasitesine ulaşmıştır. Numunenin basınç bölgesinde beton ezilmesi olmuş ve çatlak dallamaları başlamıştır. Yeni çatlaklar oluşmamıştır.
5	21	30.39	-	Mevcut çatlak uzunlukları ve dallamaları artmıştır. Yeni çatlaklar oluşmamıştır.
6	21	40.99	-	Mevcut çatlak genişlikleri artmıştır. Yeni çatlaklar oluşmamıştır.
7	21	50.78	-	Çatlak genişlikleri: 1 ve 3'nolu 3.5 mm sınırı geçti, 2, 4, ve 5'nolu 0.1 mm olmuş, 6'nolu ise 1.5 mm olmuştur. Sol taraftaki 3'nolu çatlağın çekme bölgesinde beton dökülmesi olmuş ve enine donatısı gözükmüştür. Yeni çatlaklar oluşmamıştır.
8	21	60.68	-	Çekme bölgesindeki beton dökülmeleri artarak kirişin her iki tarafındaki enine donatısı iyice gözükmüştür. Yeni çatlaklar oluşmamıştır.
9	21	70.65	-	Çatlak genişlikleri artmıştır. Yeni çatlaklar oluşmamıştır.
10	21	80.90	-	Çatlak genişlikleri artmıştır. Yeni çatlaklar oluşmamıştır.
11	21	92.91	-	Çatlak genişlikleri artmıştır. Yeni çatlaklar oluşmamıştır.
12	17.96	100.45	-	Diğer çatlak genişlikleri sabit kalmış, 1 ve 3'nolu çatlak genişlikleri 3.5 mm sınırını geçmiş ve 6'nolu çatlak 3.1 mm olmuştur. Deney yük taşıma kapasitesini kaybettiği için yüklemeye son verilmiştir.

SB-REF numunesinde ilk çatlak 10 kN yük seviyesinde, 1.95 mm deplasman değerinde, esas kirişin saplama kiriş ile kesiştiği bölgenin sağ alt tarafında kılcal çatlak şekilde gözlenmiştir. Deney elemanın ilk çatlak görüntüsü Şekil 4.2'de verilmiştir.



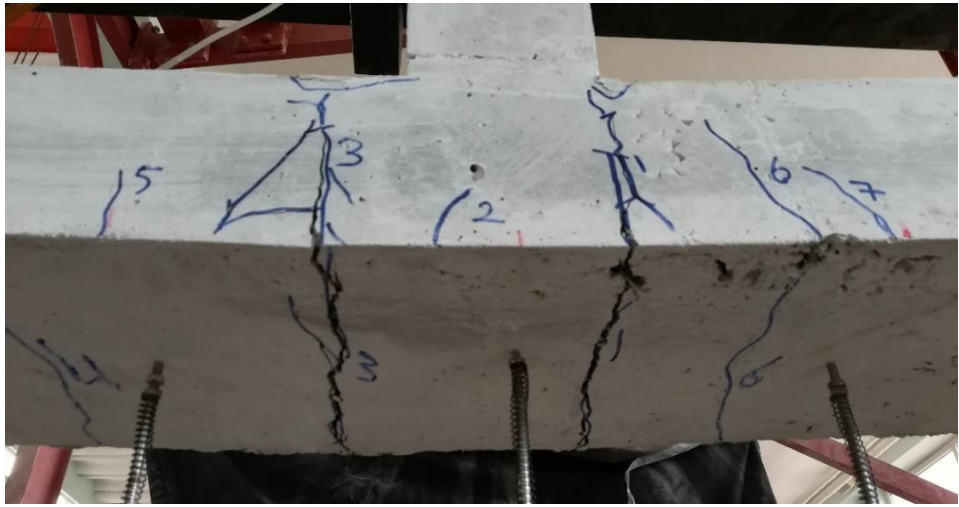
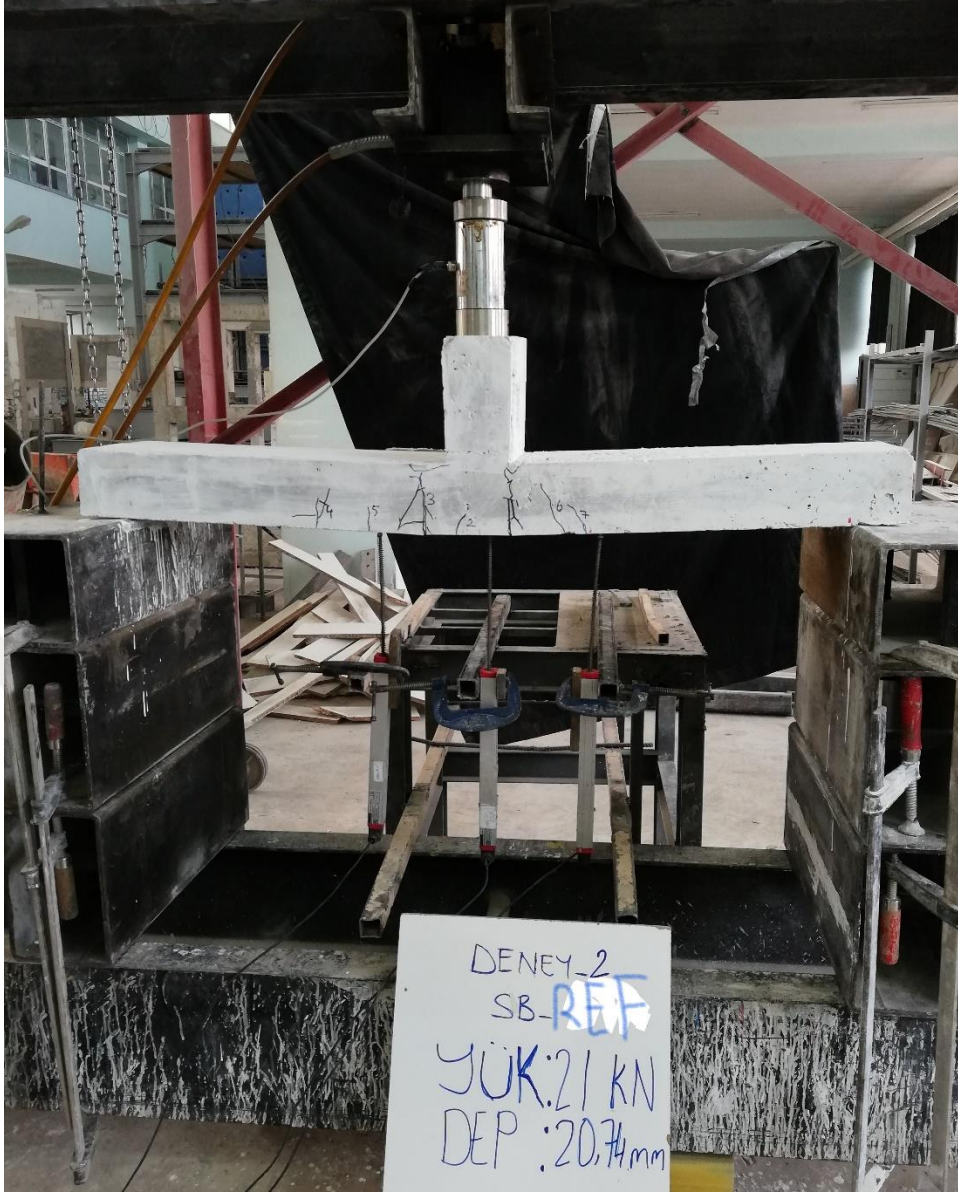
Şekil 4.2. SB-REF numunede gözlemlenen ilk çatlak

SB-REF numunesinde 16.84 kN yük ve 5. 28 mm deplasman seviyesinde akma meydana gelmiştir. Deney elemanın akma noktasındaki hasar ve çatlakları Şekil 4.3'te verilmiştir.



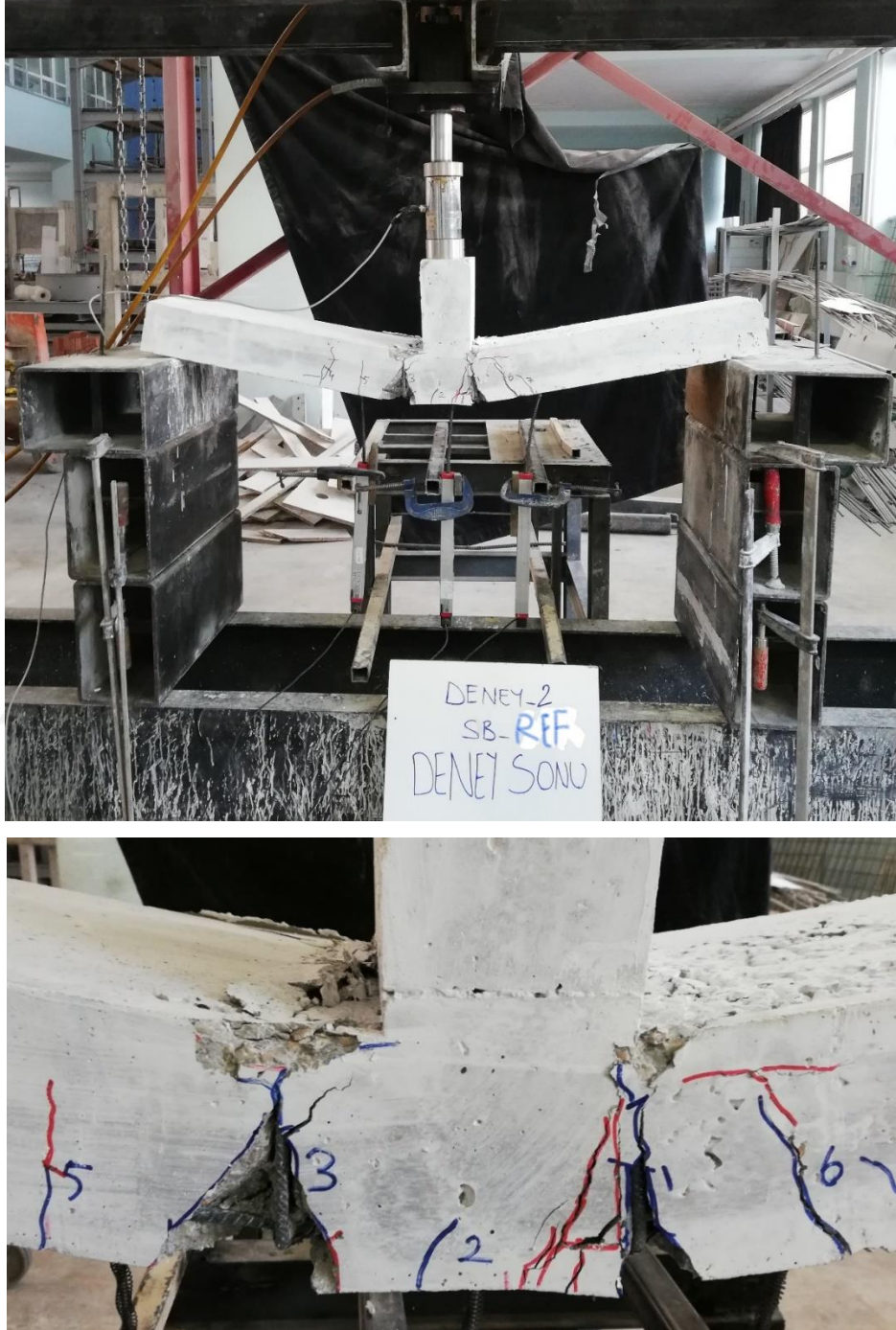
Şekil 4.3. SB-REF numunesinde akma noktasında gözlenen çatlak dağılımı

SB-REF numunesinin ulaştığı maksimum yük 22.45 kN olup bu yüke karşı gelen deplasman değeri 24.25 mm olarak gözlenmiştir. Deney elemanın maksimum yükte oluşan hasar ve çatlakları Şekil 4.4'te verilmiştir.



Şekil 4.4. SB-REF numunesinin maksimum yükteki görüntüsü

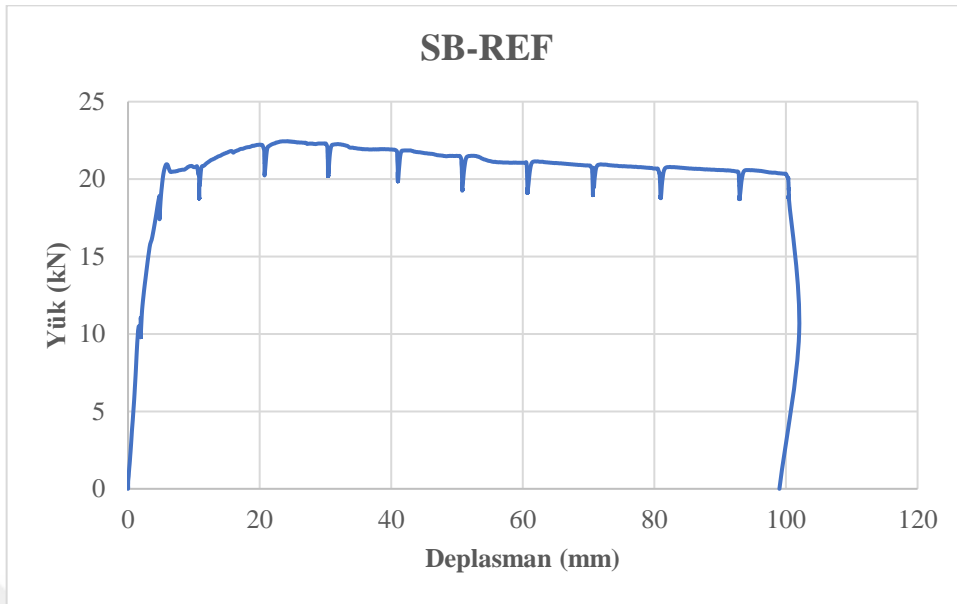
SB-REF deney elemanı 100.45 mm deplasman değerinde yük taşıma kapasitesini kaybetmiş olduğundan ve numunede büyük hasarlar meydana geldiğinden deney sonlandırılmıştır. Deney elemanının göçme anındaki görünümü şekil 4.4'te verilmiştir.



şekil 4.5. SB-REF deney elemanının göçme anındaki grns

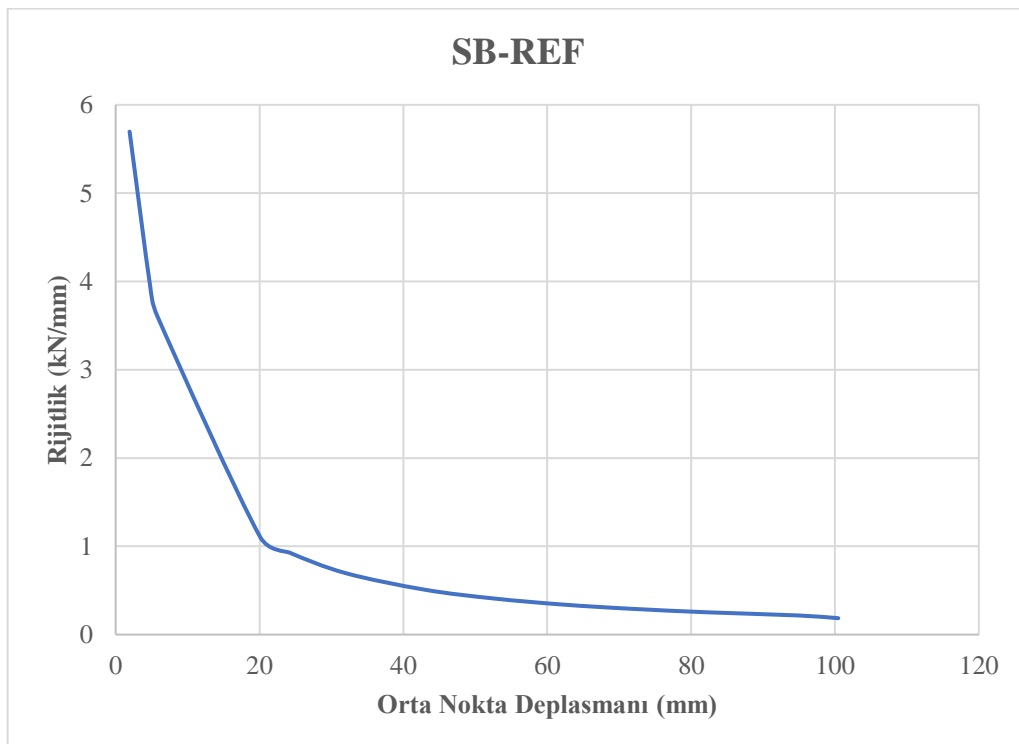
Deney elemanın yükleme işlemi boyunca, numunenin davranışı ve mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla alınan veriler kullanılarak çeşitli grafikler çizilmiştir.

Şekil 4.6’da deney elemanın yük-deplasman grafiği verilmiştir.

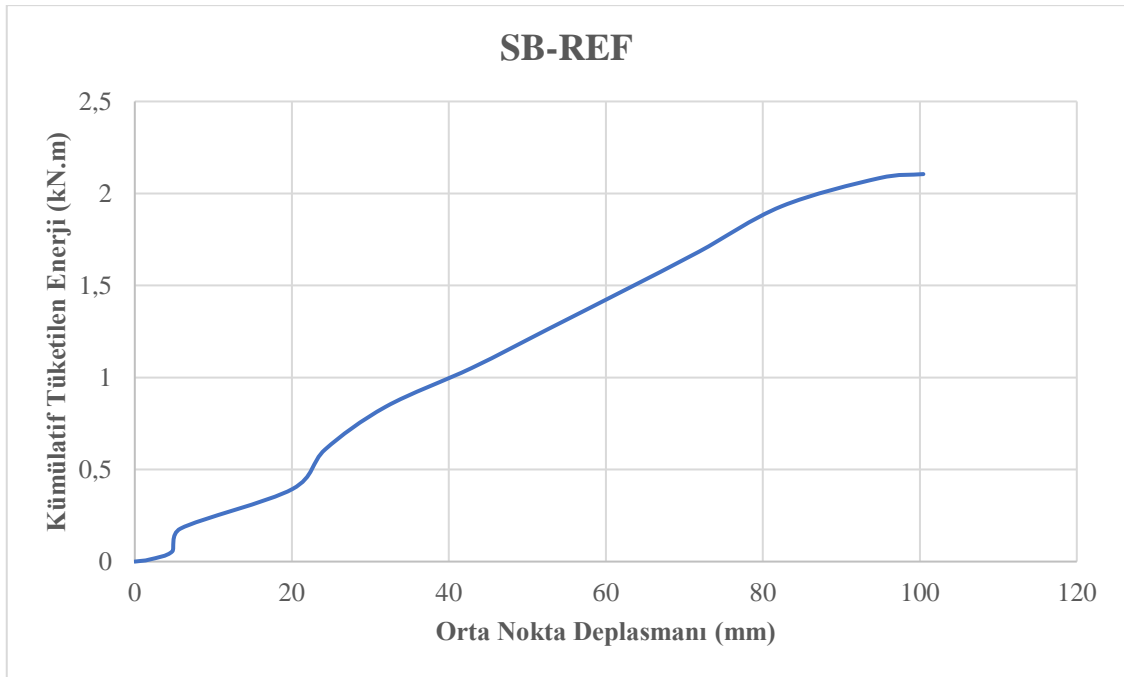


Şekil 4.6. SB-REF deney elemanın yük-deplasman grafiği

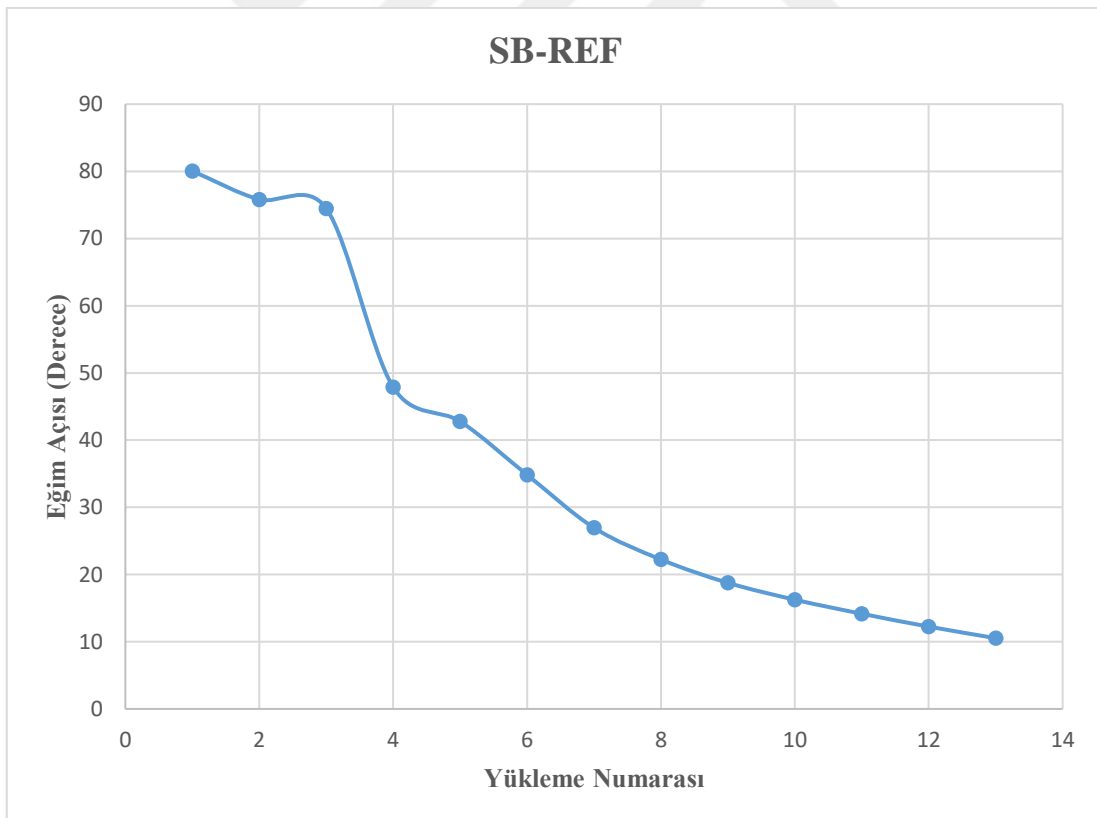
SB-REF numunesinin yükleme işlemi boyunca alınan her yükün o anki deplasmana bölünmesiyle elde edilen rijitlik grafiği Şekil 4.7’de verilmiştir. Numunenin yük-deplasman grafiğinin altındaki alanı hesaplayarak oluşturulan kümülatif tüketilen enerji grafiği ise Şekil 4.8’de verilmiştir. Deney elemanın eğim açısı grafiği ise şekil 4.9’da verilmiştir.



Şekil 4.7. SB-REF deney elemanının rijitlik grafiği



Şekil 4.8. SB-REF deney elemanının kümülatif tüketilen enerji grafiği



Şekil 4.9. SB-REF deney elemanının eğim açısı grafiği

Çizelge 4.2. SB-STR deney elemanında oluşan çatlak ve hasarlar

Yükleme No	Yük (kN)	Deplasman (mm)	Çatlak No	Açıklama
1	5	1.30	1	Kirişlerin sağ birleşim bölgesinde ilk çatlak meydana gelmiştir.
2	10	2.45	2,3,4,5	Bu yükleme adımında eğilme bölgesinde toplam 4 tane yeni çatlaklar oluşmuştur. Ortalama çatlak uzunlukları yaklaşık olarak 7 cm'dir ve 0.1 mm genişliğindedir.
3	15	4.76	6,7,8,9	Daha önce meydana gelen çatlakların çatlak uzunlukları artmıştır. Toplam 4 tane yeni çatlak oluşmuş ve ortalama çatlak uzunlukları 12 cm olarak ölçülmüştür.
4	20	6.83	-	Bu yüklemde yeni çatlaklar oluşmamıştır. Eski çatlaklarda uzama meydana gelmiştir.
5	18.08	6.2	-	Deney elemanı akma noktasına ulaşmıştır. Akma anına kadar oluşan çatlak genişlikleri 1'den 9 numaralıya kadar sırasıyla şu şekildedir 1.3, 0.4, 0.3, 0.4, 0.2, 0.1, 0.1, 0.1, 0.1 mm.
6	24.10	23.38	-	Deney elemanı maksimum yük taşıma kapasitesine ulaşmıştır. Daha önce meydana gelen çatlakların çatlak genişlikleri artmış ve dallamalar meydana gelmiştir. Yeni çatlaklar oluşmamıştır.
7	23	31.22	-	Mevcut çatlakların genişlikleri artmıştır ve basınç bölgesinde beton ezilmesi meydana gelmiştir. Yeni çatlaklar oluşmamıştır.
8	23	40.31	-	1 ve 2 numaralı çatlak genişlikleri sırasıyla 2.2 ve 2.1 mm olarak ölçülmüştür. 3, 5 ve 7 numaralı çatlaklar 3.5 mm genişlik sınırı aşmıştır. Yeni çatlaklar oluşmamıştır.
9	21	50.79	-	Mevcut çatlak genişlikleri artmıştır. Yeni çatlaklar oluşmamıştır. 3 ve 7 numaralı çatlaklar kirişin alt tarafındaki çekme bölgesinde birleşmiştir.
10	21	63.83	-	Mevcut çatlak genişlikleri artmıştır. Yeni çatlaklar oluşmamıştır. 1 ve 5 numaralı çatlaklar kirişin alt tarafındaki çekme bölgesinde birleşmiştir.
11	21	70.64	-	Mevcut çatlak genişlikleri artmıştır. Kirişin yan yüzeyde beton ezilmesi meydana gelmiş ve enine donatı gözükümüştür. Yeni çatlaklar oluşmamıştır.
12	21	80.30	-	Mevcut çatlakların çatlak genişlikleri artmıştır. Yeni çatlaklar oluşmamıştır.

13	21	90.70	-	Mevcut çatlakların çatlak genişlikleri artmıştır. Yeni çatlaklar oluşmamıştır.
14	21	100.76	-	Mevcut çatlakların çatlak genişlikleri artmıştır. Sağ ve sol birleşim bölgesinde kırılma meydana gelmiştir. Yeni çatlaklar oluşmamıştır.
15	19.28	115.73	-	Deney yük taşıma kapasitesini kaybettiğinden yüklemeye son verilmiştir.

SB-STR numunesinde ilk çatlak 5 kN yük seviyesinde 1.30 mm deplasman değerinde meydana gelmiştir. Deney elemanında meydana gelen ilk çatlak Şekil 4.11'de verilmiştir.



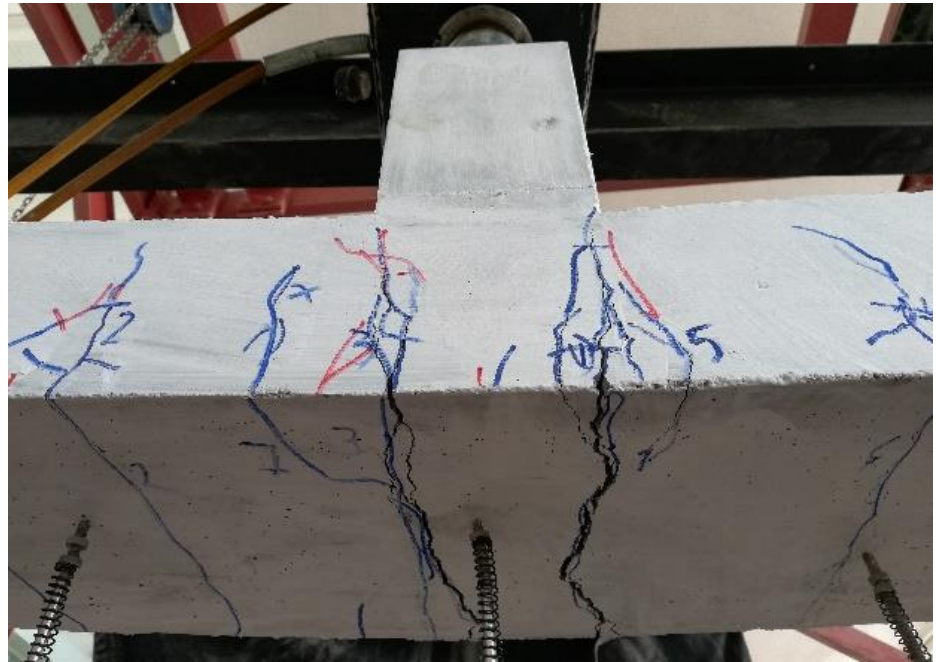
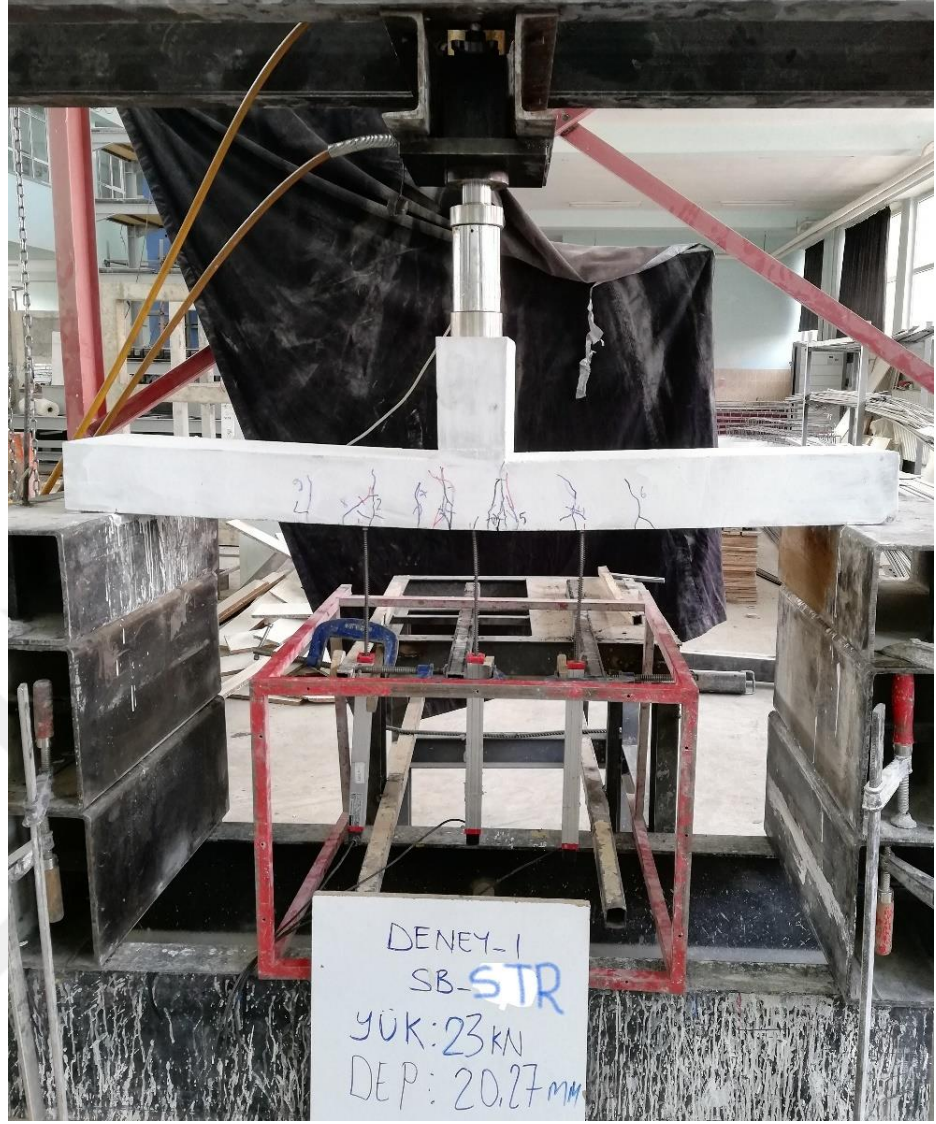
Şekil 4.11. SB-STR numunesinde gözlemlenen ilk çatlak

SB-STR numunesinde 18.08 kN yük ve 6.2 mm deplasman seviyesinde akma meydana gelmiştir. Deney elemanının akma noktasındaki hasar ve çatlakları Şekil 4.12’de verilmiştir.



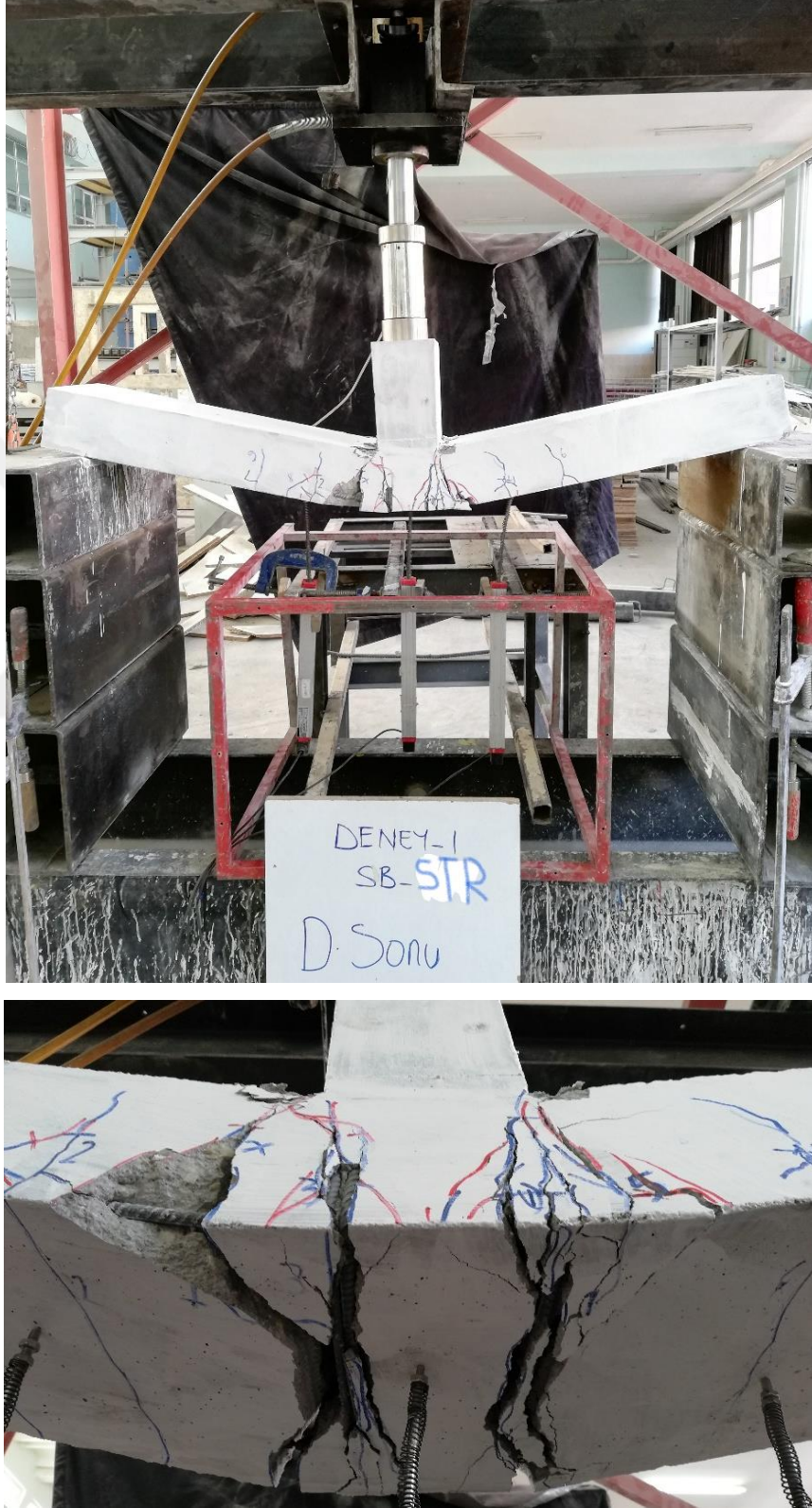
Şekil 4.12 SB-STR numunesinde akma noktasında gözlemlenen çatlak dağılımı

SB-STR numunesinin ulaştığı maksimum yük 24.10 kN olup bu yüke karşı gelen deplasman değeri 23.38 mm olarak gözlenmiştir. Deney elemanın maksimum yükte oluşan hasar ve çatlakları Şekil 4.12’de verilmiştir.



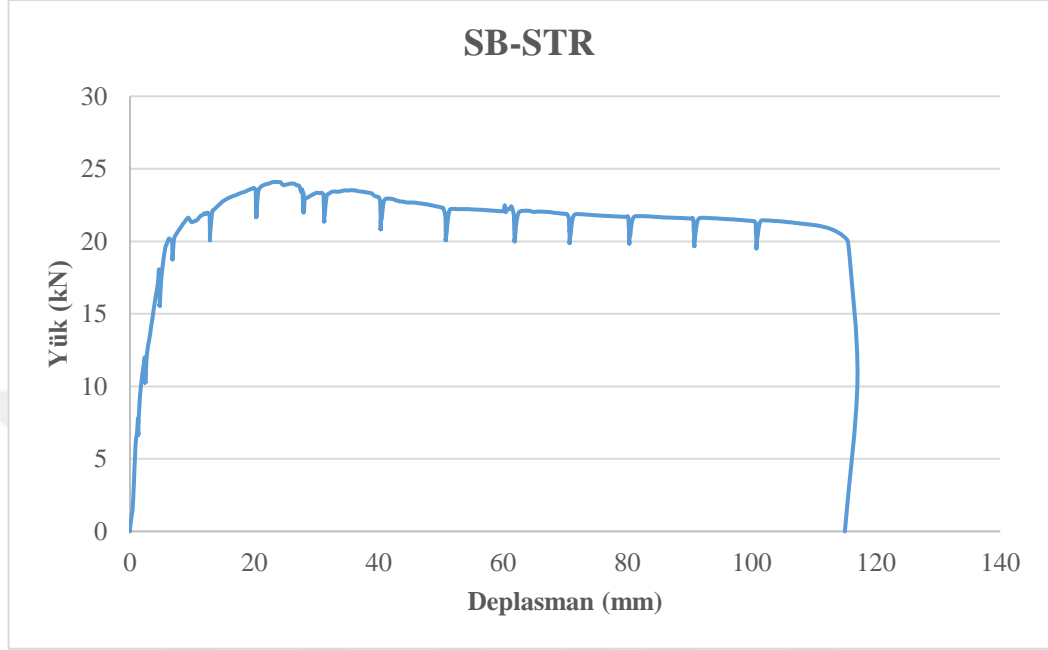
Şekil 4.13. SB-STR numunesinin maksimum yükteki görüntüsü

SB-STR deney elemanı 115.73 mm deplasman değerinde yük taşıma kapasitesini kaybetmiş olduğundan ve numunede büyük hasarlar meydana geldiğinden deney sonlandırılmıştır. Deney elemanının göçme anındaki görünümü şekil 4.14'te verilmiştir.



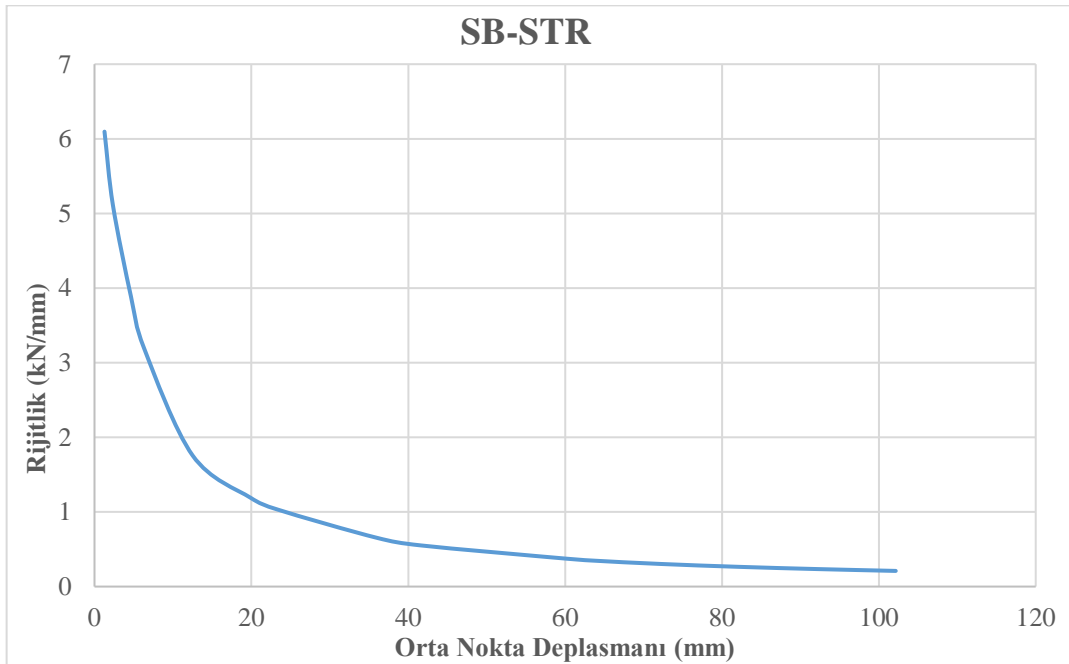
şekil 4.14. SB-STR deney elemanının göçme anındaki grns

Deney elemanın yükleme işlemi boyunca, numunenin davranışı ve mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla alınan veriler kullanılarak çeşitli grafikler çizilmiştir. Şekil 4.15'te deney elemanın yük-deplasman grafiği verilmiştir.

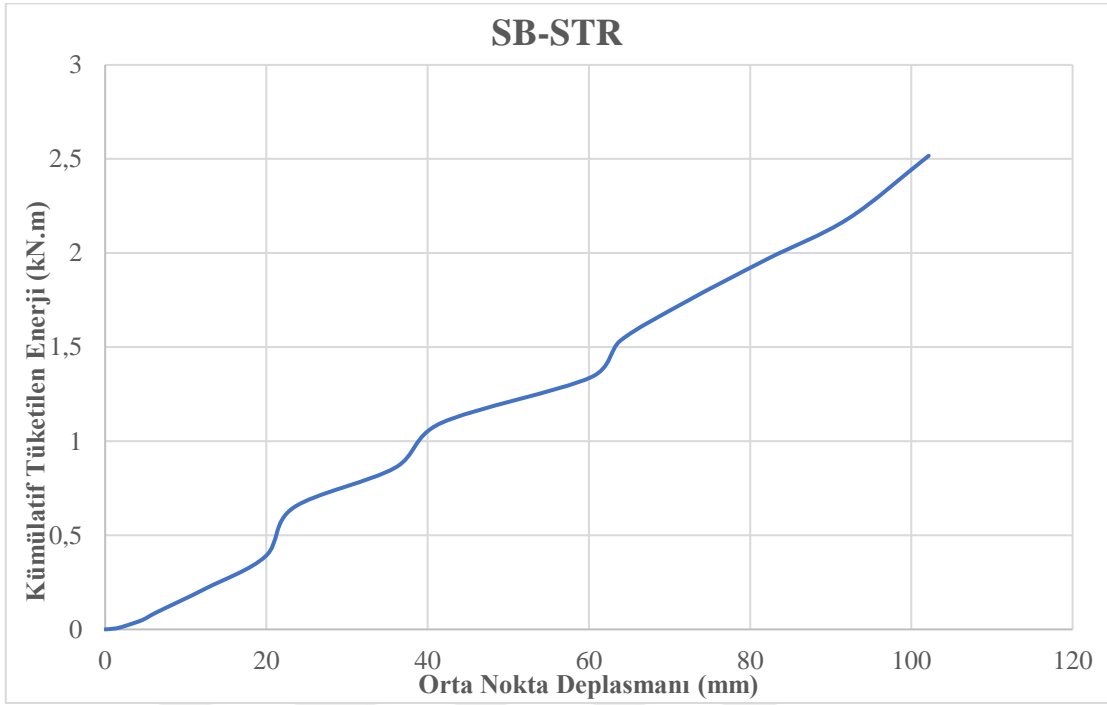


Şekil 4.15. SB-STR deney elemanın yük-deplasman grafiği

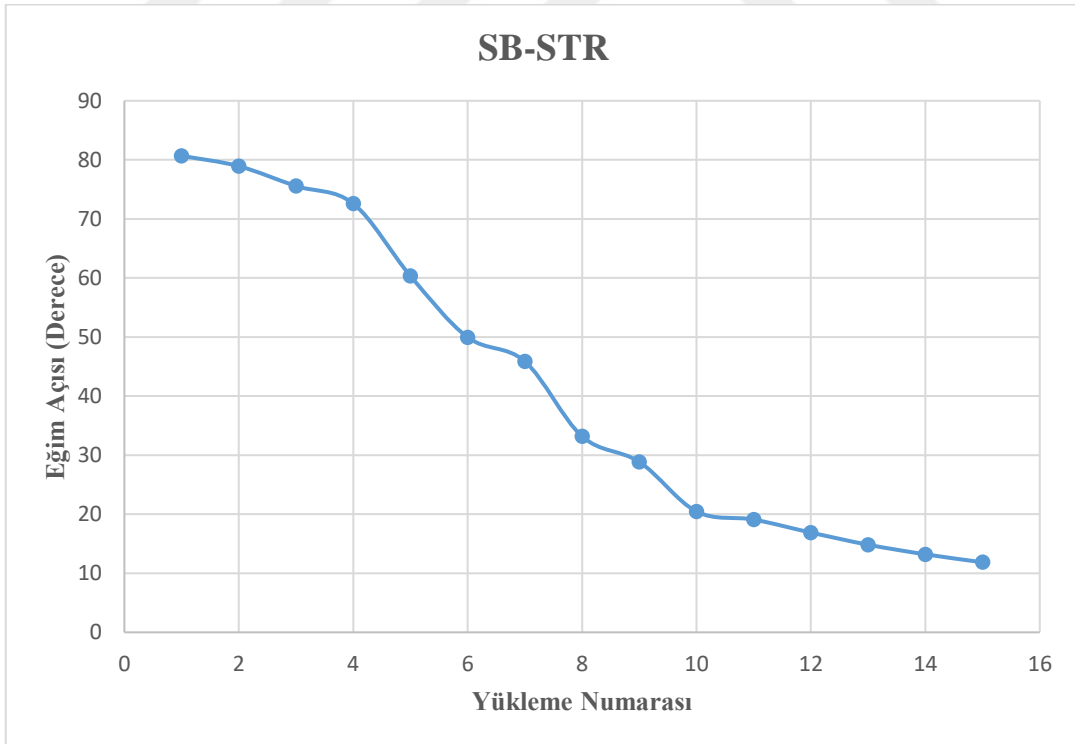
SB-REF numunesinin rijitlik grafiği Şekil 4.16'da, kümülatif tüketilen enerji grafiği Şekil 4.17'de ve eğim açısı grafiği ise Şekil 4.18'de verilmiştir.



Şekil 4.16. SB-STR deney elemanın rijitlik grafiği



Şekil 4.17. SB-STR deney elemanının kümülatif tüketilen enerji grafiği



Şekil 4.18. SB-STR deney elemanının eğim açısı grafiği

4.1.3. Deney-3 (SB-BB)

SB-BB deney elemanında esas kirişin saplama kiriş ile kesiştiği bölgede, esas kirişteki mevcut donatılara ilave olarak 2Ø8 yatay pilye konulmuştur. SB-BB numunesinin deney öncesi görüntüsü Şekil 4.19’da verilmiştir.



Şekil 4.19. SB-BB deney elemanının yükleme öncesi görünümü

Deney yükleme esnasında, her yüklemeye karşı gelen hasar ve çatlaklar Çizelge 4.3’te verilmiştir.

Çizelge 4.3. SB-REF deney elemanında oluşan çatlak ve hasarlar

Yükleme No	Yük (kN)	Deplasman (mm)	Çatlak No	Açıklama
1	10	0.75	-	Deney elemanında ilk yükleme altında çatlak olmamıştır.
2	15	2.85	1,2,3,4	İlk çatlak meydana gelmiştir. Bu yüklemeye toplam 4 tane yeni çatlak oluşmuştur. Ortalama çatlak uzunlukları yaklaşık olarak 12 cm olarak ölçülmüştür.

3	22	5.19	5,6	Kirişin sağ tarafında iki tane yeni çatlak meydana gelmiştir.
4	25	11.99	-	Deney elemanı akma noktasına ulaştı. Akma anında oluşan çatlak genişlikleri 1'den 6 numaraya kadar sırasıyla şu şekildedir: 0.1, 0.1, 1.9, 1.3, 0.1, 0.6 mm. Numunede eğilme çatlakları gözlenmiştir.
5	25	20.53	-	Deney elemanı maksimum yük taşıma kapasitesine ulaşmıştır. Çatlaklarda dallanmalar meydana gelmiştir. 3. çatlak genişliği 3.5 cm sınırını geçmiş, 4 ve 6 numaralı çatlak genişlikleri sırasıyla 2.3 mm ve 0.8 mm olmuştur.
6	25	30.81	-	Daha önce meydana gelen çatlakların çatlak genişlikleri artmıştır ve çatlaklarda dallanmalar devam etmiştir. Yeni çatlaklar oluşmamıştır.
7	25	40.88	-	Numunenin basınç bölgesi ile birleşim bölgesinde beton dağılmış ve beton ezilmesi meydana gelmiştir. Yeni çatlaklar oluşmamıştır.
8	25	50.44	-	1'den 6 numaralı çatlaklara kadar çatlak genişlikleri sırasıyla şu şekildedir: 0.1, 0.1,>3.5,>3.5, 1.1, 1.1 mm. Yeni çatlaklar oluşmamıştır.
9	25	60.54	-	Mevcut çatlak genişlikleri artmıştır. 3 numaralı çatlak genişliği artmış ve enine donatı gözükmeye başlamıştır. Yeni çatlaklar oluşmamıştır.
10	25	70.91	-	Mevcut çatlak genişlikleri artmıştır. Yeni çatlaklar oluşmamıştır.
11	25	80.87	-	Mevcut çatlak genişlikleri artmıştır. Yeni çatlaklar oluşmamıştır.
12	25	90.91	-	Mevcut çatlak genişlikleri artmıştır. Yeni çatlaklar oluşmamıştır.
13	25	100.87	-	Mevcut çatlak genişlikleri artmıştır. Yeni çatlaklar oluşmamıştır.
14	21	109	-	Deney yük taşıma kapasitesini kaybettiğinden yüklemeye son verilmiştir.

SB-BB numunesinde ilk çatlak 15 kN yük seviyesinde 2.85 mm deplasman değerinde meydana gelmiştir. Deney elemanında meydana gelen ilk çatlak Şekil 4.20'de verilmiştir.



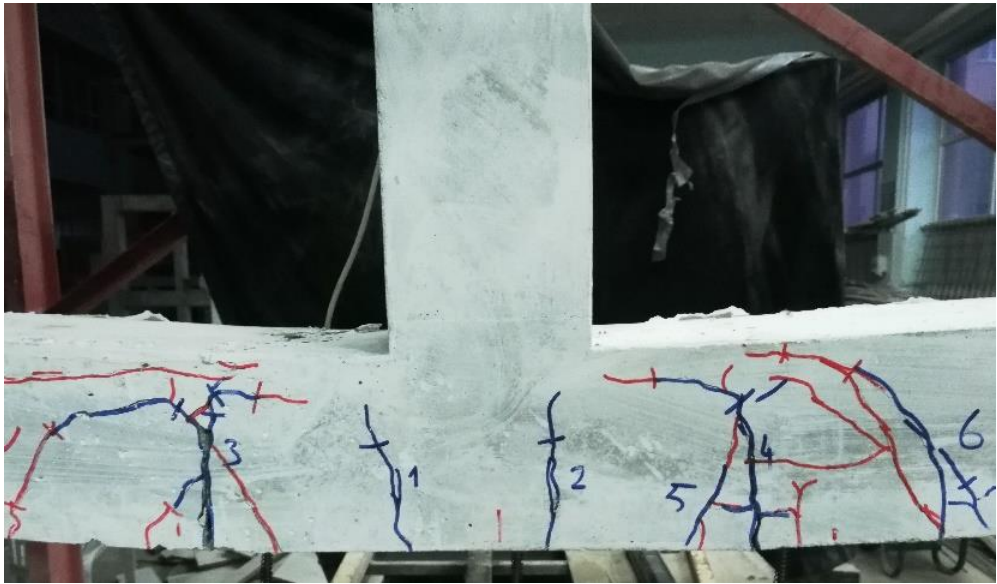
Şekil 4.20. SB-BB numunesinde gözlemlenen ilk çatlak

SB-BB numunesinde 25 kN yük ve 11.99 mm deplasman seviyesinde akma meydana gelmiştir. Deney elemanının akma noktasındaki hasar ve çatlakları Şekil 4.21’de verilmiştir.



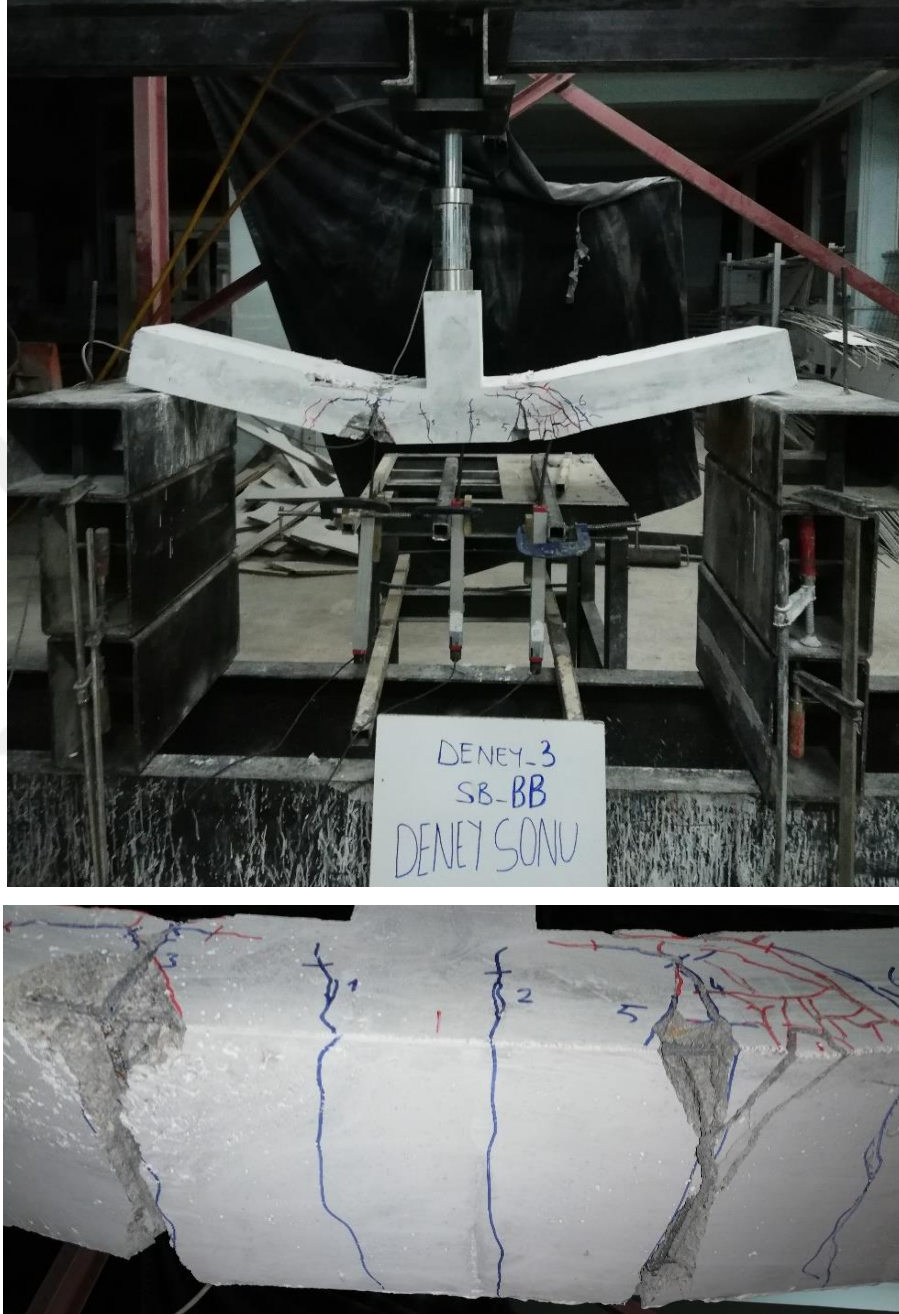
Şekil 4.21. SB-BB numunesinde akma noktasında gözlemlenen çatlak dağılımı

SB-BB numunesinin ulaştığı maksimum yük 25 kN olup bu yüke karşı gelen deplasman değeri 20.53 mm olarak gözlenmiştir. Deney elemanın maksimum yükte oluşan hasar ve çatlakları Şekil 4.22’de verilmiştir.



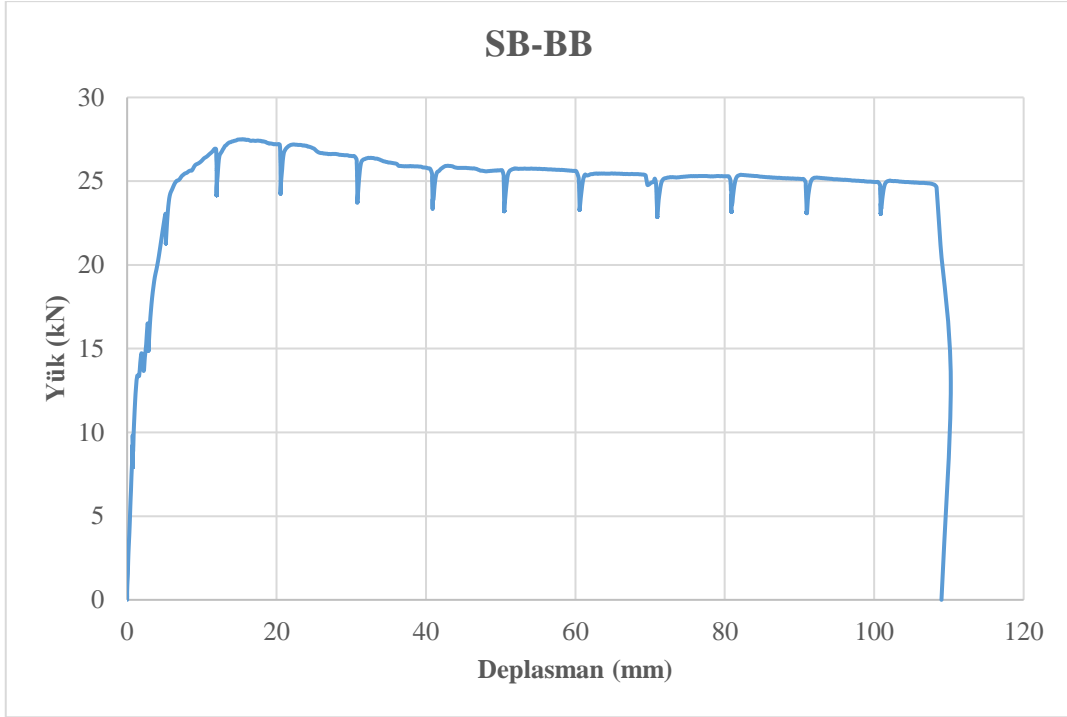
Şekil 4.22. SB-BB numunesinin maksimum yükteki görüntüsü

SB-BB deney elemanı 109 mm deplasman değerinde yük taşıma kapasitesini kaybetmiş olduğundan ve numunede büyük hasarlar meydana geldiğinden deney sonlandırılmıştır. Deney elemanının göçme anındaki görünümü Şekil 4.23'te verilmiştir.



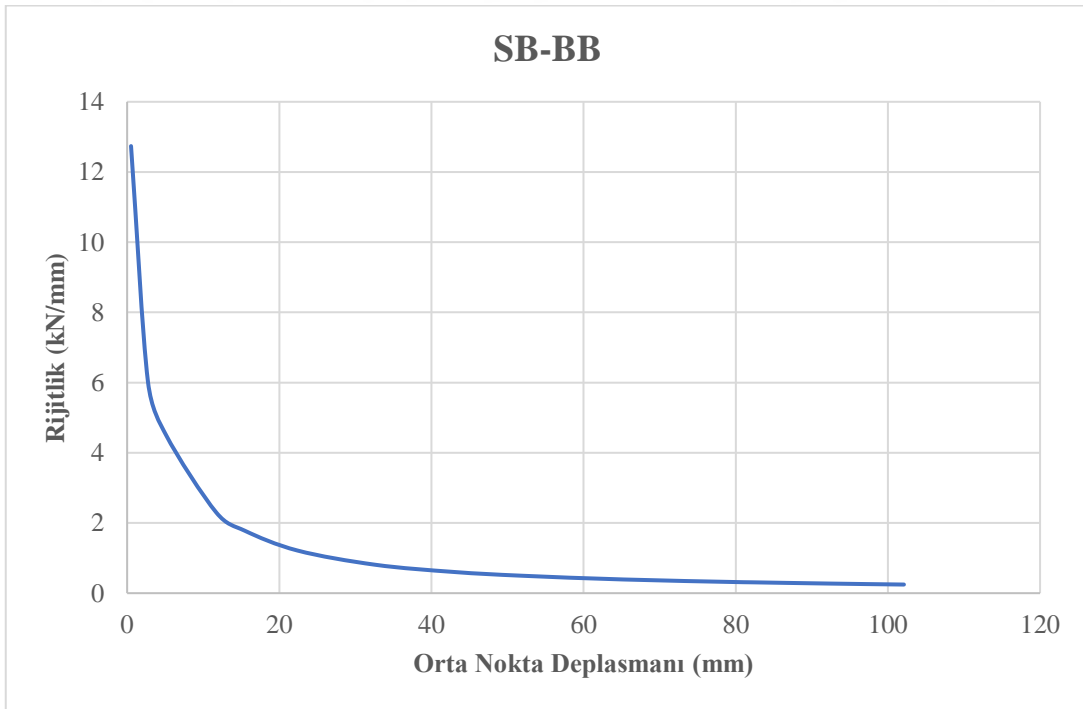
Şekil 4.23. SB-BB deney elemanının göçme anındaki görüntüsü

Deney elemanının yükleme işlemi boyunca, numunenin davranışı ve mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla alınan veriler kullanılarak çeşitli grafikler çizilmiştir. Şekil 4.24'te deney elemanının yük-deplasman grafiği verilmiştir.

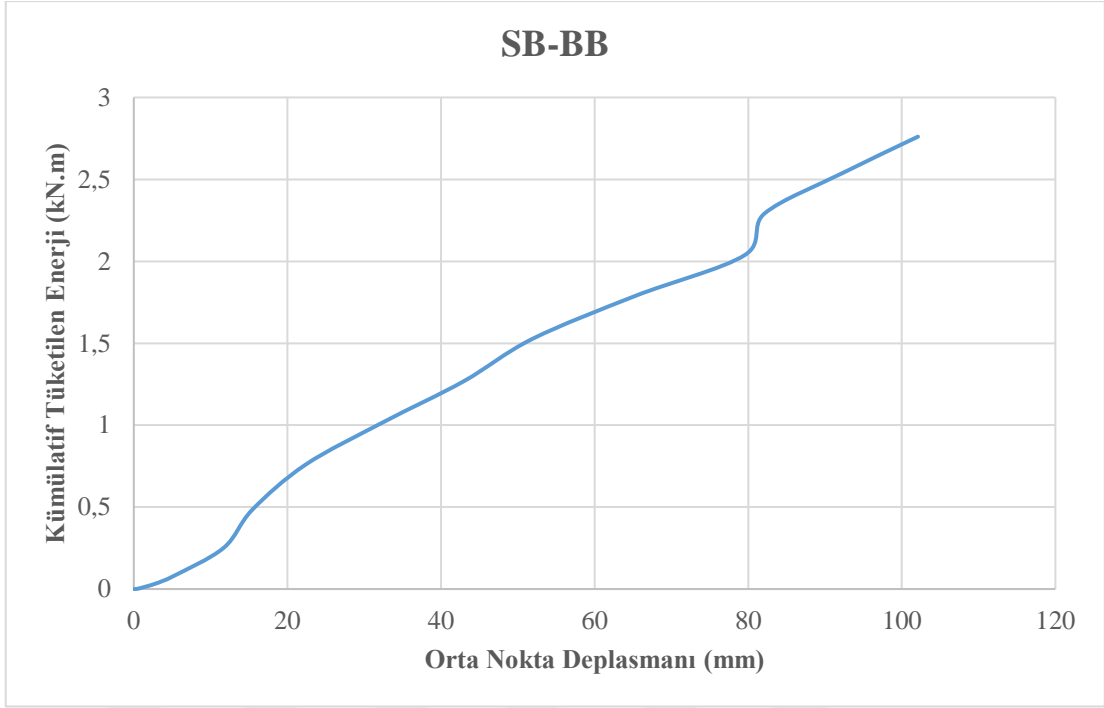


Şekil 4.24. SB-BB deney elemanın yük-deplasman grafiği

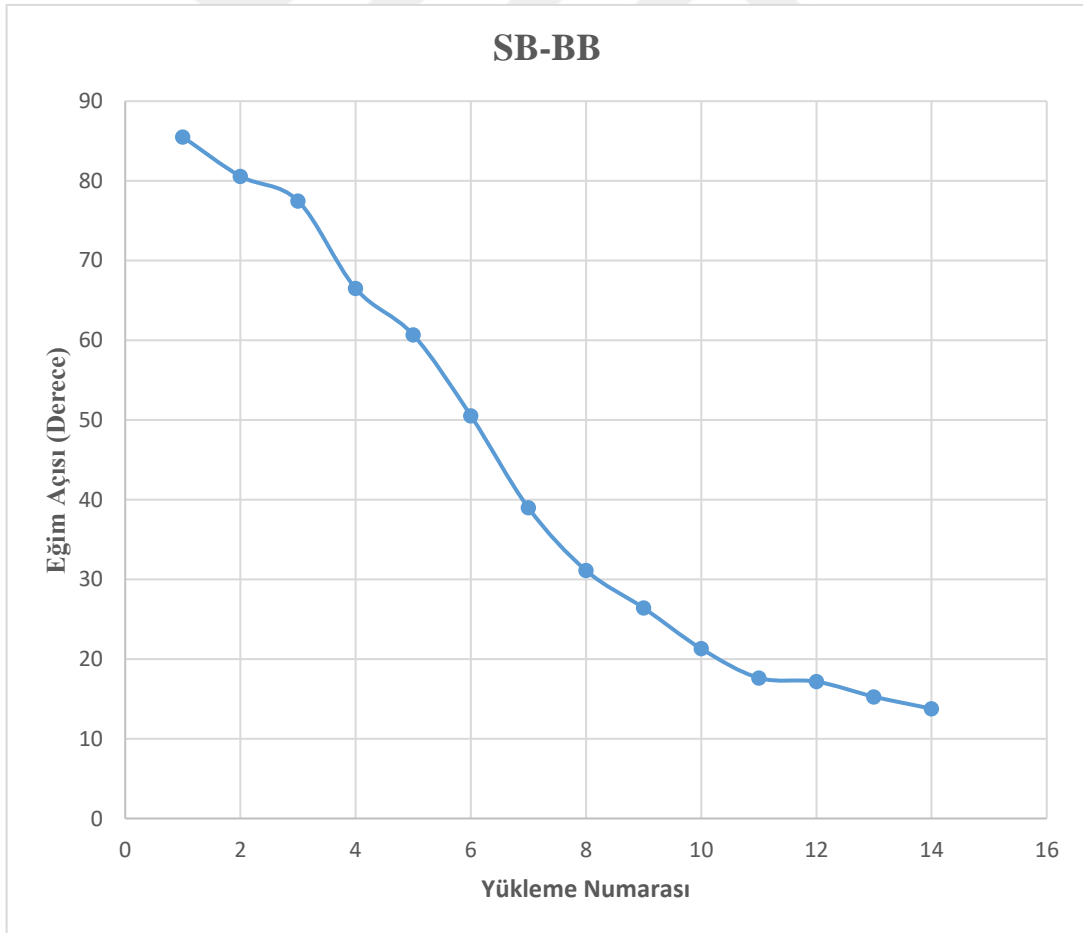
SB-BB numunesinin rijitlik grafiği Şekil 4.25’de, kümülatif tüketilen enerji grafiği Şekil 4.26’da ve eğim açısı grafiği ise Şekil 4.27’de verilmiştir.



Şekil 4.25. SB-BB deney elemanın rijitlik grafiği



Şekil 4.26. SB-BB deney elemanının kümülatif tüketilen enerji grafiği



Şekil 4.27. SB-BB deney elemanının eğim açısı grafiği

4.1.4. Deney-4 (SB-STR-BB)

SB-STR-BB deney elemanında esas kirişin saplama kiriş ile kesiştiği bölgede, esas kirişteki mevcut donatılara ilave olarak hem 2Ø8 yatay pilye konulmuş, hem de bu bölgede etriye sıklaştırılması yapılmıştır. SB-STR-BB numunesinin deney öncesi görüntüsü Şekil 4.28’de verilmiştir.



Şekil 4.28. SB-STR-BB deney elemanının yükleme öncesi görünümü

Deney yükleme esnasında, her yükleme karşı gelen hasar ve çatlaklar Çizelge 4.4’te verilmiştir.

Çizelge 4.4 SB-STR-BB deney elemanında oluşan çatlak ve hasarlar

Yükleme No	Yük (kN)	Deplasman (mm)	Çatlak No	Açıklama
1	5	0.96	1	Deney elemanında ilk yüklemeye altında herhangi bir çatlak oluşmamıştır.
2	10	2.55	1,2,3,4	İlk çatlak meydana gelmiştir. Bu yüklemeye toplam 4 tane yeni çatlak oluşmuştur. Ortalama çatlak uzunlukları yaklaşık olarak 10 cm ve çatlak genişlikleri 0.1 mm olmuştur.
3	15	4.6	5,6	İlk çatlakların boyları uzamış ve yeni 2 tane çatlaklar oluşmuştur.
4	20	6.27	7,8,9	3 tane yeni çatlak oluşmuştur.
5	25	9.53	10	Deney elemanı akma noktasına ulaşmıştır. Yeni bir tane çatlak oluşmuştur. Akma anına kadar oluşan çatlak genişlikleri 1'den 10 numaraya kadar sırasıyla şu şekildedir: 1.2, 0.3, 0.1, 0.2, 0.7, 0.1, 0.1, 0.1, 0.1, 0.5 mm.
6	26	20.41	-	Numunenin sağ tarafında basınç bölgesinde beton ezilmesi meydana gelmiştir. Yeni çatlaklar oluşmamıştır.
7	26	30.50	11	Numunenin sol tarafında basınç bölgesinde beton ezilmesi meydana gelmiştir. 1.çatlak genişliği 3.5 cm sınırı geçmiş ve 4.çatlak genişliği 2.3 cm olmuştur. Yeni bir tane çatlak oluşmuştur.
8	25	40.50	-	Eski çatlakların boyları ve genişlikleri artmıştır. Çatlaklarda dallamalar olmuştur. Yeni çatlaklar oluşmamıştır.
9	25	50.58	-	Eski çatlak genişlikleri 1'den 11 numaraya kadar sırasıyla şu şekildedir: >3.5, 1.4, 0.1, 3.4, 1.5, 1.1, 1.5, 0.1, 0.1, 0.1, 1.4 mm. Yeni çatlaklar oluşmamıştır.
10	24	60.29	-	Mevcut çatlak genişlikleri artmıştır. Yeni çatlaklar oluşmamıştır.
11	24	70.48	-	Deney elemanın her iki tarafındaki basınç bölgesinde beton dökülmesi meydana gelmiştir. 4, 5 ve 7 numaralı çatlaklar numunenin alt tarafındaki çekme bölgesinde birleşmiştir. Yeni çatlaklar oluşmamıştır.
12	24	80.65	-	Mevcut çatlak genişlikleri artmıştır. Yeni çatlaklar oluşmamıştır.
13	24	90.98	-	Mevcut çatlak genişlikleri artmıştır. Yeni çatlaklar oluşmamıştır.

14	24	100.44		Mevcut çatlak genişlikleri artmıştır. Yeni çatlaklar oluşmamıştır.
15	24	120		Mevcut çatlak genişlikleri artmıştır. Yeni çatlaklar oluşmamıştır.
14	24	140.95	-	Deney yük taşıma kapasitesini kaybettiğinden yüklemeye son verilmiştir.

SB-STR-BB numunesinde ilk çatlak 10 kN yük seviyesinde 2.55 mm deplasman değerinde esas kiriş saplama kiriş ile kesiştiği bölgenin sağ alt tarafında kılcal çatlak şeklinde gözlenmiştir. Deney elemanında meydana gelen ilk çatlak Şekil 4.29'da verilmiştir.



Şekil 4.29. SB-STR-BB numunesinde gözlemlenen ilk çatlak

SB-REF numunesinde 25 kN yük ve 9.53 mm deplasman seviyesinde akma meydana gelmiştir.. Deney elemanının akma noktasındaki hasar ve çatlakları Şekil 4.30'da verilmiştir.



Şekil 4.30. SB-STR-BB numunesinde akma noktasında gözlemlenen çatlak dağılımı

SB-STR-BB numunesinin ulaştığı maksimum yük 26kN olup bu yüke karşı gelen deplasman değeri 20.41 mm olarak gözlenmiştir. Deney elemanın maksimum yükte oluşan hasar ve çatlakları Şekil 4.31'de verilmiştir.



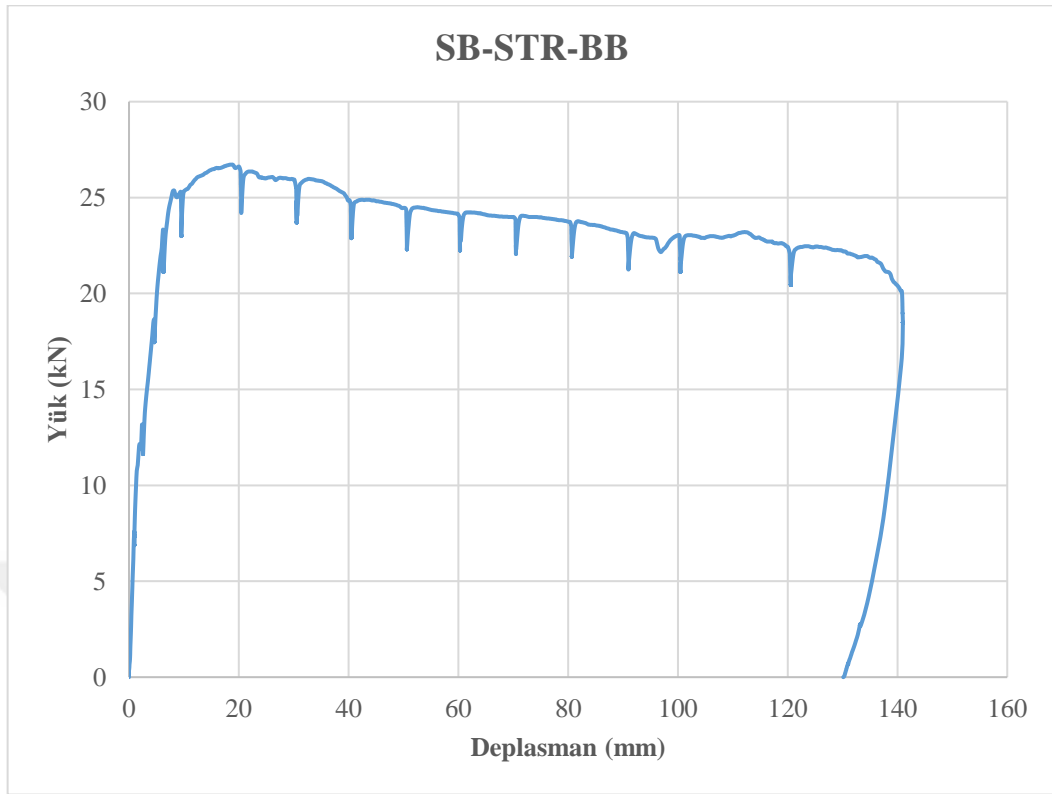
Şekil 4.31. SB-STR-BB numunesinin maksimum yükteki görüntüsü

SB-STR-BB deney elemanı 140.95 mm deplasman değerinde yük taşıma kapasitesini kaybetmiş olduğundan ve numunede büyük hasarlar meydana geldiğinden deney sonlandırılmıştır. Deney elemanının göçme anındaki görünümü Şekil 4.32’de verilmiştir.



Şekil 4.32. SB-STR-BB deney elemanının göçme anındaki görüntüsü

Deney elemanının yükleme işlemi boyunca, numunenin davranışı ve mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla alınan veriler kullanılarak çeşitli grafikler çizilmiştir. Şekil 4.33'te deney elemanının yük-deplasman grafiği verilmiştir.



Şekil 4.33. SB-STR-BB deney elemanın yük-deplasman grafiği

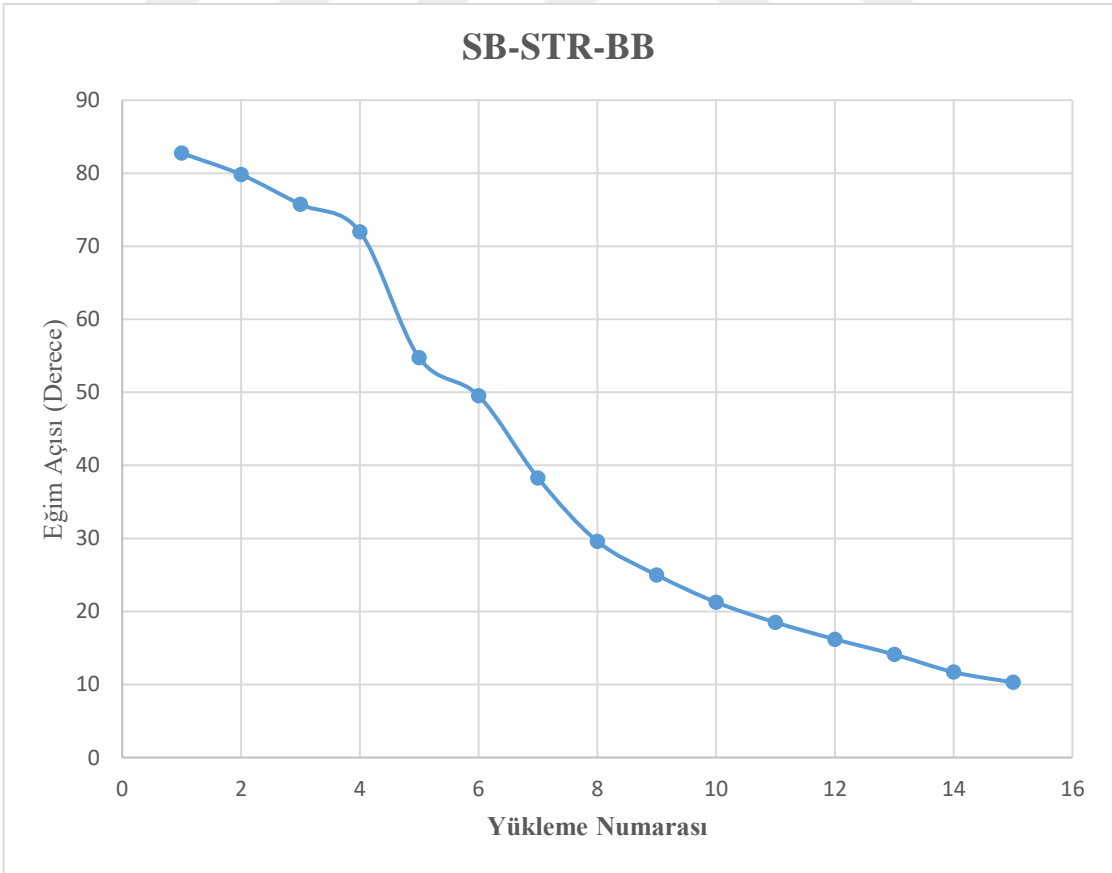
SB-STR-BB numunesinin rijitlik grafiği Şekil 4.34'te, kümülatif tüketilen enerji grafiği Şekil 4.35'te ve eğim açısı grafiği ise Şekil 4.36'da verilmiştir.



Şekil 4.34. SB-STR-BB deney elemanın rijitlik grafiği



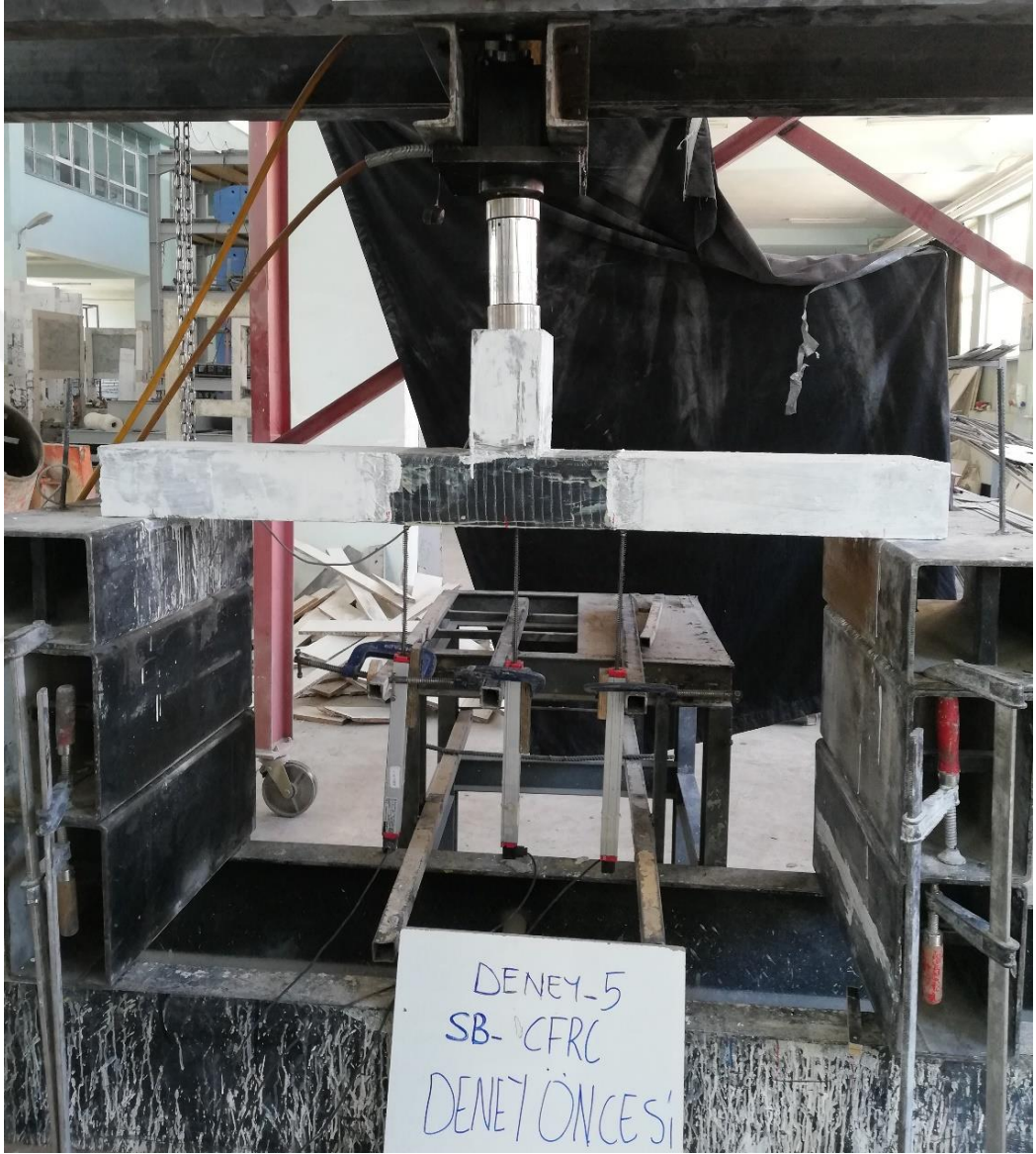
Şekil 4.35. SB-STR-BB deney elemanının kümülatif tüketilen enerji grafiği



Şekil 4.36. SB-STR-BB deney elemanının eğim açısı grafiği

4.1.5. Deney-5 (SB-CFRP)

SB-CFRP deney elemanında esas kirişin saplama kiriş ile kesiştiği bölgede tüm yüzeyleri kapsayacak şekilde 400 mm boyunca CFRP kumaşı sarılarak güçlendirilmiştir. SB-CFRP numunesinin deney öncesi görüntüsü Şekil 4.37’de verilmiştir.



Şekil 4.37. SB-CFRP deney elemanının yükleme öncesi görünümü

Deney yükleme esnasında, her yüklemeye karşı gelen hasar ve çatlaklar Çizelge 4.5’te verilmiştir.

Çizelge 4.5. SB-CFRP deney elemanında oluşan çatlak ve hasarlar

Yükleme No	Yük (kN)	Deplasman (mm)	Çatlak No	Açıklama
1	10	0.95	-	Bu yüklemeye altında herhangi bir çatlak oluşmamıştır.
2	20	2.45	1,2,3	Numunede ilk çatlaklar meydana gelmiştir. Bu yüklemeye toplam 3 tane çatlak oluşmuş ve ortalama çatlak boyu 15 cm olarak ölçülmüştür.
3	25	4.16	4, 5,	Numunede 2 tane yeni çatlak oluşmuş ve ortalama boyu 8 cm olarak ölçülmüştür.
4	30	10.81	-	Deney elemanı akma noktasına ulaşmıştır. Akma anına kadar oluşan çatlak genişlikleri 1'den 5 numaralıya kadar sırasıyla şu şekildedir: 3.4, 0.1, 2.1, 0.1, 0.3 mm.
5	30	20.88	-	Deney elemanı maksimum yük taşıma kapasitesine ulaşmıştır. 1. ve 3. çatlaklar 3.5 cm sınırını geçmiştir. 1 ve 3 numaralı çatlaklarda dallamalar meydana gelmiştir. Yeni çatlaklar oluşmamıştır.
6	30	30.41	-	Deney elemanının her iki tarafındaki basınç bölgesinde beton ezilmesi meydana gelmiştir. Mevcut çatlakların genişlikleri artmıştır. Yeni çatlaklar oluşmamıştır.
7	29	40.70	-	Çatlak genişlikleri artmıştır. Yeni çatlaklar oluşmamıştır.
8	27	50.42	-	Çatlak genişlikleri 1'den 5 numaralıya kadar sırasıyla şu şekildedir: >3.5, 0.1, >3.5, 0.1, 0.3 mm. Yeni çatlaklar oluşmamıştır.
9	26	60.04	-	CFRP kumaşın bitim bölgelerinde boyuna çatlaklar meydana gelmiştir. Mevcut çatlakların çatlak genişlikleri artmıştır. Yeni çatlaklar oluşmamıştır.
10	26	70.71	-	Mevcut çatlak genişlikleri artmıştır. Yeni çatlaklar oluşmamıştır.
11	26	80.27	-	Mevcut çatlak genişlikleri artmıştır. Yeni çatlaklar oluşmamıştır.
12	26	90	-	Deney elemanı yük taşıma kapasitesini kaybettiğinden yüklemeye son verilmiştir.

SB-CFRP numunesinde ilk çatlak 20 kN yük seviyesinde ve 2.45 mm deplasman değerinde meydana gelmiştir. Deney elemanında meydana gelen ilk çatlak Şekil 4.38'de verilmiştir.



Şekil 4.38. SB-CFRP numunesinde gözlemlenen ilk çatlak

SB-CFRP numunesinde 20 kN yük ve 10.82 mm deplasman seviyesinde akma meydana gelmiştir. Deney elemanının akma noktasındaki hasar ve çatlaklar Şekil 4.39'da verilmiştir.



Şekil 4.39 SB-CFRP numunesinde akma noktasında gözlemlenen çatlak dağılımı

SB-CFRP numunesinin ulaştığı maksimum yük 30 kN olup bu yüke karşı gelen deplasman değeri 20.88 mm olarak gözlenmiştir. Deney elemanının maksimum yükte oluşan hasar ve çatlakları Şekil 4.40'ta verilmiştir.



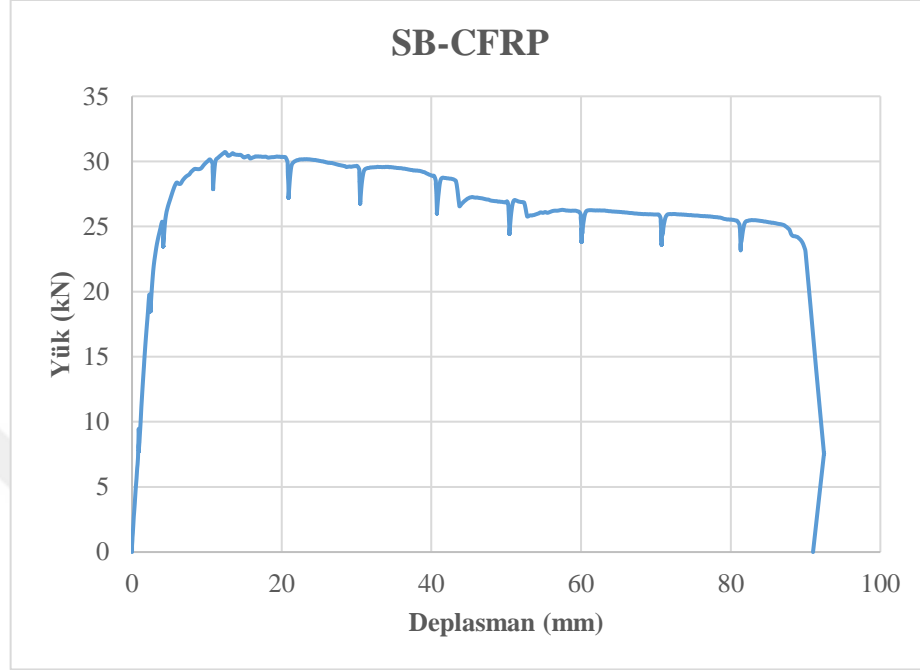
Şekil 4.40. SB-CFRP numunesinin maksimum yükteki görüntüsü

SB-CFRP deney elemanı 90 mm deplasman değerinde yük taşıma kapasitesini kaybetmiş olduğundan ve numunede büyük hasarlar meydana geldiğinden deney sonlandırılmıştır. Deney elemanının göçme anındaki görünümü Şekil 4.41 'te verilmiştir.



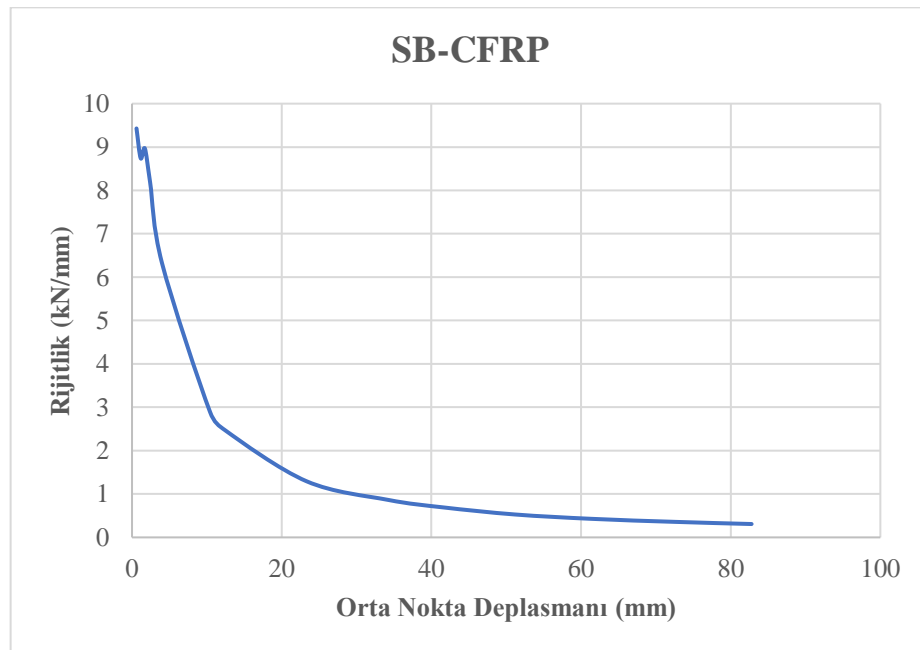
Şekil 4.41. SB-CFRP deney elemanının göçme anındaki görüntüsü

Deney elemanının yükleme işlemi boyunca, numunenin davranışı ve mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla alınan veriler kullanılarak çeşitli grafikler çizilmiştir. Şekil 4.42’te deney elemanın yük-deplasman grafiği verilmiştir.

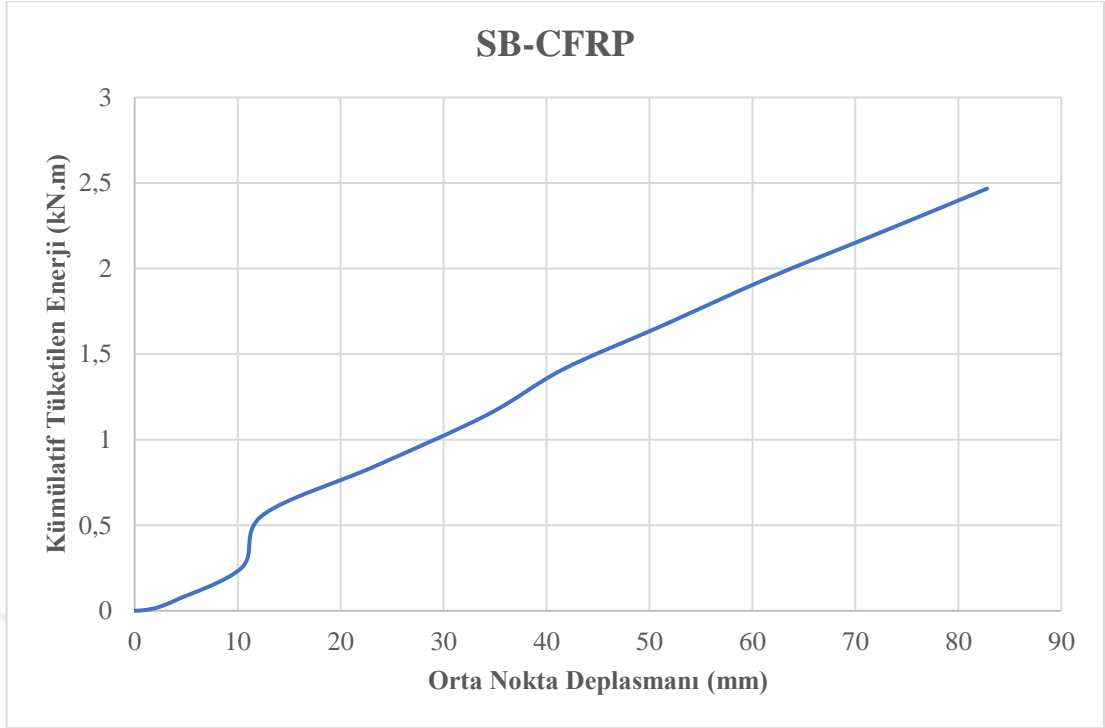


Şekil 4.42. SB-CFRP deney elemanın yük-deplasman grafiği

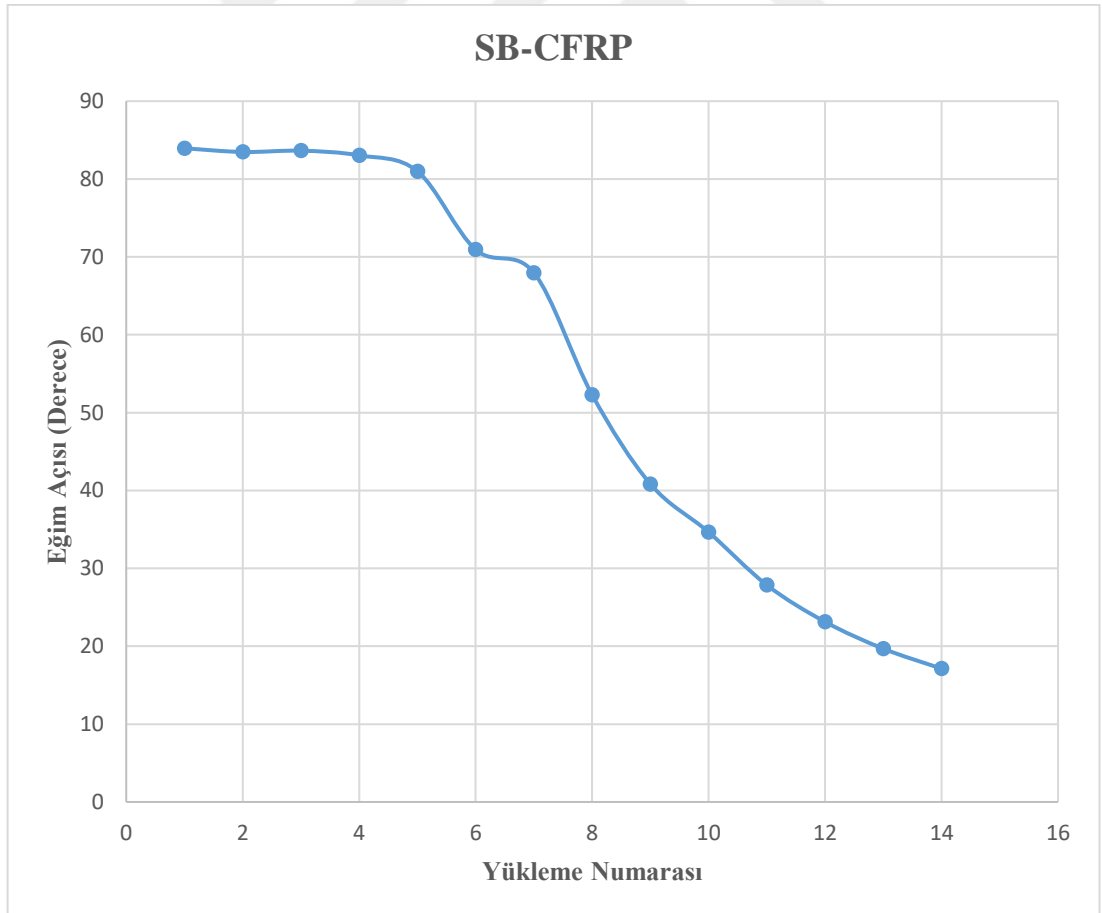
SB-CFRP numunesinin rijitlik grafiği Şekil 4.43’de, kümülatif tüketilen enerji grafiği Şekil 4.44’te ve eğim açısı grafiği ise Şekil 4.45’de verilmiştir.



Şekil 4.43. SB-CFRP deney elemanın rijitlik grafiği



Şekil 4.44. SB-CFRP deney elemanının kümülatif tüketilen enerji grafiği



Şekil 4.45. SB-CFRP deney elemanının eğim açısı grafiği

4.1.6. Deney-6 (SB-GFRP)

SB-GFRP deney elemanında esas kirişin saplama kiriş ile kesiştiği bölgede tüm yüzeyleri kapsayacak şekilde 400 mm boyunca GFRP kumaşı sarılarak güçlendirilmiştir. SB-GFRP numunesinin deney öncesi görüntüsü Şekil 4.46'da verilmiştir.



Şekil 4.46. SB-GFRP deney elemanının yükleme öncesi görünümü

Deney yükleme esnasında, her yüklemeye karşı gelen hasar ve çatlaklar Çizelge 4.6'te verilmiştir.

Çizelge 4.6. SB-GFRP deney elamanında oluşan çatlak ve hasarları

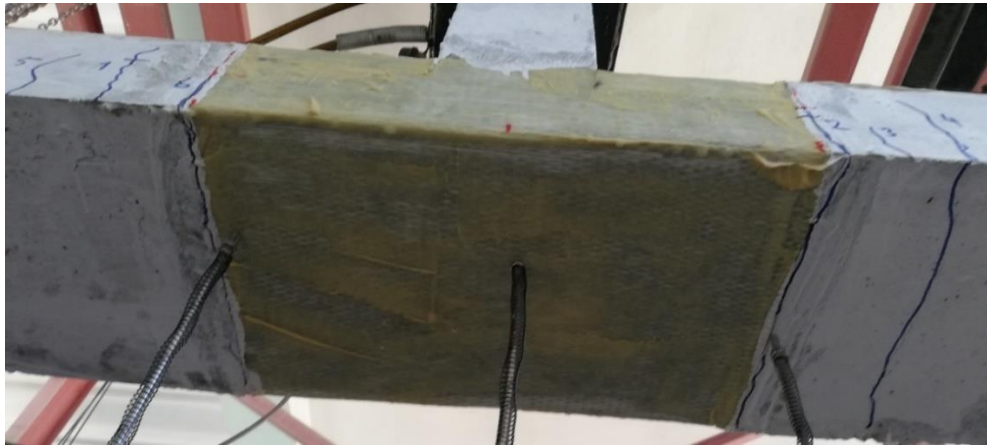
Yükleme No	Yük (kN)	Deplasman (mm)	Çatlak No	Açıklama
1	10	0.97	-	Bu yükleme altında herhangi bir çatlak oluşmamıştır.
2	20	3.20	1,2,3,4	Numunede ilk çatlaklar meydana gelmiştir. Bu yüklemde toplam 4 tane çatlak oluşmuş ve ortalama çatlak boyu 11 cm olarak ölçülmüştür.
3	25	4.84	5, 6	İlk çatlakların boyları uzamıştır. Yeni 2 tane çatlak oluşmuş ve ortama boyu 12 cm olarak ölçülmüştür.
4	27	9.70	-	Deney elemanı akma noktasına ulaşmıştır. Akma anına kadar oluşan çatlak genişlikleri 1'den 6 numaralıya kadar sırasıyla şu şekildedir: 0.1, 0.7, 0.1, 0.3, 0.1, 2.3 mm.
5	28	20.29	-	Deney elemanı maksimum yük taşıma kapasitesine ulaşmıştır. 2. çatlak genişliği 3.2 mm olmuş ve 6. çatlak 3.5 mm sınırını geçmiştir. GFRP kumaşın bitim bölgelerinde boyuna çatlaklar meydana gelmiştir. Yeni çatlaklar oluşmamıştır.
6	28	30.51	-	Deney elemanının sol taraf basınç bölgesinde GFRP kumaşında kabarmalar oluşmuştur. Mevcut çatlakların genişlikleri artmıştır. Yeni çatlaklar oluşmamıştır.
7	26	40.89	-	Çatlak genişlikleri artmıştır. Yeni çatlaklar oluşmamıştır.
8	26	50.74	-	Deney elemanın sağ taraf basınç bölgesinde GFRP kumaşında kabarmalar oluşmuş ve sol taraf kenarında çekme bölgesinde GFRP kumaşında ayrışma meydana gelmiştir. Çatlak genişlikleri 1'den 5 numaralıya kadar sırasıyla şu şekildedir: 0.1,>3.5, 0.1, 0.3, 0.1,>3.5 mm. Yeni çatlaklar oluşmamıştır.
9	25	60.87	-	Deney elemanın sağ taraf kenarında çekme bölgesine GFRP kumaşında ayrışma meydana gelmiştir. Çatlak genişlikleri artmıştır. Yeni çatlaklar oluşmamıştır.
10	24	70.89	-	Çatlak genişlikleri artmıştır. Yeni çatlaklar oluşmamıştır.
11	23	82.67	-	Çatlak genişlikleri artmıştır. Yeni çatlaklar oluşmamıştır.
12	22	90.65	-	Çatlak genişlikleri artmıştır. Yeni çatlaklar oluşmamıştır.
13	20	100.86	-	Çatlak genişlikleri artmıştır. Yeni çatlaklar oluşmamıştır.
14	19	120	-	Deney elemanının sağ taraf basınç bölgesinde GFRP kumaşı tamamen kırıktan ayrılmıştır. Deney elemanı yük taşıma kapasitesini kaybettiğinden yüklemeye son verilmiştir

SB-GFRP numunesinde ilk çatlak 20 kN yük seviyesinde ve 3.2 mm deplasman değerinde meydana gelmiştir. Deney elemanında meydana gelen ilk çatlak Şekil 4.47'de verilmiştir.



Şekil 4.47. SB-GFRP numunesinde gözlemlenen ilk çatlak

SB-GFRP numunesinde 27 kN yük ve 9.70 mm deplasman seviyesinde akma meydana gelmiştir. Deney elemanın akma noktasındaki hasar ve çatlaklar Şekil 4.48'de verilmiştir.



Şekil 4.48 SB-GFRP numunesinde akma noktasında gözlemlenen çatlak dağılımı

SB-GFRP numunesinin ulaştığı maksimum yük 28 kN olup bu yüke karşı gelen deplasman değeri 20.29 mm olarak gözlenmiştir. Deney elemanının maksimum yükte oluşan hasar ve çatlakları Şekil 4.49'ta verilmiştir.



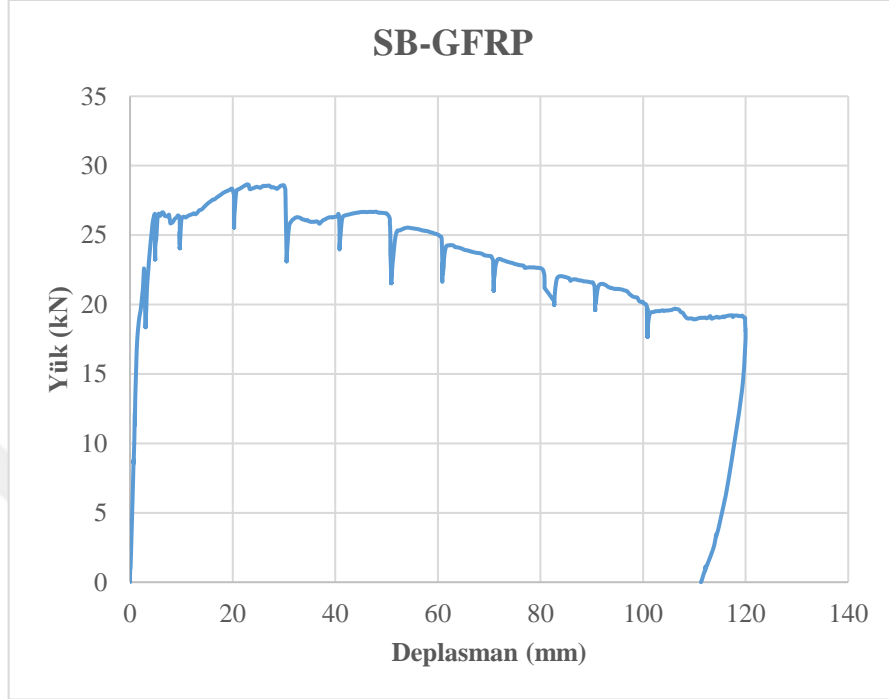
Şekil 4.49. SB-GFRP numunesinin maksimum yükteki görüntüsü

SB-GFRP deney elemanı 120 mm deplasman değerinde yük taşıma kapasitesini kaybetmiş olduğundan ve numunede büyük hasarlar meydana geldiğinden deney sonlandırılmıştır. Deney elemanının göçme anındaki görünümü Şekil 4.50’te verilmiştir.



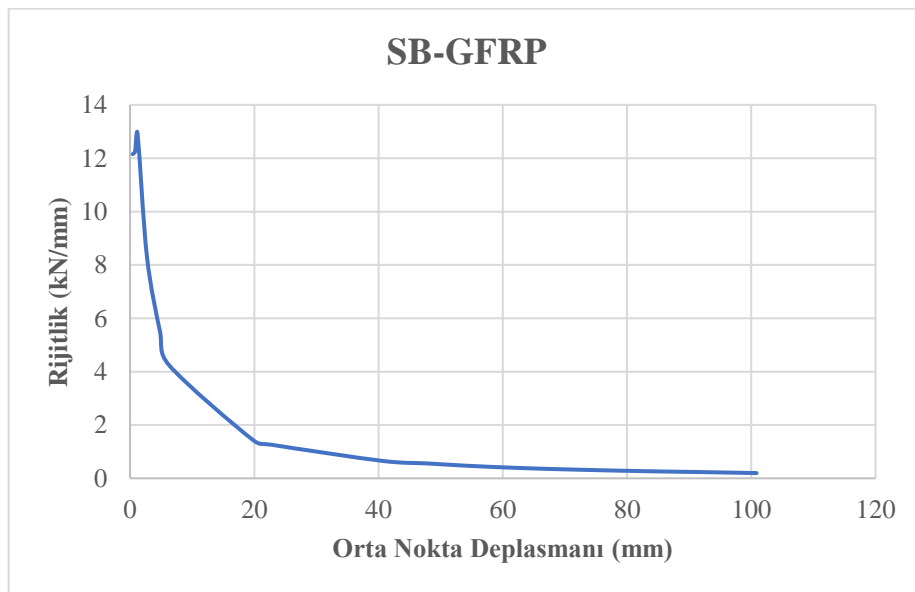
Şekil 4.50. SB-GFRP deney elemanının göçme anındaki görüntüsü

Deney elemanın yükleme işlemi boyunca, numunenin davranışı ve mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla alınan veriler kullanılarak çeşitli grafikler çizilmiştir. Şekil 4.51’de deney elemanın yük-deplasman grafiği verilmiştir.

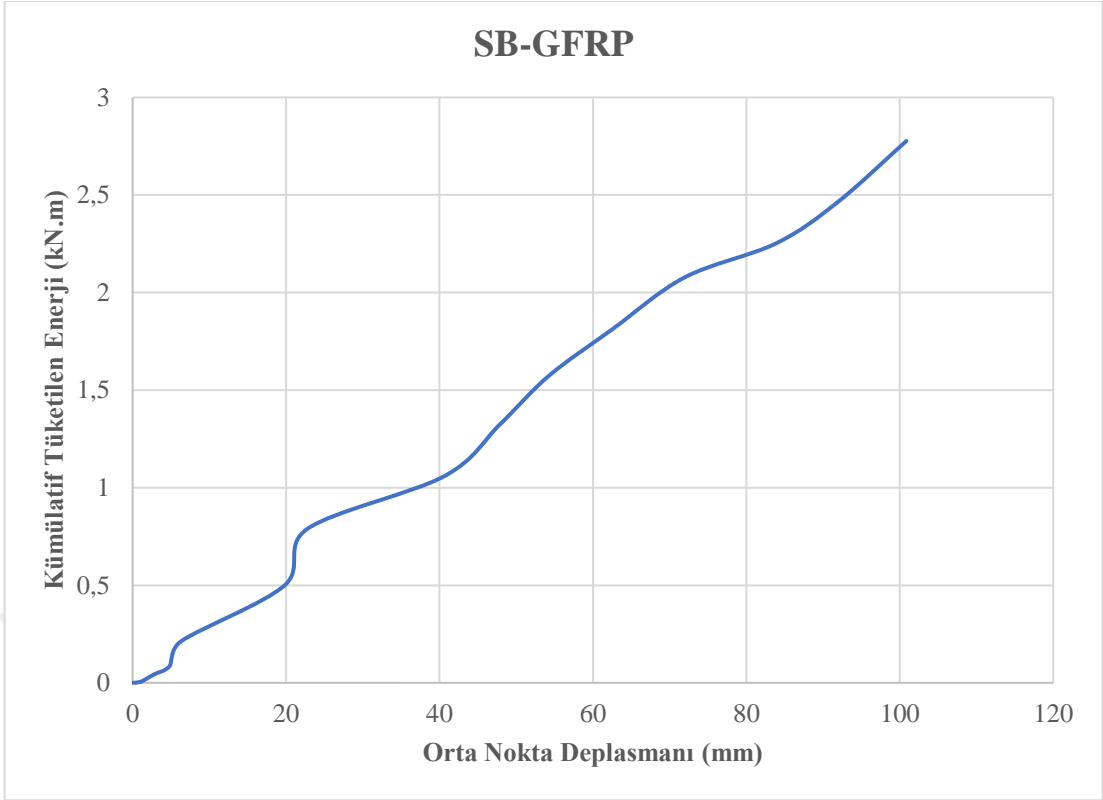


Şekil 4.51. SB-GFRP deney elemanın yük-deplasman grafiği

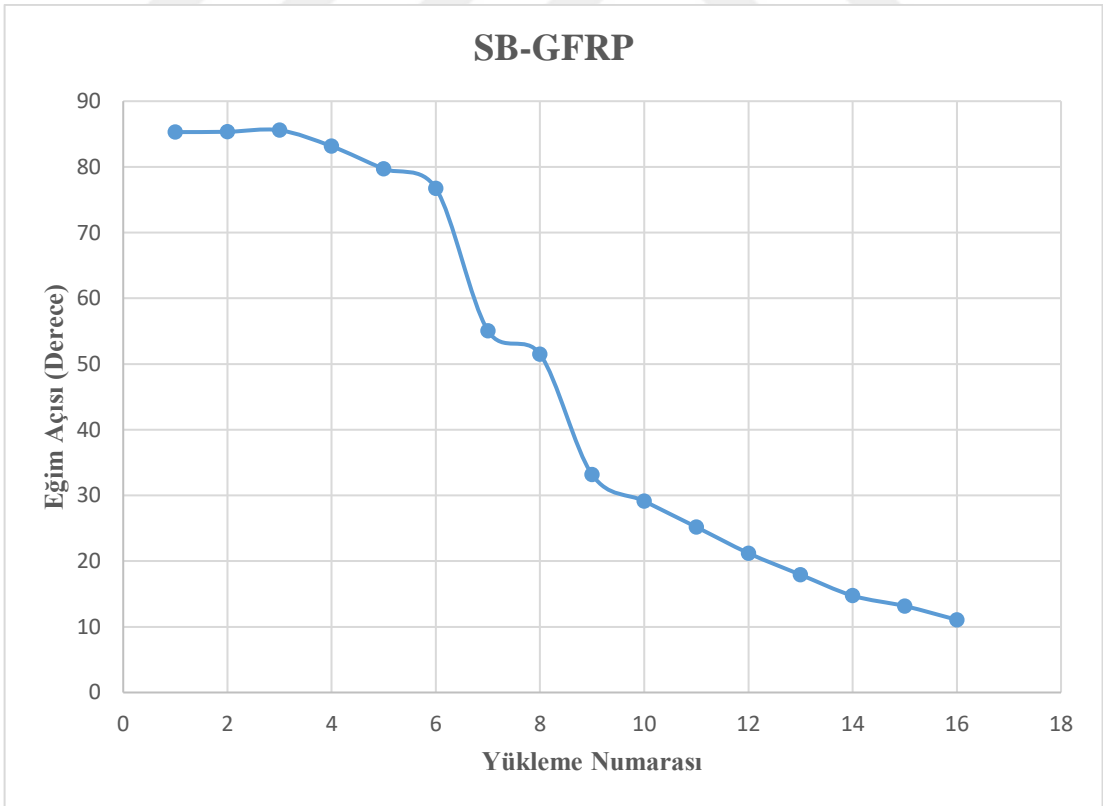
SB-GFRP numunesinin rijitlik grafiği Şekil 4.52’de, kümülatif tüketilen enerji grafiği Şekil 4.53’te ve eğim açısı grafiği ise Şekil 4.54’te verilmiştir.



Şekil 4.52. SB-GFRP deney elemanın rijitlik grafiği



Şekil 4.53. SB-GFRP deney elemanın kümülatif tüketilen enerji grafiği



Şekil 4.54. SB-GFRP deney elemanın eğim açısı grafiği

4.2. Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması

Bu bölümde, tez çalışması kapsamında üretilen toplam 6 adet deney elemanının sonuçları karşılaştırılmıştır. Deney elemanlarının karşılaştırılması eleman bazında ele alınmıştır. Aynı zamanda kullanılan deney elemanlarının kendi aralarında genel olarak karşılaştırması yapılmıştır. Karşılaştırmada kullanılan grafikler şunlardır:

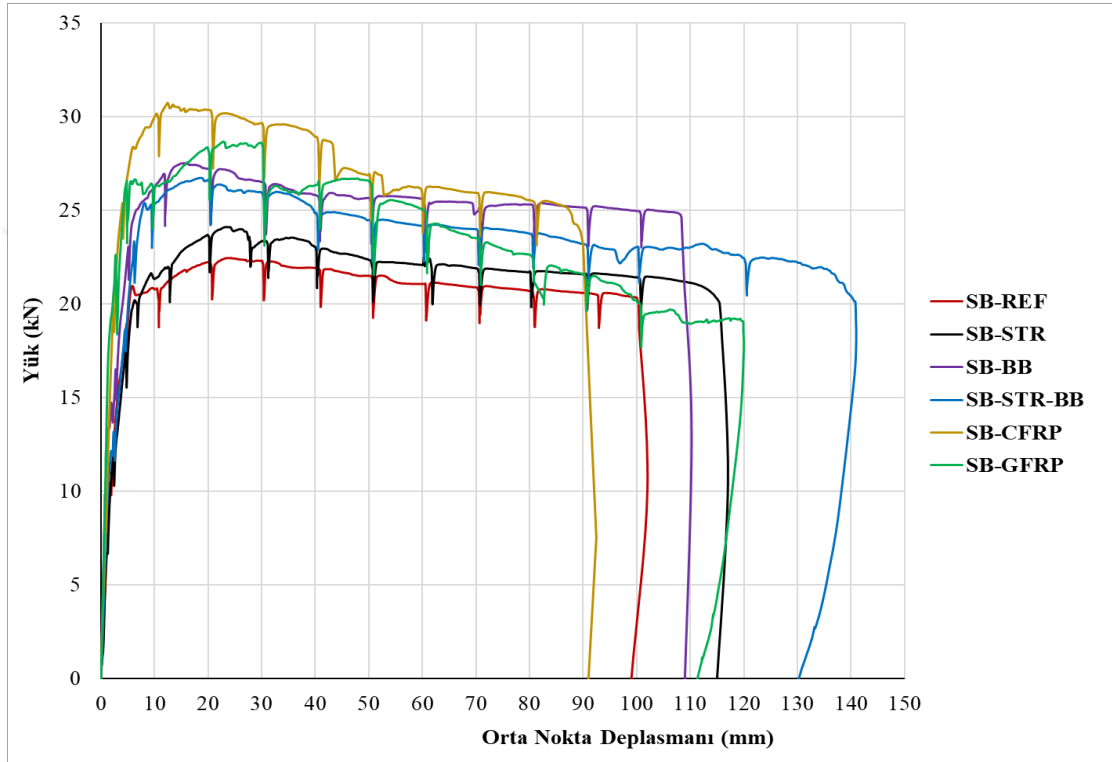
- Yük-deplasman grafiği
- Rijitlik grafiği
- Eğim açısı grafiği
- Kümülatif tüketilen enerji grafiği

Tüm deney elemanlarının yük-deplasman grafikleri Şekil 4.55'te verilmiştir. Şekil 4.55 incelendiğinde en yüksek yük taşıma kapasitesine sahip numunenin SB-CFRP olduğunu görülmektedir. Tüm numuneler güçlendirme türüne ve yeni donatı tasarımına göre incelendiğinde ise sırasıyla FRP'li (SB-CFRP ve SB-GFRP) ve pilyeli (SB-BB ve SB-STR-BB) numunelerin referans numuneye göre yük taşıma kapasitelerinin oldukça arttığı görülmektedir. Mevcut yapılarda sıkça kullanılan etriye tasarımına sahip numune olan SB-STR numunesi referans deney elemanının yük taşıma kapasitesini bir miktar arttırsa da bu artışın kayda değer bir artış olmadığı görülmüştür.

Diğer tüm deney elemanlarının (SB-STR, SB-BB, SB-STR-BB, SB-CFRP ve SB-GFRP) SB-REF referans numunesine göre yük taşıma kapasiteleri sırasıyla %7.35, 22.54 ve 18.97, 36.84 ve 27.66 yüksektir. Yeni donatı tasarımına sahip numunelerden pilye ilaveli numunelerin (SB-BB ve SB-STR-BB) yük taşıma kapasitesini referans numuneye göre oldukça yüksek olduğu görülmüştür. Ancak Mevcut yapılarda sıkça kullanılan etriye tasarımına sahip numune olan SB-STR numunesinin yük taşıma kapasitesinin referans numuneye göre artışı oldukça kısıtlı kalmıştır. Diğer tarafta ise FRP kumaşı ile güçlendirilmiş numunelerin yük taşıma kapasitesi açısından diğer numunelere göre daha üstün sonuçlar verdiği görülmüştür.

Yeni donatı tasarımına sahip numunelerin (SB-STR, SB-BB, SB-STR-BB) yük taşıma kapasitesinin yüzdesel oranları karşılaştırıldığında SB-STR numunesinin yük taşıma kapasitesi gruptaki diğer numunelere göre düşük kalmıştır. Sadece yatay pilye ilavesi yapılan SB-BB numunesi SB-STR numunesine göre %14.15 daha yüksek yük taşıma kapasitesine sahiptir. Hem yatay pilye hem de enine donatı sıklaştırması yapılan

SB-STR-BB numunesi ise SB-STR numunesine göre %10.87 daha yüksek yük taşıma kapasitesine, SB-BB numunesine göre %2.87 daha düşük yük taşıma kapasitesine sahiptir. Mevcut yapıların güçlendirme yöntemi olan SB-CFRP ve SB-GFRP numunelerinin yük taşıma kapasitesinin yüzdesel oranları karşılaştırıldığında, SB-CFRP numunesi SB-GFRP numunesine göre %6.71 daha yüksek yük taşıma kapasitesine sahiptir.



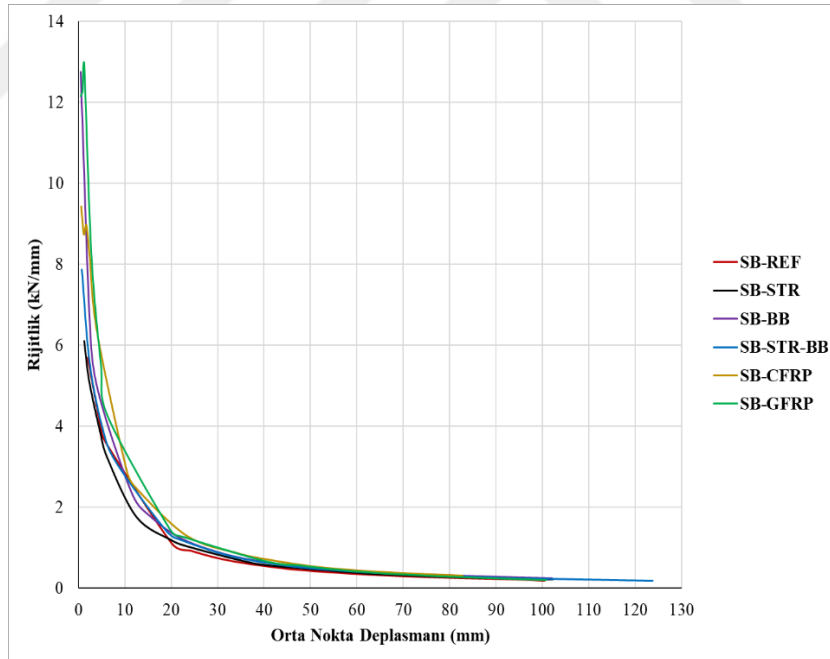
Şekil 4.55. Tüm deney elemanlarının yük- deplasman grafiği

Tüm deney elemanların rijitlik grafikleri Şekil 4.56'da verilmiştir. Şekil 4.56 incelendiğinde en yüksek başlangıç rijitliğine sahip iki deney elemanı sırasıyla SB-BB ve SB-GFRP olduğu görülmektedir. Güçlendirme türüne ve yeni donatı tasarımına göre genel olarak incelendiğinde FRP'li (SB-CFRP ve GFRP) ve pilyeli (SB-BB ve SB-STR-BB) deney elemanlarının referans deney elemanına göre başlangıç rijitliğinin oldukça yüksek olduğu görülmüştür. Mevcut yapılarda sıkça kullanılan etriye tasarımına sahip numune olan SB-STR numunesi referans deney elemanının başlangıç rijitliğini bir miktar arttırsa da bu artışın kayda değer bir artış olmadığı görülmüştür.

Diğer tüm deney elemanlarının (SB-STR, SB-BB, SB-STR-BB, SB-CFRP ve SB-GFRP), SB-REF referans numuneye göre başlangıç rijitliği sırasıyla %7.20, 123.90 ve 38.14, 65.73 ve 113.53 artış göstermiştir. Yeni donatı tasarımına sahip numunelerden

pilye ilaveli numunelerin (SB-BB ve SB-STR-BB) başlangıç rijitliği referans numuneye göre oldukça yüksektir. Ancak Mevcut yapılarda sıkça kullanılan etriye tasarımına sahip numune olan SB-STR numunesinin başlangıç rijitliğinin artışı referans numuneye göre oldukça kısıtlı kalmıştır. Diğer taraftan ise FRP kumaşı ile güçlendirilmiş numunelerin rijitlik değerleri referans numuneye göre oldukça yüksek artış göstermiştir.

Yeni donatı tasarımına sahip numunelerin (SB-STR, SB-BB, SB-STR-BB) başlangıç rijitliklerinin yüzdesel oranları karşılaştırıldığında SB-STR numunesinin başlangıç rijitliği gruptaki diğer numunelere göre düşük kalmıştır. Sadece yatay pilye ilavesi yapılan SB-BB numunesi SB-STR numunesine göre %108.20 daha yüksek başlangıç rijitliğine sahiptir. Hem yatay pilye hem de enine donatı sıklaştırması yapılan SB-STR-BB numunesi ise SB-STR numunesine göre %28.85 daha yüksek başlangıç rijitliğine, SB-BB numunesine göre %38.11 daha düşük başlangıç rijitliğine sahiptir. Mevcut yapıların güçlendirme yöntemi olan SB-CFRP ve SB-GFRP numunelerinin başlangıç rijitliklerinin yüzdesel oranları karşılaştırıldığında, SB-GFRP numunesi SB-CFRP numunesine göre %28.84 daha yüksek başlangıç rijitliğine sahiptir.

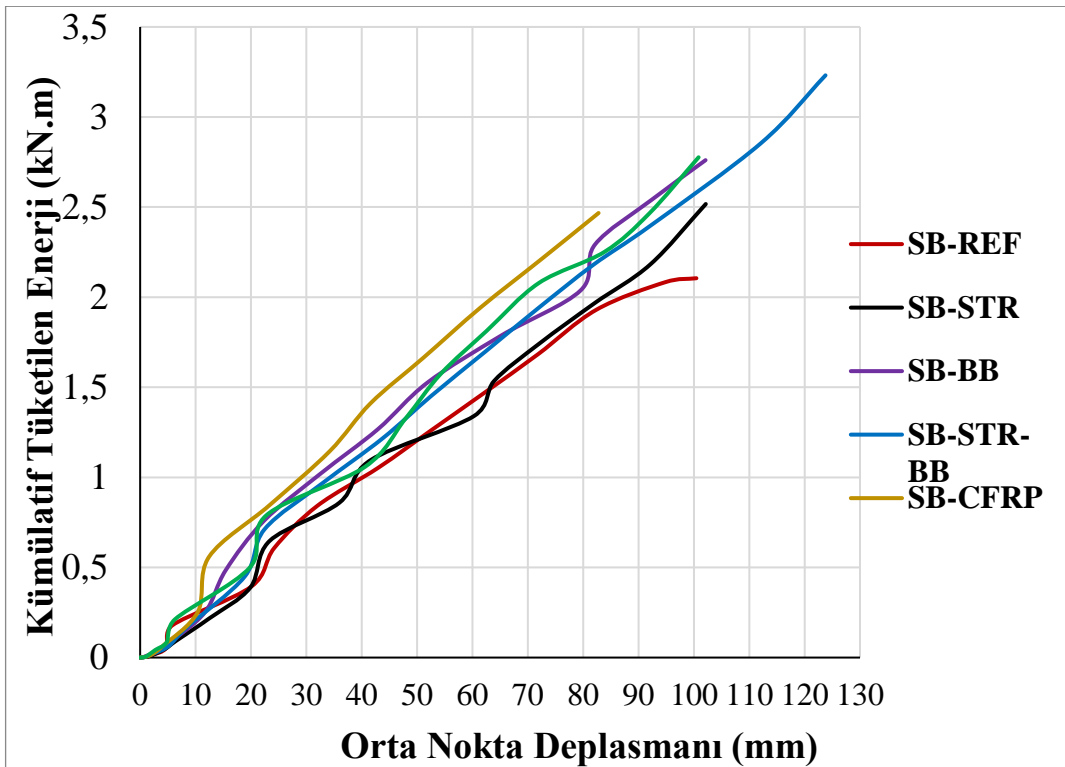


Şekil 4.56. Tüm deney elemanlarının yük rijitlik grafiği

Tüm deney elemanlarının kümülatif tüketilen enerji-deplasman grafikleri Şekil 4.57’te verilmiştir. Şekil 4.57 incelendiğinde en fazla enerji tüketilen numunenin SB-STR-BB numunesi olduğu görülmektedir. En düşük enerji tüketilen numune ise SB-REF numunesidir.

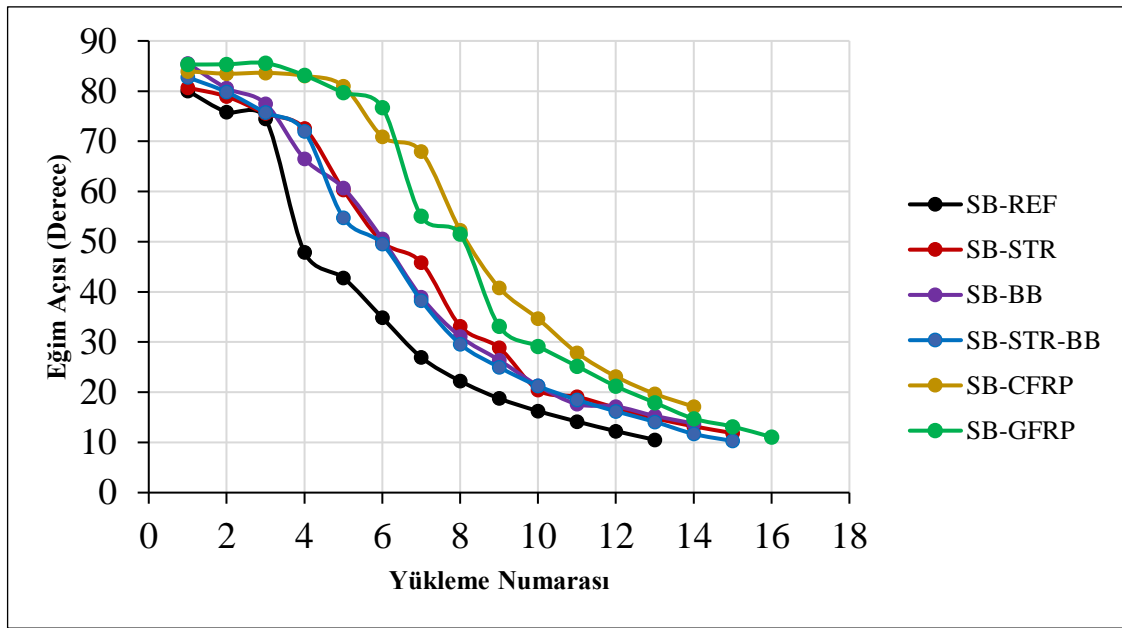
Diğer tüm deney elemanlarının (SB-STR, SB-BB, SB-STR-BB, SB-CFRP ve SB-GFRP), SB-REF referans numunesine göre kümülatif tüketilen enerjileri sırasıyla referans numuneye göre %20, 31.43 ve 53.81, 17.14 ve 31.90 oran ile artış göstermiştir. Böylelikle SB-REF referans numunesine göre tüm deney elemanlarının enerji tüketme kapasitelerinin arttığı görülmüştür. Ancak yeni donatı tasarımına sahip SB-STR-BB numunesi tüm deneyler içerisinde oldukça en yüksek kümülatif enerji tüketimine sahip numune olmuştur.

Yeni donatı tasarımına sahip numunelerin (SB-STR, SB-BB, SB-STR-BB) kümülatif enerji tüketimlerinin yüzdesel oranları karşılaştırıldığında SB-STR numunesinin kümülatif enerji tüketimi gruptaki diğer numunelere göre düşük kalmıştır. Sadece yatay pilye ilavesi yapılan SB-BB numunesi SB-STR numunesine göre %9.52 daha yüksek kümülatif enerji tüketimine sahiptir. Hem yatay pilye hem de enine donatı sıklaştırması yapılan SB-STR-BB numunesi ise SB-STR numunesine göre %28.17 ve SB-BB numunesine göre %17.03 daha yüksek kümülatif enerji tüketimine sahiptir. Mevcut yapıların güçlendirme yöntemi olan SB-CFRP ve SB-GFRP numunelerinin kümülatif tüketilen enerjilerinin yüzdesel oranları karşılaştırıldığında, SB-GFRP numunesi SB-CFRP numunesine göre %12.60 daha yüksek kümülatif enerji tüketimine sahiptir.



Şekil 4.57. Tüm deney elemanlarının kümülatif tüketilen enerji grafiği

Tüm deney elemanlarının eğim açısı grafikleri Şekil 4.58’te verilmiştir. Şekil 4.58 incelendiğinde numunelerin eğim açısının deney başlangıcında 90 derece olduğu ve deneylerde meydana gelen çatlaklar ve hasarlar ile bu açının çevrimlerin ilerlemesi ile birlikte azaldığı görülmektedir. Ancak SB-STR-BB numunesinin yükleme sayısının diğerlerine göre daha fazla olduğu görülmekte ve bu numunenin diğer numunelere göre daha fazla deplasman yaptığı ve bu şekilde daha yüksek süneklığe sahip olduğu anlamına gelmektedir.



Şekil 4.58. Tüm deney elemanlarının eğim açısı grafiği

Deney elemanlarının süneklilik davranışlarının incelendiğinde, SB-REF referans numuneye göre diğer (SB-STR, SB-BB, SB-CFRP ve SB-GFRP) numunelerin süneklilik değerleri sırasıyla %1.84, 1.58, 6.57 ve 10.73 oranla daha düşük çıkmıştır. Ancak sadece SB-STR-BB numunesi %6.31 oran ile SB-REF referans numuneye göre artış göstermiştir. Bu şekilde Yeni donatı tasarımına sahip SB-STR-BB numunesi tüm deneyler içerisinde en iyi süneklilik davranışına sahip numune olmuştur. FRP kumaşı ile güçlendirilmiş numuneler ise diğer numunelere göre daha düşük sünek davranış göstermiştir.

Yeni donatı tasarımına sahip numunelerin (SB-STR, SB-BB, SB-STR-BB) sünekliliklerinin yüzdesel oranları karşılaştırılmıştır. Sadece yatay pilye ilavesi yapılan SB-BB numunesi SB-STR numunesine göre %1.32 daha yüksek süneklilik değerine

sahiptir. Hem yatay pilye hem de enine donatı sıklaştırması yapılan SB-STR-BB numunesi ise SB-STR numunesine göre %8,31 ve SB-BB numunesine göre %6.90 daha yüksek süneklik değerine sahiptir. Mevcut yapıların güçlendirme yöntemi olan SB-CFRP ve SB-GFRP numunelerinin sünekliklerinin yüzdesel oranları karşılaştırıldığında, SB-CFRP numunesi SB-GFRP numunesine göre %4.47 daha süneklik değerine sahiptir.

Tüm deney elemanlarına ait deney sonuçları Çizelge 4.6'da verilmiştir. Çizelge 4.6 incelendiğinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılabilmektedir.

- Tüm numunelerde ilk çatlak 5 ile 20 kN arasında gerçekleşmiştir.
- Tüm numunelerde donatıların akma noktası 16.84 ile 23.04 kN arasında kalmıştır. Ancak kontrol amacıyla yapılan SB-REF deney elemanı ve enine donatı sıklaştırması uygulanan SB-STR deney elemanı diğer numunelere göre daha düşük akma noktasına sahip olmuştur.
- Tüm numunelerde maksimum yük taşıma kapasiteleri 22.45 kN ile 30.72 kN arasında kalmıştır. Güçlendirme türüne göre en iyi yük taşıma kapasitesi sırasıyla FRP kumaşlı ve pilyeli numuneler olmuştur.
- Tüm numunelerin göçme noktasındaki deplasmanları 74.87 ile 137.28 mm arasında olup, güçlendirme türüne ve yeni donatı tasarımına göre önemli farklıklar meydana gelmiştir. Güçlendirme türüne göre en düşük göçme deplasmanları FRP kumaşlı numunelere ait olurken, enine donatı sıklaştırması olan numuneler en yüksek göçme deplasmanına sahip numunelerdir.
- Tüm numunelerde başlangıç rijitliği 5.69 ile 12.74 kN/mm arasında kalmaktadır. En yüksek başlangıç rijitliğine sahip numune SB-BB numunesi olmuştur. Güçlendirme türüne ve yeni donatı tasarımına göre incelendiğinde FRP kumaşlı ve pilyeli numuneler ortalamada çok yakın değerlere sahip olmalarına rağmen, FRP kumaşlı ile güçlendirilen numuneler en iyi sonucu vermiştir.
- Tüm deney elemanlarında tüketilen enerji miktarı için enine donatı sıklaştırması ve pilye kullanılan SB-STR-BB deney elemanı en fazla enerji tüketimine sahip numunedir. Yeni donatı tasarımına sahip numunelerden içinde pilyesi olan numuneler en fazla enerji tüketimine sahip numunelerdir.
- Tüm numunelerde süneklik değerleri bakımından incelendiğinde, tüketilen enerjide olduğu gibi en yüksek süneklik değerine sahip deney elemanı SB-STR-BB deney elemanı olmuştur. Ancak güçlendirme türüne göre FRP kumaşlı numuneler, kontrol amacıyla yapılan SB-REF numunesinden bile daha düşük

sonuç vermiştir. İçinde pilye ilavesi olan numuneler ise yüksek süneklik değerlerini veren numuneler olmuştur.

Çizelge 4.7. Tüm deney elemanlarına ait test sonuçları

Numune Adı	İlk Çatlak		Akma Noktası		Maksimum Yük		Göçme Noktası		Başlangıç Rijitliği (kN/mm)	Tüketilen Enerji (kN.m)	Süneklik	Kırılma Türü
	Yük (kN)	Dep. (mm)	Yük (kN)	Dep. (mm)	Yük (kN)	Dep. (mm)	Yük (kN)	Dep. (mm)				
SB-REF	10.00	1.95	16.84	5.28	22.45	24.25	17.96	100.45	5.69	2.10	19.02	Eğilme
SB-STR	5.00	1.30	18.08	6.20	24.10	23.38	19.28	115.73	6.10	2.52	18.67	Eğilme
SB-BB	15.00	2.85	20.63	5.75	27.51	15.45	22.01	108.75	12.74	2.76	18.91	Eğilme
SB-STR-BB	10.00	2.55	20.04	6.79	26.71	18.88	21.38	137.28	7.86	3.23	20.22	Eğilme
SB-CFRP	20.00	2.45	23.04	4.95	30.72	12.44	24.58	87.97	9.43	2.46	17.77	Eğilme
SB-GFRP	20.00	3.20	21.50	4.41	28.66	22.80	22.93	74.87	12.15	2.77	16.98	Eğilme

Şekil 4.59’da test edilen deney elemanların göçme noktasına ulaştıktan sonraki hali, esas kirişin saplama kirişe bağlanmayan yüzeyleri (esas kirişlerin çekme bölgeleri) gösterilmiştir. SB-REF numunesi esas kirişin saplama kirişe bağlandığı hizadan kırılmıştır. SB-STR deney elemanı da esas kirişin saplama kirişine bağlandığı hizadan kırılmıştır. SB-BB numunesinde esas kirişe konulan pilye uzunluğunun bittiği yerden (esas kirişin saplama kirişe bağlandığı hizadan 140 mm ötesinde) kırılmıştır. SB-STR-BB numunesi hem güçlendirilmiş bölgenin bittiği yerlerden hem de esas kirişin saplama kirişe bağlandığı hizadan 100 mm ötesinde kırılmış ve beton kopmaları meydana gelmiştir. SB-CFRP numunesinde ise, sağ tarafta CFRP kumaşın bittiği yerden sol taraf ise CFRP kumaşın bittiği yerin 50 mm ötesinden kırılmalar meydana gelmiştir. SB-GFRP numunesinde, her iki tarafta da GFRP kumaşın bittiği yerden kırılmalar gözlemlenmiş ve kumaşın uçlarında kopmalar meydana gelmiştir.



Şekil 4.59. Tüm deney elemanlarının göçmeden sonraki hali

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Bu çalışma kapsamında yapılan deneylerden aşağıda verilen sonuçlar elde edilmiştir.

- SB-REF deney elemanında ilk çatlak 10.00 kN yükleme aşamasında meydana gelmiştir. Deney elemanını akma noktasına 16.84 kN yük ve 5.28 mm deplasman değerinde ulaşmıştır. Deney elemanının ulaştığı maksimum yük 22.45 kN'dur. Deney elemanın ulaştığı maksimum yükteki deplasman değeri 24.25 mm'dir. Deney elemanın başlangıç rijitliği 5.69 kN/mm ve kümülatif tüketilen enerjisi 2.10 kN.m'dir. Tüm deneyler içerisinde en düşük başlangıç rijitliğine ve tüketilen enerjiye sahip olan numune bu numune olmuştur. Deney elemanı göçme noktasına 17.96 kN yük ve 100.45 mm deplasman değerinde ulaşmıştır. Deney elemanının süneklik değeri ise 19.02 olarak ölçülmüştür. Bu deney elemanında kırılma, saplama kirişin esas kirişe bağlandığı hizada, esas kirişin saplama kirişe bağlanmayan yüzeyinde meydana gelmiştir.
- SB-STR deney elemanında, ilk çatlak 5.00 kN yükleme aşamasında meydana gelmiştir. Deney elemanın akma noktasına 18.08 kN yük ve 6.20 mm deplasman değerinde ulaşmıştır. Deney elemanın ulaştığı maksimum yük 24.10 kN'dur. Deney elemanın ulaştığı maksimum yükteki deplasman değeri 23.38 mm'dir. Numunenin başlangıç rijitliği 6.10 kN/mm ve kümülatif tüketilen enerjisi 2.52 kN.m'dir. Deney elemanı göçme noktasına 19.28 kN yük ve 115.73 mm deplasman değerinde ulaşmıştır. Deney elemanının süneklik değeri ise 18.67 olarak ölçülmüştür. Bu deney elemanında kırılma, hem esas kirişe saplama kirişin bağlandığı hizadan 140 mm ötede, hem de içe doğru 40 mm mesafede, esas kirişin saplama kirişe bağlanmayan yüzeyinde meydana gelmiştir.
- SB-BB deney elemanında ilk çatlak 15.00 kN yükleme aşamasında meydana gelmiştir. Deney elemanı akma noktasına 20.63 kN yük ve 7.75 mm deplasman değerinde ulaşmıştır. Deney elemanın ulaştığı maksimum yük 27.51 kN'dur. Numunenin ulaştığı maksimum yükteki deplasman değeri 15.45 mm'dir. Numunenin başlangıç rijitliği 12.74 kN/mm ve

kümülatif tüketilen enerjisi 2.76 kN.m'dir. Deney elemanı göçme noktasına 22.01 kN yük ve 108.75 mm deplasman değerinde ulaşmıştır. Deney elemanının süneklik değeri ise 18.91 olarak ölçülmüştür. Bu deney elemanında kırılma, esas kirişe saplama kirişin bağlandığı hizadan 140mm ötesinde esas kirişin saplama kirişe bağlanmayan yüzeyinde meydana gelmiştir.

- SB-STR-BB deney elemanında ilk çatlak 10.00 kN yükleme aşamasında meydana gelmiştir. Deney elemanı akma noktasına 20.04 kN yük ve 6.79 mm deplasman değerinde ulaşmıştır. Deney elemanın ulaştığı maksimum yük 26.71 kN'dur. Numunenin ulaştığı maksimum yükteki deplasman değeri 18.88 mm'dir. Numunenin başlangıç rijitliği 7.86 kN/mm ve kümülatif tüketilen enerji 3.23 kN.m'dir. Deney elemanı göçme noktasına 21.38 kN yük ve 137.28 mm deplasman değerinde ulaşmıştır. Deney elemanının süneklik değeri ise 20.22 olarak ölçülmüştür. Bu deney elemanında kırılma, hem esas kirişe saplama kirişin bağlandığı hizadan (esas kirişe saplama kirişin bağlandığı hizadan 140 mm ötede) hem de 100 mm ötesinde, esas kirişin saplama kirişe bağlanmayan yüzeyinde meydana gelmiştir.
- SB-CFRP deney elemanında ilk çatlak 20.00 kN yükleme aşamasında meydana gelmiştir. Deney elemanı akma noktasına 23.04 kN yük ve 4.95 mm deplasman değerinde ulaşmıştır. Deney elemanın ulaştığı maksimum yük 30.72 kN'dur. Numunenin ulaştığı maksimum yükteki deplasman değeri 12.44 mm'dir. Numunenin başlangıç rijitliği 9.43 kN/mm ve kümülatif tüketilen enerjisi 2.46 kN.m'dir. Deney elemanı göçme noktasına 24.58 kN yük ve 87.97 mm deplasman değerinde ulaşmıştır. Deney elemanının süneklik değeri ise 17.77 olarak ölçülmüştür. Bu deney elemanında kırılma, sağ tarafta CFRP kumaşın bittiği yerden sol tarafta ise CFRP kumaşın bittiği yerden 50 mm ötesinde kırılmalar meydana gelmiştir.
- SB-GFRP deney elemanında ilk çatlak 20.00 kN yüklemede meydana gelmiştir. Deney elemanı akma noktasına 21.5 kN yük ve 4.41 mm deplasman değerinde ulaşmıştır. Deney eleman ulaştığı maksimum yük 28.66 kN'dur. Numunenin ulaştığı maksimum yükteki deplasman değeri 22.80 mm'dir. Numunenin başlangıç rijitliği 12.15 kN/mm ve kümülatif

tüketilen enerjisi 2.77 kN.m'dir. Deney elemanı göçme noktasına 22.93 kN yük ve 74.87 mm deplasman değerinde ulaşmıştır. Deney elemanının süneklik değeri ise 16.98 olarak ölçülmüştür. Bu deney elemanında kırılma, her iki tarafta da GFRP kumaşın bittiği yerden (esas kirişe saplama kirişin bağlandığı hizadan 140 mm ötede) kırılmış ve GFRP kumaşın uçlarında kopmaları, esas kirişin saplama kirişe bağlanmayan yüzeyinde meydana gelmiştir.

Yeni donatı tasarımına sahip numunelerde, enine donatı sıklaştırması yapılan numunelerin (SB-STR ve SB-STR-BB), tüm deneyler içerisinde en yüksek deplasman seviyesine çıktığı görülmüştür. Yeni donatı tasarımına sahip numuneler içerisinde yatay pilye kullanımının akma ve maksimum yük noktalarında en yüksek değerleri verdiği görülmüştür. Böylelikle betonarme esas kirişin saplama kiriş ile kesiştiği bölgede enine donatı ve yatay pilye birlikte kullanıldığında hem tüketilen enerjinin hem de sünekliğin tüm deneyler içerisinde en iyi sonuç verdiği görülmüştür. Bu şekilde yeni donatı tasarımı ile yeni yapılacak betonarme bir yapıda esas kirişin saplama kiriş ile kesiştiği bölgede enine donatı sıklaştırması ve yatay pilyenin birlikte kullanılmasının en iyi yöntem olduğu ortaya konulmuştur.

Güçlendirilmiş numunelerden SB-CFRP deney elemanının, tüm deneyler içerisinde en yüksek yük taşıma kapasitesine sahip olduğu görülmüştür. Ancak ulaşılan deplasmanı düşük kaldığından dolayı tüketilen enerji ve sünekliği diğer yeni donatı tasarımına sahip numunelere göre daha düşük sonuç vermiştir. Güçlendirilmiş SB-CFRP ve SB-GFRP deney elemanlarının sonuçları karşılaştırıldığında SB-CFRP numunesinin enerji tüketimi daha düşük ama daha yüksek süneklik değerine ulaştığı görülmüştür. Bu iki deney sonuçları farklı olsa da birbirine yakın sonuçlar sergilediği görülmektedir, ancak CFRP kumaşı çok daha maliyetli olduğundan GFRP tercih edilmesi önerilmektedir.

5.2 Öneriler

- Bu çalışmada birer adet numune üretildiği için daha kapsamlı çalışmalar yapılması tavsiye edilmektedir.
- Bu çalışmada 1/2 ölçekli yapılmıştır. Tam ölçekli deneylerin yapılması daha gerçekçi sonuçlar verecektir.
- Farklı enine donatı sıklaştırması yapılarak en uygun etriye sıklaştırma aralığı araştırılabilir.

- Yapılan tezde yeni donatı tasarımında yatay pilye kullanımının çok iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu sebeple bu konu ile ilgili daha fazla çalışma yapıp, konu derinlemesine araştırılmalıdır.
- Bu çalışmada kullanılan kesit boyutları, beton sınıfı ve donatı çapları değiştirilerek yeni çalışmalar yapılabilir.
- Bu çalışmada kullanılan CFRP sargısının daha yüksek maliyete sahip olmasına rağmen deney sonuçları GFRP sargısı ile benzer seviyelerdedir. Bu sebeple yapılacak çalışmalarda GFRP sargısının kullanılması önerilmektedir.
- FRP kumaş ile güçlendirme bölgesinde tamamen sarılmıştır. Sadece saplama kirişin esas kiriş ile kesiştiği bölgenin karşı kenarının güçlendirmesinin incelenmesi önerilmektedir.
- Bu çalışmada FRP kumaş ile tam sargı uygulaması yapılmıştır. Literatürde FRP kumaşların farklı sargı uygulamaları mevcut olup bu sargı uygulamaların da test edilmesi önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- Abbasalizade, B. Ve Chavoshi, M., 2020 Comprehensive Performance Evaluation of the Composite Connection of Steel Joist Embedded in Concrete Girder, *Journal of Civil Engineering and Urbanism*, 13-20.
- Afet ve acil durum yönetimi başkanlığı.
- Aykaç, B. ve Acar D., 2013, betonarme kirişlerin dıştan yapıştırılmış karbon kumaş ve çelik levhalardan oluşan kompozit malzemeyle güçlendirilmesi, *Gazi üniversitesi*, 176-183.
- Barris, C., 2020 Flexural behaviour of FRP reinforced concrete beams strengthened with NSM CFRP strips, *Composite Structures*, 1-9.
- Brothers H, (2001). Glass fiber reinforced polymer (GFRP) rebar Aslan 100. Seward, Neb.
- Celikkollu, A., 2017, saplama kiriş, Eskişehir, [https://www.insaathaber.org/saplama-kirisler/\[ziyaret tarihi: 05.04.2021\]](https://www.insaathaber.org/saplama-kirisler/[ziyaret tarihi: 05.04.2021]).
- Dindar B, (2020). Metal-Cam fiber/Epoksi/ÇDKNT Sandviç Panellerin Eğilme Davranışlarının Deneysel Olarak Araştırılması, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 249-253.
- Ersoy, G. ve Özcebe, G., 2016, Betonarme/Temel İlkeler, İstanbul, Evrim Yayınevi, p.
- Eurocode 8, 2004, Design of structures for earthquake resistance - Part 1 : General rules, seismic actions and rules for buildings Brussels, Belgium: 1-229.
- Hamrat, M., Bouziadi, F., Boulekbache, B., Daouadji, T., Chergui, S., Labeled, A. Ve Amziane, S., 2020 Experimental and numerical investigation on the deflection behavior of pre-cracked and repaired reinforced concrete beams with fiber-reinforced polymer, *Construction and Building Materials*, 1-13.
- Hao, H. Ve Pham, T., 2017 Performance of RC Beams with or without FRP Strengthening Subjected to Impact Loading, *ICS ENM*, 1-11.
- Huang, Z., Chen, W., Tran, T., Pham, T., Hao, H., Chen, Z. Ve Elchalakani, M., 2021 Experimental and numerical study on concrete beams reinforced with Basalt FRP bars under static and impact loads, *Composite Structures*, 1-17.
- Huo, J., Li, Z., Zhao, L., Liu, J. Ve Xiao, Y., 2018 Dynamic Behavior of Carbon Fiber-Reinforced Polymer Strengthened Reinforced Concrete Beams without Stirrups under Impact Loading, *ACI structural journal*, (775).
- Kaltakçı, M., Y., 2002, Betonarme Ders Notları, Konya, p. 102.
- Karzac, A., Toubat, S., Maalej, M. Ve Estephane, P., 2017 Repair of reinforced concrete beams using carbon fiber reinforced polymer, *ASCMCES-17*, 1-10.
- Köksal, H., Altınsoy, F., Aktan, S., Karahan, Ş. Ve Çankaya, R., 2017 Üç Noktalı Eğilme Altındaki Betonarme Kirişlerde Karbon Lifli Polimerin Etkin ve Ekonomik Kullanımı, *Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 1-16.
- Meikandaan, T. Ve Murthy, A., 2017 flexural behaviour of rc beam wrapped with gfrp sheets, *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*, 452-469.
- Osman, B., Wu, E., Ji, B. Ve Abdulhameed, S., 2017 Repair of Pre-cracked Reinforced Concrete (RC) Beams with Openings Strengthened Using FRP Sheets Under Sustained Load, *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 171-183.
- Qiong, Yu., Jianli, Xu. Ve Xingzhuang, Zhao., 2012 Mechanical property analysis on joints of steel secondary beam inserted in reinforced concrete frame girder, 1-9.

- Maraş, M., 2020, Betonarme Yapıların Güçlendirilmesinde Kullanılan FRP Kompozitin Yapısal Performansa Etkisi, İnönü Üniversitesi, 108-119.
- Severcan, M., Kara, I. Ve Akçaözoğlu, K., 2016 Değişik yüklemeler etkisi altında farklı donatı oranlarına sahip betonarme kirişlerde oluşan deplasmanların deneysel olarak incelenmesi, Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 135-147.
- Soleimani, S. Ve Roudsari, S., 2019 Analytical Study of Reinforced Concrete Beams Tested under Quasi-Static and Impact Loadings, Applied sciences, 1-16.
- Sun, X., Feng, X., Yang, Sh., Li, Sh. Ve Wang, Y., 2021 Experimental Study on Joint Properties of Steel Secondary Beam Connected with Concrete Main Beam Using an Embedded Part, the electrochemical society, 1-8.
- Tarigan, J., Patra, F. Ve Sitorus, T., 2018 Flexural strength using Steel Plate, Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP) and Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) on reinforced concrete beam in building technology, the electrochemical society, 1-14.
- TBDY, 2018, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara.
- Ugur, A. e Alptuğ, Ü., Assessing the structural behavior of reinforced concrete beams produced with macro synthetic fiber reinforced self-compacting concrete, Elsevier, 1-18.
- Zhang, Z., Tzu, C., Hsu, T., Asce, F. Ve Moren, J., 2004 Shear Strengthening of Reinforced Concrete Deep Beams Using Carbon Fiber Reinforced Polymer Laminates, Journal of composites for construction, 1-12.
- Taşkıran, T., Dilsiz, A., Yılmaz, M. ve Türer, A., İzmir seferihisar depremi değerlendirme raporu, ankara yıldırım beyazıt üniversitesi mühendislik ve doğa bilimleri fakültesi inşaat mühendisliği bölümü, 1-14.
- Topçu, A., 2017, Betonarme Taşıyıcı Sistem,
https://www.imo.org.tr/resimler/dosya_ekler/5e70853596044de_ek.pdf?tipi=79&tuuru=X&sube=7 [ziyaret tarihi: 03.05.2021].