



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**LİF DONATILI ÇİMENTO MALZEMELER
İLE GÜÇLENDİRİLMİŞ KONSOL
BETONARME KİRİŞLERİN YAPISAL
DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

Şevket Tufan BAYRAKCI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Eylül-2022
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Şevket Tufan BAYRAKCI tarafından hazırlanan “Lif Donatılı Çimento Malzemeler İle Güçlendirilmiş Konsol Betonarme Kirişlerin Yapısal Davranışının İncelenmesi” adlı tez çalışması tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. Mehmet KAMANLI

.....

Danışman

Doç. Dr. Alptuğ ÜNAL

.....

Üye

Doç. Dr. Fatih BAHADIR

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN
Enstitü Müdürü

Bu tez çalışması Konya Teknik Üniversitesi BAP Koordinatörlüğü tarafından 211004010 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.

Şevket Tufan BAYRAKCI

29/09/2022

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

LİF DONATILI ÇİMENTO MALZEMELER İLE GÜÇLENDİRİLMİŞ KONSOL BETONARME KİRİŞLERİN YAPISAL DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Şevket Tufan BAYRAKCI

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

**Danışman: Doç. Dr. Alptuğ ÜNAL
Yrd. Danışman: Doç. Dr. Oğuzhan ÖZTÜRK
2022, 136 Sayfa**

Jüri

**Prof. Dr. Mehmet KAMANLI
Doç. Dr. Alptuğ ÜNAL
Doç. Dr. Fatih BAHADIR**

Ülkemizde çok sayıda binada, mimari estetik kaygı veya kat alanının büyütülmesi amacıyla, yapı taşıyıcı sisteminde çeşitli düzensizlikler yer almaktadır. Binalarda gözlenen en yaygın kusurlardan bir tanesi yapı konsollarıdır. Yapılan gözlemler sonucunda, yapılarıdaki konsolların kolon kiriş birleşim bölgesindeki problemler özellikle de deprem bölgesindeki binalarda elemanların taşıma kapasitelerine etkisi ciddi risk oluşturmaktadır. Söz konusu durumlar ülkemizde çok sık karşılaşılmaya rağmen bugüne kadar kapsamlı bir şekilde ele alınmamıştır. Bu sebeple konsol kiriş oluşumunda ortaya çıkan sorunların önüne hızlı ve etkili bir biçimde geçmek, gerekli güçlendirme şeklini incelemek adına bu tez çalışması yapılmıştır. Kolon kiriş birleşim bölgesindeki problemler ele alınıp ona göre bir güçlendirme yöntemi önerilmiştir. Bu hedef doğrultusunda ülkemizde ve dünyada giderek daha çok araştırmaya konu olan lif donatılı beton ile konsol kirişlerin güçlendirme çalışması yapılmıştır. Bu amaçla biri referans olmak üzere toplamda 9 adet konsol kiriş numunesi üretilmiş ve depremi benzeştiren tersinir tekrarlanır yükler altında test edilmiştir. Deneylede kiriş mesnet bölgesine ve kiriş açıklığı boyunca lif donatılı beton ile güçlendirilmiş paneller kullanılmıştır. Güçlendirmede kullanılan lif donatılı beton paneller epoksi ve ankraj çubuklarıyla numunelere montajlanmıştır. Deneylede konsol kirişe kiriş uç noktasından yükleme yapılmıştır. Deney elemanlarına tersinir tekrarlanır yatay yük verilerek kolon-kiriş birleşim bölgesindeki hasarlar incelenmiştir. Yapılan deneylerin sonuçlarının daha iyi yorumlanabilmesi amacıyla deney sırasında alınan yük ve deplasman değerleri kullanılarak; yük deplasman grafiği, zarf eğrisi, kümülatif tüketilen enerji grafiği, rijitlik grafiği çizilmiş ve süneklik değeri hesaplanmıştır. Ek olarak deney numunelerinin karşılaştırmalı değerlendirilmesi yapılmıştır. RB-LDB2-LEW deney elemanı en yüksek yük taşıma kapasitesine sahiptir.

Anahtar Kelimeler: Konsol Kiriş, Güçlendirme, Hasar, Lif Donatılı Beton (LDB), Deneysel Çalışma

ABSTRACT

MS THESIS

INVESTIGATION OF THE STRUCTURAL BEHAVIOR OF CONCRETE BEAMS STRENGTHENED WITH FIBER REINFORCED CEMENT MATERIALS

Şevket Tufan BAYRAKCI

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

**Advisor: Assoc. Prof. Dr. Alptuğ ÜNAL
Co Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Oğuzhan ÖZTÜRK
2022, 136 Pages**

Jury

**Prof. Dr. Mehmet KAMANLI
Assoc. Prof. Dr. Alptuğ ÜNAL
Assoc. Prof. Dr. Fatih BAHADIR**

In our country, many buildings are usually placed on console overhangs after the ground floor in order to enlarge the floor area. As a result of the observations, it has been observed that in many of these buildings, due to the deflection of the cantilever beams, large cracks have formed on the walls resting on the beams over time. Although these situations are frequently encountered in our country, they have not been dealt with comprehensively until today. For this reason, this thesis was carried out in order to prevent the problems that arise in the formation of cantilever beams quickly and effectively and to make the necessary reinforcement. In line with this goal, reinforcement of cantilever beams was carried out with LDB (Fiber Reinforced Concrete), which is the subject of more and more researches in our country and in the world. For this purpose, a total of 9 cantilever beam samples, one of which is a reference, were produced and tested under reversible and repeated loads simulating earthquakes. LDB reinforced panels were used in the beam support area and along the beam span in the experiments. The LDB panels used in the reinforcement were mounted on the samples with epoxy and anchor rods. In the experiment, the cantilever beam was loaded from the beam end point. Damages in the column-beam junction in case of earthquake were investigated. In order to better interpret the results of the experiments, by using the load and displacement values taken during the experiment; load displacement graph, envelope curve, cumulative consumed energy graph, the stiffness graph was drawn and the ductility value was calculated. In addition, a comparative evaluation of the test samples was made. The RB-LDB2-LEW test element has the highest load carrying capacity.

Keywords: Cantilever Beam, Strengthening, Damage, Fiber Reinforced Concrete (LDB), Experimental Study

ÖNSÖZ

Tez çalışması sürecinde, tez çalışmalarına başladığım andan itibaren bilgi ve deneyimlerinden faydalandığım, her konuda destek aldığım, projenin planlanmasından deneylerin yapılmasına kadar her aşamalarında yardımlarını hiç esirgemeyen, her türlü zorluklar karşısında bana destek veren, zorlandığım anlarda bana anlayış gösteren, teşvik eden, beni yönlendiren, maddi ve manevi yanımda olan çok kıymetli danışman hocam sayın Doç. Dr. Alptuğ ÜNAL'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışması esnasında bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, her türlü yardımları ve desteklerinden dolayı değerli hocam sayın Doç. Dr. Oğuzhan ÖZTÜRK'e teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca bana destek olan, hiçbir zaman manevi desteklerini esirgemeyen ve benim her zaman yanımda olan aileme teşekkürlerimi sunarım.

Şevket Tufan BAYRAKCI
KONYA-2022

İÇİNDEKİLER

TEZ KABUL VE ONAYI	v
TEZ BİLDİRİMİ	vi
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin amacı	2
1.2. Tezin önemi	3
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	4
3. MATERYAL VE YÖNTEM	11
3.1. Deney Numuneleri	11
3.1.1. Deney numunelerinin boyut özellikleri	11
3.1.2. Deney numunelerinin donatı özellikleri	13
3.2. Deney Numunelerinin Malzeme Özellikleri	15
3.2.1. Beton özellikleri.....	15
3.3. Deney Düzeneği ve Ölçme Tekniği	20
3.3.1. Deney düzeneği.....	20
3.3.2. Ölçme tekniği.....	23
3.4. Deney Numunelerinin Hazırlanması	26
3.4.1. Konsol kiriş kalıplarının üretimi.....	26
3.4.2. Konsol kiriş donatılarının hazır hale getirilmesi.....	27
3.4.3. Donatıların kalıplara yerleştirilmesi	28
3.4.4. Konsol kirişlerin üretilmesi	30
3.4.5. Güçlendirme elemanlarının üretilmesi.....	30
3.4.6. Lif donatılı beton üretimi ve kalıplara yerleştirilmesi	31
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA	38
4.1. Deney Sonuçları.....	38
4.1.1. Birinci deney (Referans Deneyi RB)	38
4.1.2. İkinci deney (RB-LDB1-SE)	46
4.1.3. Üçüncü deney (RB-LDB1-SEW)	53
4.1.4. Dördüncü deney (RB-LDB1-LE)	62
4.1.5. Beşinci deney (RB- LDB1-LEW).....	69
4.1.6. Altıncı deney (RB- LDB2-SE)	76
4.1.7. Yedinci deney (RB- LDB2-SEW)	84
4.1.8. Sekizinci deney (RB- LDB2-LE)	92

4.1.9. Dokuzuncu deney (RB- LDB2-LEW)	100
4.2. Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması	107
4.2.1. LDB1 panellerin yerleşim konumu ve boyutuna göre etkisi	108
4.2.2. LDB2 panellerin yerleşim konumu ve boyutuna göre etkisi	111
4.2.3. Referans numunenin aynı konuma yerleştirilen ve aynı boyuttaki LDB1 ve LDB2 panellerin olduğu numunelerle karşılaştırılması.....	114
4.2.4. Tüm deneylerin karşılaştırılması	126
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	132
5.1 Sonuçlar	132
5.2 Öneriler	135
KAYNAKLAR	137



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

a: Kesme açıklığı, mm

A_c : Kiriş en kesit alanı, mm

b : Deney numunesinin genişliği, mm

b_w : Kiriş genişliği, mm

C30: 28 gün suda bekletilmiş silindir basınç dayanımı 30 MPa olan beton

cm: Santimetre

D: Faydalı yükseklik, mm

d : Deney numunesinin kalınlığı, mm

F : Kırılmaya neden olan yük, kN

f_{ck} : Betonun karakteristik silindir basınç dayanımı, MPa

σ_e : Betonun eğilme dayanımı, MPa

kN: Kilo Newton

L_{top} : Kirişin toplam uzunluğu, mm

L : Deney numunesinin mesnetler arasındaki mesafesi, mm

m: Metre

mm: Milimetre

MPa: Mega Pascal (N/mm^2)

N_d : Eksenel yük, kN

Pç : Portland çimento

S_p : Beton katkısı

Uk-f : Uçucu küller

Kısaltmalar

RB: LDB kullanılmayan, güçlendirme yapılmayan referans numune

RB-LDB-SE: LDB1 kullanılan, doğusuna kısa panel yerleştirilen numune

RB-LDB1-SEW: LDB1 kullanılan, iki tarafına kısa panel yerleştirilen numune

RB- LDB1-LE: LDB1 kullanılan, doğusuna uzun panel yerleştirilen numune

RB- LDB1-LEW: LDB1 kullanılan, iki tarafına uzun panel yerleştirilen numune

RB-LDB2-SE: LDB2 kullanılan, doğusuna kısa panel yerleştirilen numune

RB- LDB2-SEW: LDB2 kullanılan, iki tarafına kısa panel yerleştirilen numune

RB- LDB2-LE: LDB2 kullanılan, doğusuna uzun panel yerleştirilen numune

RB- LDB2-LEW: LDB2 kullanılan, iki tarafına uzun panel yerleştirilen numune

LDB: Lif donatılı beton

TBDY : Türkiye bina deprem yönetmeliği

PVA: Polivinil alkol lif

LVDT : Lineer yer değiştirme algılayıcısı



1. GİRİŞ

Günümüze kadar inşaat sektörü, bilim ve teknolojiye ortaya çıkan yenilikleri yakından izleme fırsatı bulmuştur. İnşaat sektöründe sıklıkla kullanılan betonun içeriğinde bulunan farklı malzemelerin geliştirilmesinden ve yenilenmesinden dolayı yeni beton tipleri üzerinde çalışmalar başlamıştır. Son 40 yıl içerisinde liflerin beton üretiminde kullanılması ile lifli beton kavramı literatüre eklenmiştir. Betonun üretim safhasında kullanılan lifler betonun dayanımına olumlu katkılar verirken, çatlakları engelleme yönünde de etki sağladığı görülmüştür. İlave olarak betonun darbe dayanımını ve yorulmaya karşı direncini de arttırmaktadır (Demir, 2012).

Yaygın bir temin edilebilmesi ve düşük maliyeti olmasına rağmen gevrek davranışı ve çekme dayanımının düşük olması gibi dezavantajları da vardır ki en önemli nokta gevrek olması ve düşük çekme dayanımına sahip olmasıdır. Betondan kaynaklanan olumsuzlukların önüne geçmek, mekanik özellikleri iyileştirmek ve betona yeni özellikler kazandırmak amacıyla beton içerisinde katkı olarak lifler kullanılmaktadır. Betona lif katılması; çekme dayanımını, tokluğunu, aşınma direncini, enerji sönmüleme kapasitesini, çatlaklara karşı direncini ve dayanıklılığını arttırmasının yanında sünek davranışını da sağlamaktadır. Böylelikle limanlarda, havaalanı pistlerinde, su yapılarında, yol kaplamalarında, patlamaya dayanıklı askeri yapılarda ve endüstriyel döşemeler gibi uygulamalarda kullanılabilir. Son yıllarda betonda en çok kullanılan lifler; çelik, polimer (Polipropilen, Polivinil Alkol), cam ve karbon lifleridir. Liflerin betonun özelliklerine etki eden özellikler lifin tipi, miktarı, geometrisi, görünüm-narinlik oranı ve sünekliğidir. Özellikle lifin ilave edildiği beton karışımında homojen bir şekilde dağılması ve yönelimi, betonun özelliklerini önemli ölçüde etkiler. Lifin yönelimi ve dağılımı homojen olmadığı zaman topaklanma meydana gelerek etkilemektedir, beton dayanımı ve dayanıklılığı azalmaktadır (Uygunoğlu ve ark., 2022).

Çoğunlukla lif donatılı kompozit malzemelerde daha yüksek performans elde etmek için daha fazla hacimde life gerek olmasına rağmen, LDB üretiminde toplam hacimce %2 oranında kısa ve süresiz lifler tercih edilmektedir. LDB üretiminde bir başka husus da diğer bileşenlerin kullanılması ile inşaat sektöründe daha fazla esneklik görmek mümkün olabilmektedir (Emmons ve Vaysburd, 1995).

Süneklik, malzeme veya elemanın enerji yutabilme kapasitesi olarak adlandırılır. Süneklik, bir davranış şeklidir. Bir eleman istenilen düzeyde yer değiştirme yeteneğine sahip ise bu yer değiştirmeyi gerçekleştirip, gelen enerjiyi yutabiliyorsa bu davranışa sünek davranış diyebiliriz. Betonarme yapıların sünek davranışı çoğunlukla kolon-kiriş birleşim bölgelerinin sünek davranışına bağlıdır. Kolon-kiriş birleşim bölgelerinin deprem gibi tersinir yüklemeler altında sünek davranışını görebilmek için bu bölgelere enine donatıların daha sık yerleştirilmesi gerekmektedir. Bununla beraber kolon-kiriş birleşimini oluşturan kolon ve kirişin bu bölgelerde taşıyacağı eğilme momentlerinin yüksek olması sebebiyle her iki elemanın kolon-kiriş birleşim bölgelerinde olması gereken boyuna donatıları da çok yoğun olmaktadır. Betonarme binalarda depremden doğan hasar, daha çok kolon-kiriş birleşim bölgelerinde oluşmaktadır. Bu bölgedeki hasar kolon uçlarında, kiriş uçlarında ya da düğüm noktasında kalıcı şekil değiştirmelerin yığılması sonucu olmaktadır (Çevirme, 2007).

Binalarda güçlendirme bazen binanın tümüne bazen de bir taşıyıcı sisteme uygulanır. Burada amaç bina deprem güvenliğini olabildiğince artırmaktır. Güçlendirmenin ihtiyaç olduğu durumlar iki sebepten dolayı olabilir. Birincisi taşıyıcı sistem dolayısıyla bina hasar görmüş olup güvenlik artırılmak istenmiştir. İkincisi ise ortada herhangi bir hasar bulunmasa dahi hasar oluşma tehlikesi mevcuttur. Her iki durum için de amaç bina güvenliğini deprem yönetmeliğine uygun hale getirmektir. Betonarme binalarda kolon kiriş birleşim bölgesi oldukça hassas bir bölgedir ve burada gerilmeler oldukça yüksek, bileşen sayıca fazladır. Dolayısıyla kolon-kiriş birleşim bölgesi ciddi hasarların en yoğun şekilde görüldüğü bölgelerden biridir. Hasaları minimum seviyede tutmak ve yönetmeliklere uygun güvenlik seviyesine ulaşmak için güçlendirme kaçınılmaz olmaktadır (Şirin, 2006).

1.1. Tezin amacı

Literatür çalışmaları ve yapılan saha uygulamaları dikkate alındığında deprem yüküne karşı güçlendirilecek olan yapılardaki geleneksel güçlendirme metotları yerine, lif donatılı beton panellerin kullanılması hem ekonomiklik hem de dayanım ve güvenlik açısından çeşitli avantajlara sahiptir. Güçlendirme yöntemi olarak kullanılan panellerin konumları, reçete içerikleri ve boyutları gibi farklı parametreler incelenerek maksimum kapasiteli güçlendirme metodunun belirlenmesi bu tez kapsamının ana amacını oluşturmaktadır. Bu hedef doğrultusunda ülkemizde ve dünyada giderek daha çok

araştırmaya konu olan lif donatılı beton ile konsol kirişlerin güçlendirme çalışması yapılmıştır. Bu amaçla biri referans olmak üzere toplamda 9 adet konsol kiriş numunesi üretilmiş ve depremi benzeştiren tersinir tekrarlanır yükler altında test edilmiştir. Deneylerde kiriş mesnet bölgesine ve kiriş açıklığı boyunca lif donatılı beton ile güçlendirilmiş paneller kullanılmıştır. Güçlendirmede kullanılan lif donatılı beton paneller epoksi ve ankraj çubuklarıyla numunelere montajlanmıştır. Deneyde konsol kirişe kiriş uç noktasından yükleme yapılmıştır. Deney elemanlarına tersinir tekrarlanır yatay yük verilerek kolon-kiriş birleşim bölgesindeki hasarlar incelenmiştir. Yapılan deneylerin sonuçlarının daha iyi yorumlanabilmesi amacıyla deney sırasında alınan yük ve deplasman değerleri kullanılarak; yük deplasman grafiği, zarf eğrisi, kümülatif tüketilen enerji grafiği, rijitlik grafiği çizilmiş ve süneklik değeri hesaplanmıştır. Ayrıca deney numunelerinin karşılaştırmalı değerlendirilmesi yapılmıştır. Ülkemizde ve dünyada bu tür bir güçlendirmenin ekonomik ve pratik olduğu, fabrikalarda seri üretime geçilebilmesi için uygun olduğu düşünülmektedir. Güçlendirme yapılırken kalifiye bir işçiye ihtiyaç duyulmadığı, süre yönünde hızlı bir şekilde tamamlandığı görülmüştür.

1.2. Tezin önemi

Betonarme yapılardaki en büyük problem betonun gevrek davranışa sebebiyet vermesidir. Bu davranış beraberinde plastik deformasyonu getirmektedir. Yapı elemanının gevrek davranışından dolayı sönümlendiği enerji düşük olmakta bu durum da ani göçmelere neden olmaktadır. Bu sebeple yapıların sünek davranışa sahip olmasını bekleriz. Sünek davranış ise betona ilave edilen çeşitli lifler ile kazandırılabilir (Uygunoğlu, 2020). Ülkemizde yapılan binalar incelendiğinde birçok binada konsol kiriş uygulaması olduğu görülmektedir. Bu anlamda ülkemiz yapı stoğunda çok sık karşılaşılan bir durum olmasına rağmen literatürde bu konu ile ilgili yeterince çalışmaya rastlanmamıştır. Yapılmış olan çalışmaların büyük bir kısmı sorunun nedenleri yerine, sorun ortaya çıktıktan sonra yapılacak olan onarım/güçlendirme teknikleri üzerine yoğunlaşmıştır. Bu anlamda sorun daha oluşmadan önleme adına pratik bir uygulama geliştirilmesi amacıyla bu tez çalışması yapılacaktır. Bu doğrultuda ülkemizde çok geniş kullanım alanı bulmayan fakat dünyada yaygın kullanılan malzemelerden LDB paneller ile konsol kirişlerin güçlendirilmesi yapılmış ve kolon kiriş birleşim bölgesinde oluşacak deformasyon, taşınabilecek maksimum yük, yapıya sağlanan süneklik gibi olgular incelenecektir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Yıldırım (2018) çalışmasında, yüksek süneklik ve çekme yüklemeleri altında görülen çoklu dar çatlak genişlikleri özelliklerinden taviz vermeden, erken yaş yüksek dayanımlı ve onarılacak beton ile en yüksek derecede bağ kuracak yeni nesil onarım malzemeleri tasarlanmış ve bu malzemelerin performansı piyasada sıklıkla tercih edilen bir başka onarım malzemesiyle karşılaştırmıştır. Çalışmanın birinci kısmında monolitik halde test edilen karışımların temel mekanik özellikleri incelenmiştir. İkinci kısımda ise tabakalı olarak hazırlanan karışımların onarım malzemesi olarak kullanılabilirlikleri eğilme performansı ve yansıma çatlak davranışları göz önüne alınarak incelenmiştir. Çalışma kapsamında üretilen HESECC karışımlar literatürde bir onarım malzemesinden erken yaşta beklenen temel mekanik özelliklerin tamamını fazlasıyla karşılamış ve üretilen tabakalı numuneler, piyasada yaygın bir şekilde kullanılan OM numunelerine kıyasla çok daha sünek bir davranış sergileyerek yansıma çatlaklarının yayılımını büyük ölçüde azaltmıştır.

Al Mahmoud ve ark. (2010), NSM tekniğini kullanarak, betonarme yapı elemanını CFRP çubukları ile güçlendirilerek, eğilme etkisi altında göçme modlarını deneysel olarak incelemişlerdir. Deneyde çıkmalı 3 m uzunluğunda 150x280 mm kesitli konsol kiriş ve geleneksel kiriş eğilme etkisine maruz bırakılmış ve sonuçlar kıyaslanmıştır. Konsol kirişler 2 noktadan ve geleneksel kirişler 4 noktadan yükleme yapılarak eğilmeye maruz bırakılmıştır. Bir grup test konsol kiriş numunesine sırasıyla boyları 150-190-240 mm olan 6 mm'lik CFRP çubukları üst açıklığına yerleştirilmiş ve eğilme altında etkileri araştırılmıştır. Bir diğer grup olan geleneksel kiriş numunelerine alt bölgelere 210 ve 270 mm boylarında yerleştirilen 6 mm'lik CFRP çubuklarının etkisi yine eğilme etkisi altında kirişe etkileri incelenmiştir. Sonlu elemanlar analizi ile deney numuneleri modellenmiş ve deney sonuçları ile kıyaslanmıştır. Sonuçlar kıyaslandığında NSM tekniği CFRP kullanılarak güçlendirme yapılması geleneksel kiriş modelinin eğilme etkisine oldukça katkı sağladığı gözlenmiştir. CFRP kullanılarak güçlendirilen kiriş ile geleneksel kiriş modeli arasında farklı göçme modları gözlenmiştir. CFRP kullanılarak güçlendirilen konsol kirişlerde klasik kirişlerle aynı göçme modu gözlenmiş ve güçlendirmenin dışa doğru basınca bir etkisi olmadığı gözlenmiştir. Deney sonucunda iki farklı olası kırılma saptanmıştır. Eğer CFRP boyları maksimum stresteki kirişin çatlak boyundan daha uzun olursa göçme çubukların

betondaki çatlak boyunca kopması şeklinde gerçekleşeceği saptanmıştır. Eğer yük CFRP çubuk uçlarında çatlığa neden olursa göçme çubuk ucundan betonu sıyrarak oluşabileceği deneyde saptanmıştır. Analitik sonuçlar ile deneysel sonuçlar kıyaslandığında oldukça yakın sonuçlar gözlenmiştir.

İsmail ve ark. (2018) yaptıkları çalışmada, kolon-kiriş birleşim noktalarında farklı fiber türleri kullanılarak tasarlanan çimento esaslı kompozitlerin (ECC) ters çevrimsel yükleme altındaki etkileri deneysel olarak incelemişlerdir. Deneyde 8 mm ve 12 mm polivinil alkol fiberler (PVA8 ve PVA12), 13 mm polipropilen fiberler (PP13) ve 13 mm çelik fiberler (SF13) kullanılarak üretilen ECC'ler kolon-kiriş mesnet noktalarına uygulanmıştır. Çalışma kapsamında kıyaslamak amacıyla 10 mm'lik agregadan üretilen normal beton (NC) kolon-kiriş birleşimi teste tabii tutulmuştur. Test edilen numunelerin performansı, histerezis davranışı, süneklik, enerji yutma kapasitesi ve çatlama davranışına göre değerlendirilmiştir. Deney sonucunda NC ile kıyaslandığında PVA veya PP elyafı ECC'nin, ters çevrimsel yükleme altında geliştirilmiş sünek davranışa sahip kolon-kiriş birleşimlerini geliştirmek için umut verici bir yapı malzemesi olabileceğini göstermiştir. Deney sonucunda PVA8 (8mm) ile PVA12 (12mm) kıyaslandığında kısa PVA liflerinin kullanıldığı ECC birleşimlerin döngüsel davranışı iyileştirmede daha güçlü bir etkiye sahip olduğu gözlemlenmiştir. SF13 kullanılarak elde edilen ECC'li kolon-kiriş birleşimlerinin ilk çatlak yükü, nihai yük, süneklik ve enerji dağıtma kapasitesi açısından en yüksek gelişmeler gözlemlenmiştir. Sonuçlar ayrıca, tüm ECC bileşimlerinin kırılma modelinin, NC birleşimine kıyasla daha iyi çatlama davranışına ve daha yüksek kesme dayanımına sahip olduğunu işaret etmektedir.

Ayatar ve ark. (2018), yürüttükleri çalışmada, çimento esaslı kompozit (ECC) prekast panellerin dolgu duvarlara yapıştırılmasıyla gerçekleştirilen yeni bir güçlendirme tekniği araştırmışlardır. Çıplak çerçeve, dolgulu çerçeve ve güçlendirilmiş çerçeve olarak adlandırılan üç betonarme çerçeve görünür dinamik test yöntemi kullanılarak test edilmiştir. Test numuneleri, üç katlı, üç bölmeli, yarı ölçekli çerçeveler olarak tasarlanmış ve orta bölmede içi boş kil tuğla dolgu duvarlar kullanılmıştır. Deney sonucunda dolgulu çerçeve ile güçlendirilmiş çerçevenin deprem etkileri altında benzer yer değiştirme taleplerinin yaşandığı gözlemlenmiştir. ECC panellerinin uygulanmasının çerçeve mukavemetini, sünekliğini ve sertliğini önemli ölçüde artırdığı gözlenmiştir. Ayrıca ECC panelleri kullanılan dolgu duvarlarda gözlenen çatlama hasarının diğer duvarlara kıyasla önlediği gözlemlenmiştir.

Ge ve ark. (2018) yaptıkları çalışmada, çelik çubuklarla güçlendirilmiş ECC-beton kompozit kirişlerin eğilme etkisinde çatlama, verim ve nihai momentlerin hesaplamaları için analitik teknikler ve basitleştirilmiş formüller geliştirmişlerdir. Aynı geometrik boyutlara ancak farklı çelik donatı mukavemetine ve ECC kalınlığına sahip 11 ECC beton kompozit kiriş deneye tabii tutulmuş ve elde edilen deney sonuçları ile formüller doğrulanmıştır. Önerilen formüller malzemelerin basitleştirilmiş yapı modellerine, gerinim uyumluluğuna, malzemelerin performans bağına ve iç kuvvetlerin ve momentin dengesine dayanmaktadır.

Sancak (2021) çalışmasında deney ortamında üretilen betonarme konsol kirişlerin muhtelif özellikleri değiştirilerek, değişen konsol kirişlerin yapısal hareketleri incelenmiştir. Deney elemanları betonarme hesap yardımıyla denge altı ve üstü olacak biçimde üretilmiştir. Beton yapıtaşlarından agreganın miktarı farklı oranlarda kullanılmış ve yerine demir talaşı ilave edilmiştir. Elemanların etriye kanca açıları da 90 ve 135 derecedir. Deney sonunda ulaşılan yük-deplasman eğrisinden alınan sonuçlara göre; yüksek kanca açılı kirişlerin dayanımlarında ve sünekliğinde daha iyi sonuçlar gözlenmiştir. Denge üstü donatılı kirişler denge altına göre daha az sünek olduğu gözlenmiştir. Agregaya yerine demir talaşı kullanılan elemanlardan en yüksek oranda kullanılan numunenin dayanımı yüksek, kırılması ise daha gevrek olmuştur.

Ekinci (2005) yaptığı çalışmada yapılardaki konsol kiriş üstüne oturan duvarlarda meydana gelen çatlakların nedenleri incelenmiş, sonucunda üstündeki duvarlar vasıtasıyla üst kattaki konsol kirişlerden iletilen yüklerin de sebebiyet verdiği gözlenmiştir. Deney sonucunda yaklaşık %25 oranında bir yük iletimi meydana geldiği görülmüştür. Konsollarda dayanım hesabıyla kalmayıp deformasyonların da hesaplanması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Yük iletimini engellemek amacıyla derz uygulamasının mantıklı olmadığı görülmüştür. Aderansın güçlü, çatlakları minimum düzeyde tutmak için donatıların nervürlü olması gerektiği anlaşılmıştır.

Ünal (2016) çalışmasında kiriş kesme dayanımına etkisi bakımından farklı mesnet tiplerini incelemiştir. Parametrelerden biri a/d oranı yani kiriş kesme açıklığının kiriş etkili derinliğine oranıdır. Diğer parametre ise enine donatı oranıdır. Buna bağlı olarak eğilme ve kesme davranışları gözlemlenmiştir. Çalışmasında 16 adet 1/1 ölçekli numuneler 4 noktalı eğilme düzeneği üzerinde kullanılmıştır. a/d oranları 1.0, 2.0, 3.0, olmak üzere üç farklı oranda; etriye aralığı etriyesiz, 7.5, 15, 30 cm olmak üzere dört farklı aralıkta; mesnet tipleri de ankastre ve basit mesnet olmak üzere iki farklı tipte incelenmiştir. Mesnet şartlarının farklılaşmasına bağlı olarak kiriş davranışı da büyük

oranda değişim göstermiştir. Ayrıca a/d oranı ve etriye oranının değişmesi de kesme kapasitesinde değişikliğe sebep olmuştur.

Dilbas (2014), çalışmasında geri kazanılmış agrega ve silis dumanı içeren on beş beton numune üretilmiş ve numunelere ait özelliklerle ABAQUS programı yardımıyla konsol kiriş modellemesi yapılmıştır. Bu sayede konsol kirişin mekanik davranışı incelenmiştir. Modellerin yük-yer değiştirme performansı incelendiğinde %5 silis dumanı katkısının konsol kirişin sünekliğini artırdığını ve performansında yükselmeler olduğu gözlenmiştir. Hatta %10 silis dumanı katkısının rijitliği artırıcı yönde etki ettiği görülmüştür.

Aydın ve Bayrak (2016), bu çalışmada farklı parametreler kullanarak betonarme kirişin burulma performansını incelemek istemişlerdir. Bu parametreler; beton sınıfı, beton tipi ve etriye aralıklarıdır. Sekizi kendiliğinden yerleşen betonla, on ikisi geleneksel betonla olmak üzere yirmi adet betonarme kiriş üretilmiştir. Nitekim kendiliğinden yerleşen betonla üretilen betonarme kirişin burulma momenti daha yüksek seviyelere ulaşmıştır. Ayrıca dönme açıları da normal betonla üretilen kiriş numunesine göre daha düşüktür.

Rajabi (2021), bu çalışmasında çimento esaslı tasarlanmış kompozitlerin (ECC) içeriğinde yer alan uçucu kül ve çimento yerine sentetik vollastonitin (SV) kullanarak deformasyon ve taşıma gücü kapasitesini araştırmak istemişlerdir. Kullanılan SV oranı %6 olarak belirlenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda SV nin taşıma gücü ve deformasyon kapasitesini kayda değer biçimde artırdığı, ECC 'nin iyileşme performansında artış yaşandığı gözlenmiştir. Ek olarak normal ECC'ye göre %20 daha az oranda lifle tasarlanan ECC'nin de içeriğindeki SV'nin lif gibi davranması sonucu yakın iyileşme performansı sergilediği görülmüştür.

Küçükarslan (2019), çalışmasında %1.75, %1.50, %1.25 gibi farklı polivinil alkol lif (PVA) oranları ile üretilmiş tasarlanmış çimento esaslı kompozitler ile standart %2 oranında PVA kullanılarak üretilen numuneler karşılaştırılmıştır. Parametreler; eğilme ve basınç dayanımı, kurutma rötresi testidir. Deneylerden elde edilen bulgulara göre, lif oranının azaltılması sonucu basınç dayanımında artış, eğilme dayanımında düşüş gözlenmiş olup kurutma rötresi test sonucunda ise fazla bir değişim gözlenmemiştir. Rötre testinden elde edilen sonuca göre çatlağın sayısında azalma görülmüş fakat genişliğinde artış meydana gelmiştir.

Gürbüz (2018) sunduğu çalışmada içeriğinde mikro kapsüllü faz değişim malzemeleri (MikroPCM) olan çimento esaslı kompozit (ECC) üretmiş ve bu

numunelerin mekanik ve ısı davranışlarını incelemek istemiştir. Ayrıca dinamik yük uygulayarak hasar analizi gerçekleştirmiştir. Sonuçlara bakıldığında zaman PCM içerikli ECC'nin oluşan ilk çatlaktan sonra çoklu çatlak gibi davranıp metal davranış gerçekleştirdiği gözlenmiştir. Binalarda yalıtıma katkısı olacağı yönünde yanlış öngörü ispat edilmiş bunun yerine binanın ısıl kütesini yükseltip ısı tutma kabiliyetini artırdığı görülmüştür. Kullanılan hibrit liflerin sargı görevi görüp sünekliği olumlu yönde etkilediği, MikroPCM'den dolayı oluşacak basınç dayanım kaybını tolere edebileceği anlaşılmıştır.

Kayacık (2022) yaptığı deneysel çalışmada SIFCON beton ile üretilmiş birbirinden farklı panellerin kısa kolon davranışına etkisini gözlemlemek istemiştir. Toplamda 14 adet betonarme çerçeve üretilirken bunlarda 5 tanesi referans olarak güçlendirme işlemine maruz kalmadan üretilirken 9 tanesi SIFCON panel ile güçlendirilerek üretilmiştir. Betonarme çerçeveler üzerinde denenen SIFCON paneller kısa kolon davranışına etkisi yönünden hasarı azaltması bakımından faydalı sonuçlar vermiştir. Panel yardımıyla kısa kolon bölgesinde oluşan kesme hasarlarının önüne geçilmiştir. Panel ile güçlendirilen beton çerçevelerin rijitliği belli oranda artmıştır. Binalarda mimarı açıdan herhangi bir görüntü kirliliğine sebebiyet vermemesi de SIFCON panelle güçlendirmenin olumlu yönleri arasında gösterilmiştir.

Uğur ve Ünal (2022) çalışmalarında, kendiliğinden yerleşen beton (KYB) ile üretilen betonarme kirişlere polipropilen esaslı yapısal makro sentetik lif (PPF) takviye ederek kirişlerin eğilme etkisindeki davranışları incelenmiştir. Üretilen numunelerde lifli olmayan-düşük-orta-yüksek PPF oranları ve etriye oranları değişken parametreler olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada, kesme açıklığı/etkin derinlik oranı (a/d) kesme ve eğilme açısından 2.5 sınır değer olarak alınmış ve bu kritik değerdeki betonarme kirişlerin davranışı incelenmiştir. Deneysel çalışmada 16 adet büyük ölçekli numune monotonik yükler altında 4 noktalı eğilme yüküne tabii tutulmuştur. Test edilen numunelerin yük-deplasman, rijitlik ve enerji tüketim grafikleri çizilmiş, süneklik değerleri belirlenmiş, çatlak dağılımları incelenmiş ve göçme modları belirlenmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlar bir sonlu elemanlar programından elde edilen analiz sonuçları ile kıyaslanmıştır.

Ünal ve ark. (2021) çalışmalarında etriye oranı ve polipropilen (PP) lif oranının değişiminin betonarme kirişlerin davranışına etkisi araştırılmıştır. PP lif oranları olarak etriyesiz, etriye aralığı olarak kiriş derinliğinin %20, %40 ve %80'ine kadar aralık ve betonarme kiriş ağırlığının %0,125 ve %0,500'ünden oluşan bu çalışmanın değişkenleri

kullanılmıştır. Deneysel çalışma kapsamında 1/2 ölçekli 12 betonarme kiriş 4 nokta eğilme mekanizması ile test edilmiştir. Elde edilen veriler ışığında yük-yer değiştirme, rijitlik ve enerji absorpsiyon grafikleri çizildi. Sonuçlar karşılaştırmalı olarak yorumlanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, PP lif katkısının betonarme kirişlerin davranışını önemli ölçüde değiştirdiği ve etriye oranının artmasıyla orantılı olarak lif etkisinin azaldığı görülmüştür. PP liflerinin artmasıyla çatlakların kiriş yüzeylerine daha fazla yayıldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca özellikle etriyesiz kirişlerde lif oranının artması eğilme kapasitesini artırmaktadır.

Masri (2022) çalışmasında depreme karşı dayanıklı yapıların üretiminde veya güçlendirme çalışmaları sırasında geleneksel betondan farklı olarak lif donatılı beton kullanmanın hem ekonomik hem güvenlik açısından daha faydalı olduğunu savunmuştur. Bir diğer avantajı da yüksek süneklığe sahip olmasıdır. Üretilmiş olan betonda yaklaşık %2 oranında PVA lif kullanılmıştır. Laboratuvar ortamında 9 adet konsol kiriş numunesi üretilmiştir. Bunlardan üçü geleneksel beton ile üretilmiş ve içerisinde donatı bulunan numunelerdir. Diğer üçü lif donatılı beton ile üretilmiş fakat donatı bulunmayan numunelerdir. Son üçü ise lif donatılı beton ile üretilmiş olup içerisinde donatı bulunan numunelerdir. Sırasıyla a/d oranı 1, 2 ve 3 olarak alınmıştır ve kiriş uzunluğu da a/d oranına bağlı olarak değişim göstermektedir. Bu deneysel çalışma tersinir tekrarlanır yükler altında yapılmıştır. Lif donatılı beton ile üretilmiş içeriğinde donatı bulunan ve a/d oranı 1 olan deneye numunesinin en yüksek yük taşıma kapasitesine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Numunelerde a/d oranının azalması eğilme hareketini azaltmış ve buna bağlı olarak başlangıç rijitliğinin arttığı görülmüştür.

Öztürk (2019) çalışmasında nano malzemeler kullanarak geliştirdiği çimento esaslı kompozit malzemeye kendiliğinden iyileşme ve kendiliğinden algılama becerisi yüklemiştir. Akıllı kompozitlerin geliştirilmesinde kullanılan nano malzemeler karışımlara ekonomik ve dengeli bir şekilde ilave edilmiştir. Kıyaslama yapılması maksadıyla nano malzemeler içermeyen karışımlar da hazırlanmıştır. Nano malzemelerle tasarlanmış malzemelerin mekanik özellikleri, çatlak örtme özellikleri analiz edilmiştir. Sonuçlar karbon nanotüp kullanımının ECC karışımlarının kendiliğinden algılama ve çatlakları kapama bakımından yeterli seviyede görülse de nano silika ile birlikte kullanıldığından çatlak kapama durumunda çok daha ileri seviyede performans ortaya çıkmıştır. Kendiliğinden algılama ve kendiliğinden iyileşme performansına bakıldığında sadece nano silika kullanılması yeterli seviyede

görülmemişken nano silika ve karbon nanotüplerin birlikte kullanıldığı durumlardaki karşının piezo-dirençli davranışının olumlu sonuçlandığı görülmüştür.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu deneysel çalışmada betonarme konsol kirişlerin LDB panel ile güçlendirilip depremi benzeştiren tersinir-tekrarlanır yatay yükler altında davranışlarının test edilmesi amaçlanmıştır.

3.1. Deney Numuneleri

Çalışmada hazırlanan numuneler yönetmelik şartları göz önünde bulundurularak hazırlanmıştır (TBDY 2018).

3.1.1. Deney numunelerinin boyut özellikleri

Bu çalışmada biri referans olmak üzere toplamda 9 adet ½ ölçekli konsol kiriş tersinir-tekrarlanır yatay yükler altında test edilmiştir. Tüm deney elemanlarında geometrik boyutlar ve donatı detayları aynıdır. Kirişlerin boyutları 125 x 250 mm ve kolon boyutları ise 250 x 250 mm olarak üretilmiştir. Kolon ve kiriş boyları 1000 mm alınmıştır. Deneyde kullanılan kolon ve kiriş elemanlarının detayları Şekil 3.1 'de gösterilmiştir.

$$L_{top}(\text{kolon}) = 1000 \text{ mm}$$

$$L_{top}(\text{kiriş}) = 1000 \text{ mm}$$

$$a = 880 \text{ mm}$$

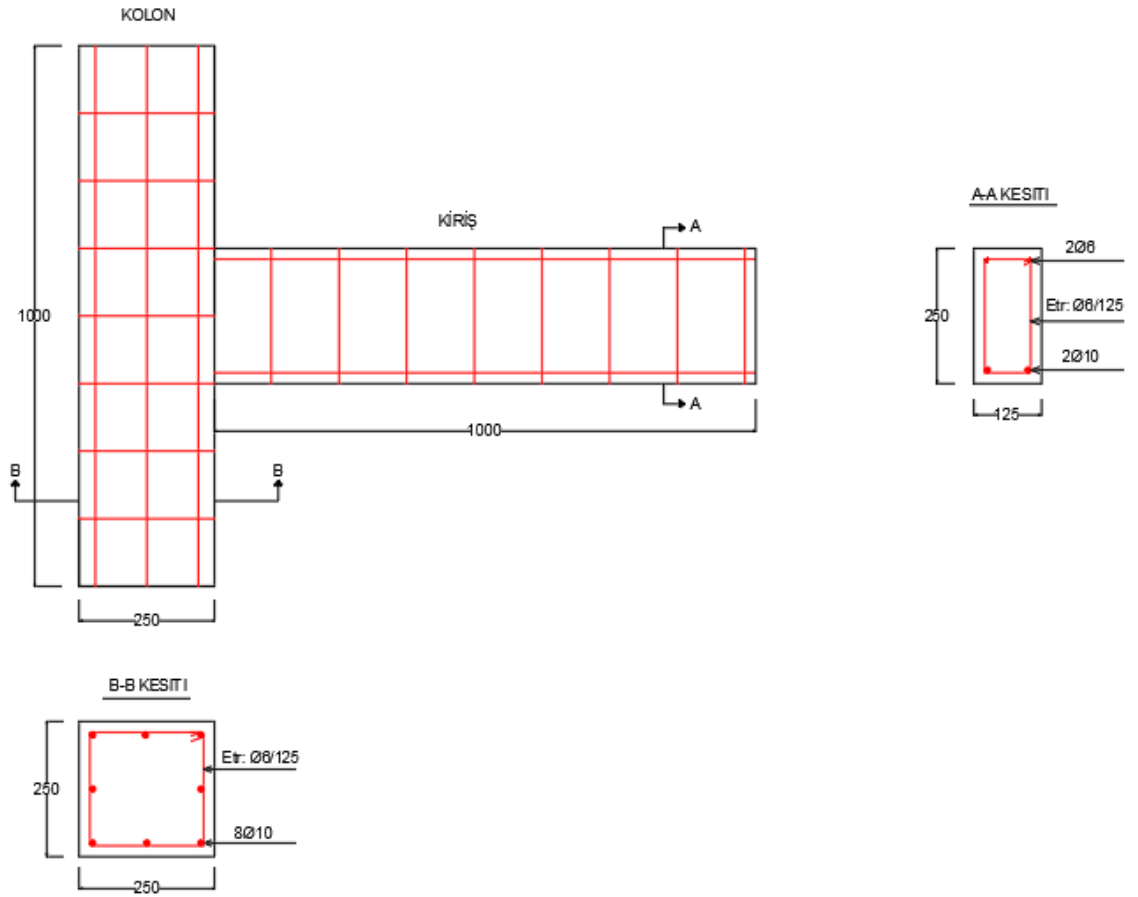
$$d = 250 \text{ mm}$$

$$b_w = 125 \text{ mm}$$

$$h = 250 \text{ mm}$$

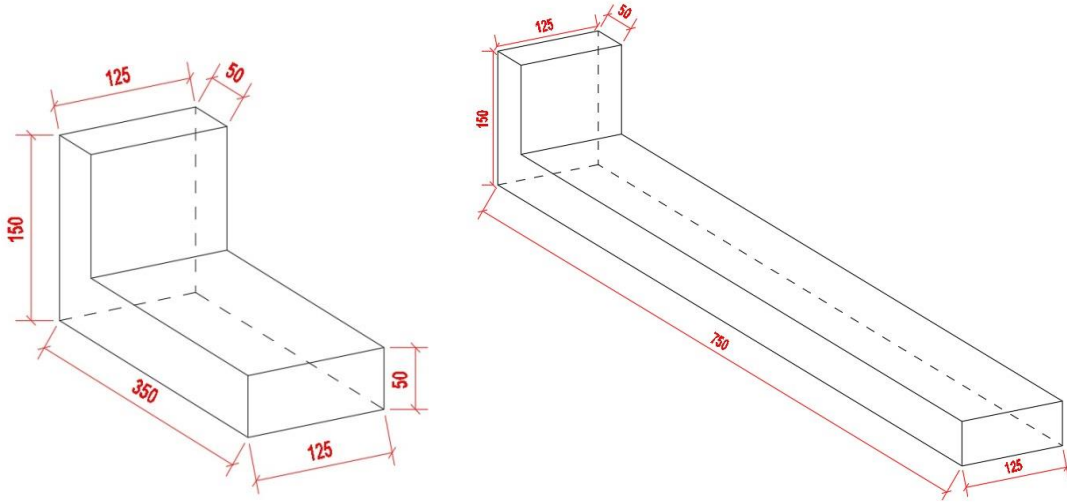
$$d' = 20 \text{ mm}$$

$$a/d = 3$$



Şekil 3.1. Kolon ve kiriş eleman detayları (ölçüler mm cinsindedir)

Deneylerde kiriş mesnet bölgesine ve kiriş açıklığı boyunca, iki farklı karışıma sahip LDB (LDB1 ve LDB2) ile üretilen paneller kullanılmıştır. Deneyde mesnet bölgelerine yerleştirilen birinci kısa panelin (Panel 1) ve kiriş açıklığı boyunca uygulanan ikinci uzun panelin (Panel 2) boyutları mm cinsinden Şekil 3.2.'de gösterilmiş olup Çizelge 3.1. ile desteklenmiştir.



Şekil 3.2. Kiriş mesnet ve açıklık bölgelerinde kullanılacak panel boyutları(ölçüler mm cinsindedir)

3.1.2. Deney numunelerinin donatı özellikleri

Yapılan çalışmada 1 adet referans deney elemanının kirişlerinde boyuna donatı $2\phi 10$, montaj donatısı $2\phi 6$, enine donatı $\phi 6/125$ ve geleneksel beton kullanılmıştır. Deney elemanlarının kolonlarında ise $8\phi 10$ boyuna donatı ve $\phi 8/125$ enine donatı kullanılmıştır. Çalışmada 8 deney elemanının kirişleri ise boyuna donatı $2\phi 10$, montaj donatısı $2\phi 6$, enine donatı $\phi 6/125$, lif donatılı harçlar kullanılarak üretilmiştir. Deney elemanlarının kolonlarında ise $8\phi 10$ boyuna donatı ve $\phi 8/125$ enine donatı kullanılmıştır. Toplam 9 adet deney elemanı deprem yükleri simule edilerek tersinir-tekrarlanır yükler altında test edilmiştir.

Kolonlarda ve kirişlerde kullanılacak olan boyuna donatı $\phi 10$ ve enine donatı ise $\phi 6$ dır. TS 500(2000) ve TBDY 2018’de minimum boyuna donatı çapı kirişlerde $\phi 12$, kolonlarda $\phi 14$ ve enine donatı $\phi 8$ olarak belirlenmiştir. Ancak bu deneysel çalışmada deney elemanları $\frac{1}{2}$ ölçekli olduğundan dolayı seçilen enine donatı yönetmelik şartlarına uygundur. Donatı detaylandırılmasında kolon ve kiriş etriyelerinin kancaları TBDY 2018 şartlarına göre (135°) bükülmüştür.

Çizelge 3.1’de deney elemanlarının isimlendirmeleri ve deney elemanlarına ait özellikler verilmiştir.

Çizelge 3.1. Panel 1 ve Panel 2 konumlarına göre kiriş tasarımı

Numune adı	Kiriş							Kolon							Güçlendirme Malzemesi	Panel1	Panel 2
	b _w mm	h mm	d mm	L mm	Boyuna donatı	Montaj donatısı	Enine donatı	b _w mm	h mm	d mm	L mm	Boyuna donatı	Montaj donatısı	Enine donatı			
RB	125	250	250	1000	2φ10	2φ6	φ6/125	250	250	250	1000	2φ10	2φ6	φ8/125	-	-	-
RB-LDB1-SE	125	250	250	1000	2φ10	2φ6	φ6/125	250	250	250	1000	2φ10	2φ6	φ8/125	LDB1	doğu	-
RB-LDB1-SEW	125	250	250	1000	2φ10	2φ6	φ6/125	250	250	250	1000	2φ10	2φ6	φ8/125	LDB1	doğu-batı	-
RB-LDB1-LE	125	250	250	1000	2φ10	2φ6	φ6/125	250	250	250	1000	2φ10	2φ6	φ8/125	LDB1	-	doğu
RB-LDB1-LEW	125	250	250	1000	2φ10	2φ6	φ6/125	250	250	250	1000	2φ10	2φ6	φ8/125	LDB1	-	doğu-batı
RB-LDB2-SE	125	250	250	1000	2φ10	2φ6	φ6/125	250	250	250	1000	2φ10	2φ6	φ8/125	LDB2	doğu	-
RB-LDB2-SEW	125	250	250	1000	2φ10	2φ6	φ6/125	250	250	250	1000	2φ10	2φ6	φ8/125	LDB2	doğu-batı	-
RB-LDB2-LE	125	250	250	1000	2φ10	2φ6	φ6/125	250	250	250	1000	2φ10	2φ6	φ8/125	LDB2	-	doğu
RB-LDB2-LEW	125	250	250	1000	2φ10	2φ6	φ6/125	250	250	250	1000	2φ10	2φ6	φ8/125	LDB2	-	doğu-batı

LDB: Lif Donatılı Beton

RB: LDB kullanılmayan, güçlendirme yapılmayan referans numune

RB-LDB1-SE: LDB1 kullanılan, doğusuna kısa panel yerleştirilen numune

RB-LDB1-SEW: LDB1 kullanılan, iki tarafına kısa panel yerleştirilen numune

RB- LDB1-LE: LDB1 kullanılan, doğusuna uzun panel yerleştirilen numune

RB- LDB1-LEW: LDB1 kullanılan, iki tarafına uzun panel yerleştirilen numune

RB-LDB2-SE: LDB2 kullanılan, doğusuna kısa panel yerleştirilen numune

RB- LDB2-SEW: LDB2 kullanılan, iki tarafına kısa panel yerleştirilen numune

RB- LDB2-LE: LDB2 kullanılan, doğusuna uzun panel yerleştirilen numune

RB- LDB2-LEW: LDB2 kullanılan, iki tarafına uzun panel yerleştirilen numune

3.2. Deney Numunelerinin Malzeme Özellikleri

3.2.1. Beton özellikleri

Geleneksel Beton

İnsanlık tarihi boyunca yapıların ve yapı malzemelerinin temelini beton oluşturmuştur. Beton bağlayıcı malzeme (çimento gibi), su ve agreganın belirli oranlarda karıştırılmasıyla üretilmektedir. Betonun oluşturan elementlerin yaygın bir şekilde bulunabilip rahat elde edilmesi, özel uygulama gerektiren hallerde içeriğinde rahatlıkla işlem yapılabilmesi diğer yapı malzemelerine kıyasla daha tercih edilmesini sağlamıştır. (Demirhan, 2017) Geleneksel beton günümüzde dahi sıklıkla kullanılması karşın bazı iyileştirilmesi gereken noktaları da bulunmaktadır. Çekme dayanımının istenilen seviyenin altında kalması, sünekliliğin sınırlı olması, çatlak oluşmasının ardından gelişimini sınırla direncinin yokluğu örnek olarak verilebilir. (Şahmaran ve diğerleri, 2012)

Bu deneysel çalışmada özdeş 9 adet numune geleneksel beton kullanılarak üretilmiştir. Daha sonra bu numunelerden 8 tanesi güçlendirilerek test edilmiştir. Tüm numunelerde yükleme yapılırken a/d oranı 3 alınmıştır.

Deneysel çalışmada kullanılan geleneksel betonun basınç dayanımını tespit etmek için 150x150x150 mm boyutlarındaki küp kalıplara, beton döküm sırasında, deney numunelerinden örnek alınıp Konya Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Malzeme Laboratuvarında kürlenmiştir. Geleneksel beton için 3 adet numune alınmıştır. Alınan numuneler 28 gün kür uygulanması için suda bekletilmiştir. 28 gün sonra sudan çıkartılıp beton basınç dayanımının belirlenmesi için numuneler beton pres makinesinde test edilmiştir. Çizelge 3.2’de beton basınç dayanımı sonuçları verilmiştir. Her numune için küp dayanımının 0.85’i alınarak silindir dayanımları bulunmuştur. Yapılan testlere göre ortalama beton basınç dayanımı 36.44 MPa ve silindir dayanımı 30.97 MPa’dır ve üretilen beton C30/35 beton sınıfındadır.

Çizelge 3.2. Beton basınç dayanımı 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	36.44	30.71	30.97
2	815.3	225	36.24		30.80	
3	831.7	225	36.96		31.41	

Lif Donatılı Beton

Betonun temel bileşenlerini agrega, su ve çimento oluşturmaktadır. Bu malzemelerden elde edilen betonda birtakım sorunlar olması muhtemeldir. Lifler bahsi geçen olumsuzlukları önleyici etmen olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu maksatla lif donatılı beton üretebilmek için betona cam, çelik, karbon gibi lifler ilave edilmiştir (Salami, 2009). Günümüzde artık sıkça kullanılmaya başlayan lifler betonun eğilme dayanımı, çekme dayanımı ve enerji yutma kapasitesinde ciddi artışlar ortaya çıkmıştır (Ateş, 2008). Donatı yerleştirilmesinin nispeten zor olduğu bölgelerde bu beton tipi tercih edilebilmektedir (Salami, 2009). Lifli betonlar normal betondan farklı olarak maksimum yükten sonra çeşitli davranışlar sergilemektedir. Geleneksel olarak betonda çekme gerilmesinin önüne geçmek büyük bir problemdir. Bu sebeple zaman içerisinde fazlaca mikro çatlak oluştuğu gözlenir. Beton içerisine katılan lifler, çekme dayanımında artış sağladığı için çatlak oluşumunun da önüne geçtiği görülmüştür. Lifler sayesinde gerilmelerin önüne geçilmiş, bu gerilmeler çatlak oluşmamış bölgelere yönlendirilerek yayılmanın durdurulması sağlanmaktadır (Ateş, 2008).

Literatürde yapılan çalışmalara göre yüksek performanslı çimento bağlayıcılı malzemelerin beton içerisinde kullanılması beton davranışını oldukça iyileştirmektedir. LDB tasarlanırken reçetesinde portland çimento (PÇ), uçucu küller (UK-F), su, kum, polivinil alkol lif (PVA) ve beton katkısı (SP) bulunmaktadır. Geleneksel LDB karışım tasarımı aşağıdaki Çizelge 3.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 3.3. Lif donatılı beton karışım oranları

	PÇ	UK-F	Su	Kum	PVA	SP
Düşük UK-LDB1(kg/m ³)	19.55	17.77	13	19.36	0.8	0.97
LDB2 (kg/m ³)	18.24	21.76	14	14.72	0.8	0.97

Özel beton dayanımını belirlemek için 150x150x150 mm boyutlarındaki küp kalıplara, beton döküm esnasında, deney numunelerinden örnek alınıp Konya Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Malzeme Laboratuvarında kürlenmiştir. Lif donatılı harçlar için 6 adet numune alınmıştır. Numunelerin 3 tanesi LDB1 ile üretilen, 3 tanesi LDB2(M45) ile üretilen betonun dayanımını ölçmek için kullanıldı. Alınan numuneler 28 gün kür uygulanması için suda bekletilmiştir. 28 gün sonra sudan çıkartılıp beton basınç dayanımının belirlenmesi için numuneler beton pres makinesinde test edilmiştir. Çizelge 3.4'te LDB1 basınç dayanımı sonuçları verilmiştir. Çizelge 3.5'te LDB2 basınç dayanım sonuçları verilmiştir. Yapılan testlere göre ortalama LDB1 basınç dayanımı 68.9 MPa olarak belirlenmiştir. LDB2 basınç dayanımı ise 73.7 MPa olarak belirlenmiştir.

Çizelge 3.4. LDB1 özel beton dayanım sonuçları

Numune no	LDB1 dayanımı(MPa)	Ortalama LDB1 dayanımı(MPa)
1	65.9	68.9
2	69.0	
3	71.6	

Çizelge 3.5. LDB2 özel beton dayanım sonuçları

Numune no	LDB2 dayanımı(MPa)	Ortalama LDB2 dayanımı(MPa)
1	70.5	73.7
2	74.4	
3	76.2	

LDB beton üzerinde 4 noktalı eğilme deneyi yapmak üzere 2 adet numune üretilmiştir. Deneyin amacı, betonun eğilmeye karşı dayanımını tespit etmektir. Numune boyutları 360x70x50 mm olarak ayarlanmıştır. Mesnetler arası mesafe 310 mm'dir. Yükleme noktaları arasındaki mesafe 103 mm'dir. Numunenin eğilme deneyindeki görüntüsü Şekil 3.3'te verilmiştir.

Yapılan testlere göre LDB1 güçlendirme numunesinin ortalama eğilme dayanımı 11.69 MPa'dır (Denklemler 3.1).

Yapılan testlere göre LDB2 güçlendirme numunesinin ortalama eğilme dayanımı 10.10 MPa'dır (Denklemler 3.1).

$$\sigma_e = F \cdot L / b \cdot d^2 \quad (3.1)$$

σ_e : Numunenin eğilme dayanımı (MPa)

F : Kırılmaya neden olan yük (N)

L : Deney numunesinin mesnetler arasındaki mesafe (mm)

b : Deneý numunesinin geniřliđi (mm)

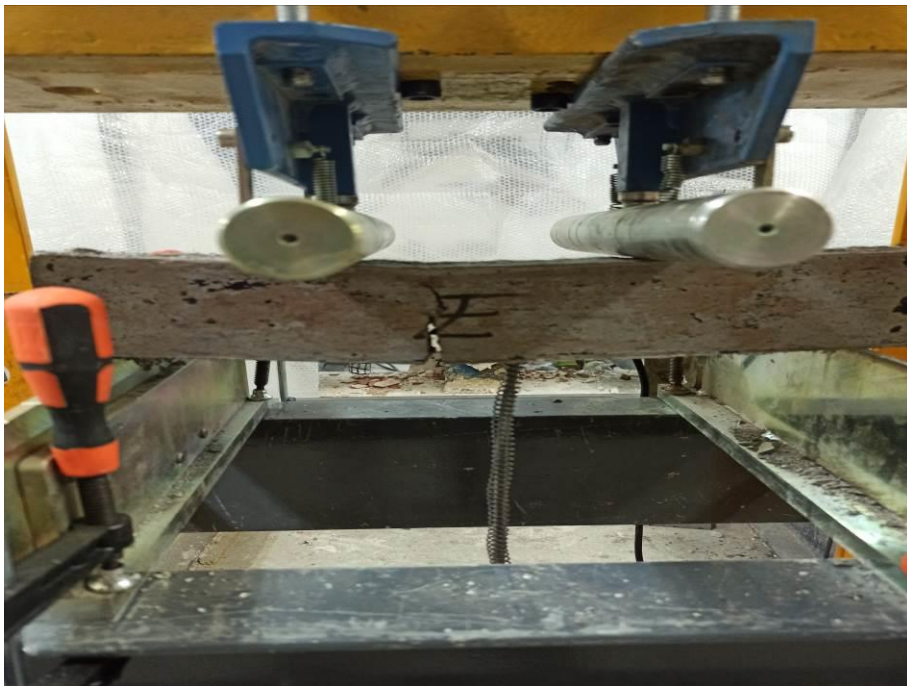
d : Deneý numunesinin kalınlıđı (mm)

$$\sigma_e = 7988 \times 310 / (50 \times 70^2) = 10.10 \text{ MPa}$$

$$\sigma_e = 9238 \times 310 / (50 \times 70^2) = 11.69 \text{ MPa}$$



(a)



(b)



(c)

Şekil 3.3. Numunelerin eğilme deneyi anındaki görüntüleri

Donatı

Bu deneysel çalışma elemanlarında nervürlü $\phi 6$ ve $\phi 10$ donatı kullanılmıştır. Nervürlü $\phi 6$ montaj donatısı ve enine donatı olarak kullanılmıştır. $\phi 10$ ise boyuna donatı olarak kullanılmıştır. Her bir donatı çapından üçer adet numune alınmış ve mekanik özellikleri bulunmuştur. Nervürlü $\phi 6$ için ortalama akma kuvveti 9616.67 N, ortalama akma dayanımı 340.286 MPa, ortalama çekme kuvveti 13780 N, ortalama çekme dayanımı 487.61 MPa, ortalama kopma kuvveti 13083.33 N, ortalama kopma mukavemeti 462.957 MPa ve ortalama elastisite modülü 207676.67 MPa olarak bulunmuştur. Nervürlü $\phi 10$ için ortalama akma kuvveti 28496.67 N, ortalama akma dayanımı 363.01 MPa, ortalama çekme kuvveti 37763.33 N, ortalama çekme dayanımı 481.06 MPa, ortalama kopma kuvveti 34323.33 N, ortalama kopma mukavemeti 437.24 MPa ve ortalama elastisite modülü 217716.67 MPa olarak bulunmuştur. Donatıların mekanik özellikleri Çizelge 3.6'da verilmiştir.

Çizelge 3.6. Donatıların mekanik özellikleri

Mekanik Özellik	Ø6			Ø10		
	1. Numune	2. Numune	3. Numune	1. Numune	2. Numune	3. Numune
Akma kuvveti (N)	9350	9830	9670	27530	28640	29320
Akma Dayanımı- R_e (MPa)	330.85	347.84	342.17	350.70	364.84	373.50
Çekme Kuvveti (N)	15740	11740	13860	35340	38630	39320
Çekme Dayanımı- R_m (MPa)	556.97	415.42	490.44	450.19	492.10	500.89
Kopma Kuvveti (N)	15360	11250	12640	33620	34330	35020
Kopma Mukavemeti (MPa)	543.52	398.08	447.27	428.28	437.32	446.11
Elastisite Modülü (MPa)	200410	212410	210210	218240	216650	218260

PVA

PVA lifler organik liflerdir ve çekme dayanımı oldukça yüksek düzeydedir. İçeriğindeki elastisite modülünün yüksek olması sayesinde eğilme dayanımı açısından yüksek verim alınmasını sağlamaktadır (Küçükarslan, 2019). Bu deneysel çalışmada yaklaşık %2 oranında Polivinilalkol (PVA) lif donatılı beton içeriğinde tercih edilmiştir. Ham halde bulunan lifleri birbirinden ayırmak için bir hava kompresörü kullanılmış ve lifler ayrılmış bir şekilde beton karışımına eklenmiştir.

3.3. Deneysel Düzenek ve Ölçme Tekniği

Deneysel çalışma kapsamında üretilen toplam 9 adet deney numunesi tersinir-tekrarlanır yatay yükler altında Konya Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Deprem Araştırma Laboratuvarında test edilmiştir.

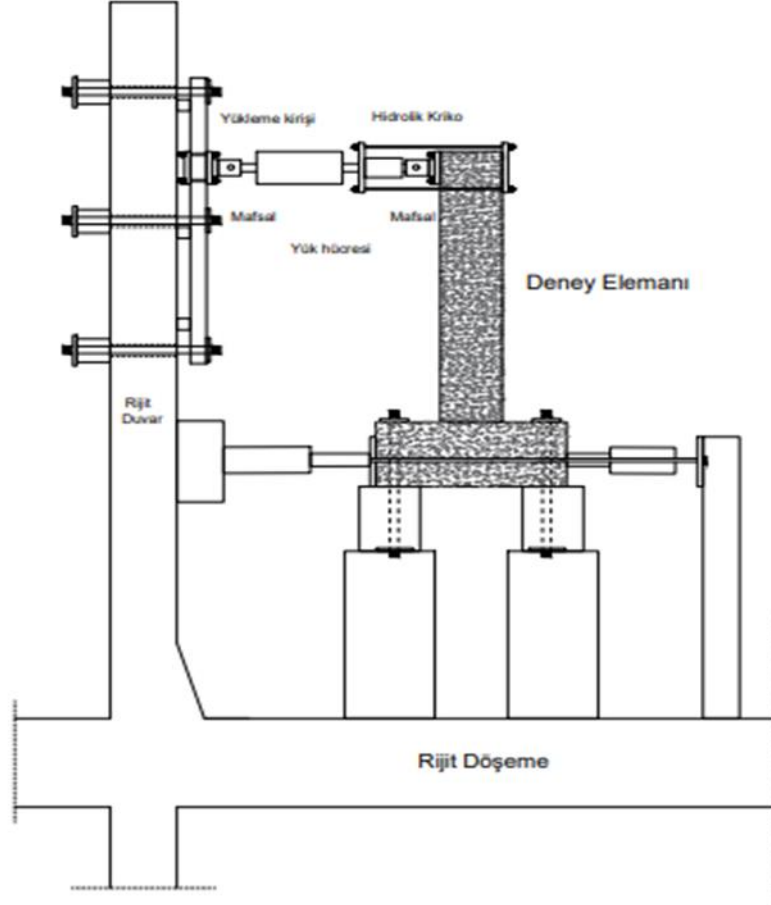
3.3.1. Deneysel Düzenek

Deneysel elemanlarının kolonları, laboratuvarında bulunan delikler sayesinde zemine sabitlenen iki adet payandaya uç noktalarından sabitlenmiştir. Kolon-kiriş birleşim bölgesi incelendiğinden numunelerin kolon bölgeleri temele sabitlenmemiş, birleşim bölgesinin serbestçe hareket etmesi sağlanmıştır. Numunelerin kolon uçları alttan ve üstten sabitlenerek numunelerin bu bölgelerde hareketi engellenmiştir. Deneysel elemanlarında yükleme giriş uçlarına verilen yük ile yapılmıştır. Numuneler 500 kN

basınç ve 500 kN çekme kapasiteli bir hidrolik silindir vasıtasıyla yüklenmiştir. Hidrolik silindirin ucunda ise yine basınç ve çekmede 500 kN kapasiteli bir yük hücresi konulmuş, yük hücresinden negatif (-) ve pozitif (+) yük değerleri bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Yatay yükleme manuel kontrollü hidrolik bir pompa yardımıyla yapılmıştır. Yük hücresinin ucuna ise mafsalı bir plaka yerleştirilmiş olup, bu sayede ileri ve geri çevrimlerde yatay yükün sağlıklı bir şekilde verilmesi sağlanmıştır. Bu plaka hizasında kirişin diğer yüzeyine bir plaka daha yerleştirilmiş ve bu iki plaka kiriş ucunu sıkıştırmıştır. Böylece ileri ve geri çevrimlerde numunelere yük aktarımı sağlanmıştır. Deneysel çalışma sırasında yükleme hızı 0.50 mm/sn olarak uygulanmıştır (Şekil 3.4 ve Şekil 3.5).

Deneylerde kolonlara eksenel yük verilebilmesi amacıyla bir eksenel yük düzeneği de oluşturulmuştur. Kolonların bir ucu düşey yükleme duvarına, bir ucu ise laboratuvar döşemesine sabitlenen bir payandaya yerleştirilen hidrolik silindire bağlanmıştır. Hidrolik silindir ile numunelere eksenel yük verilmiş olup, eksenel yük ölçümü için de bir adet yük hücresi kolon ve hidrolik silindir arasına yerleştirilmiştir. Deney elemanlarına TS500'de ve TBDY 2018'de belirtilen kolonlarda minimum olması gereken eksenel yük miktarı kadar eksenel yük verilmiştir (Denklem 3.2.). Bu denkleme bağlı olarak 187.50 kN sabit eksenel yük deneyler süresince numunelere verilmiştir.

$$N_d \geq 0.1 A_c f_{ck} \quad (3.2)$$



Şekil 3.4. Yükleme düzeneği



Şekil 3.5. Deney düzeneği görüntüsü

3.3.2. Ölçme tekniği

Deney elemanlarında oluşan deformasyonların ölçülebilmesi için numunelerin çeşitli yerlerinden potansiyometrik cetveller ile deplasman ölçümü yapılmıştır. Kolon orta bölgesinin dış yüzeyinde, kiriş yüzeylerinin hizasına denk gelecek şekilde 300 mm kapasiteli iki adet potansiyometrik cetvel ve bu bölgenin tam ortasına denk gelecek şekilde 300 mm kapasiteli 1 adet potansiyometrik cetvel yerleştirilmiştir. Bu potansiyometrik cetveller kirişe uygulanan yükten dolayı kolon yüzeyinde oluşabilecek deformasyonları ölçmek amacıyla yerleştirilmiştir. Kirişin kolona saplanan yüzeylerinde oluşan eğrilikleri ölçmek amacıyla 100 mm kapasiteli iki adet potansiyometrik cetvel kiriş yüzeylerine yerleştirilmiştir. Kiriş ucundaki deformasyonun ölçülebilmesi için ise 1 adet 400 mm kapasiteli potansiyometrik cetvel kirişi yükleme noktasının hizasına yerleştirilmiştir.

Deneyler sırasında yük hücreleri ve potansiyometrik cetvellerden elde edilen veriler veri toplama sistemi aracılığıyla bilgisayar ortamına aktararak kaydedilmiştir. Deneylerde 125 milisaniye (ms) aralıklar ile deplasman ve yük ölçümleri kayıt altına alınmıştır.

3.3.3. Yükleme protokolü

Deneyisel çalışmada 9 adet konsol kiriş tersinir-tekrarlanır yükler altında test edilmiştir. Tüm deney elemanlarına aynı yükleme adımları uygulanmıştır. Yapılan yükleme adımları şu şekildedir;

- Numuneler 500 kN basınç ve 500 kN çekme kapasiteli bir hidrolik silindir vasıtasıyla yüklenmiştir. 500 kN kapasiteli yük hücresi kullanılmıştır.
- 187.50 kN sabit eksenel yük deneyler süresince numunelere verilmiştir.
- Her deney elemanı için ileri (+) ve geri (-) olarak 12 çevrim uygulanmıştır. Her çevrim iki kez tekrarlanmıştır.
- Deneyisel çalışma sırasında yükleme hızı 0.50 mm/sn olarak uygulanmıştır.
- Her numuneye göreli kat ötelemesine göre özdeş yükleme protokolü uygulanmıştır (Masri, 2022; Wee, 2017). Deney elemanlarına uygulanan yükleme protokolü Çizelge 3.7'de verilmiştir.

Çizelge 3.7. Yükleme protokolü

Çevrim No	Görelî kat ötelemesi (mm/mm)	Deplasman (mm)
a/d=3		
+1	0.005	3.45
-1	0.005	3.45
+1	0.005	3.45
-1	0.005	3.45
+2	0.010	6.90
-2	0.010	6.90
+2	0.010	6.90
-2	0.010	6.90
+3	0.015	10.35
-3	0.015	10.35
+3	0.015	10.35
-3	0.015	10.35
+4	0.020	13.80
-4	0.020	13.80
+4	0.020	13.80
-4	0.020	13.80
+5	0.025	17.25
-5	0.025	17.25
+5	0.025	17.25
-5	0.025	17.25
+6	0.030	20.70
-6	0.030	20.70
+6	0.030	20.70
-6	0.030	20.70
+7	0.035	24.15
-7	0.035	24.15
+7	0.035	24.15
-7	0.035	24.15
+8	0.040	27.60
-8	0.040	27.60
+8	0.040	27.60
-8	0.040	27.60
+9	0.045	31.05
-9	0.045	31.05
+9	0.045	31.05
-9	0.045	31.05
+10	0.050	34.50
-10	0.050	34.50
+10	0.050	34.50
-10	0.050	34.50
+11	0.055	37.95
-11	0.055	37.95
+11	0.055	37.95
-11	0.055	37.95
+12	0.060	41.40
-12	0.060	41.40
+12	0.060	41.40
-12	0.060	41.40

3.3.4. Deney grafiklerinin çizilmesi

Yük-deplasman grafiği:

Deney sırasında yük hücresi ve potansiyometrik cetvelden alınan veriler bilgisayar ortamına aktarılarak yük-deplasman grafiği elde edilmiştir. Deneyde toplam 5 adet potansiyometrik cetvel kullanılmıştır. Kirişin kolona saplanan yüzeylerinde oluşan eğrilikleri ölçmek amacıyla 100 mm kapasiteli iki adet potansiyometrik cetvel kiriş yüzeylerine yerleştirilmiştir. Kolon dış yüzeyine kolonda meydana gelen deformasyonları ölçebilmek amacıyla kiriş yüzeyi hizasından 300 mm kapasiteli iki adet potansiyometrik cetvel yerleştirilmiştir. Kiriş ucundaki deformasyonun ölçülebilmesi için ise 1 adet 400 mm kapasiteli potansiyometrik cetvel kiriş yüklem noktasının hizasına yerleştirilmiştir. Bilgisayara aktarılan veriler yardımı ile yük-deplasman grafikleri çizilmiştir. Grafiklerde düşey eksen yük değerlerini, yatay eksen ise deplasman değerlerini göstermektedir (Masri, 2022).

Rijitlik grafiği:

Rijitlik, yapının yüklemeler altında yer değiştirmeye karşı gösterdiği dirençtir. Her deney elemanı için ayrı ayrı rijitlik grafiği çizilmiştir. Rijitlik grafiği her bir yüklemdeki yük değerinin, o noktadaki deplasman değerine bölünmesi ile elde edilmektedir. Her deney elemanı, ileri ve geri çevrimler aynı grafik üzerinde gösterilmiştir. Tüm deney elemanları için yapılan yüklemelerin rijitlik değerleri hesaplanmıştır. Rijitlik grafiklerinde yatay eksen yer değiştirme değerleri düşey eksen ise rijitlik değerleri gösterilmiştir (Masri, 2022).

Enerji grafiği:

Deney elemanında yükleme sırasında her bir yükleme için yük-deplasman eğrisinin altında kalan alan hesaplanmış ve her yüklemenin enerji değerleri bulunmuştur. Her çevrimde elde edilen enerji değerleri toplanarak kümülatif tüketilen enerji grafiği oluşturulmuştur. Tüketilen enerji grafiklerinde yatay eksen deplasman değerleri düşey eksen ise kümülatif tüketilen enerji değerleri verilmiştir (Masri, 2022).

Süneklik değerlerinin belirlenmesi:

Süneklik, bir taşıyıcı sistemin deprem etkisi altında yük taşıma kapasitesi kaybetmeden büyük yer değiştirme yapabilme özelliğidir. Süneklik değerlerini hesaplamak için yük-deplasman eğrilerine ait akma ve göçme noktalarının bulunması gerekmektedir. Akma ve göçme noktalarına karşılık gelen deplasman değerleri bulunur. Deney elemanın süneklik değerleri, göçme deplasmanının akma deplasmanına oranı

olarak hesaplanır. Yük-deplasman eğrilerinde düşey ekseninde maksimum yük işaretlenir ve yatay eksen paralel bir doğru çizilir. Eğrinin maksimum noktası ile kesişir. Göçme noktası bulmak için düşey ekseninde maksimum yükün %80 alınarak yük deplasman eğrisinde yatay eksene paralel bir doğru çizilir kesişen nokta işaretlenir. Kesişen nokta göçme noktasıdır (Masri, 2022; Ali, 2022; Bahadır, 2012 ve Balık, 2012). Göçme noktasından düşey eksene paralel bir doğru çizilir yatay ekseninde kesişen nokta göçme noktasının deplasmanıdır. Akma noktası ise düşey ekseninde maksimum yükün %75'i bulunur ve yatay eksene paralel olacak şekilde bir doğru çizilir. Yük-deplasman eğrisinde kesişen nokta işaretlenir. Ondan sonra eğrinin başlangıç noktasından $0.75F_{max}$ noktasından geçecek şekilde bir çizgi çizilir. F_{max} 'ın doğrusu ile kesişir ve o nokta işaretlenir ve akma noktası o nokta olur. Akma noktasından düşey eksene paralel olacak şekilde bir doğru çizilir. Yatay ekseninde kesişen nokta, akma noktasının deplasmanıdır. Süneklik değeri, göçme noktasının deplasmanı akma noktasının deplasmanına oranıdır (Park, 1989).

3.4. Deney Numunelerinin Hazırlanması

3.4.1. Konsol kiriş kalıplarının üretimi

Yapılan bu çalışmada biri referans olmak üzere 9 adet konsol kiriş numunesi üretilecektir. Bu doğrultuda kiriş boyutları 125x250 mm, kolon boyutları 250x250 mm ve kolon-kiriş boyları 1000 mm olacak şekilde plywood fabrikasından malzemeler kesilerek hazırlanmış ve laboratuvara getirilmiştir. Hazırlanan kalıplardan beton sızmasını önlemek için sık aralıklar ile vidalama işlemi yapılmıştır. Betonun kalıplardan rahat bir şekilde sökülebilmesi için beton dökülmeden önce kalıplar yağlanmıştır. Böylelikle kalıplar donatıların yerleştirilmesi ve beton dökümü işlemleri için hazır hale getirilmiştir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Deney elemanları için hazırlanan kalıplar

3.4.2. Konsol kiriş donatılarının hazır hale getirilmesi

Yapılan bu deneysel çalışmada toplamda 9 adet üretilen numunelerde çapı 10 mm ($\Phi 10$) ve çapı 6 mm ($\Phi 6$) olan iki farklı çapta donatı kullanılmıştır. Donatıların nervürlü olması tercih edilmiştir. Çapı 10 mm olan donatılar kirişlerde boyuna donatı olarak kullanılmıştır, çapı 6 mm olan donatılar kirişlerde etriye imalatında kullanılmıştır. Dışarıda hazırlanan donatılardan önce kolon donatıları, sonra kiriş donatıları kalıplara yerleştirilmiştir. Şekil 3.7’de donatıların hazırlanması işlemi gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Üretilmiş kiriş donatıları

3.4.3. Donatıların kalıplara yerleştirilmesi

Yapılacak olan çalışmada konsol kiriş donatılarının uygun şekilde kalıplara yerleştirilmesi yapılmış ve beton dökümüne hazır hale getirilmiştir (Şekil 3.8 ve Şekil 3.9).



Şekil 3.8. Kalıba yerleştirilmiş donatı



Şekil 3.9. Beton dökümüne hazır konsol kiriş kalıpları

3.4.4. Konsol kirişlerin üretilmesi

Konsol kirişlerin üretimi için ön hazırlıkların tamamlanmasının ardından hazır beton dökümü için 1 m³ kadar beton sınıfı C30 beton, beton santralinden sipariş edilmiştir. Bu sırada kalıplar küp numunelerin kalıplardan kolay çıkması amacıyla yağlanmıştır. Üretilen betonların istenilen özellikleri taşıyıp taşımadığının belirlenmesi için çeşitli sayılarda silindir, küp ve ölçekli küçük numuneler alınmıştır. Üretimi yapılan tüm kirişlerde ve örnek olarak alınan tüm numunelerde deney yapılabilmesi için 28 gün beklenmiştir. Beton dökümü sırasında kalıpların açılmaması için çelik köşebentler ve suntalardan destek alınmıştır. Betonun kalıp içerisine tamamen yerleşebilmesi için vibratör kullanılmıştır. Beton döküldükten 1 hafta sonra numuneler kalıplardan çıkarılmıştır. Şekil 3.10'da deney numunelerinin kalıplardan çıkmış hali gösterilmiştir. Ardından üretilen deney numuneleri laboratuvarında bulunan vinç yardımıyla yerinden kaldırılarak deney düzeneğinin olduğu bölüme götürülüp yerleştirilmesi sağlanmıştır.



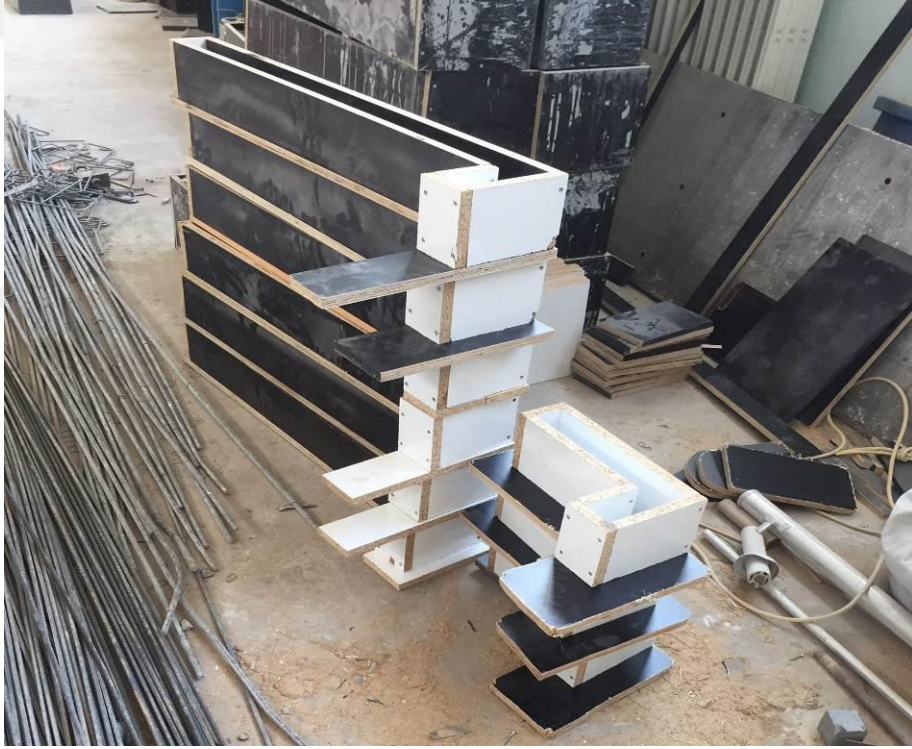
Şekil 3.10. Üretimi yapılmış konsol kiriş numuneler

3.4.5. Güçlendirme elemanlarının üretilmesi

Üretilen numunelerin güçlendirilmesi için gerekli olan kalıplar hazırlanmıştır (Şekil 3.11 ve Şekil 3.12).



Şekil 3.11 Güçlendirme elemanları için üretilen kalıplar



Şekil 3.12. Güçlendirme elemanları için üretilen kalıplar

3.4.6. Lif donatılı beton üretimi ve kalıplara yerleştirilmesi

Donatıların kalıplara yerleştirilmesinin ardından özel beton üretimine geçilmiştir. Laboratuvarında kullanılmakta olan betonyer yardımıyla beton karışımı hazırlanmıştır. Beton dökümü sırasında kalıpların açılmaması için çelik köşebentler ve suntalar kullanılmıştır. Lif donatılı beton harcı karışımı için ilk önce kuru karışım yapılmıştır. Kum + uçucu kül + portland çimento 5 dakika boyunca orta hızda mikser ile

karıştırılmıştır. Daha sonra 1 dakika boyunca su ilave edilmiş ve 2 dakika daha karıştırılmıştır. Daha sonra beton katkısı (sp) miktarının yarısı ilave edilmiştir. 2 dakika daha karıştırılmıştır. Ardından PVA lif sp'nin kalan yarısı ile birlikte taze karışıma ilave edilmiş ve 4 dakika daha karıştırılmıştır. Ardından bütün taze karışım 5 dakika süresince yüksek hızda karıştırılmıştır. Betonun kalıp içerisinde tamamen yerleşebilmesi için vibratör kullanılmıştır. Beton dökümünden 1 hafta sonra numuneler kalıplardan çıkarılmıştır. Üretim aşamaları Şekil 3.13'te gösterilmiştir.



(a)



(b)



(c)



(d)

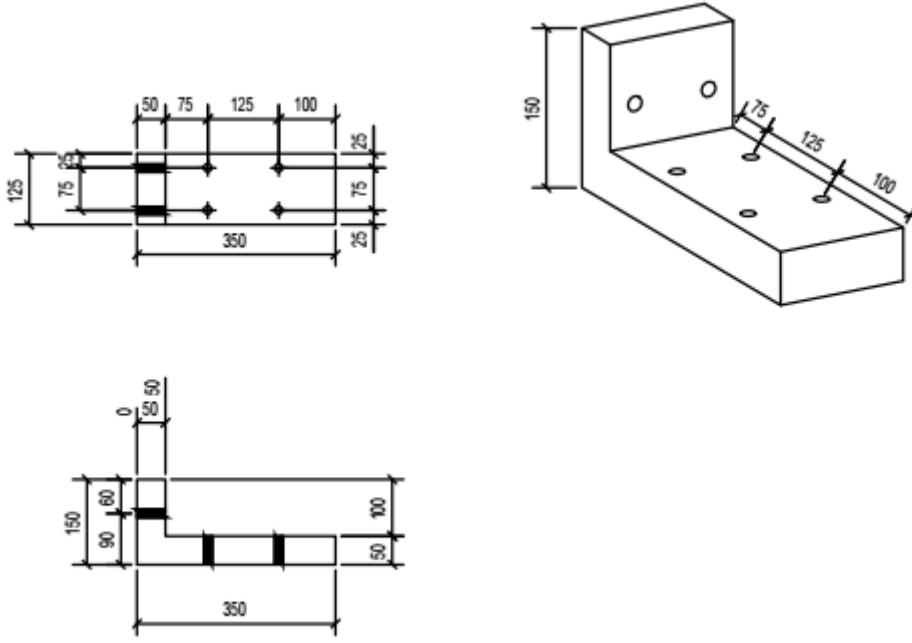


(e)

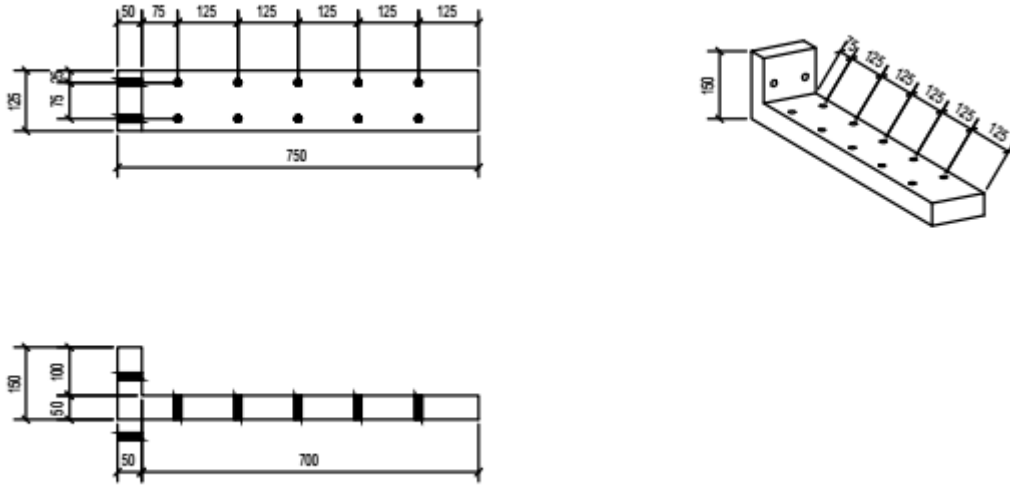
Şekil 3.13. Özel betonun üretilip kalıplara yerleştirilme aşamaları

Üretimi tamamlanan LDB paneller deney elemanlarının üzerine montajlanmıştır. Montajlama aşamasında daha önceden belirlenen montaj deliklerinin yerleri belirlenmiş ve daha sonra belirlenen bu delikler matkap yardımıyla delinmiştir. Deliklerin içerisi hava kompresörü yardımıyla iyice temizlendikten sonra içlerine yüksek mukavemetli epoksi harcı sıkılmıştır. Epoksi harcı ayrıca panel yüzeyi ile deney elemanlarının güçlendirme yapılacak yüzeylerine de 5 mm kalınlığında uygulanmıştır. Daha sonra güçlendirme panelleri daha önce belirlenen yerlerine yerleştirilmiş ve ardından numune ve güçlendirme elemanlarında bulunan deliklere yüksek mukavemetli vidalar yerleştirilmiştir.

LDB panellerin çerçevelere birleşimde 10 mm çaplı ankraj çubuğu (M10) kullanılmıştır. Bu çubuk 8.8 sertlik kalitesinde çelik, çekme mukavemeti 80 kg/mm^2 , akma gerilme sınırı 64 kg/mm^2 , DIN 931 normunda, yarım dişli ve altı köşe başlıdır. Güçlendirme panellerinin montajlanma aşaması Şekil 3.14'te gösterilmiştir.



Şekil 3.14. Panel 1 bulonların kirişlere yerleştirilme yerleri



Şekil 3.15. Panel 2 bulonların kirişlere yerleştirilme yerleri



(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 3.16. Güçlendirme panellerinin kolon kiriş birleşim bölgesine montaj aşamaları

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde tez çalışması kapsamında LDB paneller ile güçlendirilmesi amaçlanan kolon-kiriş birleşim bölgelerinde meydana gelen çatlaklar ve hasar oluşumları irdelenmiş, deneylerden elde edilen verilere bağlı olarak çizilen grafikler yorumlanmış ve tespit edilen gözlemler ve çıkarılan sonuçlar ele alınmıştır. Üretilen 9 adet konsol kiriş numunesi depremi benzeştiren tersinir tekrarlanır yükler altında test edilmiştir. Deplasman ölçerler ve yük hücrelerinden alınan veriler bilgisayar ortamına aktarılarak her bir konsol kiriş numunesinin enerji tüketim, zarf, rijitlik ve yük-deplasman eğrileri ortaya çıkarılarak deprem davranışı yorumlanmıştır. İlave olarak her yük çevrimi sırasında numunelerde meydana gelen çatlaklar ve hasarlar belirlenmiş, güçlendirme panellerinin etkisi gözlenmiştir. Deneylerden çıkarılan sonuçların daha sağlıklı yorumlanması ve karşılaştırılması için aşağıdaki grafikler ve değerler verilmiştir. Bunlar;

- Numuneler ait Yük-Yerdeğiştirme eğrileri
- Rijitlik grafiği
- Zarf eğrisi
- Kümülatif Tüketilen Enerji eğrisi
- Süneklilik değerleri

4.1. Deney Sonuçları

4.1.1. Birinci deney (Referans Deneyi RB)

Bu deney elemanı referans deney elemanı olarak üretilmiştir. Bu sebeple bu deney elemanına herhangi bir güçlendirme işlemi yapılmamıştır. Bu deney elemanı, diğer deney elemanlarında uygulanan güçlendirme yöntemlerinde davranışın ne kadar değiştiğinin ölçülmesi amacıyla test edilmiştir. Referans numunenin deney başlamadan önceki görüntüsü Şekil 4.1' de verilmiştir. Deney esnasında oluşan yer değiştirme, çatlaklar, hasarlar ve deney elemanında gözlemlenen durumlar Çizelge 4.1'de gösterilmiştir. Deney esnasında yüklemeler iki tekrarlı yapılmış olup, her yükleme noktasına iki kez gidilmiştir. Ancak Çizelge 4.1'de her bir çevrimde yükleme noktasına ilk ulaşıldığı andaki gözlemlenen durumlar gösterilmiştir. Deney elemanında görülen ilk çatlaklar Şekil 4.2'de gösterilmiştir. İlk çatlaklar daha çok kiriş yüzeyinde gözlenmiştir.

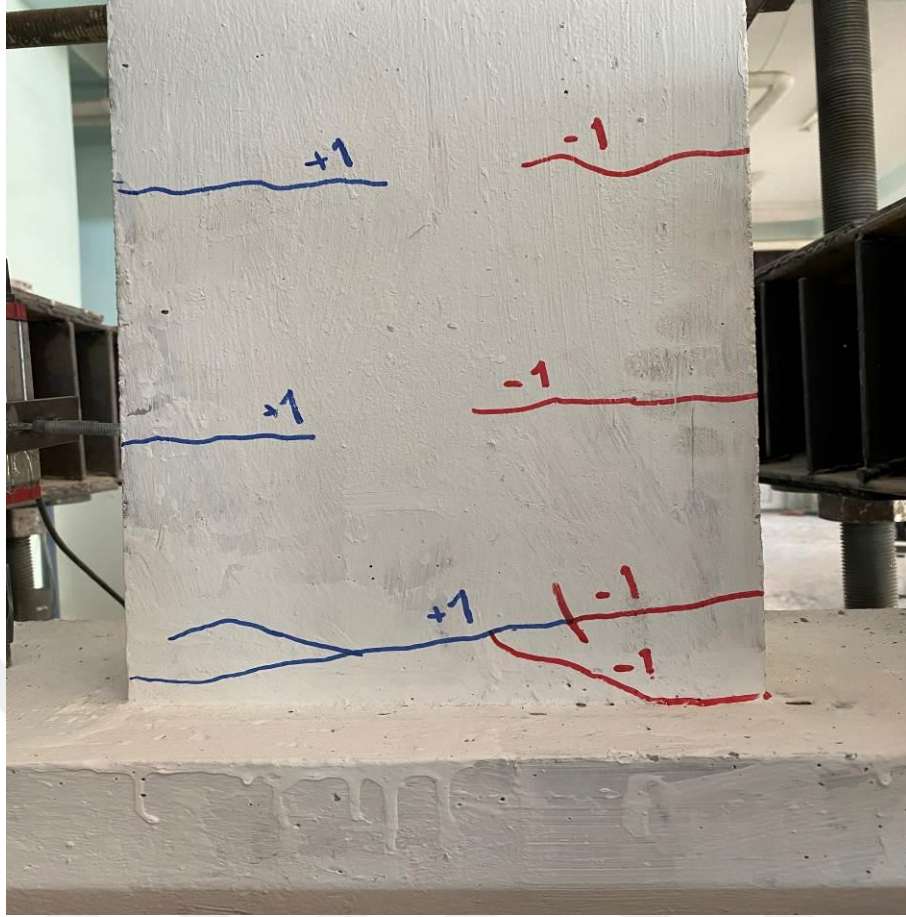


Şekil 4.1. Referans deney elemanın ilk görüntüsü

Çizelge 4.1. Referans deney elemanına ait yerdeğiştirme ve hasar oluşumu

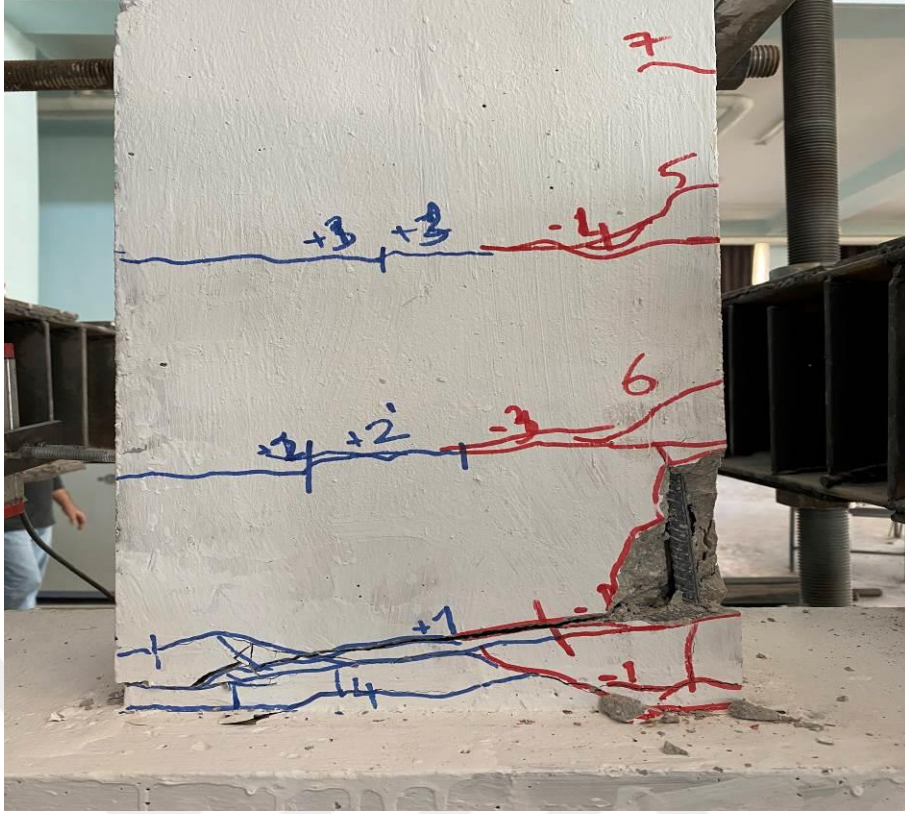
Çev. No	Drift/Deplasman %/(mm)	Çatlak No	Açıklama
+1	0.005/3.45	+1	İlk çatlaklar 0.1 mm olarak görüldü.
-1	0.005/3.45	-1	İlk çatlaklar 0.1 mm olarak görüldü.
+2	0.010/6.90		+1 nolu çatlak genişliği 1 mm olarak görüldü. +2 nolu çatlak genişliği 0.3 mm olarak görüldü. +3 nolu çatlak genişliği 0.2 mm olarak görüldü
-2	0.010/6.90		-1 nolu çatlak genişliği 1 mm olarak görüldü. -2 nolu çatlak genişliği 0.2 mm olarak görüldü.
+3	0.015/10.35		Donatı akması gözlemlendi. Çatlaklarda artış gözlenmiştir. +1 nolu çatlak genişliği 2.6 mm olarak görüldü. Diğer çatlak genişlikleri değişmedi.
-3	0.015/10.35		Donatı akması görüldü. Çatlaklarda artış görüldü. -2 nolu çatlak genişliği 1.5 mm olarak görüldü.
+4	0.020/13.80		+1 nolu çatlak genişliği 3.5 mm olarak görüldü. +2 nolu çatlak genişliği 0.4 mm olarak görüldü.
-4	0.020/13.80		-1 nolu çatlak genişliği 1.1 mm olarak görüldü. -2 nolu çatlak genişliği 3.3 mm olarak görüldü.
+5	0.025/17.25		+1 nolu çatlak genişliği 3.5 mm i geçti. Donatı

			betondan ayrılmaya başladı.
-5	0.025/17.25		Paspayının döküldüğü görüldü.
+6	0.030/20.70		Paspayının dökülüp donatının görüldüğü gözlemlendi.
-6	0.030/20.70		Paspayının dökülüp donatının görüldüğü gözlemlendi.
+7	0.035/24.15		Paspayının tamamen döküldüğü görüldü.
-7	0.035/24.15		Etriye döküldüğü gözlemlendi.
+8	0.040/27.60		Paspayı dökülmeye devam ettiği, donatının betondan ayrıldığı, donatının burkulmaya başladığı gözlemlendi.
-8	0.040/27.60		Donatının burkulduğu görüldü.
+9	0.045/31.05		Donatının betondan ayrıldığı, batı yan yüzey kısmında paspayının dökülmeye başladığı görüldü.
-9	0.045/31.05		Donatının iyice burkulduğu görüldü.
+10	0.050/34.50		Doğu tarafında bulunan donatının burkulmaya başladığı gözlemlendi.
-10	0.050/34.50		Batı tarafında bulunan donatının neredeyse kopma sınırına kadar burkulduğu görüldü.
+11	0.055/37.95		Bu yükleme adımında paspayı döküldüğü görüldü. 1 nolu çatlak olduğu basınç bölgesinde ezilme gözlemlendi.
-11	0.055/37.95		Bu yükleme adımında çatlakların ilerlemeye devam ettiği görüldü. Bu yükleme adımında deney sona erdirildi.

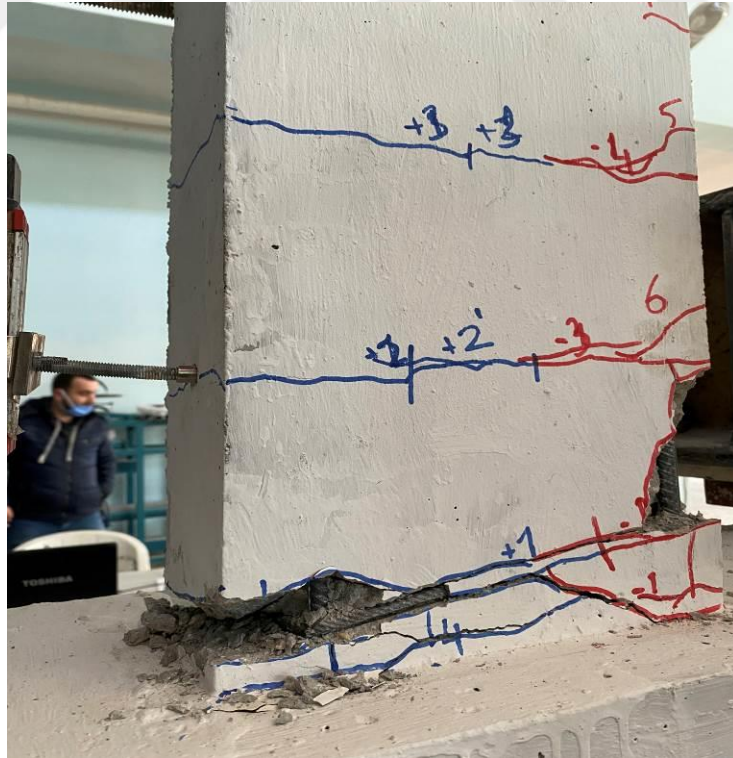


Şekil 4.2. Referans deney elemanında görülen ilk çatlaklar

Referans numunede paspayının dökülüp donatının açığa çıkması 17.25 mm deplasman değerinde görülmüştür. Çevrim -5’de kabuk beton parçalanmaları gözlenmiştir. Elemanın bu yüklemdeki görüntüsü Şekil 4.3.’te gösterilmiştir. Çevrim -7 sırasında etriyenin ortaya çıktığı görüntü Şekil 4.4.’te gösterilmiştir. Çevrim -8’de donatının burkulduğu gözlenmiştir. Elemanın bu yüklemdeki görüntüsü Şekil 4.5.’te gösterilmiştir. Deney elemanına ait yük-deplasman grafiği Şekil 4.8’de gösterilmiştir. Deney elemanı + çevrimde 19.9 kN yük taşımıştır ve bu yük altında 17.31 mm deplasman meydana gelmiştir. Deney elemanı – çevrimde ise 27.88 kN yük taşımıştır ve bu yük altında 5.25 mm deplasman meydana gelmiştir. Deney elemanında + çevrimde 14.93 kN yük altında akma görülmüş ve bu noktada 7.94 mm deplasman meydana gelmiştir. Deney elemanı – çevrimde 20.91 kN yük altında akma görülmüş ve bu noktada 5.25 mm deplasman meydana gelmiştir. Deney elemanın son görüntüsü Şekil 4.6’da gösterilmiştir. Deney sonunda çatlak dağılımı Şekil 4.7’de gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Referans deney elemanında paspayı dökülmeleri



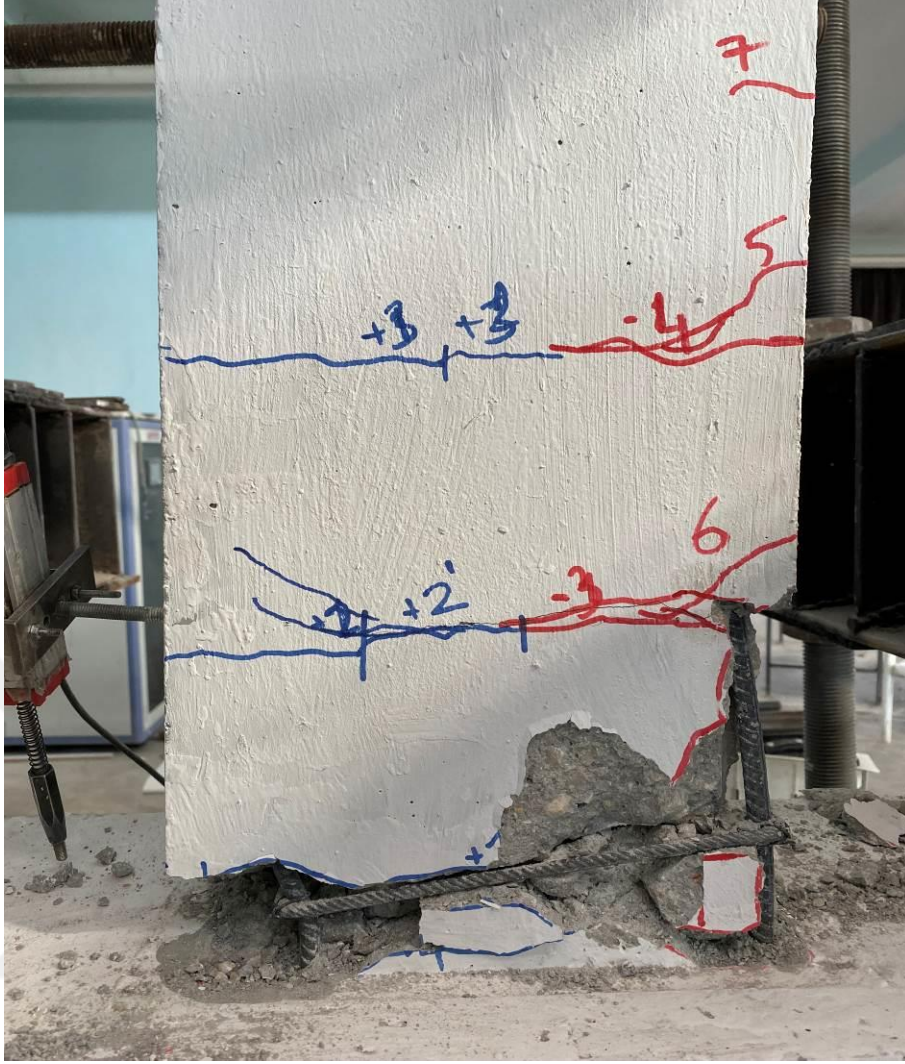
Şekil 4.4. Referans deney elemanında etriyenin açığa çıkması



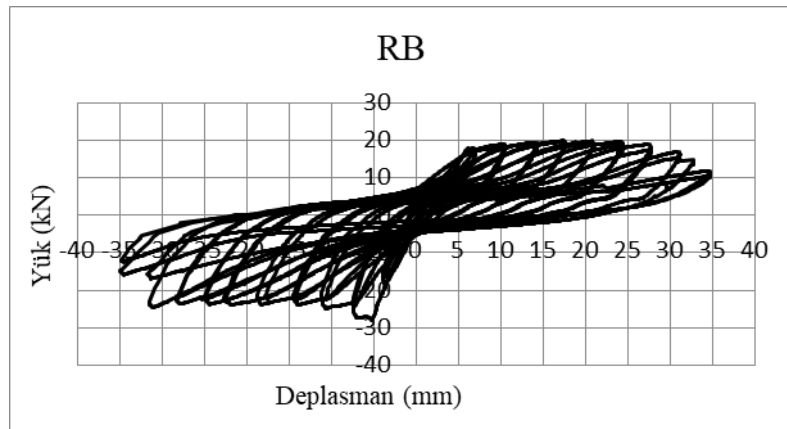
Şekil 4.5. Referans deney elemanında boyuna donatının burkulması



Şekil 4.6. Referans deney elemanının deney sonu görünümü

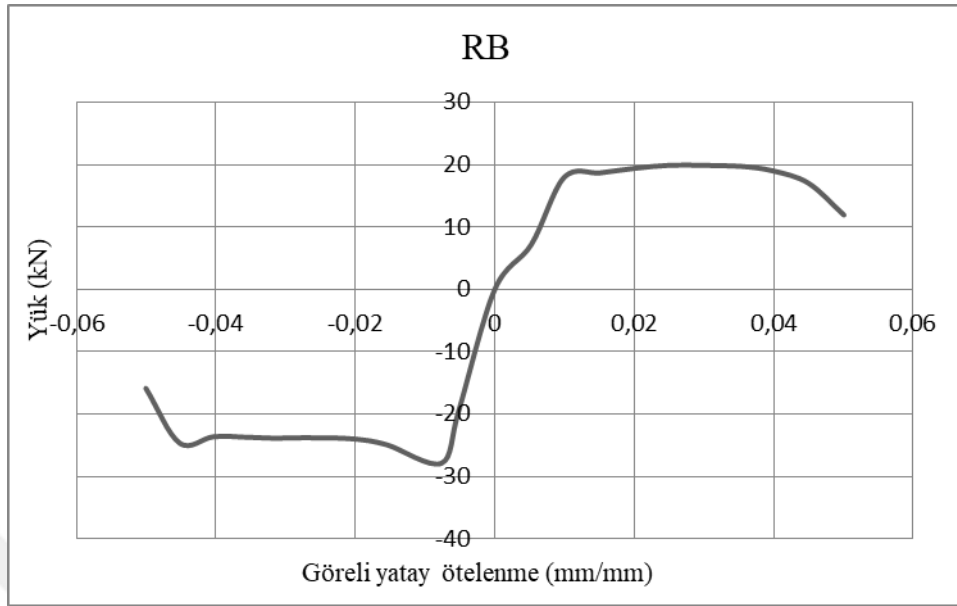


Şekil 4.7. Referans deney elemanında deney sonundaki çatlak dağılımı



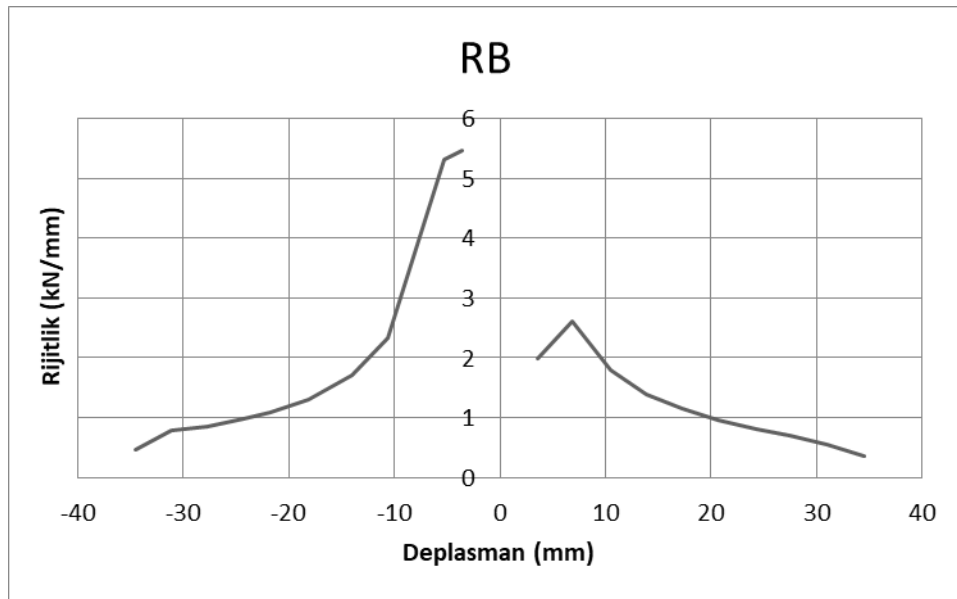
Şekil 4.8. Referans deney elemanına ait yük-deplasman grafiği

Deney elemanında histeresis eğrisindeki her yüklemdeki maksimum yük noktalarının birleştirilmesi ile elde edilen zarf eğrisi Şekil 4.9'da verilmiştir



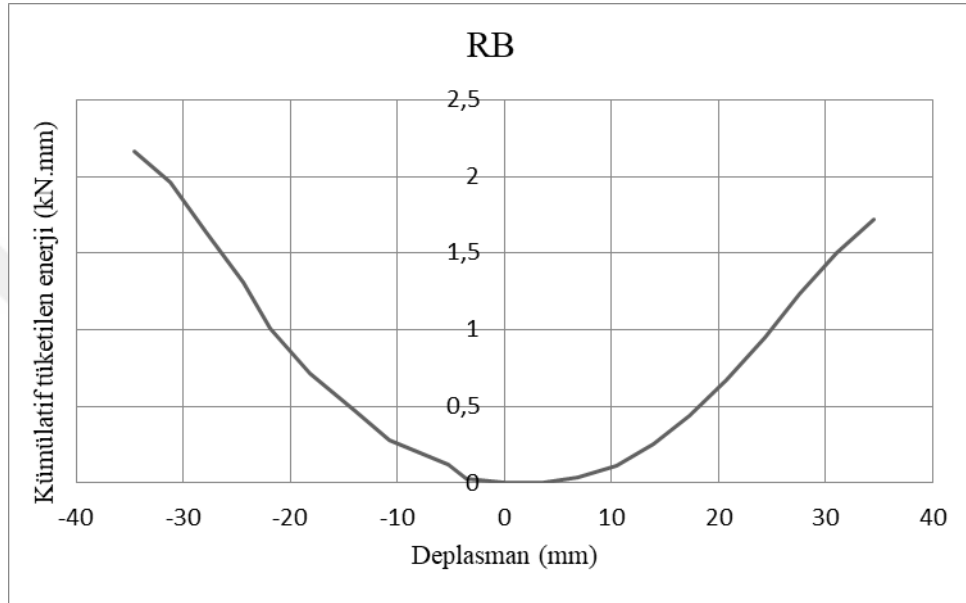
Şekil 4.9. Referans deney elemanına ait zarf eğrisi

Referans deney elemanına ait rijitlik grafiği Şekil 4.10'da verilmiştir. Bu değer her bir yüklemdeki yük değerinin, o noktadaki deplasman değerine bölünmesi ile elde edilir. Deney elemanının + çevrimdeki başlangıç rijitliği 2.61 kN/mm ve - çevrimdeki başlangıç rijitliği 5.46 kN/mm olarak meydana gelmiştir.



Şekil 4.10. Referans deney elemanına ait rijitlik grafiği

Deney elemanında yükleme esnasında her bir yüklemde yük-deplasman eğrisinin altında kalan alan hesaplanmış ve her yüklemenin enerji değerleri bulunmuştur. Her çevrimde elde edilen enerji değerleri toplanarak kümülatif tüketilen enerji grafiği oluşturulmuş ve Şekil 4.11’de gösterilmiştir. Deney elemanında +çevrimdeki enerji tüketim değeri 1.72 kN.mm iken – çevrimdeki enerji tüketim değeri 2.16 kN.mm olduğu gözlenmiştir.



Şekil 4.11. Referans deney elemanına ait kümülatif tüketilen enerji grafiği

4.1.2. İkinci deney (RB-LDB1-SE)

Bu deney elemanında referans numuneden farklı olarak, LDB1 ile üretilmiş güçlendirme paneli deney elemanının deprem davranışını iyileştirmek için kullanılmıştır. Deney elemanının doğusuna Panel 1 adını verdiğimiz LDB1 ile üretilmiş güçlendirme paneli yerleştirilip tersinir tekrarlanır yükler altında test edilmiştir. Deney esnasında oluşan yer değiştirme, çatlaklar, hasarlar ve deney elemanında gözlemlenen durumlar Çizelge 4.2’de gösterilmiştir. Deney esnasında yüklemeler iki tekrarlı yapılmış olup, her yükleme noktasına iki kez gidilmiştir. Ancak Çizelge 4.2’de her bir çevrimde yükleme noktasına ilk ulaşıldığı andaki gözlemlenen durumlar gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. RB-LDB1-SE elemanına ait yer değiştirme ve hasar oluşumu

Çev. No	Drift/Deplasman %/(mm)	Çatlak No	Açıklama
+1	0.005/3.45	+1, +2, +3, +4, +5, +6	İlk çatlaklar 0.1 mm genişliğinde gözlemlendi.
-1	0.005/3.45	-1, -2, -3, -4, -5,	İlk çatlaklar 0.1 mm genişliğinde gözlemlendi.
+2	0.010/6.90		+2 nolu çatlak genişliği 0.9 mm olarak görüldü. +1 nolu çatlak genişliği 0.3 mm olarak görüldü. Donatı akması gözlemlendi.
-2	0.010/6.90		-1 nolu çatlak genişliği 0.7 mm olarak görüldü. -2 nolu çatlak genişliği 0.8 mm olarak görüldü. -3 nolu çatlak genişliği 0.7 mm olarak görüldü.
+3	0.015/10.35		+1 nolu çatlak genişliği 1.4 mm olarak görüldü. +2 nolu çatlak genişliği 1.2 mm olarak görüldü.
-3	0.015/10.35		-1 nolu çatlak genişliği 1.3 mm, -2 nolu çatlak genişliği 1.7 mm, -3 nolu çatlak genişliği 0.9 mm olarak görüldü. Çekme bölgesinde L panelin altında meydana gelen çatlak genişliği 1.7 mm kadar, 3 nolu çatlak genişliği basınç bölgesine kadar uzadığı gözlemlendi.
+4	0.020/13.80		+1 nolu çatlak genişliği 2,9 mm olarak görüldü. +2 nolu çatlak genişliği 1,6 mm olarak görüldü.
-4	0.020/13.80		-2 nolu çatlak genişliği 3.5 mm'den fazla ayrılma safhasında olduğu görüldü. Basınç bölgesinde 3 nolu çatlak genişliği 1.6 mm olarak görüldü.
+5	0.025/17.25		+1 nolu çatlak genişliği 3.5 mm yi geçtiği görüldü. Donatı ayrılmaya başladı.
-5	0.025/17.25		Farklı bir durum gözlenmemiştir.
+6	0.030/20.70		Dökülmeler başlamıştır.
-6	0.030/20.70		Farklı bir durum gözlenmemiştir.
+7	0.035/24.15		Basınç bölgesinde ezilme gözlemlendi. Paspayı dökülmesi görüldü. Boyuna donatı görülmeye başlandı.
-7	0.035/24.15		Farklı bir durum gözlenmemiştir.
+8	0.040/27.60		Farklı bir durum gözlenmemiştir.
-8	0.040/27.60		Panel birleşim bölgesinden ayrıldığı görüldü.
+9	0.045/31.05		Farklı bir durum gözlenmemiştir..
-9	0.045/31.05		Farklı bir durum gözlenmemiştir.

+10	0.050/34.50		Boyuna donatı burkulma gözlendi.
-10	0.050/34.50		Farklı bir durum gözlenmemiştir.
+11	0.055/37.95		Donatı kopması görüldü.

RB-LDB1-SE deney elemanında ilk çatlaklar kolon kiriş birleşim bölgesinde görülmüştür. Kiriş yüzeyinde de yüzeysel çatlaklar görülmüştür. Bu yükleme anına ait görüntü Şekil 4.12’ de gösterilmiştir. Panelde meydana gelen ayrılma Şekil 4.13’te gösterilmiştir. Çevirim +7’de kirişin sol kısmında kabuk beton atmaları başlamıştır. Elemanın bu yüklemedeki görüntüsü Şekil 4.14’te gösterilmiştir. Çevrim +10 ‘da kirişin batı kısmında donatıda burkulma meydana gelmiştir. Elemanın bu yüklemedeki görüntüsü Şekil 4.15’te gösterilmiştir.



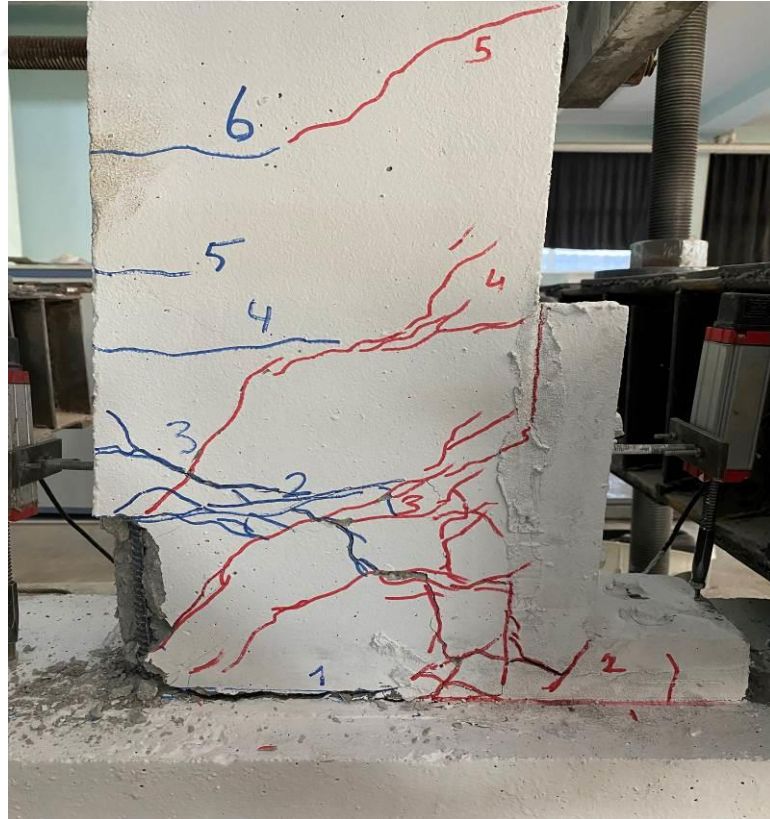
Şekil 4.12. RB-LDB1-SE deney elemanının ilk çatlaklar

11. çevrimde donatı kopması görülmüştür ve deney 37.95 mm deplasman değerinde sonlanmıştır. Deney elemanının son görüntüsü Şekil 4.17’de gösterilmiştir. Deney sonunda çatlak dağılımı Şekil 4.16’da gösterilmiştir. Deney elemanına ait yük-deplasman grafiği 4.18’de gösterilmiştir. Deney elemanı + çevrimde 33.62 kN yük

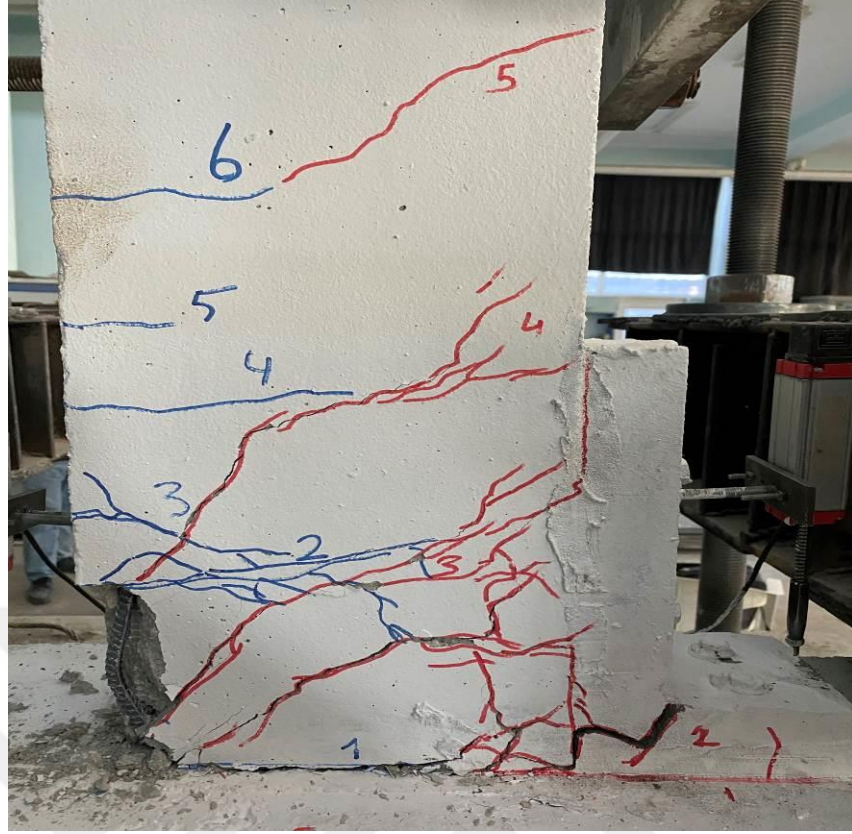
taşımıştır ve bu yük altında 38.81 mm deplasman meydana gelmiştir. Deney elemanı – çevrimde 32.25 kN yük taşımıştır ve bu yük altında 7.81 mm deplasman meydana gelmiştir. Deney elemanında + çevrimde 25.21 kN yük altında akma görülmüş ve bu noktada 33.96 mm deplasman meydana gelmiştir. Deney elemanında – çevrimde 24.18 kN yük altında akma görülmüş ve bu noktada 4.04 mm deplasman meydana gelmiştir.



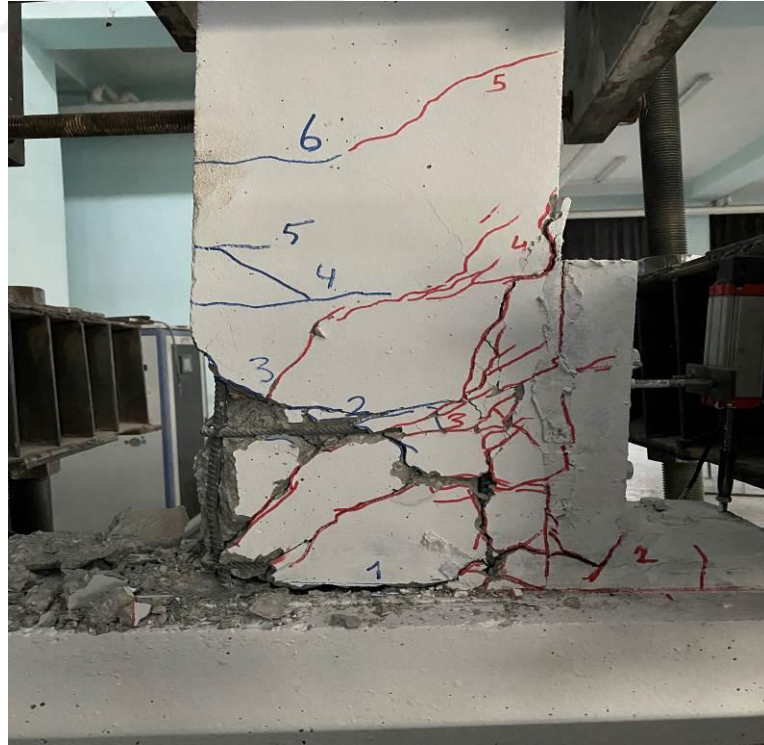
Şekil 4.13. RB-LDB1-SE deney elemanında kullanılan panelde oluşan ayrılma



Şekil 4.14. RB-LDB1-SE deney elemanında kabuk beton atma



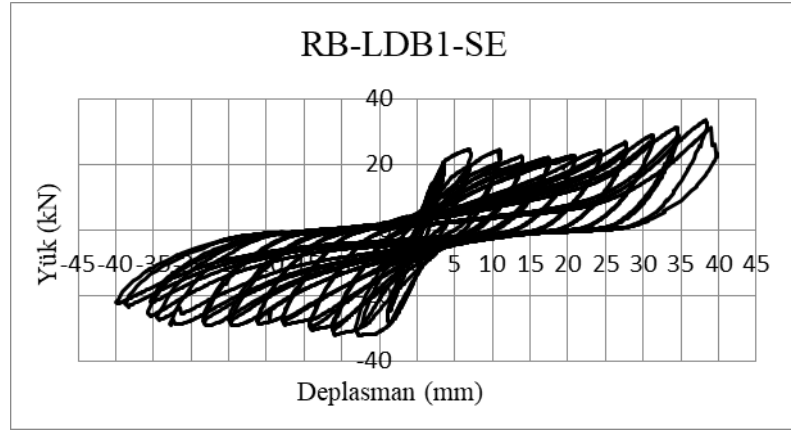
Şekil 4.15. RB-LDB1-SE deney elemanında donatı burkulma



Şekil 4.16. RB-LDB1-SE deney elemanının son durumdaki çatlak dağılımı

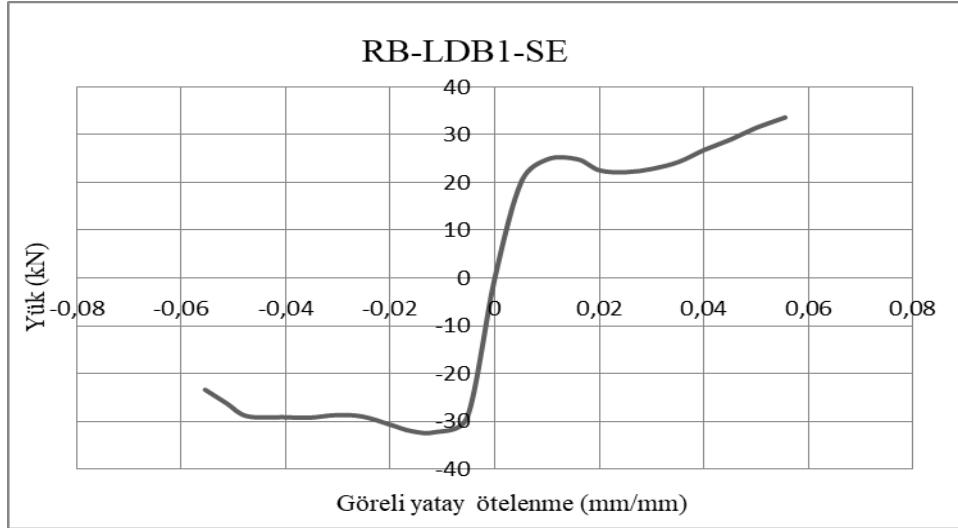


Şekil 4.17. RB-LDB1-SE deney elemanın son görüntüsü



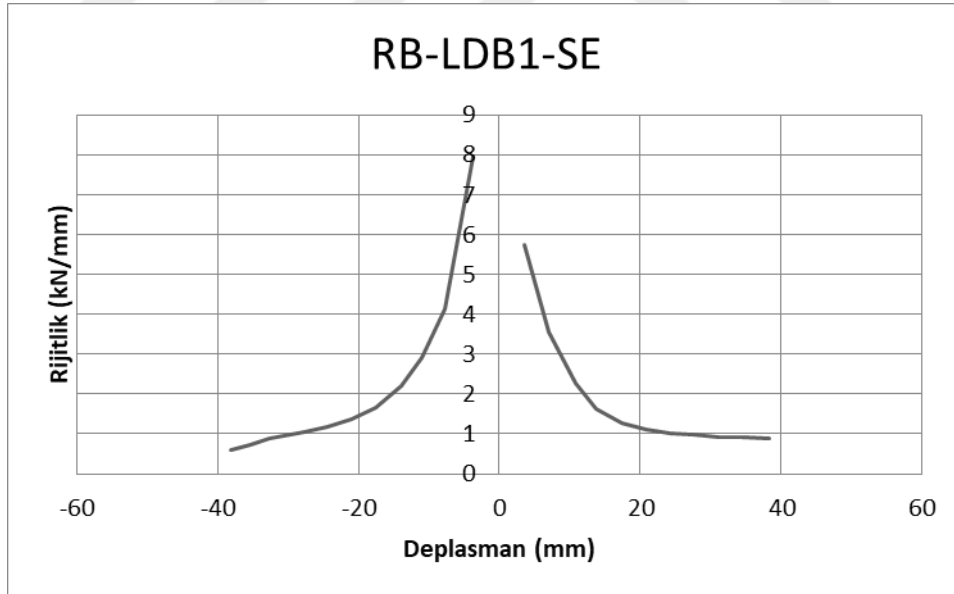
Şekil 4.18. RB-LDB1-SE elemanına ait yük-deplasman grafiği

Deney elemanında histeresis eğrisindeki her yüklemdeki maksimum yük noktalarının birleştirilmesi ile elde edilen zarf eğrisi Şekil 4.19'da verilmiştir.



Şekil 4.19. RB-LDB1-SE deney elemanına ait zarf eğrisi

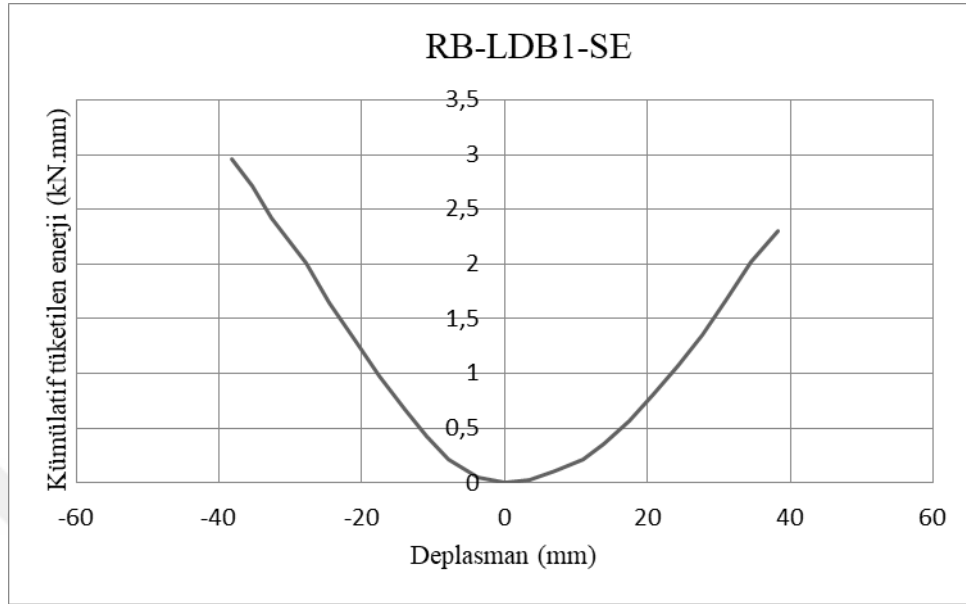
RB-LDB1-SE deney elemanına ile ilgili rijitlik grafiği çizilmiştir. Rijitlik grafiği her bir yüklemedeki yük değeri nin, o noktadaki deplasman değeri ne bölünmesi ile elde edilir. Rijitlik grafiği şekil 4.20’de verilmiştir. Deney elemanının + çevrimdeki başlangıç rijitliği 5.75 kN/mm ve – çevrimdeki başlangıç rijitliği 7.98 kN/mm olarak meydana gelmiştir.



Şekil 4.20. RB-LDB1-SE elemanına ait rijitlik grafiği

Deney elemanında yükleme esnasında her bir yüklemede yük-deplasman eğrisinin altında kalan alan hesaplanmış ve her yüklemenin enerji değeri bulunmuştur. Her çevrimde elde edilen enerji değeri toplanarak kümülatif tüketilen enerji grafiği oluşturulmuş ve Şekil 4.21’de gösterilmiştir. Deney elemanında +

çevrimdeki enerji tüketim değeri 2.30 kN.mm iken – çevrimdeki enerji tüketim değeri 2.95 kN.mm olduğu gözlenmiştir.



Şekil 4.21. RB-LDB1-SE elemanına ait kümülatif tüketilen enerji grafiği

4.1.3. Üçüncü deney (RB-LDB1-SEW)

Bu deney elemanında referans numuneden farklı olarak, LDB1 ile üretilmiş güçlendirme paneli deney elemanının deprem davranışını iyileştirmek için kullanılmıştır. Deney elemanının hem doğusuna hem batısına Panel 1 adını verdiğimiz LDB1 ile üretilmiş güçlendirme paneli yerleştirilip tersinir tekrarlanır yükler altında test edilmiştir. Deney esnasında oluşan yer değiştirme, çatlaklar, hasarlar ve deney elemanında gözlemlenen durumlar Çizelge 4.3’de gösterilmiştir. Deney esnasında yüklemeler iki tekrarlı yapılmış olup, her yükleme noktasına iki kez gidilmiştir. Ancak Çizelge 4.3’de her bir çevrimde yükleme noktasına ilk ulaşıldığı andaki gözlemlenen durumlar gösterilmiştir. Deney elemanının deney başlamadan önceki görüntüsü Şekil 4.22’de gösterilmiştir.



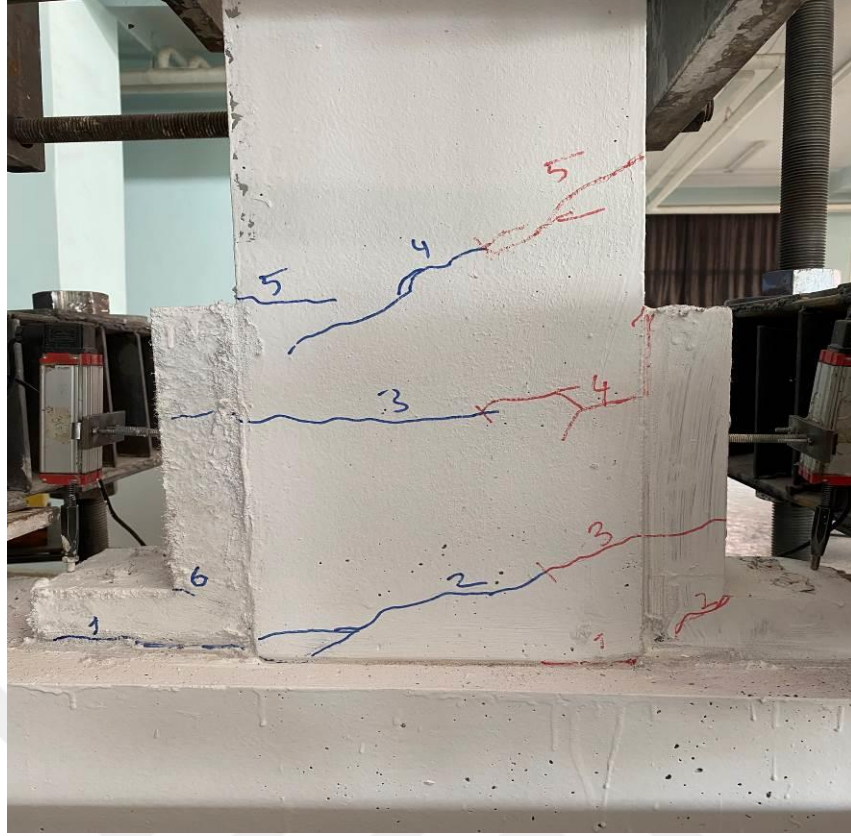
Şekil 4.22. RB-LDB1-SEW deney elemanın ilk görüntüsü

Çizelge 4.3. RB-LDB1-SEW elemanına ait yerdeğiştirme ve hasar oluşumu

Çev. No	Drift/Deplasman %/(mm)	Çatlak No	Açıklama
+1	0.005/3.45	+1, +2, +3, +4, +5, +6	3 ve 6 nolu çatlaklar güçlendirme elemanında başladı. 1 nolu çatlak kolon kiriş birleşim yerinde. 6 nolu çatlak güçlendirme elemanının köşesinde.
-1	0.005/3.45	-1, -2, -3, -4, -5,	1 nolu çatlak kolon kiriş birleşim bölgesinde, 2 nolu çatlak güçlendirme elemanının köşesinde, 5 nolu çatlak kolon ve güçlendirme elemanı birleşim bölgesinde meydana gelmiştir.
+2	0.010/6.90	7,8,9	Güçlendirme ile kirişin birleşim bölgesinde ayrılma gözlemlendi. 1 nolu çatlak genişliği 0.2 mm, 6 nolu çatlak genişliği 0.2 mm, 3 nolu çatlak genişliği 0.6 mm olarak ölçüldü.
-2	0.010/6.90	6,7	Güçlendirme ile kirişin birleşim bölgesinde ayrılma gözlemlendi. 2 nolu çatlak genişliği 0.2 mm, 3 nolu çatlak genişliği 0.2 mm, 4 nolu çatlak genişliği 1.1 mm olarak ölçüldü.
+3	0.015/10.35		Yeni çatlak oluşmadığı, çatlakların çatallanmaya başladığı gözlemlenmiştir. Güçlendirme ile kiriş

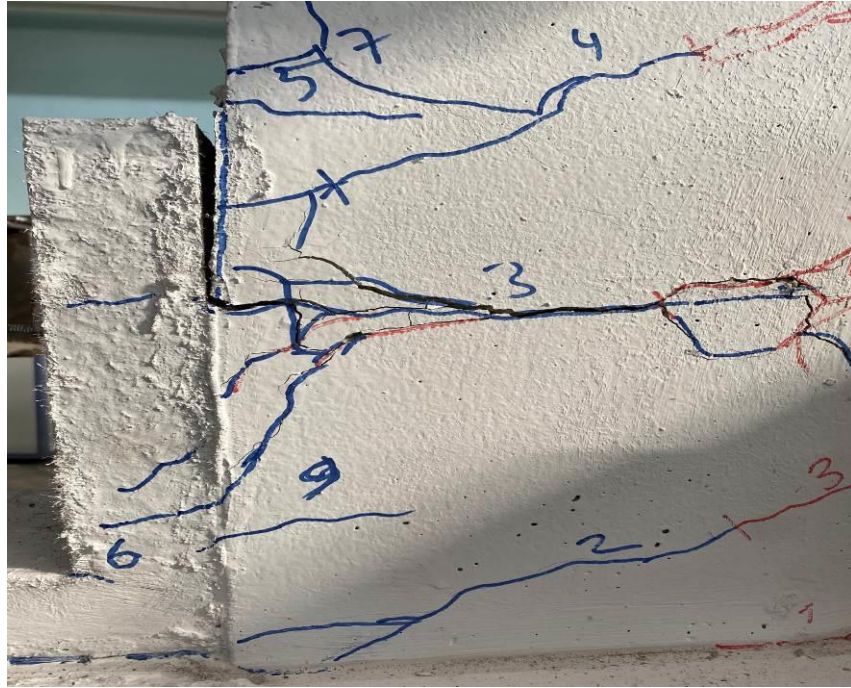
			arasında çatlak genişliği 2.4 mm kadar çıktığı görülmüştür.
-3	0.015/10.35		Yeni çatlak oluşmadı. Güçlendirme ile kiriş arasındaki çatlak genişliği 2.3 mm olarak ölçüldü.
+4	0.020/13.80		Panel ve kiriş ayrılması arttığı görülmüştür. Mesafe 3.5 mm'yi geçmiştir. 3 nolu çatlak genişliği 3.5 mm geçtiği, artık çatlağın dallandığı görülmektedir.
-4	0.020/13.80		Panel ve kiriş ayrılma arttığı görüldü. Aralarındaki mesafe 3.5 mm'yi geçmiştir. 4 nolu çatlak genişliği 3.5 mm geçtiği gözlenmiştir.
+5	0.025/17.25		Farklı bir durum gözlenmemiştir..
-5	0.025/17.25		Donatının sündüğü gözlenmiştir.
+6	0.030/20.70		Farklı bir durum gözlenmemiştir.
-6	0.030/20.70		Farklı bir durum gözlenmemiştir.
+7	0.035/24.15		L panelin üst bölgesinin kirişten tamamen ayrıldığı gözlenmiştir.
-7	0.035/24.15		Farklı bir durum gözlenmemiştir.
+8	0.040/27.60		Farklı bir durum gözlenmemiştir.
-8	0.040/27.60		Farklı bir durum gözlenmemiştir.
+9	0.045/31.05		Bulonlar da ayrılmalar görülmüştür.
-9	0.045/31.05		Doğu taraf boyuna donatıda kopma gözlenmiştir.
+10	0.050/34.50		Farklı bir durum gözlenmemiştir.
-10	0.050/34.50		Farklı bir durum gözlenmemiştir.
+11	0.055/37.95		Farklı bir durum gözlenmemiştir.

RB-LDB1-SEW deney elemanında oluşan ilk çatlaklar panel-temel birleşim bölgesinde ve kiriş yüzeyinde gözlenmiştir. Bu yükleme adımına ait görüntüsü şekil 4.23'te gösterilmiştir.



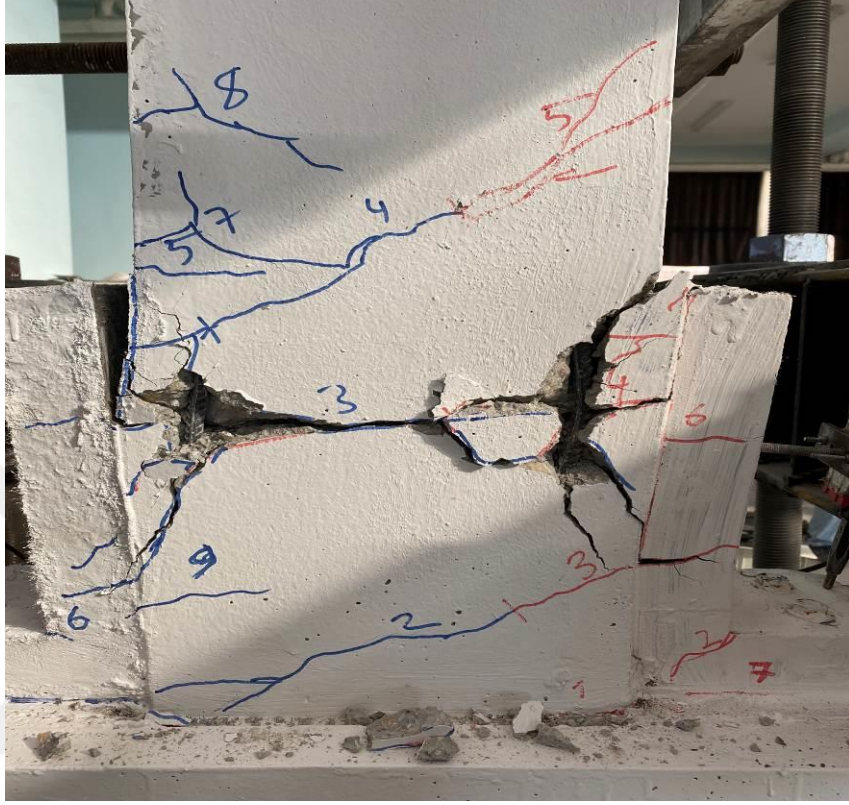
Şekil 4.23. RB-LDB1-SEW deney elemanında oluşan ilk çatlaklar

RB-LDB1-SEW deney elemanında 3. Çevrim basınç bölgesinde kirişte ciddi yarıklar meydana gelmiş ve panelin üst kısmı kirişten ayrılmıştır. Elemanın bu yüklemdeki görüntüsü Şekil 4.24'te verilmiştir.



Şekil 4.24. RB-LDB1-SEW deney elemanında panelin ayrılması ve kirişteki ciddi hasarlar

RB-LDB1-SEW deney elemanı basınç donatısı kopmak üzere olup kirişin çekme ve basınç bölgesinde beton ezilmiştir. Elemanın bu yükleme adımındaki görüntüsü şekil 4.25'te gösterilmiştir.



Şekil 4.25. RB-LDB1-SEW deney elemanında basınç bölgesindeki donatı burkulma

RB-LDB1-SEW deney elemanı 9. Çevrimde donatı kopması gerçekleşmiştir. Bu adımdaki görüntü Şekil 4.26'da gösterilmiştir.



Şekil 4.26. RB-LDB1-SEW deney elemanında basınç bölgesinde görülen hasar

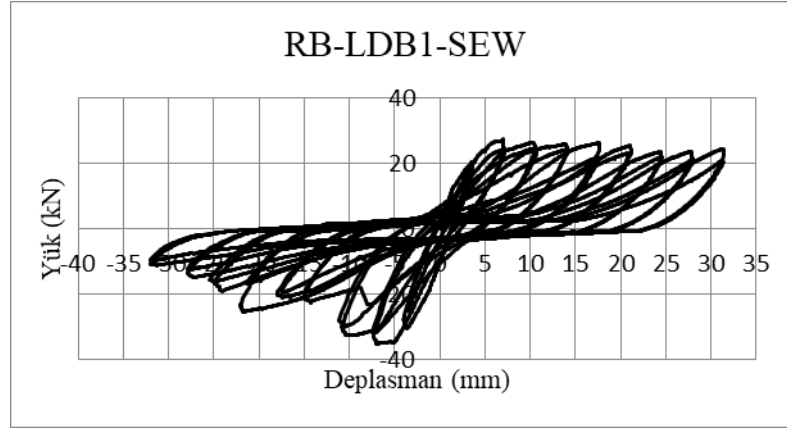
RB-LDB1-SEW deney elemanın son yükleme adımlarında donatı kopup bulonlar ayrıldığı sırada deneye son verilmiştir. Deney elemanın son görüntüsü şekil 4.27’de görülmektedir. Deney sonunda çatlak dağılımı şekil 4.28’de görülmektedir. Deney elemanına ait yük-deplasman grafiği Şekil 4.29’da gösterilmiştir. Deney elemanı + çevrimde 27.45 kN yük taşımıştır ve bu yük altında 6.94 mm deplasman meydana gelmiştir. Deney elemanı – çevrimde ise 35.24 kN yük taşımıştır ve bu yük altında 6.94 mm deplasman meydana gelmiştir. Deney elemanında + çevrimde 20.59 kN yük altında akma görülmüş ve bu noktada 4.97 mm deplasman meydana gelmiştir. Deney elemanı – çevrimde 26.43 kN yük altında akma görülmüş ve bu noktada 4.14 mm deplasman meydana gelmiştir.



Şekil 4.27. RB-LDB1-SEW elemanın deney sonundaki görünümü

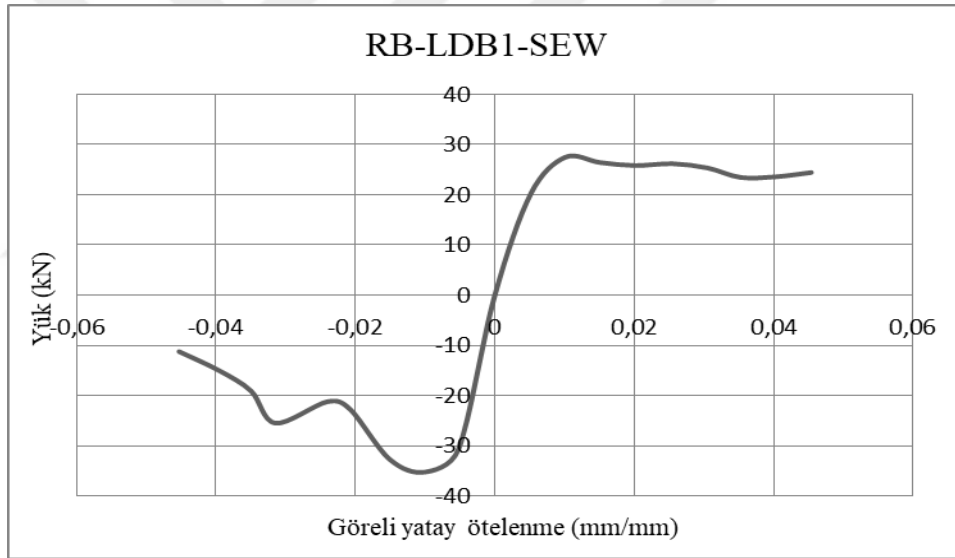


Şekil 4.28. RB-LDB1-SEW elemanın deney sonundaki çatlak dağılımı



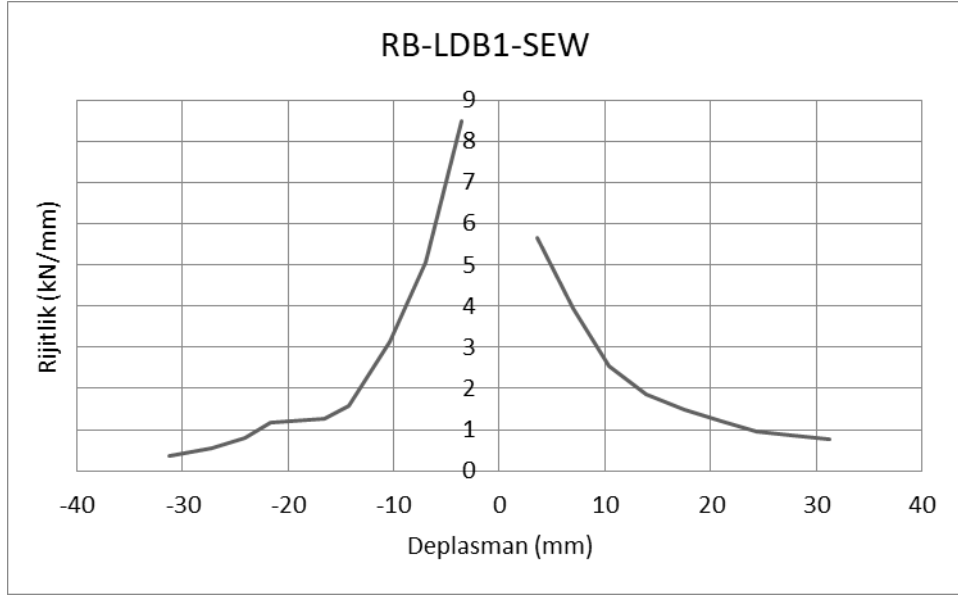
Şekil 4.29. RB-LDB1-SEW elemanına ait yük-deplasman grafiği

Deney elemanında histeresis eğrisindeki her yüklemdeki maksimum yük noktalarının birleştirilmesi ile elde edilen zarf eğrisi Şekil 4.30'da verilmiştir.



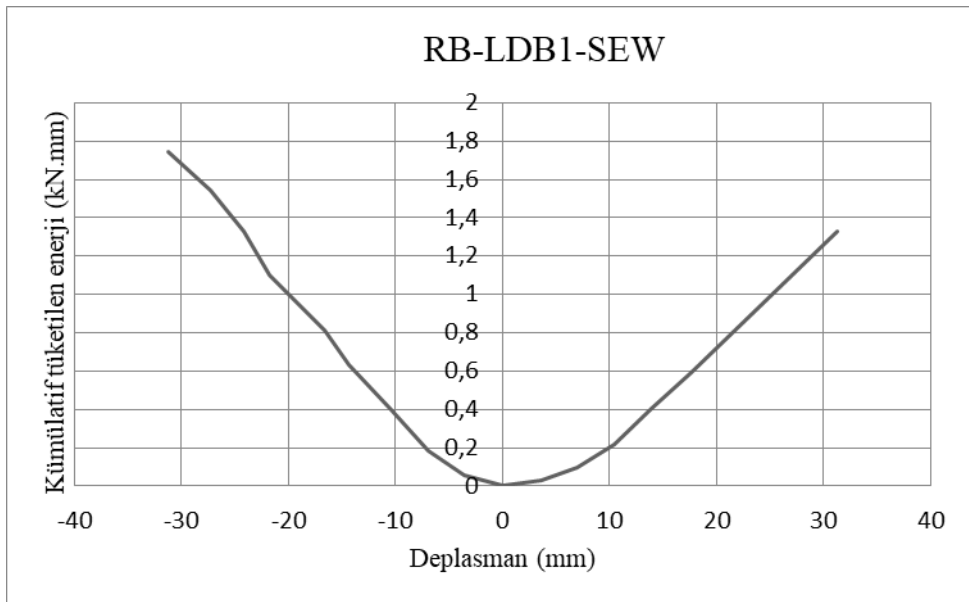
Şekil 4.30. RB-LDB1-SEW deney elemanına ait zarf eğrisi

RB-LDB1-SEW deney elemanına ile ilgili rijitlik grafiği çizilmiştir. Rijitlik grafiği her bir yüklemdeki yük değerinin, o noktadaki deplasman değerine bölünmesi ile elde edilir. Rijitlik grafiği şekil 4.31'de verilmiştir. Deney elemanının + çevrimdeki başlangıç rijitliği 5.67 kN/mm ve – çevrimdeki başlangıç rijitliği 8.51 kN/mm olarak meydana gelmiştir.



Şekil 4.31. RB-LDB1-SEW elemanına ait rijitlik grafiği

Deney elemanında yükleme esnasında her bir yüklemeye yük-deplasman eğrisinin altında kalan alan hesaplanmış ve her yüklemenin enerji değerleri bulunmuştur. Her çevrimde elde edilen enerji değerleri toplanarak kümülatif tüketilen enerji grafiği oluşturulmuş ve Şekil 4.32'de gösterilmiştir. Deney elemanında +çevrimdeki enerji tüketim değeri 1.32 kN.mm iken – çevrimdeki enerji tüketim değeri 1.74 kN.mm olduğu gözlenmiştir.



Şekil 4.32. RB-LDB1-SEW elemanına ait kümülatif tüketilen enerji grafiği

4.1.4. Dördüncü deney (RB-LDB1-LE)

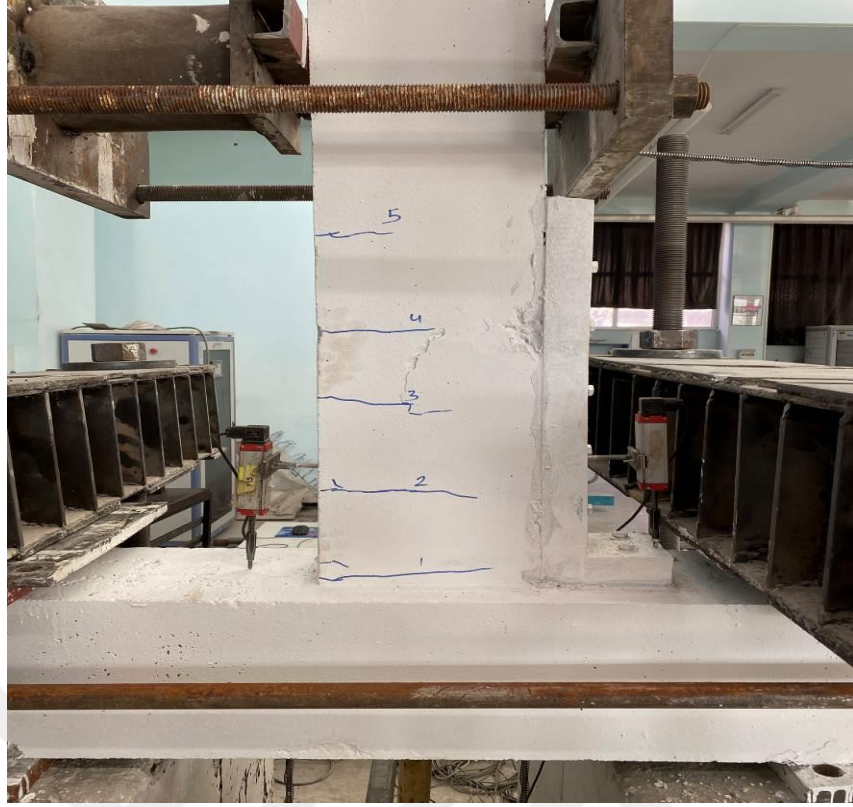
Bu deney elemanında referans numuneden farklı olarak, LDB1 ile üretilmiş güçlendirme paneli deney elemanının deprem davranışını iyileştirmek için kullanılmıştır. Deney elemanının doğusuna Panel 2 adını verdiğimiz LDB1 ile üretilmiş güçlendirme paneli yerleştirilip tersinir tekrarlanır yükler altında test edilmiştir. Deney esnasında oluşan yer değiştirme, çatlaklar, hasarlar ve deney elemanında gözlemlenen durumlar Çizelge 4.4’de gösterilmiştir. Deney esnasında yüklemeler iki tekrarlı yapılmış olup, her yükleme noktasına iki kez gidilmiştir. Ancak Çizelge 4.4’de her bir çevrimde yükleme noktasına ilk ulaşıldığı andaki gözlemlenen durumlar gösterilmiştir.

Çizelge 4.4. RB-LDB1-LE elemanına ait yerdeğiştirme ve hasar oluşumu

Çev. No	Drift/Deplasman %/(mm)	Çatlak No	Açıklama
+1	0.005/3.45		Basınç bölgesinde kılcal çatlaklar görülmeye başlandı.
-1	0.005/3.45		Çekme bölgesinde ve güçlendirme panelinde çatlaklar gözlemlendi.
+2	0.010/6.90		1 nolu çatlak 0.8 mm genişliğinde, 2 nolu çatlak 0.7 mm genişliğinde görülmektedir.
-2	0.010/6.90		4 ve 5 nolu çatlakların oluşumu gözlemlendi. Donatı akması gözlemlendi. 1 nolu çatlak 0.9 mm genişliğinde, 2 nolu çatlak 0.6 mm genişliğinde ölçüldü.
+3	0.015/10.35		1 nolu çatlak 2 mm genişliğinde olduğu görüldü.
-3	0.015/10.35		Çatlakların genişlediği, 2 nolu çatlak genişliği 2.6 mm ölçüldü. Güçlendirme panelinin birleşim yerinden çatlama görüldü.
+4	0.020/13.80		Paspayı dökülmeye başladı. Etriye görüldü.
-4	0.020/13.80		2 nolu çatlak genişliği 3 mm olarak ölçüldü. 3 nolu çatlak 0.8 mm genişliğinde olduğu gözlemlendi. Güçlendirme panelinin çekmeye çalıştığı, köşesinde hasar olduğu görülmüştür.
+5	0.025/17.25		2 nolu çatlak genişliği 0.8 mm ölçüldü. Paspayı tamamen döküldüğü görüldü.
-5	0.025/17.25		Güçlendirme panel bağlantısı köşeden ayrılmaya

			başladığı gözlendi. (2 nolu çatlak) Boyuna donatı kısmında paspayı dökülmesi yaşandı.
+6	0.030/20.70		2 nolu çatlak 1 mm genişliği geçtiği, paspayı dökülmeye devam ettiği görülmüştür.
-6	0.030/20.70		3 nolu çatlak genişliği 3 mm'yi geçtiği, batıda basınç ezilmesi olduğu gözlendi. Artık güçlendirme panelinde çekme oluşmadığı görülmüştür.
+7	0.035/24.15		2 nolu çatlak 1.2 mm genişliğinde olduğu, basınç bölgesinde paspayı döküldüğü, boyuna donatı açığa çıktığı gözlenmiştir.
-7	0.035/24.15		Basınç donatısı döküldüğü, güçlendirme panelin ayrıldığı görülmüştür.
+8	0.040/27.60		Basınç ezilmeleri olduğu, donatı koptuğu, paspayı döküldüğü görülmüştür.
-8	0.040/27.60		Güçlendirme panelde yeni çatlaklar meydana geldiği görüldü. Donatı burkulduğu betondan ayrıldığı gözlenmiştir.
+9	0.045/31.05		Bulonların ayrıldığı görülmüştür.
-9	0.045/31.05		Donatının burkulmaya devam ettiği, güçlendirme panelin köşeden ayrıldığı gözlenmiştir.
+10	0.050/34.50		Beton çatlakların olduğu kısmın ikiye ayrıldığı gözlenmiştir.
-10	0.050/34.50		Donatının burkulmaya devam ettiği, güçlendirme panelin 3. çatlaktan da ayrıldığı görülmüştür.
+11	0.055/37.95		Farklı bir durum gözlenmemiştir.

RB-LDB1-LE deney elemanında oluşan ilk çatlaklar kirişin batı kısmında belirli aralıklarla gözlenmiştir. Şekil 4.33'te deney elemanında oluşan ilk çatlaklar verilmiştir. İlk çatlaklar kiriş yüzeyinde görülmüştür.



Şekil 4.33. RB-LDB1-LE deney elemanında oluşan ilk çatlaklar

RB-LDB1-LE deney elemanında +4. çevrimde paspayı dökülmeye başlamış ve etriye görünür hale gelmiştir. Bu adımın görüntüsü Şekil 3.34 te gösterilmiştir.



Şekil 4.34. RB-LDB1-LE deney elemanında paspayı dökülüp etriye görüldü

RB-LDB1-LE deney elemanında -7 çevrimde güçlendirme panel birleşim yerinde ciddi hasarlar meydana geldi. Bu adımın görüntüsü Şekil 4.35 te gösterilmiştir.



Şekil 4.35. RB-LDB1-LE deney elemanında ve güçlendirme panelin birleşim yerinde oluşan hasarlar.

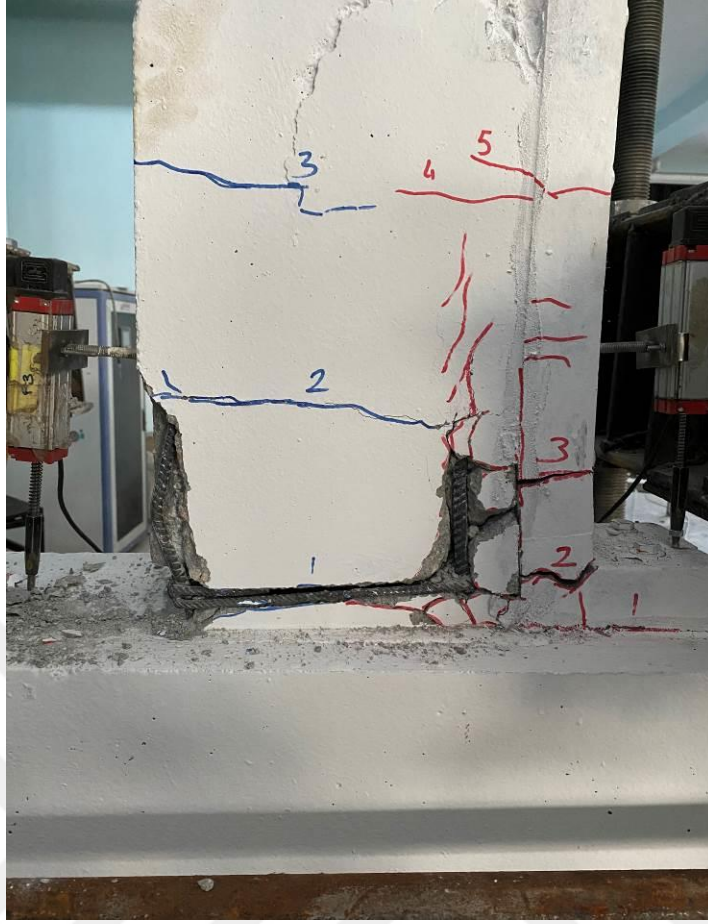
RB-LDB1-LE deney elemanında +11. çevrimde donatı burkulması meydana geldi. Deney elemanının bu adımdaki görüntüsü Şekil 4.36’da verilmiştir. Deney elemanının son görüntüsü Şekil 4.37’de gösterilmiştir. Deney sonunda numunede meydana gelen çatlak dağılımı Şekil 4.38’de gösterilmiştir. RB-LDB1-LE deney elemanına ait yük-deplasman grafiği Şekil 4.39’da verilmiştir. Deney elemanı + çevrimde 24.35 kN yük taşımıştır ve bu yük altında 7.05 mm deplasman meydana gelmiştir. Deney elemanı – çevrimde ise 32.63 kN yük taşımıştır ve bu yük altında 41.76 mm deplasman meydana gelmiştir. Deney elemanında + çevrimde 18.26 kN yük altında akma görülmüş ve bu noktada 4.22 mm deplasman meydana gelmiştir. Deney elemanı – çevrimde 24.47 kN yük altında akma görülmüş ve bu noktada 4.93 mm deplasman meydana gelmiştir.



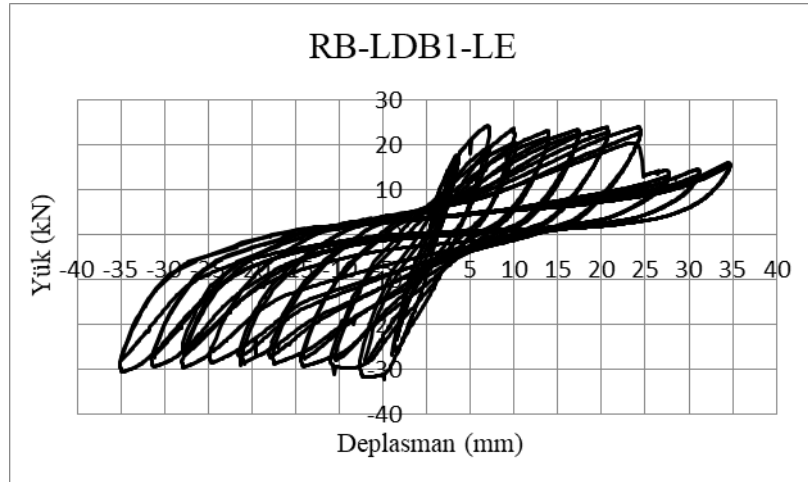
Şekil 4.36. RB-LDB1-LE deney elemanında meydana gelen donatı burkulması



Şekil 4.37. RB-LDB1-LE elemanın deney sonundaki görünümü

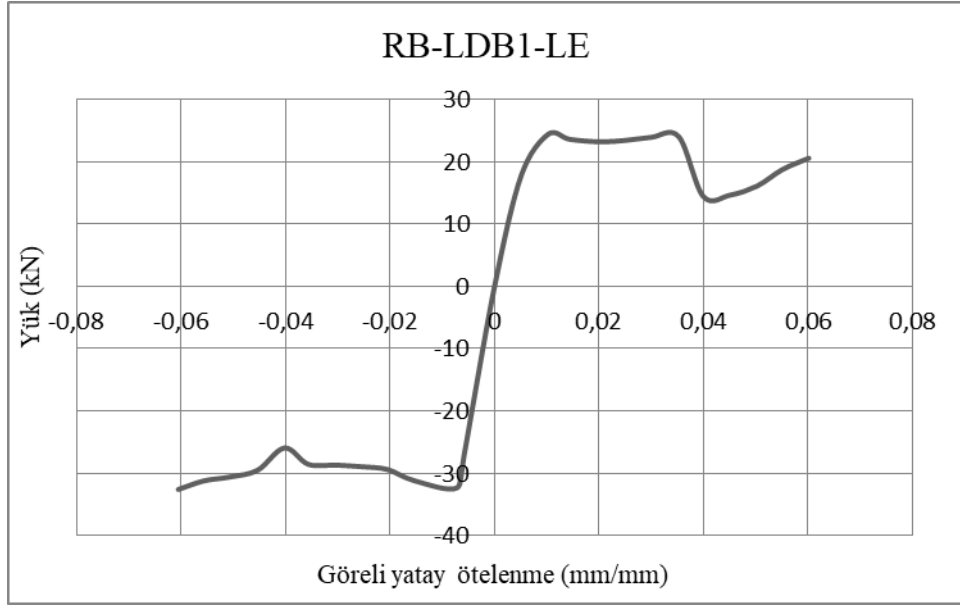


Şekil 4.38. RB-LDB1-LE elemanın deney sonundaki çatlak dağılımı



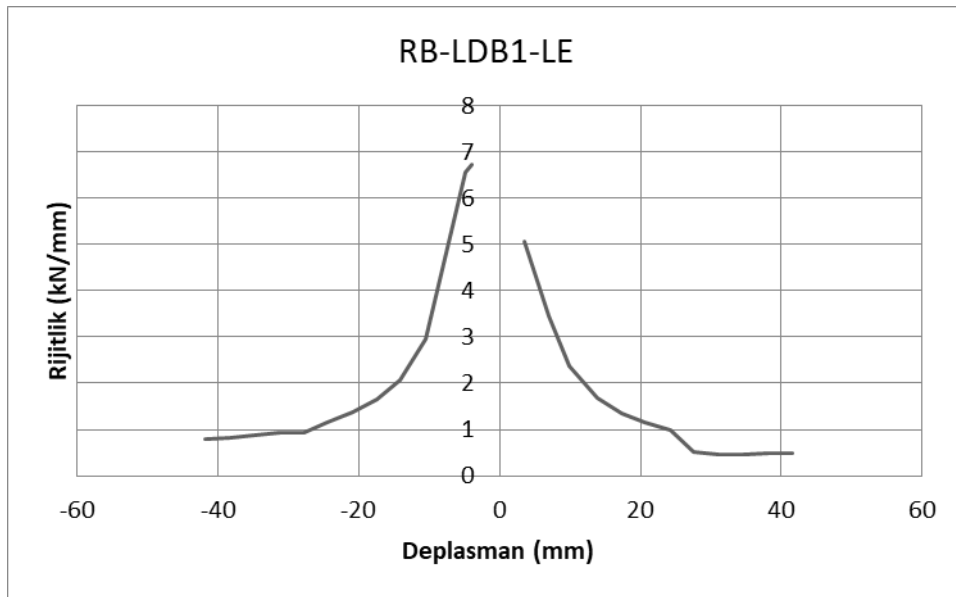
Şekil 4.39. RB-LDB1-LE elemanına ait yük-deplasman grafiği

Deney elemanında histeresis eğrisindeki her yüklemdeki maksimum yük noktalarının birleştirilmesi ile elde edilen zarf eğrisi Şekil 4.40'da verilmiştir.



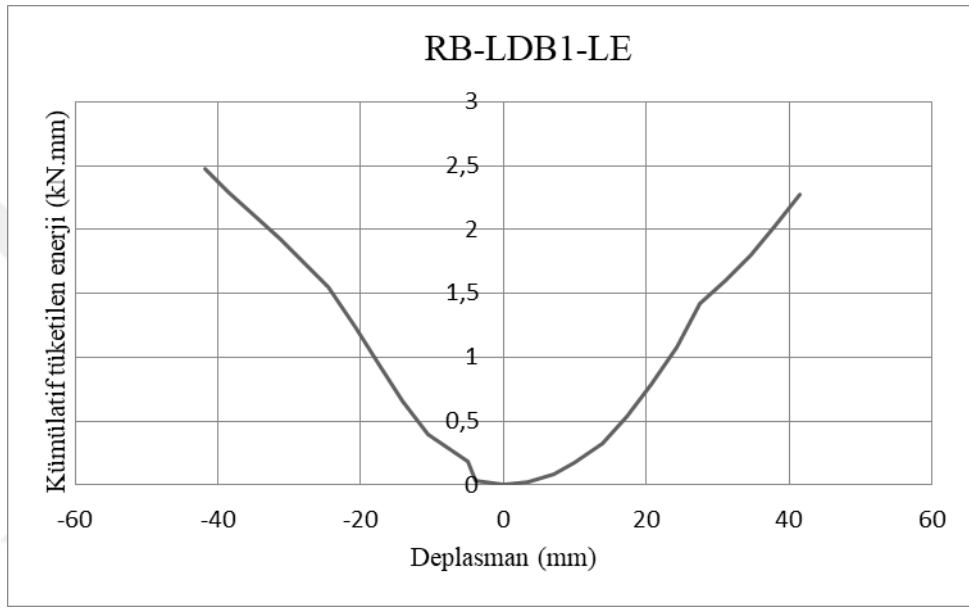
Şekil 4.40. Referans deney elemanına ait zarf eğrisi

RB-LDB1-LE deney elemanına ile ilgili rijitlik grafiği çizilmiştir. Rijitlik grafiği her bir yüklemedeki yük değerinin, o noktadaki deplasman değerine bölünmesi ile elde edilir. Rijitlik grafiği şekil 4.41’de verilmiştir. Deney elemanının + çevrimdeki başlangıç rijitliği 5.05 kN/mm ve – çevrimdeki başlangıç rijitliği 6.73 kN/mm olarak meydana gelmiştir.



Şekil 4.41. RB-LDB1-LE elemanına ait rijitlik grafiği

Deney elemanında yükleme esnasında her bir yüklemde yük-deplasman eğrisinin altında kalan alan hesaplanmış ve her yüklemenin enerji değerleri bulunmuştur. Her çevrimde elde edilen enerji değerleri toplanarak kümülatif tüketilen enerji grafiği oluşturulmuş ve Şekil 4.42’de gösterilmiştir. Deney elemanında + çevrimdeki enerji tüketim değeri 2.27 kN.mm iken – çevrimdeki enerji tüketim değeri 2.47 kN.mm olduğu gözlenmiştir.



Şekil 4.42. RB-LDB1-LE elemanına ait kümülatif tüketilen enerji grafiği

4.1.5. Beşinci deney (RB- LDB1-LEW)

Bu deney elemanında referans numuneden farklı olarak, LDB1 ile üretilmiş güçlendirme paneli deney elemanının deprem davranışını iyileştirmek için kullanılmıştır. Deney elemanının hem doğusuna hem batısına Panel 2 adını verdiğimiz LDB1 ile üretilmiş güçlendirme paneli yerleştirilip tersinir tekrarlanır yükler altında test edilmiştir. Deney esnasında oluşan yer değiştirme, çatlaklar, hasarlar ve deney elemanında gözlemlenen durumlar Çizelge 4.5’te gösterilmiştir. Deney esnasında yüklemeler iki tekrarlı yapılmış olup, her yükleme noktasına iki kez gidilmiştir. Ancak Çizelge 4.5’te her bir çevrimde yükleme noktasına ilk ulaşıldığı andaki gözlemlenen durumlar gösterilmiştir. Deney elemanının deney başlamadan önceki görüntüsü Şekil 4.43’te gösterilmiştir.

Çizelge 4.5. RB- LDB1-LEW elemanına ait yerdeğiştirme ve hasar oluşumu

Çev. No	Drift/Deplasman %/(mm)	Çatlak No	Açıklama
+1	0.005/3.45	1,2,3,4,5,6,7	1 nolu çatlak kolon ile panel arasında, 2 nolu çatlak panel birleşim bölgesinde, 7 nolu çatlak panel ile kiriş arasında olduğu görülmüştür ve tümünün genişliği 0.1 mm olarak ölçülmüştür.
-1	0.005/3.45	1,2,3,4,5,6,7,8	1 nolu çatlak kolon ile panel arasında, 2 nolu çatlak panel birleşim bölgesinde, 7 nolu çatlak kolon ile kiriş arasında, 8 nolu çatlak panelle kiriş arasında olduğu görülmüş ve tümünün genişliği 0.1 mm olarak ölçülmüştür.
+2	0.010/6.90	8,9	8 nolu çatlak kolon panel birleşim bölgesinde, 9 nolu çatlak kolon kişi arsamda olduğu görülmüş 1 ve 3 nolu çatlak genişliği 0.2 mm, 2 nolu çatlak genişliği 0.6 mm olarak ölçülmüştür.
-2	0.010/6.90	9,10	9 nolu çatlak kiriş panel arasında oluştu. 1 ve 9 nolu çatlağın 0.9 mm, 2 nolu çatlağın 0.7 mm, 3 ve 6 nolu çatlağın 0.6 mm genişliğine çıktığı gözlenmiştir.
+3	0.015/10.35	10	2 nolu çatlağın 1.5 mm, 1 nolu çatlağın 1.0 mm, 3 ve 7 nolu çatlağın 0.3 mm genişliğine ulaştığı görülmüştür.
-3	0.015/10.35		1 nolu çatlak 1.7 mm, 2 nolu çatlak 1.9 mm, 3 nolu çatlak 1.0 mm, 6 nolu çatlak 0.4 mm genişliğinde ölçülmüştür.
+4	0.020/13.80		2 nolu çatlak 3.1 mm genişliğinde ölçülmüştür.
-4	0.020/13.80		1 nolu çatlağın 2.1 mm, 2 nolu çatlak 2.9 mm genişliğinde ölçülmüştür.
+5	0.025/17.25		2 nolu çatlağın 3.5 mm genişliği aştığı görülmüştür.
-5	0.025/17.25		2 nolu çatlağın 3.5 mm genişliği aştığı görülmüştür. 1 nolu çatlak 2.1 mm 3 nolu çatlak 2.8 mm genişliğinde ölçülmüştür.
+6	0.030/20.70		Farklı bir durum gözlenmemiştir.
-6	0.030/20.70		Farklı bir durum gözlenmemiştir.
+7	0.035/24.15		Farklı bir durum gözlenmemiştir.
-7	0.035/24.15		Donatının koptuğu gözlenmiştir.
+8	0.040/27.60		Farklı bir durum gözlenmemiştir.

-8	0.040/27.60		Farklı bir durum gözlenmemiştir.
+9	0.045/31.05		Farklı bir durum gözlenmemiştir.
-9	0.045/31.05		Farklı bir durum gözlenmemiştir.
+10	0.050/34.50		Farklı bir durum gözlenmemiştir.
-10	0.050/34.50		Farklı bir durum gözlenmemiştir.
+11	0.055/37.95		Farklı bir durum gözlenmemiştir.
-11	0.005/3.45		Farklı bir durum gözlenmemiştir.



Şekil 4.43. RB- LDB1-LEW deney elemanın ilk görüntüsü

RB- LDB1-LEW deney elemanında oluşan ilk çatlaklar panel-temel birleşim yeri ve kiriş yüzeyinde gözlenmiştir. Bu yükleme adımına ait görüntüsü Şekil 4.44'te gösterilmiştir.



Şekil 4.44. RB- LDB1-LEW deney elemanında oluşan ilk çatlaklar

RB- LDB1-LEW deney elemanın son yükleme adımlarında panel-kiriş birleşim bölgesinde ayrılma olmuştur ve donatı kopmuştur. Deney 31.05 mm deplasman değerinde sonlandırılmıştır. Deney elemanın son görüntüsü şekil 4.45'te görülmektedir. Deney elemanında kopan donatı görüntüsü 4.46'da gösterilmiştir. Deney sonunda çatlak dağılımı şekil 4.47'de görülmektedir.

RB-LDB1-LEW deney elemanına ait yük-deplasman grafiği şekil 4.48'de verilmiştir. Deney elemanı + çevrimde 29.10 kN yük taşımıştır ve bu yük altında 10.45 mm deplasman meydana gelmiştir. Deney elemanı - çevrimde ise 41.35 kN yük taşımıştır ve bu yük altında 8.68 mm deplasman meydana gelmiştir. Deney elemanında + çevrimde 21.82 kN yük altında akma görülmüş ve bu noktada 4.56 mm deplasman meydana gelmiştir. Deney elemanı - çevrimde 31.01 kN yük altında akma görülmüş ve bu noktada 4.20 mm deplasman meydana gelmiştir.



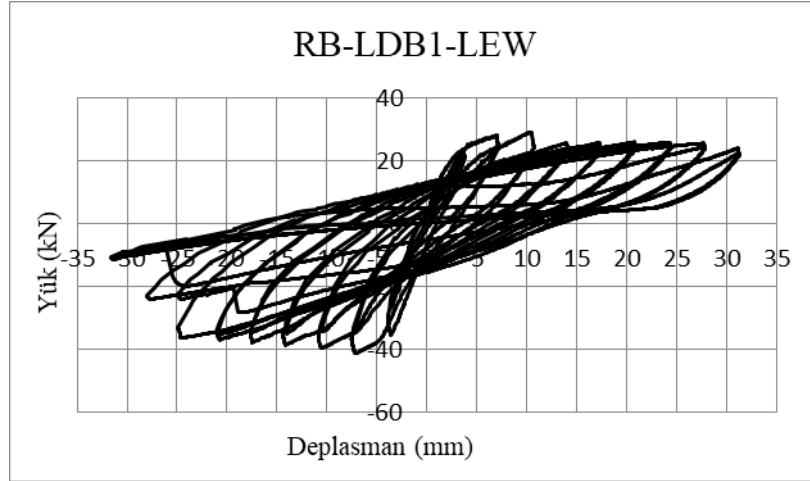
Şekil 4.45. RB- LDB1-LEW elemanın deney sonundaki görünümü



Şekil 4.46. RB- LDB1-LEW elemanında görülen donatı kopması ve panel birleşim yerinde meydana gelen ayrılma

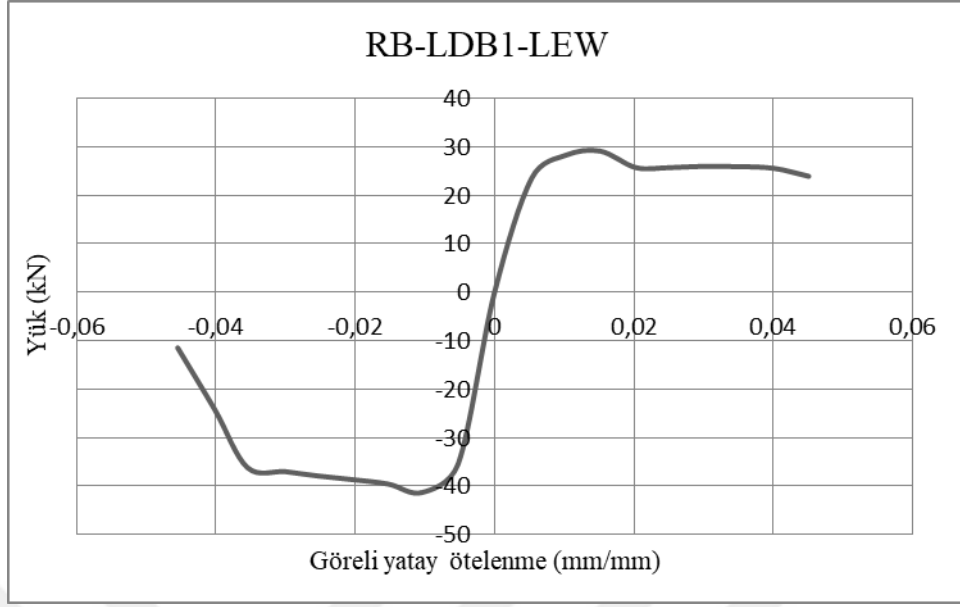


Şekil 4.47. RB- LDB1-LEW elemanın deney sonundaki çatlak dağılımı



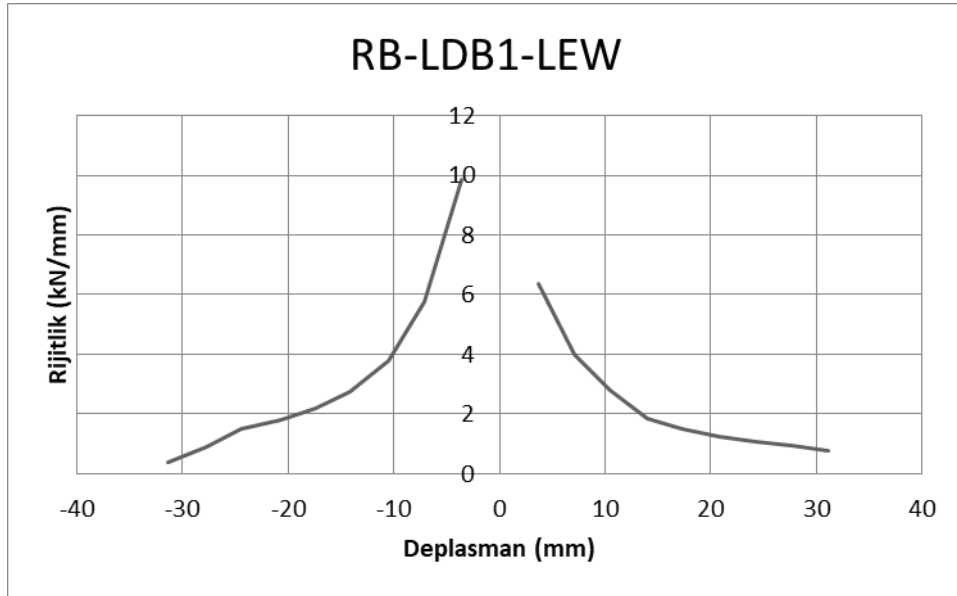
Şekil 4.48. RB- LDB1-LEW elemanına ait yük-deplasman grafiği

Deney elemanında histeresis eğrisindeki her yüklemedeki maksimum yük noktalarının birleştirilmesi ile elde edilen zarf eğrisi Şekil 4.49'da verilmiştir.



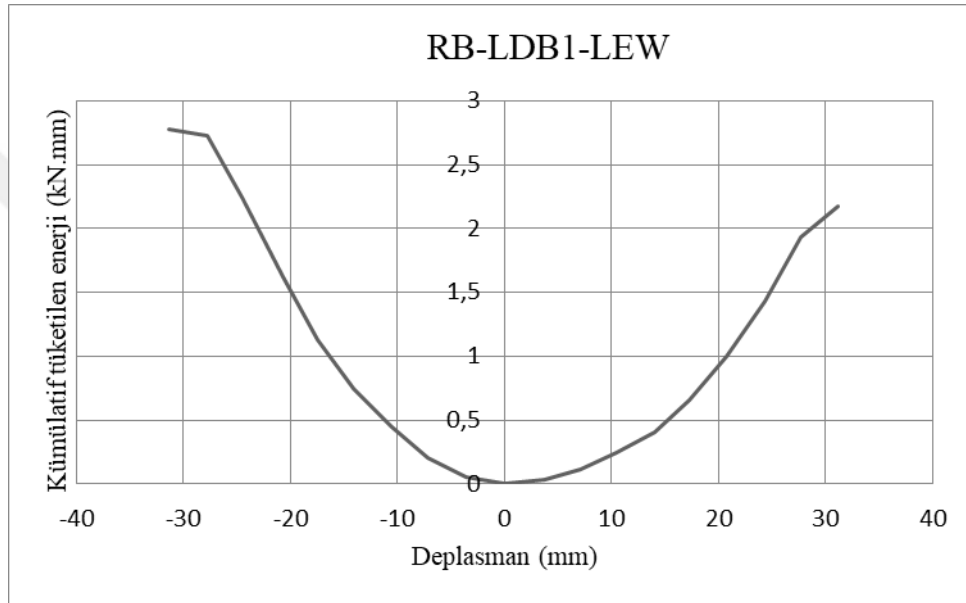
Şekil 4.49. RB- LDB1-LEW elemanına ait zarf eğrisi

RB- LDB1-LEW deney elemanına ile ilgili rijitlik grafiği çizilmiştir. Rijitlik grafiği her bir yüklemedeki yük değerinin, o noktadaki deplasman değerine bölünmesi ile elde edilir. Rijitlik grafiği şekil 4.50’de verilmiştir. Deney elemanının + çevrimdeki başlangıç rijitliği 6.38 kN/mm ve – çevrimdeki başlangıç rijitliği 9.84 kN/mm olarak meydana gelmiştir.



Şekil 4.50. RB- LDB1-LEW elemanına ait rijitlik grafiği

Deney elemanında yükleme esnasında her bir yüklemeye yük-deplasman eğrisinin altında kalan alan hesaplanmış ve her yüklemenin enerji değerleri bulunmuştur. Her çevrimde elde edilen enerji değerleri toplanarak kümülatif tüketilen enerji grafiği oluşturulmuş ve Şekil 4.51’de gösterilmiştir. Deney elemanında + çevrimdeki enerji tüketim değeri 2.17 kN.mm iken – çevrimdeki enerji tüketim değeri 2.77 kN.mm olduğu gözlenmiştir.



Şekil 4.51. RB- LDB1-LEW elemanına ait kümülatif tüketilen enerji grafiği

4.1.6. Altıncı deney (RB- LDB2-SE)

Bu deney elemanında referans numuneden farklı olarak, LDB2 ile üretilmiş güçlendirme paneli deney elemanının deprem davranışını iyileştirmek için kullanılmıştır. Deney elemanının doğusuna Panel 1 adını verdiğimiz LDB2 ile üretilmiş güçlendirme paneli yerleştirilip tersinir tekrarlanır yükler altında test edilmiştir. Deney esnasında oluşan yer değiştirme, çatlaklar, hasarlar ve deney elemanında gözlemlenen durumlar Çizelge 4.6’da gösterilmiştir. Deney esnasında yüklemeler iki tekrarlı yapılmış olup, her yükleme noktasına iki kez gidilmiştir. Ancak Çizelge 4.6’da her bir çevrimde yükleme noktasına ilk ulaşıldığı andaki gözlemlenen durumlar gösterilmiştir. Deney elemanının deney başlamadan önceki görüntüsü Şekil 4.52’de gösterilmiştir.

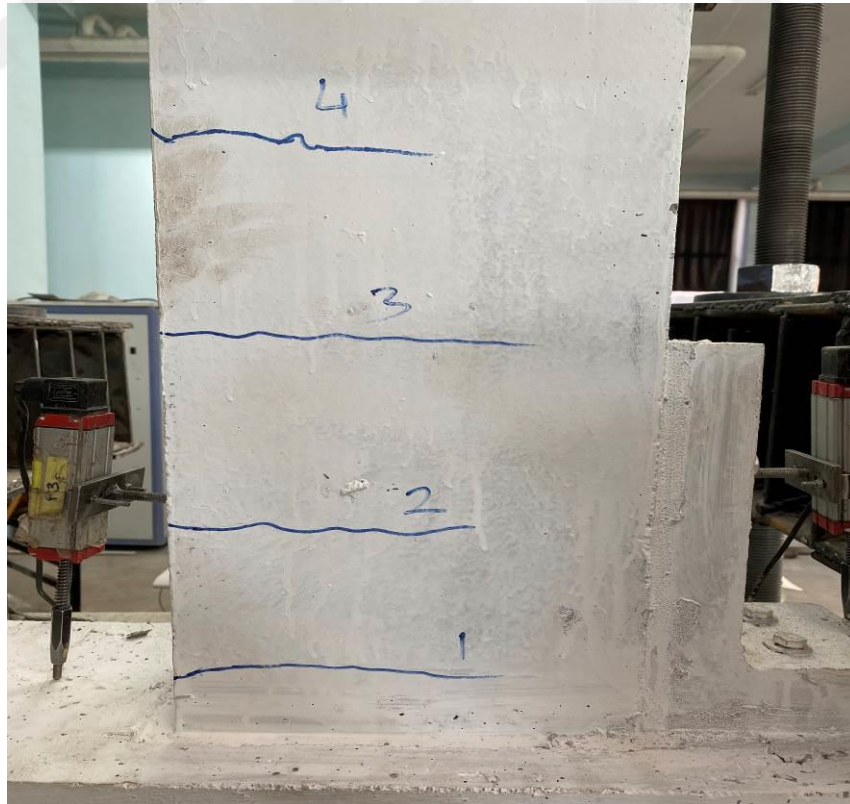
Çizelge 4.6. RB- LDB2-SE elemanına ait yerdeğiştirme ve hasar oluşumu

Çev. No	Drift/Deplasman %/(mm)	Çatlak No	Açıklama
+1	0.005/3.45	1,2,3,4	Kılcal çatlakların oluşmaya başladığı görülmektedir.
-1	0.005/3.45	1,2,3,4,5	Basınç ve çekme bölgesinde oluşan çatlakların birleştiği gözlenmiştir. Donatı akması görüldü.
+2	0.010/6.90		1 nolu çatlak genişliği 0,3 mm olarak görülmüştür.
-2	0.010/6.90	6	1 nolu çatlak genişliği 0,8 mm 2 nolu çatlak genişliği 0,8 mm olarak ölçüldü. 6 nolu çatlak basınç bölgesinden gelen çatlak ile birleşti.
+3	0.015/10.35		1 nolu çatlak genişliği 2,0 mm olarak ölçüldü.
-3	0.015/10.35		2 nolu çatlak 1,8 mm ve 3 nolu çatlak 1,3 mm genişliğinde ölçüldü.
+4	0.020/13.80		1 nolu çatlak 2,4 mm genişliği 5 nolu çatlak 2,0 mm genişliği değerine ulaştığı görülmüştür.
-4	0.020/13.80		2 nolu çatlak genişliği 3,5 mm'yi aştığı görülmüştür.
+5	0.025/17.25		1 nolu çatlak genişliği 3,5 mm'yi aştığı görülmüştür.
-5	0.025/17.25		4 nolu çatlak genişliği 3,5 mm'yi aştığı görülmüştür. Panelin üst ve alt bölgesinde ayrışma gözlendi.
+6	0.030/20.70		Kiriş yüzeyinde kabuk betonda dökülmeler gözlendi.
-6	0.030/20.70		L panelin birleşim bölgesi tamamen ayrıldı.
+7	0.035/24.15		Basınç bölgesindeki kırışte donatı görülmeye başladı.
-7	0.035/24.15		Farklı bir durum gözlenmemiştir.
+8	0.040/27.60		Farklı bir durum gözlenmemiştir.
-8	0.040/27.60		Farklı bir durum gözlenmemiştir.
+9	0.045/31.05		Farklı bir durum gözlenmemiştir.
-9	0.045/31.05		Basınç bölgesindeki donatının burkulduğu görülmüştür.
+10	0.050/34.50		Farklı bir durum gözlenmemiştir.
-10	0.050/34.50		Farklı bir durum gözlenmemiştir.
+11	0.055/37.95		Farklı bir durum gözlenmemiştir.

RB- LDB2-SE deney elemanında ilk çatlaklar kiriş yüzeyinde görülmüştür. Bu yükleme anına ait görüntü Şekil 4.53' de gösterilmiştir.



Şekil 4.52. RB- LDB2-SE elemanın deney elemanının ilk görüntüsü



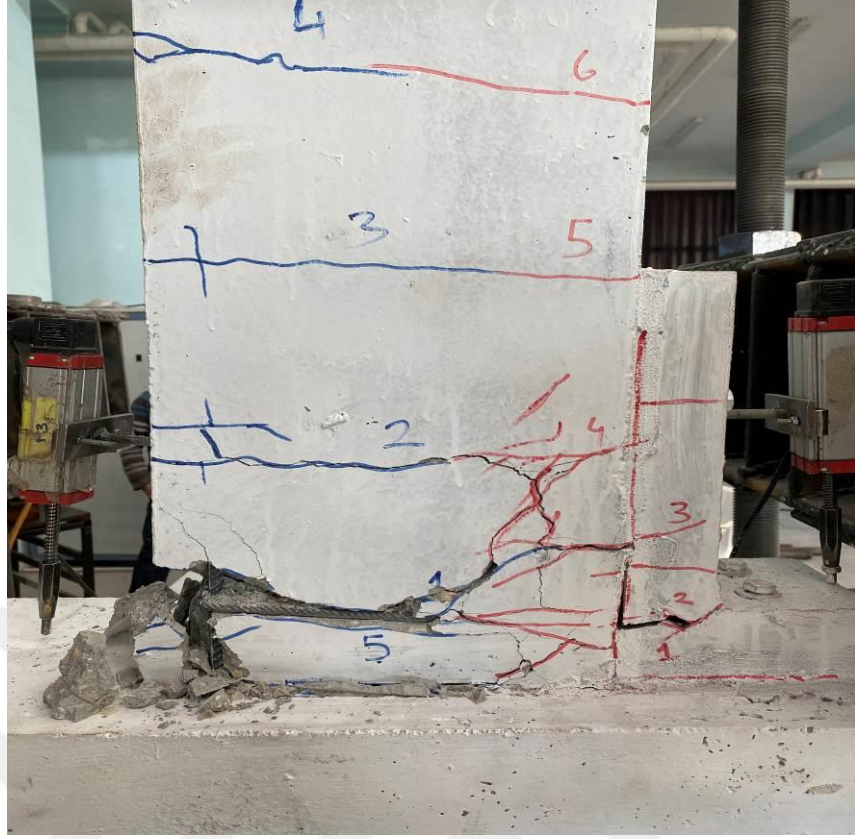
Şekil 4.53. RB- LDB2-SE deney elemanın ilk çatlaklar

Panelde meydana gelen ayrılma Şekil 4.54'te gösterilmiştir. Çevrim +7 de kiriş basınç bölgesinde kabuk beton atmaları başlamıştır. Elemanın bu yüklemdeki görüntüsü Şekil 4.55'te gösterilmiştir. Çevrim -9'da kiriş basınç bölgesinde donatı burkulması meydana gelmiştir. Elemanın bu yüklemdeki görüntüsü Şekil 4.56'da gösterilmiştir. Deney sonunda çatlak dağılımı Şekil 4.57'de görülmüştür. Deney elemanın son görüntüsü Şekil 4.58'de görülmüştür.

RB- LDB2-SE deney elemanına ait yük-deplasman grafiği Şekil 4.59'da verilmiştir. Deney elemanı + çevrimde 29.93 kN yük taşımıştır ve bu yük altında 34.51 mm deplasman meydana gelmiştir. Deney elemanı - çevrimde ise 33.96 kN yük taşımıştır ve bu yük altında 20.90 mm deplasman meydana gelmiştir. Deney elemanında + çevrimde 22.45 kN yük altında akma görülmüş ve bu noktada 8.94 mm deplasman meydana gelmiştir. Deney elemanı - çevrimde 25.47 kN yük altında akma görülmüş ve bu noktada 4.94 mm deplasman meydana gelmiştir.



Şekil 4.54. RB- LDB2-SE deney elemanında kullanılan panelde oluşan ayrılma



Şekil 4.55. RB- LDB2-SE deney elemanında kabuk beton atma



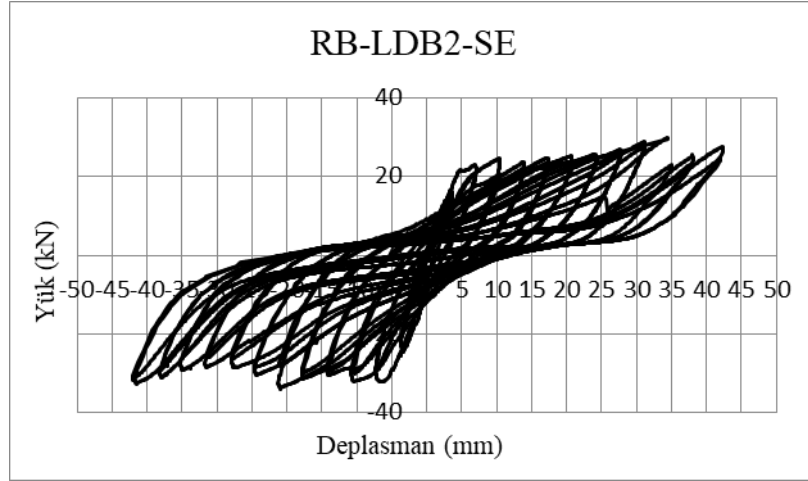
Şekil 4.56. RB- LDB2-SE deney elemanında donatı burkulma



Şekil 4.57. RB- LDB2-SE deney elemanın son durumdaki çatlak dağılımı

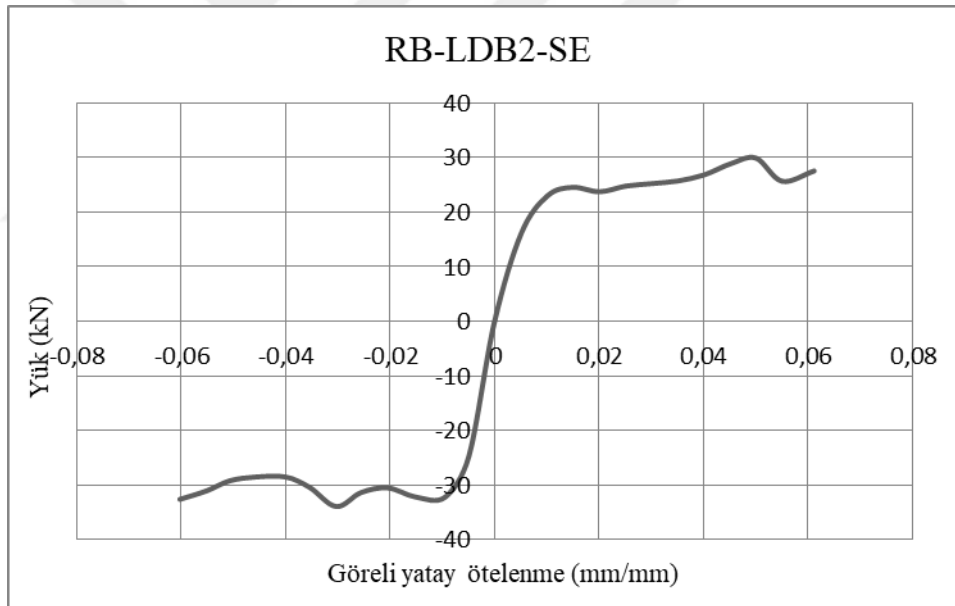


Şekil 4.58. RB- LDB2-SE deney elemanın son görüntüsü



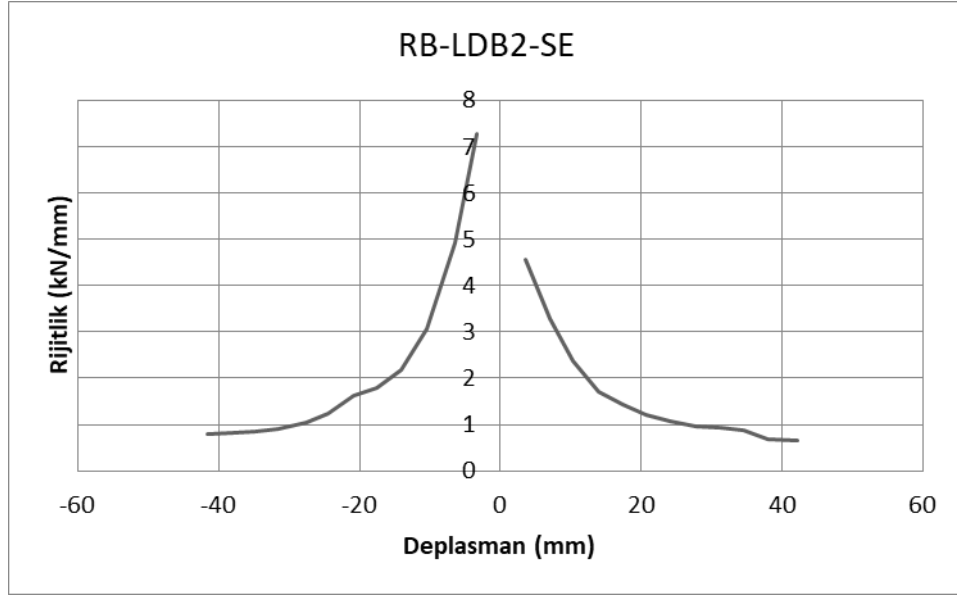
Şekil 4.59. RB- LDB2-SE elemanına ait yük-deplasman grafiği

Deney elemanında histeresis eğrisindeki her yüklemdeki maksimum yük noktalarının birleştirilmesi ile elde edilen zarf eğrisi Şekil 4.60'da verilmiştir.



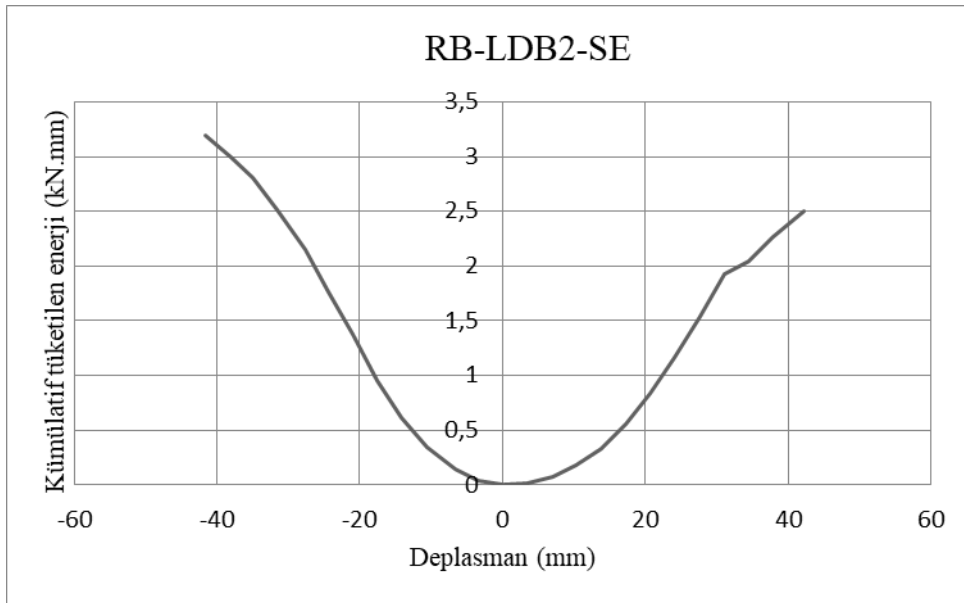
Şekil 4.60. RB- LDB2-SE elemanına ait zarf eğrisi

RB- LDB2-SE deney elemanına ile ilgili rijitlik grafiği çizilmiştir. Rijitlik grafiği her bir yüklemdeki yük değerinin, o noktadaki deplasman değerine bölünmesi ile elde edilir. Rijitlik grafiği şekil 4.61'de verilmiştir. Deney elemanının + çevrimdeki başlangıç rijitliği 4.57 kN/mm ve – çevrimdeki başlangıç rijitliği 7.29 kN/mm olarak meydana gelmiştir.



Şekil 4.61. RB- LDB2-SE elemanına ait rijitlik grafiği

Deney elemanında yükleme esnasında her bir yüklemeye yük-deplasman eğrisinin altında kalan alan hesaplanmış ve her yüklemenin enerji değerleri bulunmuştur. Her çevrimde elde edilen enerji değerleri toplanarak kümülatif tüketilen enerji grafiği oluşturulmuş ve Şekil 4.62'de gösterilmiştir. Deney elemanında + çevrimdeki enerji tüketim değeri 2.17 kN.mm iken - çevrimdeki enerji tüketim değeri 2.77 kN.mm olduğu gözlenmiştir.



Şekil 4.62. RB- LDB2-SE elemanına ait kümülatif tüketilen enerji grafiği

4.1.7. Yedinci deney (RB- LDB2-SEW)

Bu deney elemanında referans numuneden farklı olarak, LDB2 ile üretilmiş güçlendirme paneli deney elemanının deprem davranışını iyileştirmek için kullanılmıştır. Deney elemanının hem doğusuna hem batısına Panel 1 adını verdiğimiz LDB2 ile üretilmiş güçlendirme paneli yerleştirilip tersinir tekrarlanır yükler altında test edilmiştir. Deney esnasında oluşan yer değiştirme, çatlaklar, hasarlar ve deney elemanında gözlemlenen durumlar Çizelge 4.7’de gösterilmiştir. Deney esnasında yüklemeler iki tekrarlı yapılmış olup, her yükleme noktasına iki kez gidilmiştir. Ancak Çizelge 4.7’de her bir çevrimde yükleme noktasına ilk ulaşıldığı andaki gözlemlenen durumlar gösterilmiştir. Deney elemanının deney başlamadan önceki görüntüsü Şekil 4.63’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.7. RB- LDB2-SEW elemanına ait yerdeğiştirme ve hasar oluşumu

Çev. No	Drift/Deplasman %/(mm)	Çatlak No	Açıklama
+1	0.005/3.45	1,2,3,4	Çatlak genişlikleri 0.1 mm olarak ölçüldü. 1 nolu çatlak kolon kiriş birleşim bölgesinde, 2 nolu çatlak L panelin birleşim bölgesinde olduğu görülmüştür.
-1	0.005/3.45	1,2,3,4,5,6,7	Çatlaklar 0.1 mm olarak ölçüldü. 1 nolu çatlak kolon kiriş bölgesinde, 2 nolu çatlak L panelin birleşim bölgesinde, 5 nolu çatlak kiriş panel birleşim bölgesinde olduğu görülmüştür.
+2	0.010/6.90	5,6	6 nolu çatlak kiriş panel arasında olduğu görülmüştür. Donatının aktığı görülmüştür. 3 nolu çatlak 0.2 mm 4 nolu çatlak 0.4 mm 5 nolu çatlak 0,4 mm genişliğinde ölçüldü.
-2	0.010/6.90		Donatının aktığı görüldü. 1 nolu çatlak 0.2 mm, 3 nolu çatlak 0.4 mm, 5 nolu çatlak 1.0 mm genişliğinde ölçüldü.
+3	0.015/10.35		5 nolu çatlak genişliği 2.8 mm, 6 nolu çatlak genişliği 3.5 mm geçtiği görüldü. 4 nolu çatlak genişliği 0.8 mm olarak ölçüldü.
-3	0.015/10.35	8	5 nolu çatlak 2.5 mm, 8 nolu çatlak 1.8 mm, 3 nolu çatlak 0.6 mm, 1 nolu çatlak 0.2 mm genişliğinde ölçülmüştür.
+4	0.020/13.80		6 nolu çatlak 3.5 mm, 5 nolu çatlak 3.5 mm

			genişliği aştığı görülmüştür.
-4	0.020/13.80		5 nolu çatlak genişliği 3.5 mm aştı. 3 nolu çatlak 0.9 mm genişliğinde görüldü.
+5	0.025/17.25		Beton kabuğunun döküldüğü görüldü. Donatı göründü.
-5	0.025/17.25		Farklı bir durum gözlenmemiştir.
+6	0.030/20.70		Farklı bir durum gözlenmemiştir.
-6	0.030/20.70		Güçlendirme panelin ikiye ayrıldığı gözlendi.
+7	0.035/24.15		Donatının koptuğu görüldü.
-7	0.035/24.15		Farklı bir durum gözlenmemiştir.
+8	0.040/27.60		Farklı bir durum gözlenmemiştir.
-8	0.040/27.60		Farklı bir durum gözlenmemiştir.
+9	0.045/31.05		Farklı bir durum gözlenmemiştir.
-9	0.045/31.05		Farklı bir durum gözlenmemiştir.
+10	0.050/34.50		Farklı bir durum gözlenmemiştir.
-10	0.050/34.50		Farklı bir durum gözlenmemiştir.
+11	0.055/37.95		Farklı bir durum gözlenmemiştir.

RB- LDB2-SEW deney elemanında ilk çatlaklar kolon kiriş birleşim bölgesinde ve panel birleşim bölgesinde görülmüştür. Bu yükleme anına ait görüntü şekil 4.64'te gösterilmiştir.



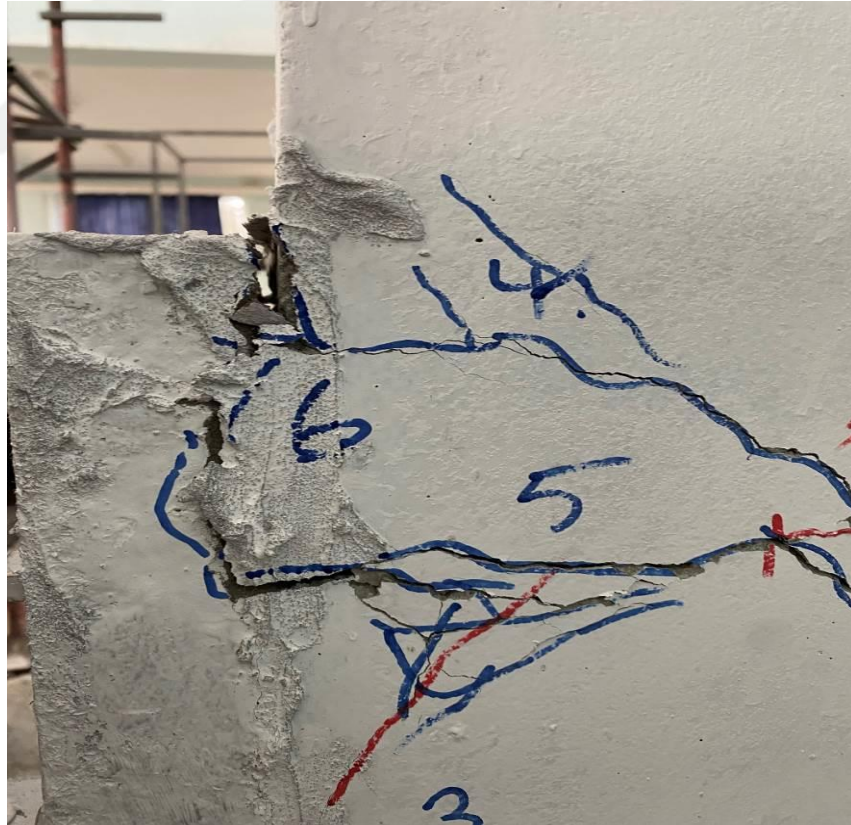
Şekil 4.63. RB- LDB2-SEW deney elemanın ilk görüntüsü



Şekil 4.64. RB- LDB2-SEW deney elemanın ilk çatlaklar

Deney elemanında çevrim +4'te panel ve kiriş birleşim bölgesinde ayrılma meydana gelmiştir. Elemanın bu yüklemdeki görüntüsü Şekil 4.65'te gösterilmiştir. Çevrim +5'te ayrılma ilerlemiş ve kiriş yüzeyinde kabuk beton akması gözlenmiştir. Elemanın bu yüklemdeki görüntüsü Şekil 4.66'da gösterilmiştir. Çevrim +7'de donatı kopmuştur ve elemanın bu yüklemdeki görüntüsü Şekil 4.67'de gösterilmiştir. Deney sonunda çatlak dağılımı Şekil 4.68'de görülmüştür. Deney elemanın son görüntüsü Şekil 4.69'da görülmüştür.

RB- LDB2-SEW deney elemanına ait yük-deplasman grafiği Şekil 4.70'de verilmiştir. Deney elemanı + çevrimde 27.71 kN yük taşımıştır ve bu yük altında 5.34 mm deplasman meydana gelmiştir. Deney elemanı – çevrimde ise 35.25 kN yük taşımıştır ve bu yük altında 13.71 mm deplasman meydana gelmiştir. Deney elemanında + çevrimde 20.78 kN yük altında akma görülmüş ve bu noktada 3.73 mm deplasman meydana gelmiştir. Deney elemanı – çevrimde 26.43 kN yük altında akma görülmüş ve bu noktada 4.26 mm deplasman meydana gelmiştir.



Şekil 4.65. RB- LDB2-SEW deney elemanında panel ve kiriş bölgesinde görülen ayrılma



Şekil 4.66. RB- LDB2-SEW deney elemanında kabuk beton atma



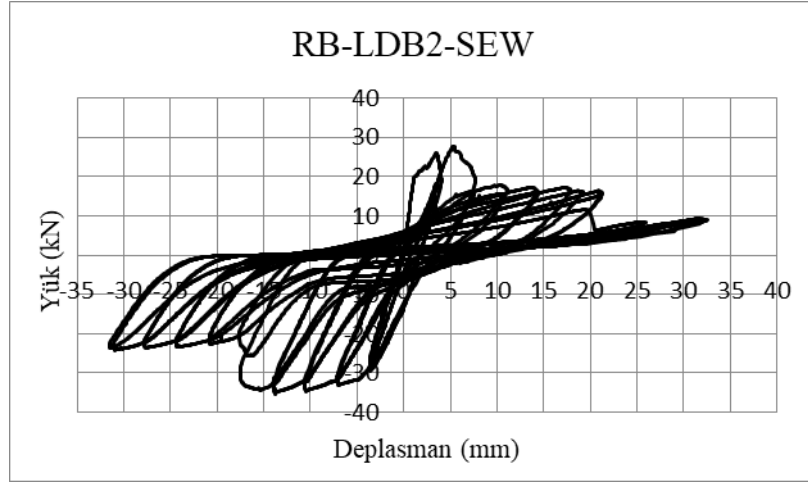
Şekil 4.67. RB- LDB2-SEW deney elemanında donatı kopması



Şekil 4.68. RB- LDB2-SEW deney elemanın son durumdaki çatlak dağılımı

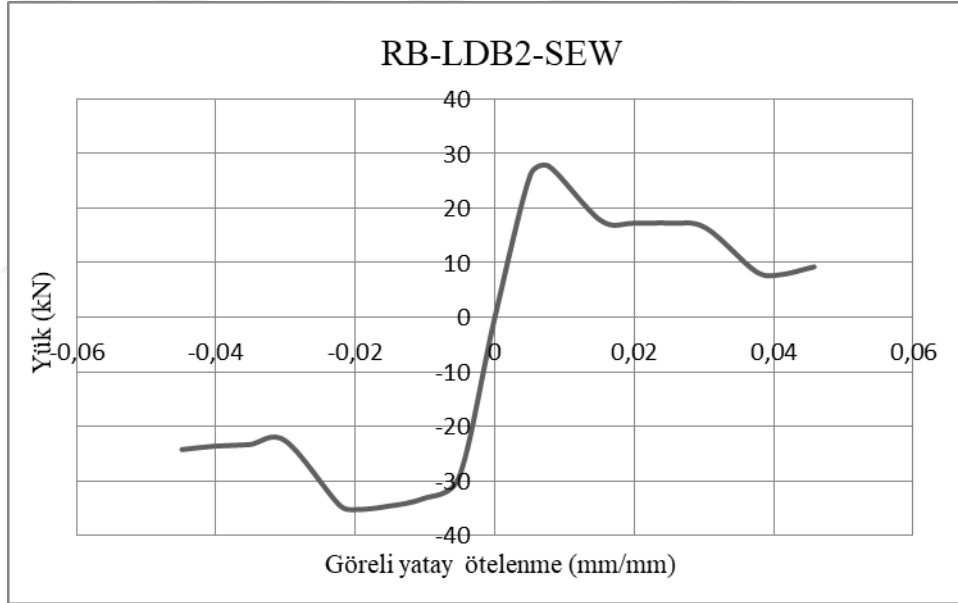


Şekil 4.69. RB- LDB2-SEW deney elemanın son görüntüsü



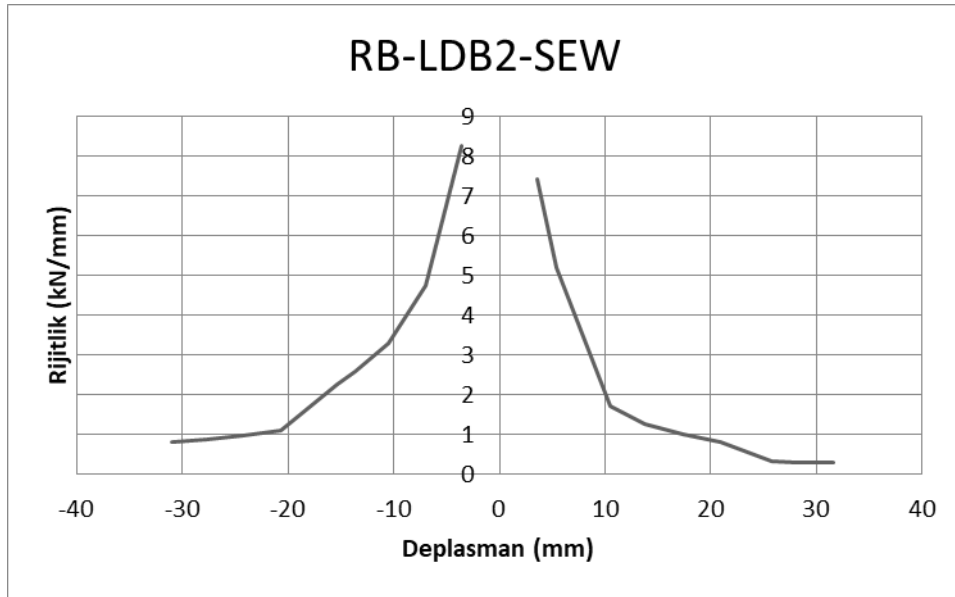
Şekil 4.70. RB- LDB2-SEW elemanına ait yük-deplasman grafiği

Deney elemanında histeresis eğrisindeki her yüklemdeki maksimum yük noktalarının birleştirilmesi ile elde edilen zarf eğrisi Şekil 4.71’de verilmiştir.



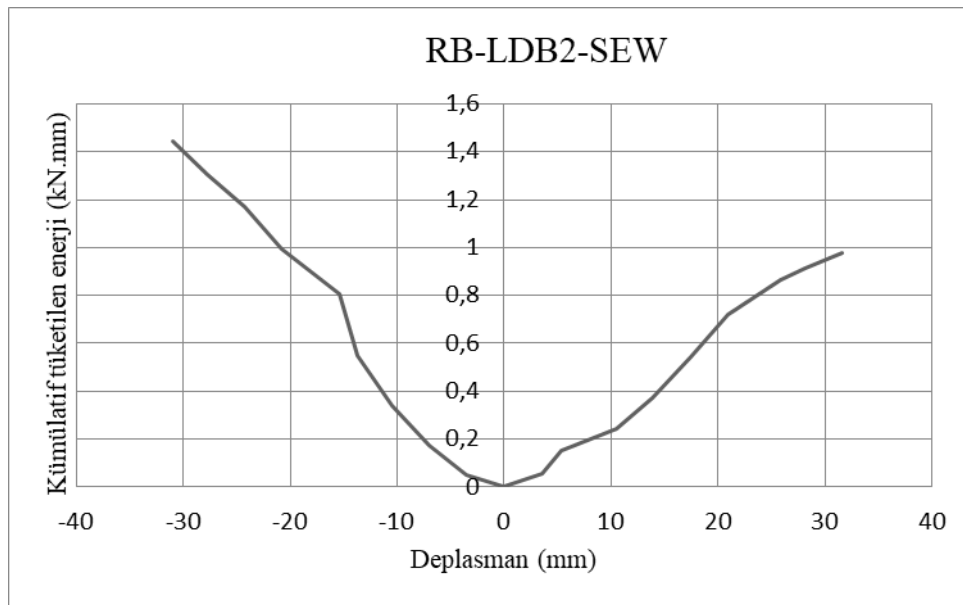
Şekil 4.71. RB- LDB2-SEW elemanına ait zarf eğrisi

RB- LDB2-SEW deney elemanına ile ilgili rijitlik grafiği çizilmiştir. Rijitlik grafiği her bir yüklemdeki yük değerinin, o noktadaki deplasman değerine bölünmesi ile elde edilir. Rijitlik grafiği şekil 4.72’de verilmiştir. Deney elemanının + çevrimdeki başlangıç rijitliği 7.43 kN/mm ve – çevrimdeki başlangıç rijitliği 8.27 kN/mm olarak meydana gelmiştir.



Şekil 4.72. RB- LDB2-SEW elemanına ait rijitlik grafiği

Deney elemanında yükleme esnasında her bir yüklemeye yük-deplasman eğrisinin altında kalan alan hesaplanmış ve her yüklemenin enerji değerleri bulunmuştur. Her çevrimde elde edilen enerji değerleri toplanarak kümülatif tüketilen enerji grafiği oluşturulmuş ve Şekil 4.73'te gösterilmiştir. Deney elemanında + çevrimdeki enerji tüketim değeri 0.97 kN.mm iken – çevrimdeki enerji tüketim değeri 1.44 kN.mm olduğu gözlenmiştir.



Şekil 4.73. RB- LDB2-SEW elemanına ait kümülatif tüketilen enerji grafiği

4.1.8. Sekizinci deney (RB- LDB2-LE)

Bu deney elemanında referans numuneden farklı olarak, LDB2 ile üretilmiş güçlendirme paneli deney elemanının deprem davranışını iyileştirmek için kullanılmıştır. Deney elemanının doğusuna Panel 2 adını verdiğimiz LDB2 ile üretilmiş güçlendirme paneli yerleştirilip tersinir tekrarlanır yükler altında test edilmiştir. Deney esnasında oluşan yer değiştirme, çatlaklar, hasarlar ve deney elemanında gözlemlenen durumlar Çizelge 4.8’de gösterilmiştir. Deney esnasında yüklemeler iki tekrarlı yapılmış olup, her yükleme noktasına iki kez gidilmiştir. Ancak Çizelge 4.8’de her bir çevrimde yükleme noktasına ilk ulaşıldığı andaki gözlemlenen durumlar gösterilmiştir. Deney elemanının deney başlamadan önceki görüntüsü Şekil 4.74’te gösterilmiştir.

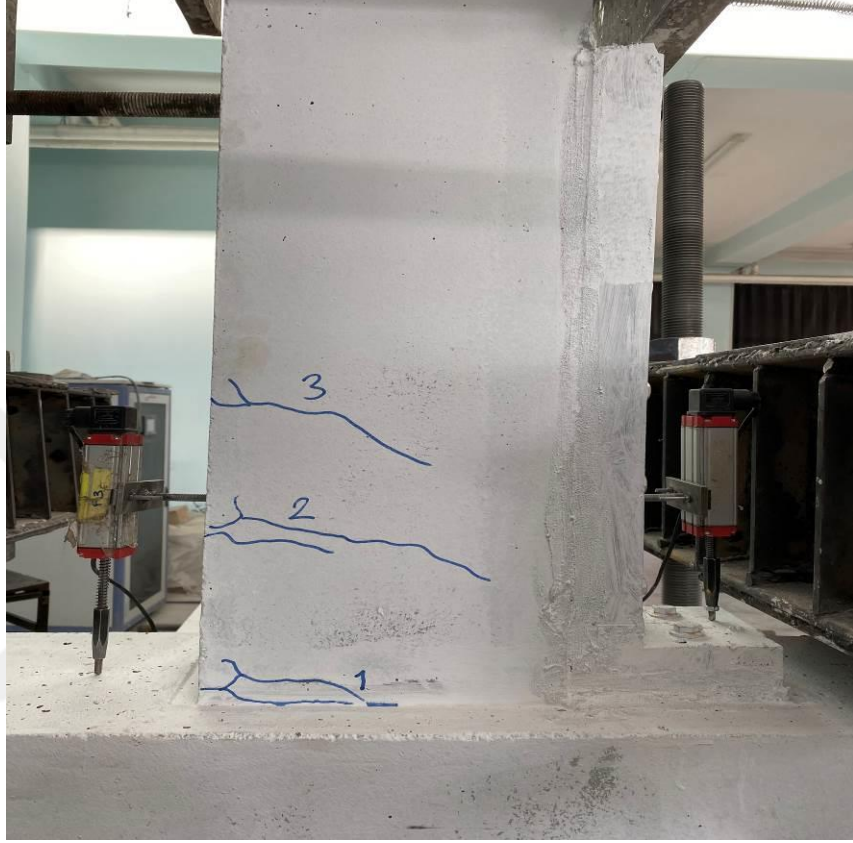


Şekil 4.74. RB- LDB2-LE deney elemanın ilk görüntüsü

Çizelge 4.8. RB- LDB2-LE elemanına ait yerdeğiştirme ve hasar oluşumu

Çev. No	Drift/Deplasman %/(mm)	Çatlak No	Açıklama
+1	0.005/3.45	1,2,3	1 nolu çatlak kolon kiriş birleşim bölgesinde görüldü.
-1	0.005/3.45	1,2,3,4,5,6,7	1 nolu çatlak kolon kiriş birleşim bölgesinde, 2 nolu çatlak L panel birleşim bölgesinde, 3 nolu çatlak panel kiriş birleşim bölgesinde görüldü.
+2	0.010/6.90	4	1 nolu çatlak genişliği 0.7 mm ulaştığı görüldü
-2	0.010/6.90		1 nolu çatlak 0.6 mm, 2 nolu çatlak 0.7 mm, 3 nolu çatlak 0.3 mm genişliğinde ölçüldü.
+3	0.015/10.35		1 nolu çatlak 1.6 mm, 2 nolu çatlak 0.2 mm, 3 nolu çatlak 0.3 mm genişliğinde ölçüldü.
-3	0.015/10.35		2 nolu çatlak 2.9 mm genişliğinde, 1 nolu çatlak 1.1 mm genişliğinde ölçülmüş olup güçlendirme panel birleşim bölgesinde ciddi hasarlar gözlenmeye başladı.
+4	0.020/13.80		1 nolu çatlak genişliği 2.3 mm olarak ölçüldü.
-4	0.020/13.80		1 nolu çatlak genişliği 2.5 mm, 2 nolu çatlak genişliği 3.5 mm den fazla olduğu görüldü.
+5	0.025/17.25	5	1 nolu çatlak genişliği 3.5 mm geçtiği 5 nolu çatlak genişliği 2.3 mm olarak ölçüldü.
-5	0.025/17.25		Basınç bölgesinden gelen çatlak ile çekme bölgesinden gelen çatlakın birleştiği görüldü. L birleşim bölgesinden kopmak üzere olduğu gözlemlendi.
+6	0.030/20.70		Kabuk betonun döküldüğü görüldü. Donatı görüldü.
-6	0.030/20.70		Güçlendirme panel birleşim bölgesi artık bağımsız çalıştığı görüldü. 1 nolu çatlak 3,5 mm den fazla genişliğe ulaştı.
+7	0.035/24.15		Donatının burkulduğu görüldü. Temelle arasında kopmalar başladığı gözlemlendi.
-7	0.035/24.15		Güçlendirme panelin alt bölgesiyle kirişin ayrı çalıştığı gözlemlendi.
+8	0.040/27.60		Basınç bölgesindeki donatının koptuğu gözlemlendi.
-8	0.040/27.60		Güçlendirme panelin alt ve üst kısmının tamamen ayrıldığı gözlemlendi.
+9	0.045/31.05		Donatının koptuğu görüldü.
-9	0.045/31.05		Farklı bir durum gözlenmemiştir.

RB- LDB2-LE deney elemanında oluşan ilk çatlaklar kiriş yüzeyinde ve kolon kiriş birleşim bölgesinde görülmüştür. Şekil 4.75'te deney elemanında oluşan ilk çatlaklar verilmiştir.



Şekil 4.75. RB- LDB2-LE deney elemanında oluşan ilk çatlaklar

RB- LDB2-LE deney elemanında +6. çevrimde paspayı dökülmeye başladı ve etriye görünür hale geldi. Bu adımın görüntüsü Şekil 4.76'da gösterilmiştir.



Şekil 4.76. RB- LDB2-LE deney elemanında dökülen paspayı ve görünen etriye

RB- LDB2-LE deney elemanında -6. çevrimde güçlendirme panelin birleşim yerinde ciddi hasarlar meydana geldi. Bu adımın görüntüsü Şekil 4.77’de gösterilmiştir.



Şekil 4.77. RB- LDB2-LE deney elemanında güçlendirme panelin birleşim yerinde oluşan ciddi hasarlar

RB- LDB2-LE deney elemanında +9. çevrimde donatı kopmuştur. Deney elemanının bu adımdaki görüntüsü Şekil 4.78'de verilmiştir. Deney elemanın son görüntüsü Şekil 4.79'da gösterilmiştir. Deney sonunda numunede meydana gelen çatlak dağılımı Şekil 4.80'de gösterilmiştir.

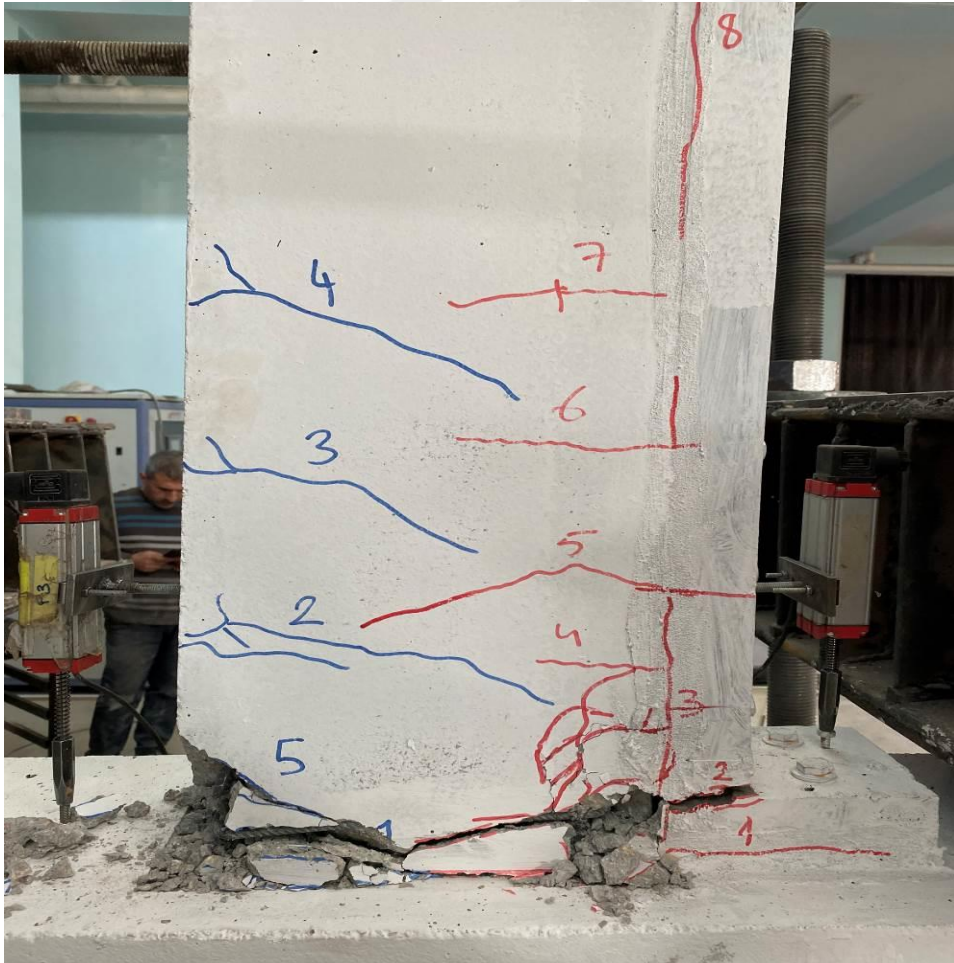
RB-LDB2-LE deney elemanına ait yük-deplasman grafiği Şekil 4.81'de verilmiştir. Deney elemanı + çevrimde 24.49 kN yük taşımıştır ve bu yük altında 10.41 mm deplasman meydana gelmiştir. Deney elemanı – çevrimde ise 32.07 kN yük taşımıştır ve bu yük altında 7.34 mm deplasman meydana gelmiştir. Deney elemanında + çevrimde 18.37 kN yük altında akma görülmüş ve bu noktada 4.57 mm deplasman meydana gelmiştir. Deney elemanı – çevrimde 24.05 kN yük altında akma görülmüş ve bu noktada 4.17 mm deplasman meydana gelmiştir.



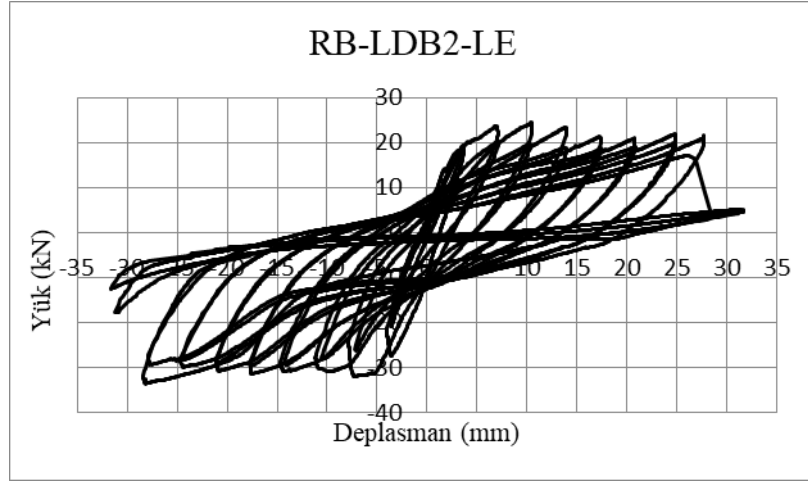
Şekil 4.78. RB- LDB2-LE deney elemanında meydana gelen donatı kopması



Şekil 4.79. RB- LDB2-LE elemanın deney sonundaki görünümü

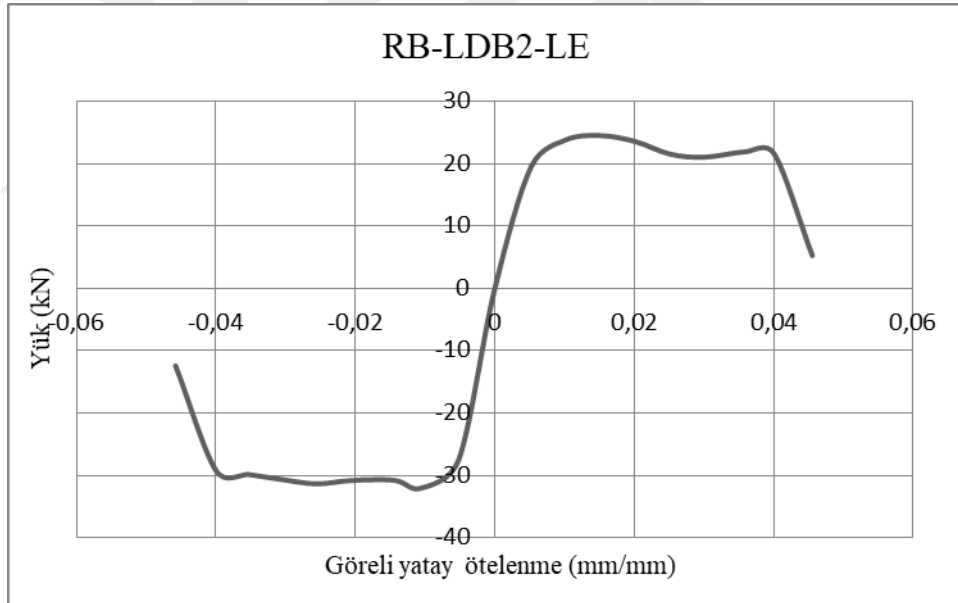


Şekil 4.80. RB- LDB2-LE elemanın deney sonundaki çatlak dağılımı



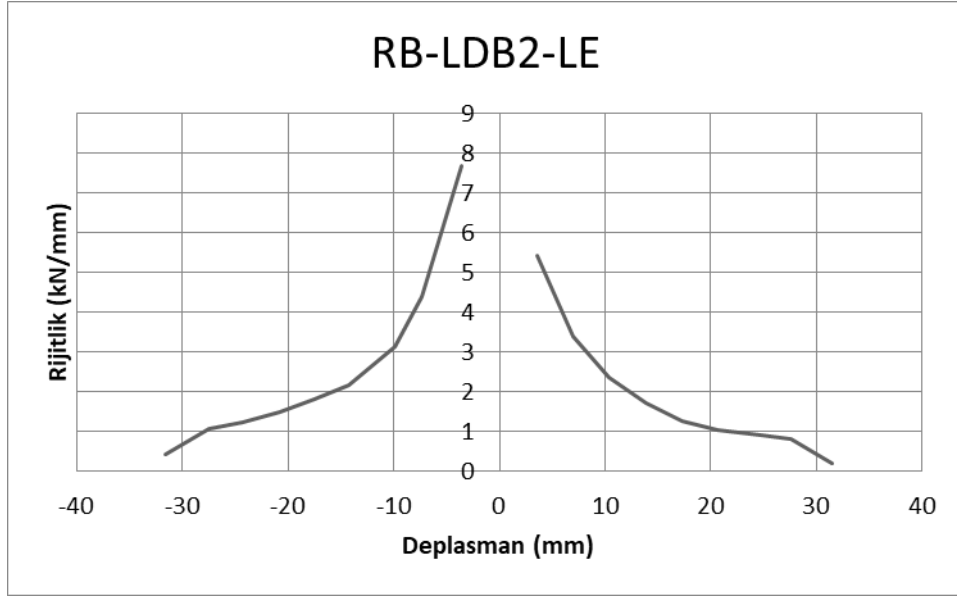
Şekil 4.81. RB- LDB2-LE elemanına ait yük-deplasman grafiği

Deney elemanında histeresis eğrisindeki her yüklemdeki maksimum yük noktalarının birleştirilmesi ile elde edilen zarf eğrisi Şekil 4.82’de verilmiştir.



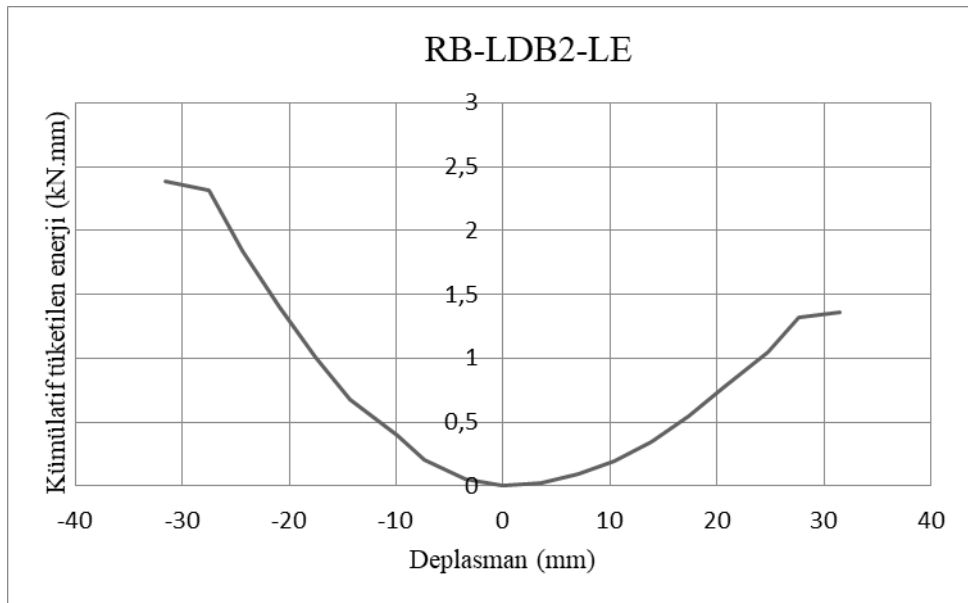
Şekil 4.82. RB- LDB2-LE elemanına ait zarf eğrisi

RB- LDB2-LE deney elemanına ile ilgili rijitlik grafiği çizilmiştir. Rijitlik grafiği her bir yüklemdeki yük değerinin, o noktadaki deplasman değerine bölünmesi ile elde edilir. Rijitlik grafiği şekil 4.83’te verilmiştir. Deney elemanının + çevrimdeki başlangıç rijitliği 5.42 kN/mm ve – çevrimdeki başlangıç rijitliği 7.67 kN/mm olarak meydana gelmiştir.



Şekil 4.83. RB- LDB2-LE elemanına ait rijitlik grafiği

Deney elemanında yükleme esnasında her bir yüklemeye yük-deplasman eğrisinin altında kalan alan hesaplanmış ve her yüklemenin enerji değerleri bulunmuştur. Her çevrimde elde edilen enerji değerleri toplanarak kümülatif tüketilen enerji grafiği oluşturulmuş ve Şekil 4.84’de gösterilmiştir. Deney elemanında + çevrimdeki enerji tüketim değeri 1.35 kN.mm iken – çevrimdeki enerji tüketim değeri 2.38 kN.mm olduğu gözlenmiştir.



Şekil 4.84. RB- LDB2-LE elemanına ait kümülatif tüketilen enerji grafiği

4.1.9. Dokuzuncu deney (RB- LDB2-LEW)

Bu deney elemanında referans numuneden farklı olarak, LDB2 ile üretilmiş güçlendirme paneli deney elemanının deprem davranışını iyileştirmek için kullanılmıştır. Deney elemanının hem doğusuna hem batısına Panel 2 adını verdiğimiz LDB2 ile üretilmiş güçlendirme paneli yerleştirilip tersinir tekrarlanır yükler altında test edilmiştir. Deney esnasında oluşan yer değiştirme, çatlaklar, hasarlar ve deney elemanında gözlemlenen durumlar Çizelge 4.9’da gösterilmiştir. Deney esnasında yüklemeler iki tekrarlı yapılmış olup, her yükleme noktasına iki kez gidilmiştir. Ancak Çizelge 4.9’da her bir çevrimde yükleme noktasına ilk ulaşıldığı andaki gözlemlenen durumlar gösterilmiştir. Deney elemanının deney başlamadan önceki görüntüsü Şekil 4.85’te gösterilmiştir.

Çizelge 4.9. RB- LDB2-LEW elemanına ait yer değiştirme ve hasar oluşumu

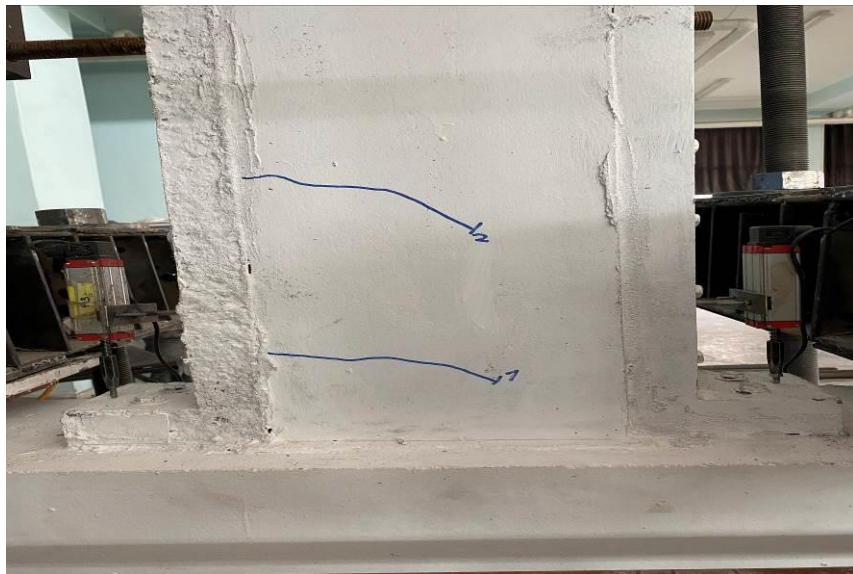
Çev. No	Drift/Deplasman %/(mm)	Çatlak No	Açıklama
+1	0.005/3.45	1,2	Çatlak genişlikleri 0.1 mm olarak ölçüldü.
-1	0.005/3.45	1,2,3,4	Çatlak genişlikleri 0.1 mm olarak ölçüldü. 1 nolu çatlak kolon-panel birleşim bölgesinde, 2 nolu çatlak kiriş panel birleşim bölgesinde görüldü.
+2	0.010/6.90	3,4,5,6,7	3 nolu çatlak kolon panel birleşim bölgesinde, 4 nolu çatlak kiriş panel birleşim bölgesinde, 7 nolu çatlak panel kiriş çatlağı olarak gözlenmiştir. 1 ve 2 nolu çatlakların uzadığı gözlenmiştir.
-2	0.010/6.90	5,6,7,8,9	5 nolu çatlak kolon kiriş bölgesinde, 10 nolu çatlak L panelin birleşim bölgesinde görülmüştür. 4 nolu çatlak genişliğinin 0.5 mm olduğu görülmüştür.
+3	0.015/10.35	8	1 nolu çatlağın uzadığı ve genişliği 0.5 mm ulaştığı, 4 nolu çatlağın 0.4 mm genişliğe ulaştığı gözlenmiştir. 7 nolu çatlağın panel kiriş boyuna uzadığı görülmüştür. 2 ve 6 nolu çatlakların dallandığı görülmüştür.
-3	0.015/10.35		5 nolu çatlak 0.6 mm ve 4 nolu çatlak 0.9 mm genişliğe ulaştığı gözlenmiştir.
+4	0.020/13.80		8 nolu çatlak 1.8 mm, 1 nolu çatlak 1 mm genişlikte olduğu görülmüştür. 4 nolu çatlağın dallandığı tespit edilmiştir.
-4	0.020/13.80		11 nolu çatlak 2.3 mm, 5 nolu çatlak 1.3 mm, 4

			nolu çatlak 1.6 mm genişliğe ulaştığı görülmüştür.
+5	0.025/17.25		1 ve 4 nolu çatlakların 3,5 mm genişliği aştığı görülmüştür.
-5	0.025/17.25		11 nolu çatlaklağın 3,5 mm genişliği geçtiği gözlenmiştir.
+6	0.030/20.70		Çatlakların genişlediği, kabuk betonda dökülmeler olduğu gözlenmiştir.
-6	0.030/20.70		Donatı görüldü.
+7	0.035/24.15		Donatı görülme oranının artış göstermekte olduğu gözlenmiştir.
-7	0.035/24.15		Donatının burkulduğu tespit edilmiştir.
+8	0.040/27.60		Kabuk betonun atmaya devam ettiği görülmüştür.
-8	0.040/27.60		Kabuk beton kolon kiriş birleşim bölgesi seviyesinde olduğu, 2 nolu çatlak 1.3 mm genişliğe ulaştığı görülmüştür.
+9	0.045/31.05		Kiriş plaka birleşim bölgesinde ayrılma olduğu gözlenmiştir.
-9	0.045/31.05		Kabuk betonun plaka kiriş ayrımından attığı görülmüştür.
+10	0.050/34.50		Donatının koptuğu görülmüştür.
-10	0.050/34.50		Kabuk beton yarığının derinleştiği, kolon kiriş çatlağının uzadığı görülmüştür.
+11	0.055/37.95		Kabuk beton yarığının derinleştiği, kolon kiriş çatlağının uzadığı görülmüştür.
-11	0.005/3.45		Kabuk beton yarığının derinleştiği, kolon kiriş çatlağının uzadığı görülmüştür.



Şekil 4.85. RB- LDB2-LEW deney elemanın ilk görüntüsü

RB- LDB2-LEW deney elemanında oluşan ilk çatlaklar kiriş yüzeyinde meydana gelmiştir. Bu yükleme adımına ait görüntüsü şekil 4.86’da gösterilmiştir.



Şekil 4.86. RB- LDB2-LEW deney elemanında oluşan ilk çatlaklar

RB- LDB2-LEW deney elemanında -7. Çevrimde kabuk betonda atmalar ve donatı burkulması meydana gelmiştir. Elemanın bu yüklemdeki görüntüsü Şekil 4.87’de gösterilmiştir. Deney elemanında +10. Çevrimde donatı da kopma meydana gelmiştir. Elemanın bu yüklemdeki görüntüsü Şekil 4.88’de gösterilmiştir. Deney sonunda çatlak dağılım şekil 4.89’da görülmektedir. Deney elemanın son görüntüsü şekil 4.90’da görülmektedir.

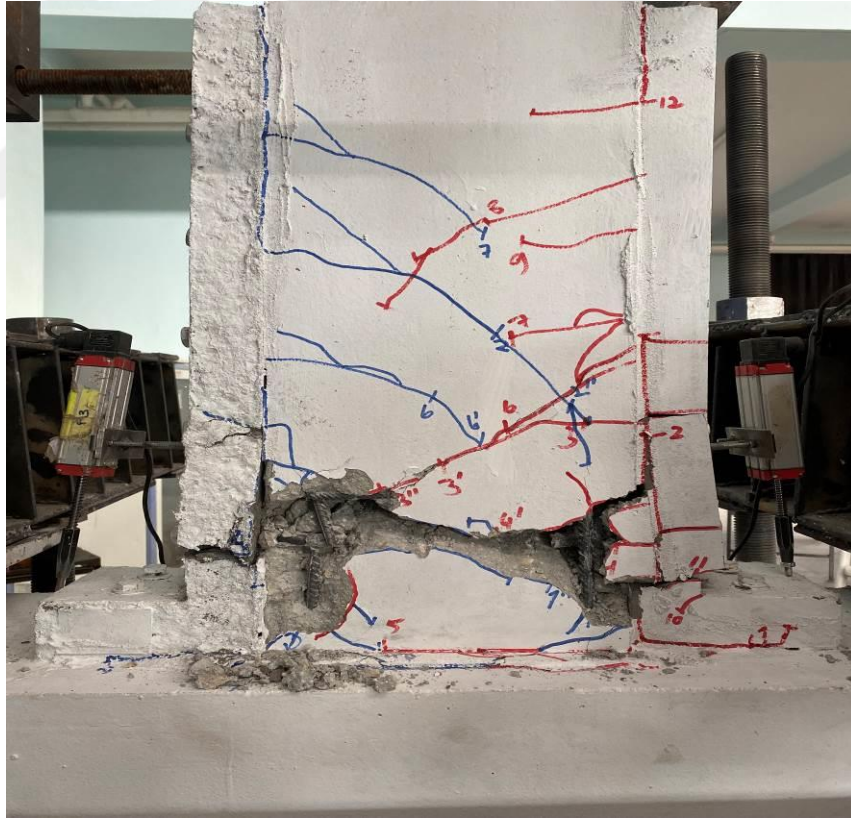
RB- LDB2-LEW deney elemanına ait yük-deplasman grafiği şekil 4.91’de verilmiştir. Deney elemanı + çevrimde 28.05 kN yük taşımıştır ve bu yük altında 6.90 mm deplasman meydana gelmiştir. Deney elemanı – çevrimde ise 47.71 kN yük taşımıştır ve bu yük altında 38.17 mm deplasman meydana gelmiştir. Deney elemanında + çevrimde 21.04 kN yük altında akma görülmüş ve bu noktada 4.60 mm deplasman meydana gelmiştir. Deney elemanı – çevrimde 35.55 kN yük altında akma görülmüş ve bu noktada 6.75 mm deplasman meydana gelmiştir.



Şekil 4.87. RB- LDB2-LEW elemanında görülen donatı burkulması ve panel-kiriş birleşim yerinde meydana gelen hasar



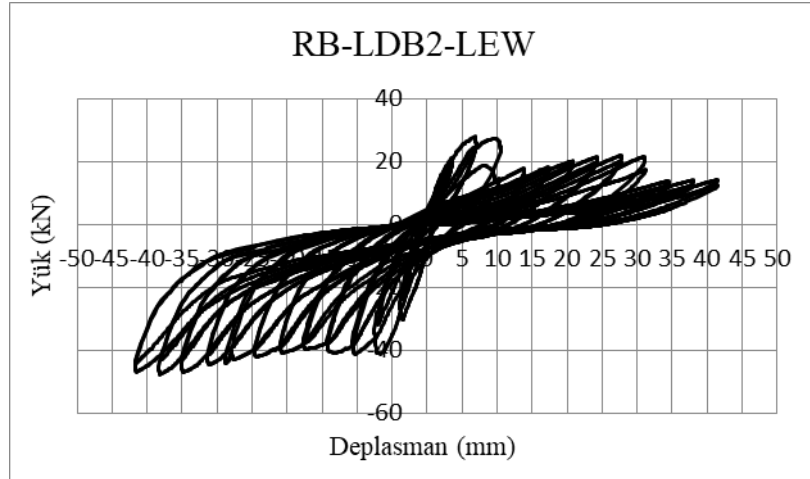
Şekil 4.88. RB- LDB2-LEW elemanında görülen donatı kopması ve panellerdeki ciddi hasarlar



Şekil 4.89. RB- LDB2-LEW elemanın deney sonundaki çatlak dağılımı

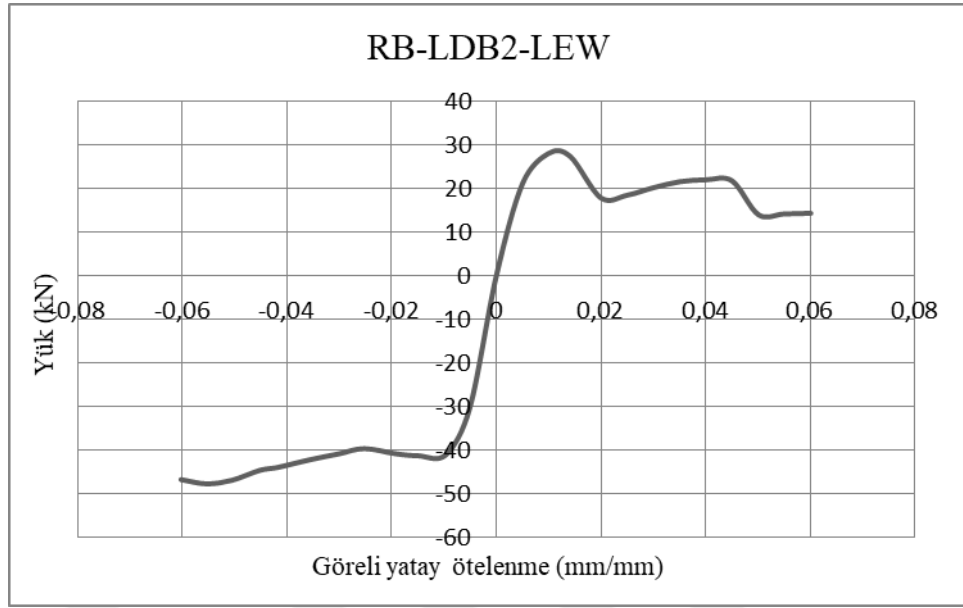


Şekil 4.90. RB- LDB2-LEW elemanın deney sonundaki görünümü



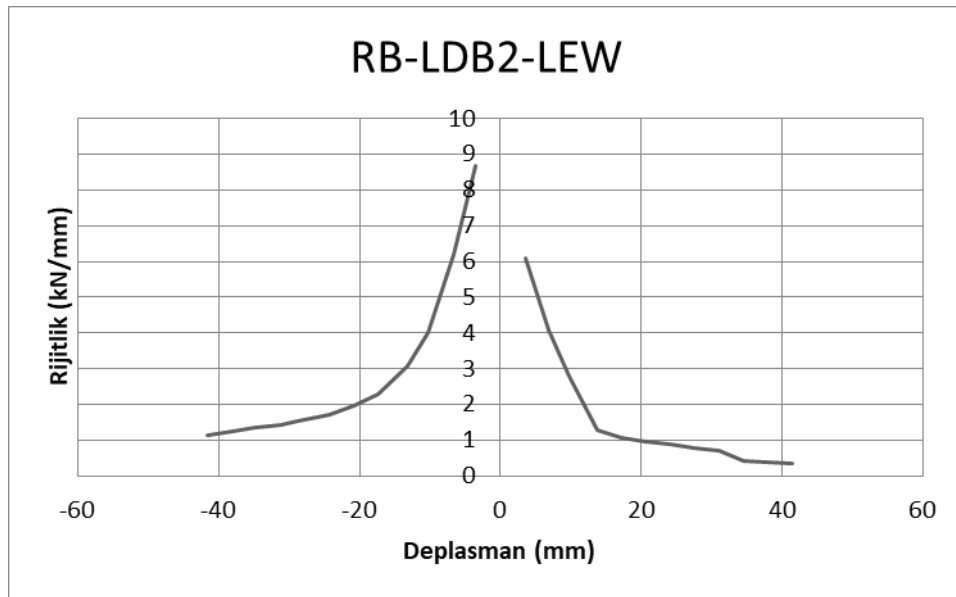
Şekil 4.91. RB- LDB2-LEW elemanına ait yük-deplasman grafiği

Deney elemanında histeresis eğrisindeki her yüklemdeki maksimum yük noktalarının birleştirilmesi ile elde edilen zarf eğrisi Şekil 4.92’de verilmiştir.



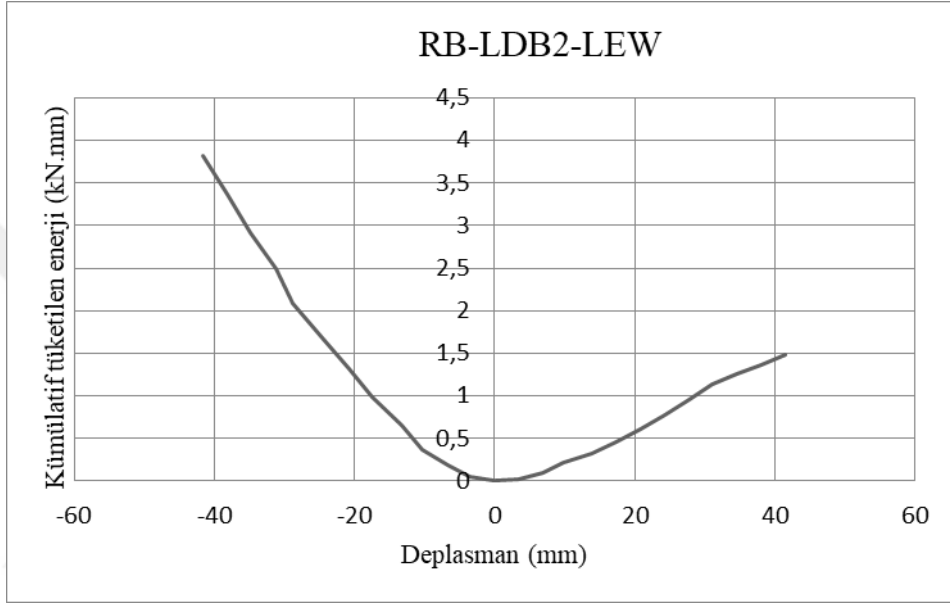
Şekil 4.92. RB- LDB2-LEW elemanına ait zarf eğrisi

RB- LDB2-LEW deney elemanına ile ilgili rijitlik grafiği çizilmiştir. Rijitlik grafiği her bir yüklemedeki yük değerinin, o noktadaki deplasman değerine bölünmesi ile elde edilir. Rijitlik grafiği şekil 4.93’de verilmiştir. Deney elemanının + çevrimdeki başlangıç rijitliği 6.10 kN/mm ve – çevrimdeki başlangıç rijitliği 8.67 kN/mm olarak meydana gelmiştir.



Şekil 4.93. RB- LDB2-LEW elemanına ait rijitlik grafiği

Deney elemanında yükleme esnasında her bir yüklemeye yük-deplasman eğrisinin altında kalan alan hesaplanmış ve her yüklemenin enerji değerleri bulunmuştur. Her çevrimde elde edilen enerji değerleri toplanarak kümülatif tüketilen enerji grafiği oluşturulmuş ve Şekil 4.94'te gösterilmiştir. . Deney elemanında + çevrimdeki enerji tüketim değeri 1.47 kN.mm iken – çevrimdeki enerji tüketim değeri 3.81 kN.mm olduğu gözlenmiştir.



Şekil 4.94. RB- LDB2-LEW elemanına ait kümülatif tüketilen enerji grafiği

4.2. Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması

Bu bölümde, 9 adet betonarme konsol kiriş numunesinin deney sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu deney numunelerinin karşılaştırılması yapılırken deney parametreleri dikkate alınıp gruplara ayrılmıştır. Çizelge 4.10'da eleman grupları belirtilmektedir. Kolon-kiriş birleşim bölgesinin güçlendirilme etkisiyle yapısal davranışının incelendiği gruplarda, LDB1 kullanılarak üretilen panelin konulduğu yere göre, aynı şekilde LDB2 kullanılarak üretilen panelin konulduğu yere göre, referans numune ile aynı konuma yerleştirilen LDB1 ve LDB2 kullanılarak üretilen panellerin kolon-kiriş birleşim bölgesindeki davranış farklılığı ve tüm numuneler karşılaştırılarak inceleme yapılmıştır. Deney numuneleri karşılaştırılırken kullanılan grafikler ve değerler şunlardır:

- Zarf eğrileri,

- Rijitlik grafikleri,
- Kümülatif tüketilen enerji grafikleri,
- Süneklik değerleri.

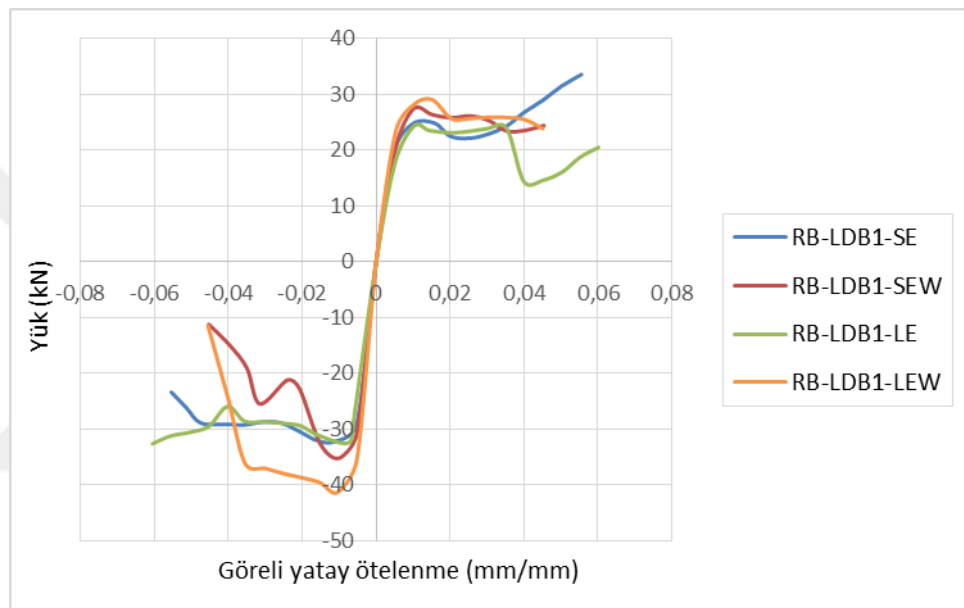
Çizelge 4.10. Deney elemanlarının karşılaştırma grupları

Grup	Karşılaştırma metodu	Kullanılan deney elemanı
1	LDB1 panellerin yerleşim konumu ve boyutuna göre etkisi	A) RB-LDB1-SE B) RB-LDB1-SEW C) RB-LDB1-LE D) RB-LDB1-LEW
2	LDB2 panellerin yerleşim konumu ve boyutuna göre etkisi	A) RB-LDB2-SE B) RB-LDB2-SEW C) RB-LDB2-LE D) RB-LDB2-LEW
3	Referans numunenin aynı konuma yerleştirilen aynı boyuttaki LDB1 LDB2 paneller ile güçlendirilmiş numuneler ile karşılaştırılması	A)RB B)RB-LDB1-SE C)RB-LDB2-SE
4		A)RB B)RB-LDB1-SEW C)RB-LDB2-SEW
5		A)RB B)RB-LDB1-LE C)RB-LDB2-LE
6		A)RB B)RB-LDB1-LEW C)RB-LDB2-LEW

4.2.1. LDB1 panellerin yerleşim konumu ve boyutuna göre etkisi

Grup 1'e ait deney elemanlarının zarf eğrileri ile LDB1 panel yerleşim konumu ve boyutuna göre etkisi incelenmiş ve Şekil 4.95'te verilmiştir. RB-LDB1-SE deney elemanının maksimum yükü ileri çevrimlerde 33.62 kN, geri çevrimlerde 32.25 kN olarak ölçülmüştür. RB-LDB1-SEW deney elemanının maksimum yükü ileri çevrimlerde 27.45 kN, geri çevrimlerde 35.24 kN olarak ölçülmüştür. RB-LDB1-LE deney elemanının maksimum yükü ileri çevrimlerde 24.34 kN, geri çevrimlerde 32.63 kN olarak ölçülmüştür. RB- LDB1-LEW deney elemanının maksimum yükü ileri çevrimlerde 29.09 kN, geri çevrimlerde 41.35 kN olarak ölçülmüştür. İleri çevrimlerde

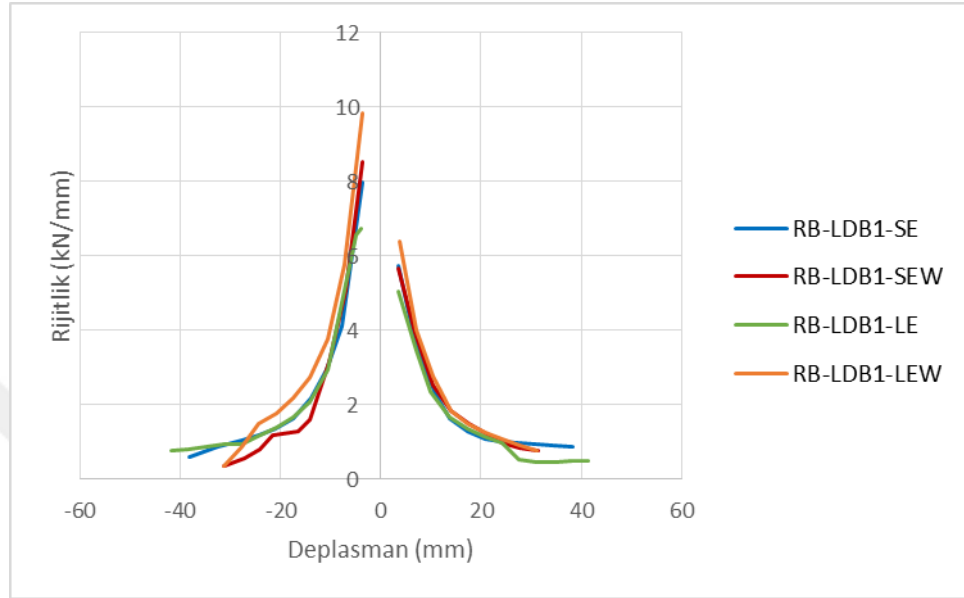
RB-LDB1-SE numunesinin maksimum yükü RB-LDB1-SEW, RB-LDB1-LE ve RB-LDB1-LEW numunelerine göre sırayla %22.47, %38.12 ve %15.57 daha yüksektir. Geri çevrimlerde RB-LDB1-LEW numunesinin maksimum yükü RB-LDB1-SE, RB-LDB1-SEW ve RB-LDB1-LE numunelerine göre sırayla %28.21, %17.33 ve %26.72 daha yüksektir. İleri çevrimlerde deney elemanının doğusuna yerleştirilen kısa panel yardımıyla elemanın yük taşıma kapasitesinin en yüksek seviyede olduğu, geri çevrimlerde ise hem doğu hem batısına yerleştirilen paneller ile elemanın yük taşıma kapasitesinin en yüksek seviyede olduğu görülmektedir.



Şekil 4.95. Grup 1'e ait zarf eğrisi

Grup 1'e ait deney elemanlarının rijitlik grafiklerinde LDB1 panellerin kolon-kiriş birleşim bölgesine yerleşim konumu ve boyuna göre değişimi incelenmiş ve Şekil 4.96'da verilmiştir. RB-LDB1-SE deney elemanının başlangıç rijitliği ileri çevrimlerde 5.75 kN/mm, geri çevrimlerde 7.98 kN/mm olarak ölçülmüştür. RB-LDB1-SEW deney elemanının başlangıç rijitliği ileri çevrimlerde 5.67 kN/mm, geri çevrimlerde 8.51 kN/mm olarak ölçülmüştür. RB-LDB1-LE deney elemanının başlangıç rijitliği ileri çevrimlerde 5.05 kN/mm, geri çevrimlerde 6.73 kN/mm olarak ölçülmüştür. RB-LDB1-LEW deney elemanının başlangıç rijitliği ileri çevrimlerde 6.38 kN/mm, geri çevrimlerde 9.84 kN/mm olarak ölçülmüştür. İleri çevrimlerde RB-LDB1-LEW numunesinin başlangıç rijitliği RB-LDB1-SE, RB-LDB1-SEW ve RB-LDB1-LE numunelerine göre sırayla %10.95, %12.52 ve %26.33 daha yüksektir. Geri çevrimlerde

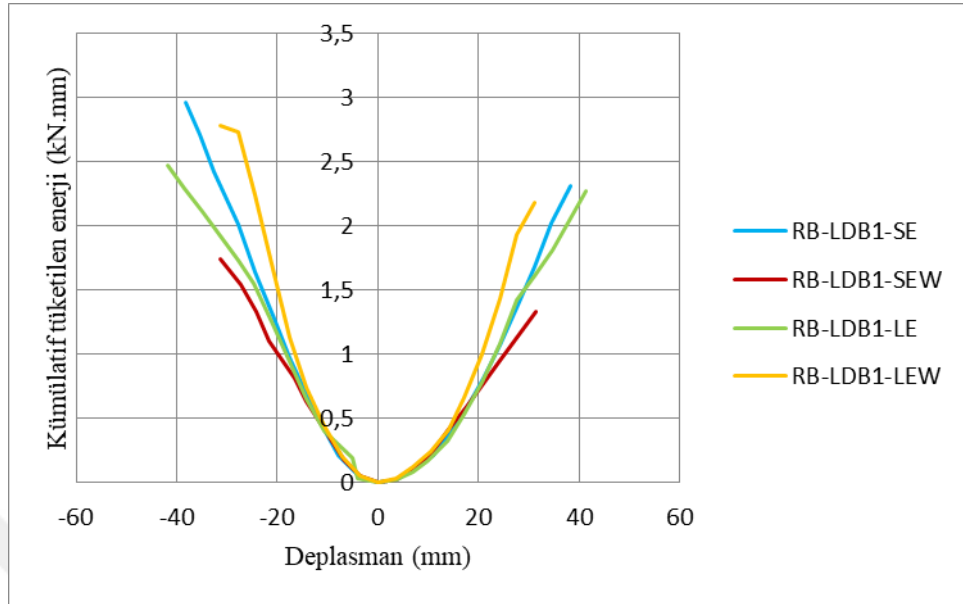
RB-LDB1-LEW numunesinin başlangıç rijitliği RB-LDB1-SE, RB-LDB1-SEW ve RB-LDB1-LE numunelerine göre sırayla %23.30, %15.62 ve %42.21 daha yüksektir. Bu grupta deney numunesinin hem doğusuna hem batısına koyulan uzun paneller hem geri hem ileri çevrimde daha rijit bir davranış sergilemişlerdir.



Şekil 4.96. Grup 1'e ait rijitlik grafiği

Şekil 4.97'de Grup 1'e ait kümülatif tüketilen enerji grafiği görülmektedir. RB-LDB1-SE deney elemanının maksimum kümülatif tüketilen enerji ileri çevrimlerde 2.30 kN.mm, geri çevrimlerde 2.95 kN.mm olarak ölçülmüştür. RB-LDB1-SEW deney elemanının maksimum kümülatif tüketilen enerji ileri çevrimlerde 1.32 kN.mm, geri çevrimlerde 1.74 kN.mm olarak ölçülmüştür. RB-LDB1-LE deney elemanının maksimum kümülatif tüketilen enerji ileri çevrimlerde 2.27 kN.mm, geri çevrimlerde 2.44 kN.mm olarak ölçülmüştür. RB-LDB1-LEW deney elemanının maksimum kümülatif tüketilen enerji ileri çevrimlerde 2.17 kN.mm, geri çevrimlerde 2.77 kN.mm olarak ölçülmüştür. İleri çevrimlerde RB-LDB1-SE numunesinin maksimum kümülatif tüketilen enerjisi RB-LDB1-SEW, RB-LDB1-LE VE RB-LDB1-LEW numunelerine göre sırasıyla %74.24, %1.32 ve %5.99 daha yüksektir. Geri çevrimlerde RB-LDB1-SE numunesinin maksimum kümülatif tüketilen enerjisi RB-LDB1-SEW, RB-LDB1-LE VE RB-LDB1-LEW numunelerine göre sırasıyla %69.54, %20.90 ve %36.10 daha yüksektir. Grafikler incelendiğinde deney elemanının doğusuna yerleştirilen kısa panel yardımıyla genel olarak tüketilen enerji miktarını arttırmıştır. Tüketilen enerji

miktarının artması soğurulan enerjinin miktarının artması demek olduğundan panel boyutu ve konumu önem taşımaktadır.



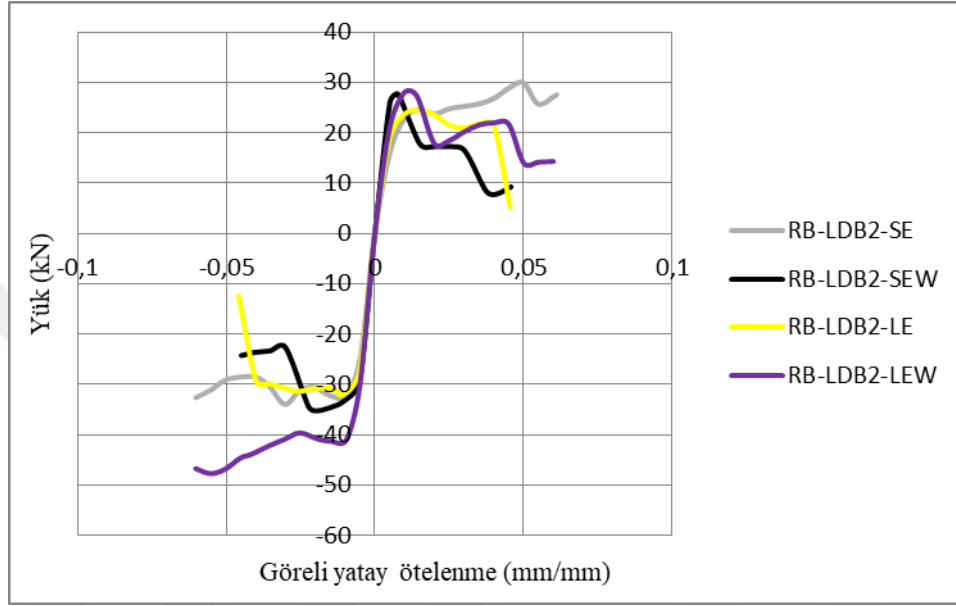
Şekil 4.97. Grup 1'e ait Kümülatif tüketilen enerji grafiği

Grup 1'e ait deney elemanların ortalama süneklik değerleri incelenmiştir. RB-LDB1-SEW numunesinin süneklik değeri RB-LDB1-SE, RB-LDB1-LE ve RB-LDB1-LEW numunelerine göre sırayla %9.97, %39.89 ve %64.19 daha düşüktür. Burada RB-LDB1-LEW deney elemanı daha sünek davranış göstermiştir. Bu grupta özel beton içeren uzun panellerin kısa panellere göre daha sünek davrandığı anlaşılmaktadır.

4.2.2. LDB2 panellerin yerleşim konumu ve boyutuna göre etkisi

Grup 2'ye ait deney elemanlarının zarf eğrileri ile LDB2 panel yerleşim konumu ve boyutuna göre etkisi incelenmiş ve Şekil 4.98'de verilmiştir. RB-LDB2-SE deney elemanının maksimum yükü ileri çevrimlerde 29.92 kN, geri çevrimlerde 33,96 kN olarak ölçülmüştür. RB-LDB2-SEW deney elemanının maksimum yükü ileri çevrimlerde 27.70 kN, geri çevrimlerde 35.25 kN olarak ölçülmüştür. RB-LDB2-LE deney elemanının maksimum yükü ileri çevrimlerde 24.48 kN, geri çevrimlerde 32.06 kN olarak ölçülmüştür. RB-LDB2-LEW deney elemanının maksimum yükü ileri çevrimlerde 27.32 kN, geri çevrimlerde 47.71 kN olarak ölçülmüştür. İleri çevrimlerde RB-LDB2-SE numunesinin maksimum yükü RB-LDB2-SEW, RB-LDB2-LE ve RB-LDB2-LEW numunelerine göre sırayla %8.01, %22.22 ve %9.51 daha yüksektir. Geri

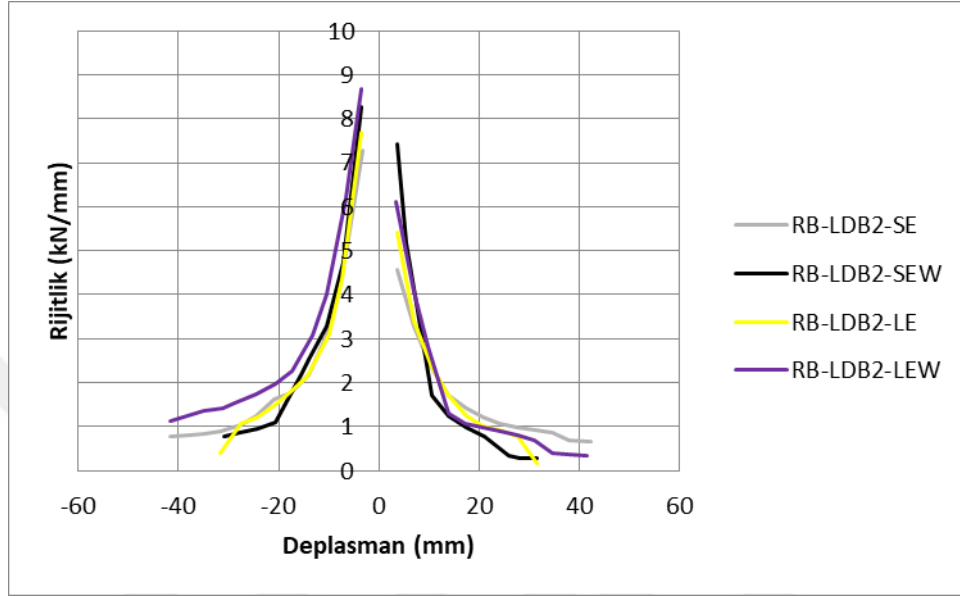
çevrimlerde RB-LDB1-LEW numunesinin maksimum yükü RB-LDB2-SE, RB-LDB2-SEW ve RB-LDB2-LE numunelerine göre sırayla %40.48, %35.34 ve %48.81 daha yüksektir. İleri çevrimlerde doğusuna yerleştirilmiş kısa panel bulunan deney elemanın yük taşıma kapasitesinin en fazla olduğu, geri çevrimlerde ise hem doğu hem batısına yerleştirilen uzun panellerin olduğu deney elemanın yük taşıma kapasitesi en yüksek seviyede olduğu gözlenmiştir..



Şekil 4.98. Grup 2'ye ait zarf eğrisi

Grup 2'ye ait deney elemanlarının rijitlik grafiklerinde LDB2 panel yerleşim konumu ve boyutuna göre etkisi incelenmiş ve Şekil 4.99'da verilmiştir. RB-LDB2-SE deney elemanının başlangıç rijitliği ileri çevrimlerde 4.57 kN/mm, geri çevrimlerde 7.29 kN/mm olarak ölçülmüştür. RB-LDB2-SEW deney elemanının başlangıç rijitliği ileri çevrimlerde 7.43 kN/mm, geri çevrimlerde 8.26 kN/mm olarak ölçülmüştür. RB-LDB2-LE deney elemanının başlangıç rijitliği ileri çevrimlerde 5.41 kN/mm, geri çevrimlerde 7.68 kN/mm olarak ölçülmüştür. RB-LDB2-LEW deney elemanının başlangıç rijitliği ileri çevrimlerde 6.09 kN/mm, geri çevrimlerde 8.66 kN/mm olarak ölçülmüştür. İleri çevrimlerde RB-LDB2-SEW numunesinin başlangıç rijitliği RB-LDB2-SE, RB-LDB2-LE ve RB-LDB2-LEW numunelerine göre sırayla %62.58, %37.33 ve %22.00 daha yüksektir. Geri çevrimlerde RB-LDB2-LEW numunesinin başlangıç rijitliği RB-LDB2-SE, RB-LDB2-SEW ve RB-LDB2-LE numunelerine göre sırayla %18.79, %4.84 ve %11.45 daha yüksektir. İleri çevrimlerde deney numunesinin hem doğusuna hem batısına konulan kısa panellerin olduğu deney elemanı diğer yerleşim ve boyutlarda

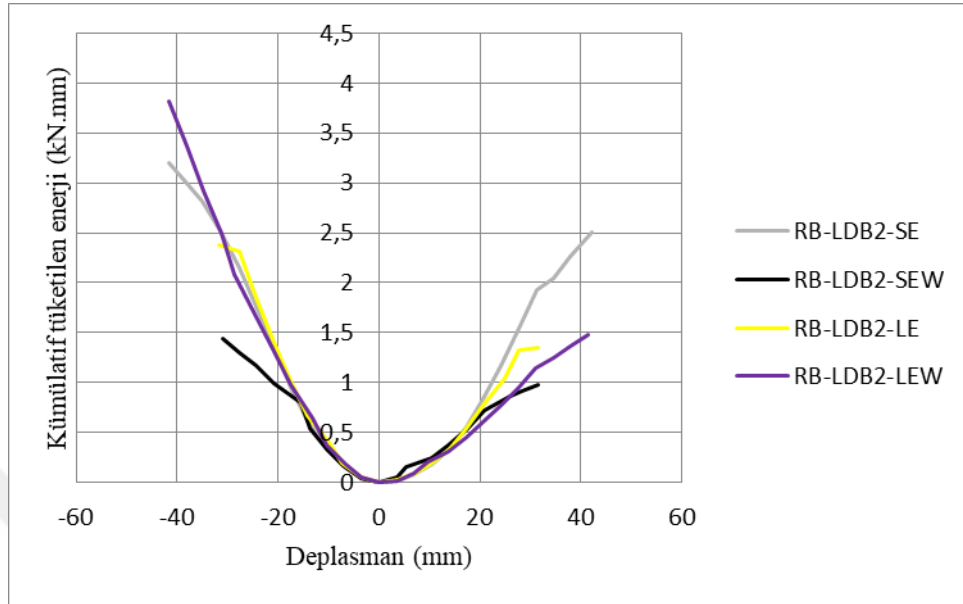
panellerin olduğu deney elemanlarından daha rijit davranış sergilemiştir. Geri çevrimde ise deney numunesinin hem doğusuna hem batısına konulan uzun panellerin olduğu deney elemanı diğer yerleşim ve boyutlardaki panellerin olduğu deney elemanlarına göre daha rijit davranış sergilemiştir.



Şekil 4.99. Grup 2'ye ait rijitlik grafiği

Şekil 4.100'de Grup 2'ye ait kümülatif tüketilen enerji grafiği görülmektedir. RB-LDB2-SE deney elemanının maksimum kümülatif tüketilen enerji ileri çevrimlerde 2.50 kN.mm, geri çevrimlerde 3.19 kN.mm olarak ölçülmüştür. RB-LDB2-SEW deney elemanının maksimum kümülatif tüketilen enerji ileri çevrimlerde 0.97 kN.mm, geri çevrimlerde 1.44 kN.mm olarak ölçülmüştür. RB-LDB2-LE deney elemanının maksimum kümülatif tüketilen enerji ileri çevrimlerde 1.35 kN.mm, geri çevrimlerde 2.38 kN.mm olarak ölçülmüştür. RB-LDB2-LEW deney elemanının maksimum kümülatif tüketilen enerji ileri çevrimlerde 1.47 kN.mm, geri çevrimlerde 3.81 kN.mm olarak ölçülmüştür. İleri çevrimlerde RB-LDB2-SE numunesinin maksimum kümülatif tüketilen enerjisi RB-LDB2-SEW, RB-LDB2-LE VE RB-LDB2-LEW numunelerine göre sırasıyla %157.73, %85.18 ve %70.06 daha yüksektir. Geri çevrimlerde RB-LDB2-LEW numunesinin maksimum kümülatif tüketilen enerjisi RB-LDB2-SE, RB-LDB2-SEW VE RB-LDB2-LE numunelerine göre sırasıyla %19.43, %164.58 ve %60.08 daha yüksektir. Grafikler incelendiğinde ileri çevrimlerde doğusuna kısa panel yerleştirilen deney elemanında genel olarak tüketilen enerji miktarı artmıştır. Geri çevrimde ise hem doğusuna hem batısına uzun paneller yerleştirilen deney elemanında

tüketilen enerji miktarı artmıştır. Tüketilen enerji miktarının artması soğurulan enerjinin miktarının artması demek olduğundan panel boyutu ve konumu önem taşımaktadır.



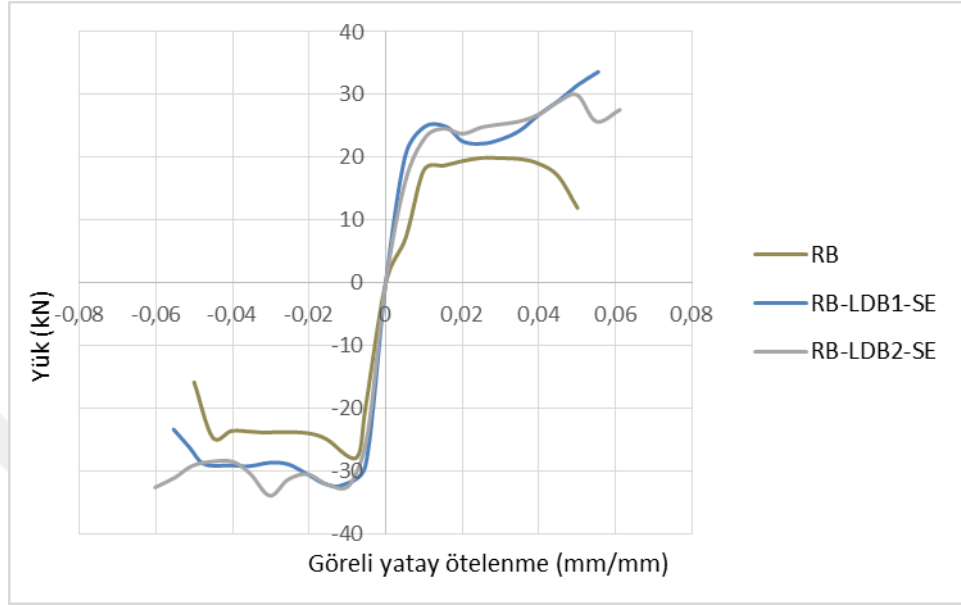
Şekil 4.100. Grup 2'ye ait kümülatif tüketilen enerji grafiği

Grup 2'ye ait deney elemanların süneklik değerleri incelenmiştir. RB-LDB2-SE numunesinin süneklik değeri RB-LDB2-SEW numunesine göre %11.45 daha yüksektir. Burada RB-LDB2-LE numunesinin süneklik değeri RB-LDB2-LEW numunesine göre %152.32 daha yüksektir. Bu grupta hem doğu hem batısına karşılıklı güçlendirme panelleri konulan deney elemanlarının, tek tarafına güçlendirme paneli konulan deney elemanlarına göre daha az sünek olduğu anlaşılmaktadır.

4.2.3. Referans numunenin aynı konuma yerleştirilen ve aynı boyuttaki LDB1 ve LDB2 panellerin olduğu numunelerle karşılaştırılması

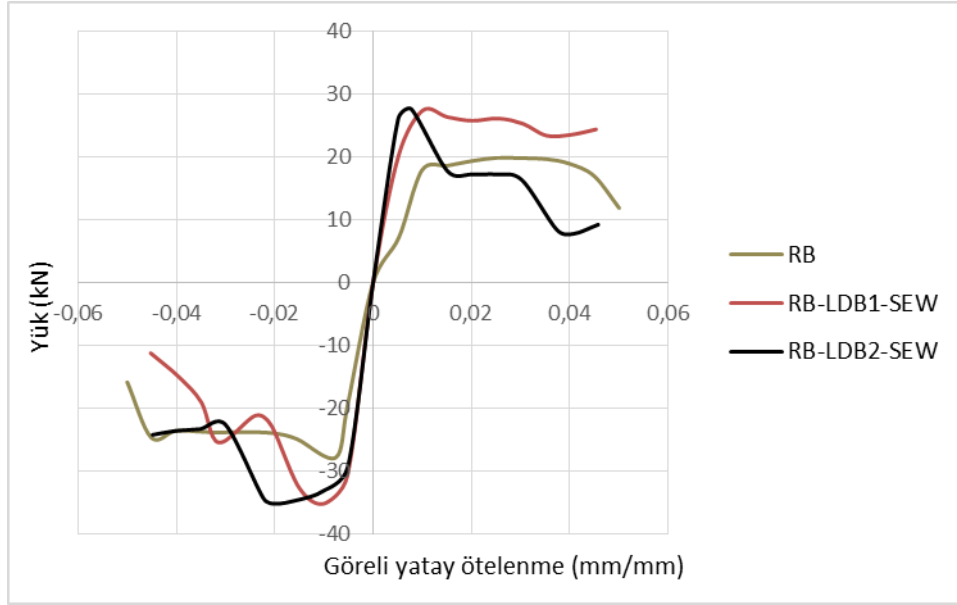
Grup 3'e ait elemanların zarf eğrileri vasıtasıyla farklı içerikte malzemelerle güçlendirilmiş deney numunelerinin referans numune ile karşılaştırılması incelenmiş ve Şekil 4.101'de verilmiştir. RB deney elemanının maksimum yükü ileri çevrimlerde 19.89 kN, geri çevrimlerde 27.82 kN olarak ölçülmüştür. RB-LDB1-SE deney elemanının maksimum yükü ileri çevrimlerde 33.61 kN, geri çevrimlerde 32.25 kN olarak ölçülmüştür. RB- LDB2-SE deney elemanının maksimum yükü ileri çevrimlerde 29.92 kN, geri çevrimlerde 33.96 kN olarak ölçülmüştür. İleri çevrimlerde RB- LDB1-SE numunesinin maksimum yükü RB ve RB-LDB2-SE numunelerine göre sırayla %68.97 ve %12.33 daha yüksektir. Geri çevrimlerde RB-LDB2-SE numunesinin

maksimum yükü RB ve RB-LDB1-SE numunelerine göre sırayla %22.07 ve %5.30 daha yüksektir. İleri çevrimde LDB1 özellikli paneller ile güçlendirilen deney elemanı daha fazla yük taşıma kapasitesine sahipken, geri çevrimde LDB2 özellikli paneller ile güçlendirilen deney elemanı daha fazla yük taşıma kapasitesine sahiptir.



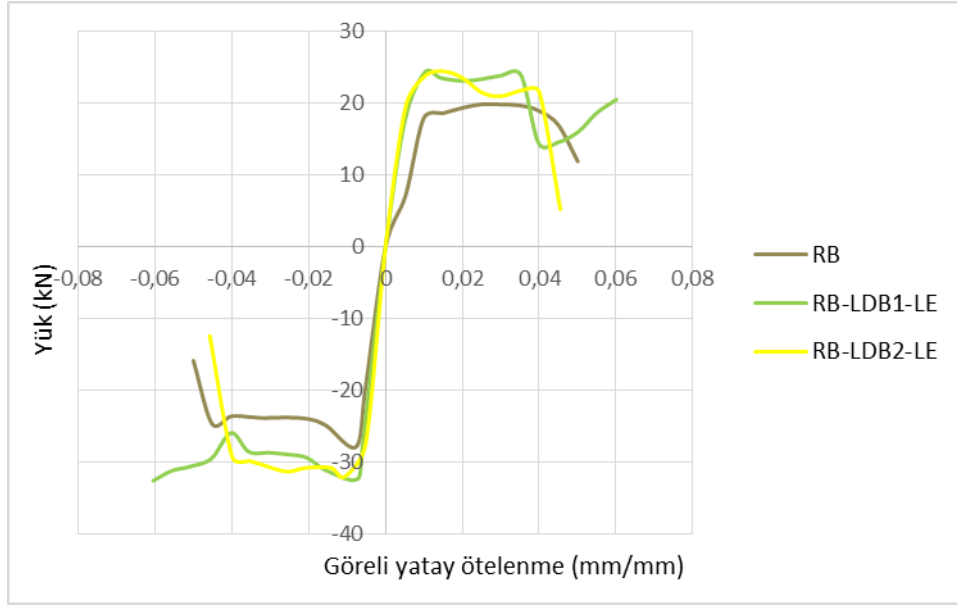
Şekil 4.101. Grup 3'e ait zarf eğrisi

Grup 4'e ait elemanların zarf eğrileri vasıtasıyla farklı içerikte malzemelerle güçlendirilmiş deney numunelerinin referans numune ile karşılaştırılması incelenmiş ve Şekil 4.102'de verilmiştir. RB deney elemanının maksimum yükü ileri çevrimlerde 19.89 kN, geri çevrimlerde 27.82 kN olarak ölçülmüştür. RB-LDB1-SEW deney elemanının maksimum yükü ileri çevrimlerde 27.44 kN, geri çevrimlerde 35.24 kN olarak ölçülmüştür. RB-LDB2-SEW deney elemanının maksimum yükü ileri çevrimlerde 26.08 kN, geri çevrimlerde 35.25 kN olarak ölçülmüştür. İleri çevrimlerde RB-LDB1-SEW numunesinin maksimum yükü RB ve RB-LDB2-SE numunelerine göre sırayla %37.95 ve %5.21 daha yüksektir. Geri çevrimlerde RB-LDB1-SEW RB-LDB2-SEW numunesinin maksimum yükü birbirine eşit ve RB numunesine göre %26.70 daha yüksektir. İleri çevrimde LDB1 ile güçlendirilen deney elemanı daha fazla yük taşıma kapasitesine sahipken, geri çevrimde LDB1 ve LDB2 ile güçlendirilen deney elemanı benzer yük taşıma kapasitesine sahiptir.



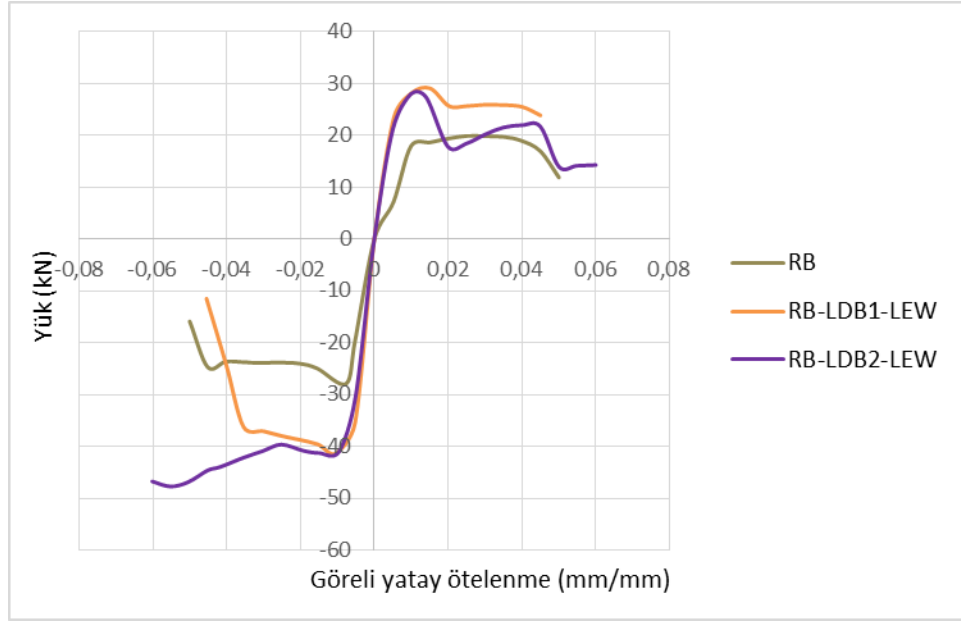
Şekil 4.102. Grup 4'e ait zarf eğrisi

Grup 5'e ait elemanların zarf eğrileri vasıtasıyla farklı içerikte malzemelerle güçlendirilmiş deney numunelerinin referans numune ile karşılaştırılması incelenmiş ve Şekil 4.103'te verilmiştir. RB deney elemanının maksimum yükü ileri çevrimlerde 19.89 kN, geri çevrimlerde 27.82 kN olarak ölçülmüştür. RB-LDB1-LE deney elemanının maksimum yükü ileri çevrimlerde 23.98 kN, geri çevrimlerde 32.63 kN olarak ölçülmüştür. RB-LDB2-LE deney elemanının maksimum yükü ileri çevrimlerde 24.48 kN, geri çevrimlerde 32.06 kN olarak ölçülmüştür. İleri çevrimlerde RB-LDB2-LE numunesinin maksimum yükü RB ve RB-LDB1-LE numunelerine göre sırayla %23.07 ve %2.08 daha yüksektir. Geri çevrimlerde RB-LDB1-LE numunesinin maksimum yükü RB ve RB-LDB2-LE numunelerine göre sırayla %17.28 ve %1.77 daha yüksektir. İleri çevrimde LDB2 ile güçlendirilen deney elemanı daha fazla yük taşıma kapasitesine sahiptir. Geri çevrimde LDB1 ile güçlendirilen deney elemanı daha fazla yük taşıma kapasitesine sahiptir.



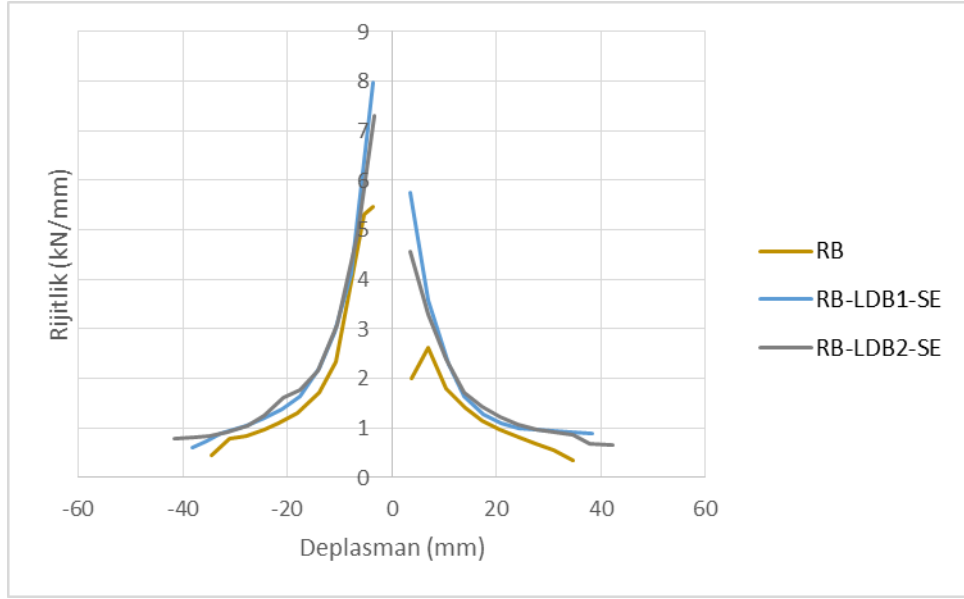
Şekil 4.103. Grup 5'e ait zarf eğrisi

Grup 6'ya ait elemanların zarf eğrileri vasıtasıyla farklı içerikte malzemelerle güçlendirilmiş deney numunelerinin referans numune ile karşılaştırılması incelenmiş ve Şekil 4.104'te verilmiştir. RB deney elemanının maksimum yükü ileri çevrimlerde 19.89 kN, geri çevrimlerde 27.82 kN olarak ölçülmüştür. RB-LDB1-LEW deney elemanının maksimum yükü ileri çevrimlerde 29.09 kN, geri çevrimlerde 41.35 kN olarak ölçülmüştür. RB-LDB2-LEW deney elemanının maksimum yükü ileri çevrimlerde 27.32 kN, geri çevrimlerde 47.71 kN olarak ölçülmüştür. İleri çevrimlerde RB-LDB1-LEW numunesinin maksimum yükü RB ve RB-LDB2-LEW numunelerine göre sırayla %46.25 ve %6.47 daha yüksektir. Geri çevrimlerde RB-LDB2-LE numunesinin maksimum yükü RB ve RB-LDB1-LE numunelerine göre sırayla %71.49 ve %15.38 daha yüksektir. İleri çevrimde LDB1 ile üretilen güçlendirme panelinin olduğu deney elemanı daha fazla yük taşıma kapasitesine sahiptir. Geri çevirmede LDB2 ile üretilen güçlendirme panelinin olduğu deney elemanı daha fazla yük taşıma kapasitesine sahiptir.



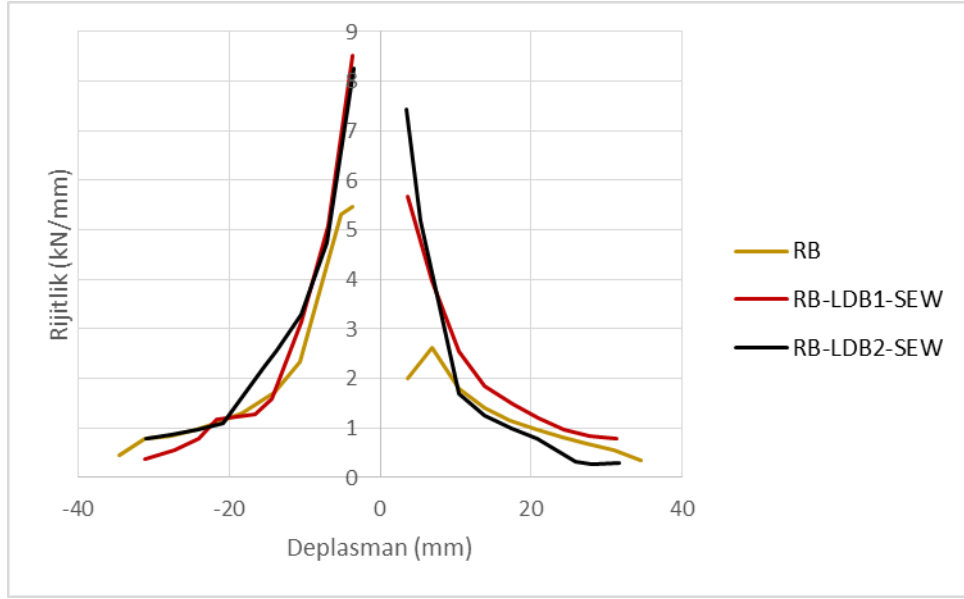
Şekil 4.104. Grup 6'ya ait zarf eğrisi

Grup 3'e ait deney elemanlarının rijitlik grafikleri vasıtasıyla farklı içerikte malzemelerle güçlendirilmiş deney numunelerinin referans numune ile karşılaştırılması incelenmiş ve Şekil 4.105'te verilmiştir. RB deney elemanının başlangıç rijitliği ileri çevrimlerde 2.61 kN/mm, geri çevrimlerde 5.47 kN/mm olarak ölçülmüştür. RB-LDB1-SE deney elemanının başlangıç rijitliği ileri çevrimlerde 5.75 kN/mm, geri çevrimlerde 7.98 kN/mm olarak ölçülmüştür. RB-LDB2-SE deney elemanının başlangıç rijitliği ileri çevrimlerde 4.57 kN/mm, geri çevrimlerde 7.29 kN/mm olarak ölçülmüştür. İleri çevrimlerde RB-LDB1-SE numunesinin başlangıç rijitliği RB ve RB-LDB2-SE numunelerine göre sırayla %120.3 ve %25.82 daha yüksektir. Geri çevrimlerde RB-LDB1-SE numunesinin başlangıç rijitliği RB ve RB-LDB2-SE numunelerine göre sırayla %45.88 ve %9.46 daha yüksektir. Grafikler incelendiği zaman LDB1 panel ile güçlendirilmiş numunenin rijitliğinin daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır.



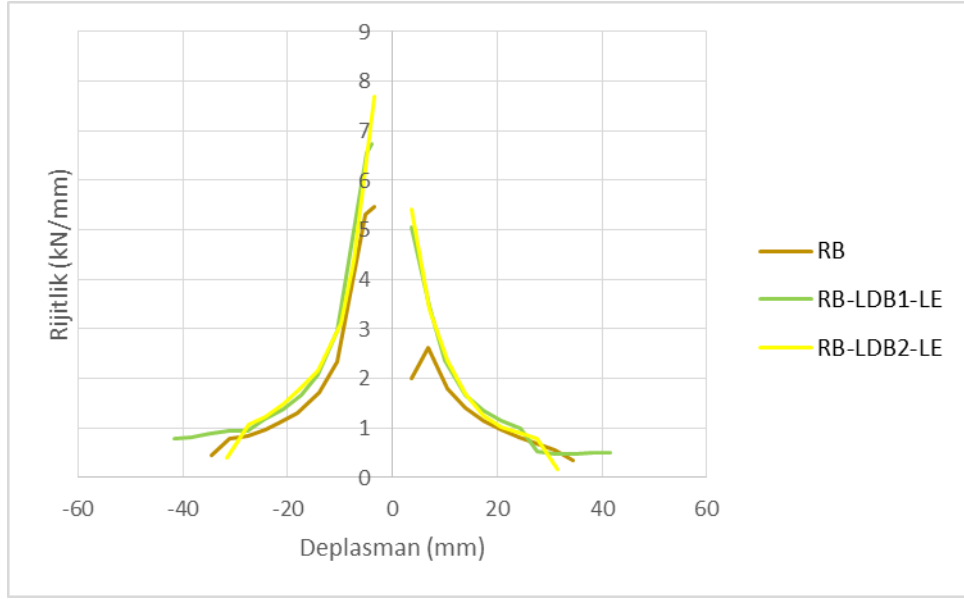
Şekil 4.105. Grup 3'e ait rijitlik grafiği

Grup 4'e ait deney elemanlarının rijitlik grafikleri vasıtasıyla farklı içerikte malzemelerle güçlendirilmiş deney numunelerinin referans numune ile karşılaştırılması incelenmiş ve Şekil 4.105'te verilmiştir. RB deney elemanının başlangıç rijitliği ileri çevrimlerde 2.61 kN, geri çevrimlerde 5.47 kN olarak ölçülmüştür. RB-LDB1-SEW deney elemanının maksimum yükü ileri çevrimlerde 5.67 kN, geri çevrimlerde 8.51 kN olarak ölçülmüştür. RB-LDB2-SEW deney elemanının maksimum yükü ileri çevrimlerde 7.43 kN, geri çevrimlerde 8.26 kN olarak ölçülmüştür. İleri çevrimlerde RB-LDB2-SEW numunesinin maksimum yükü RB ve RB-LDB1-SEW numunelerine göre sırayla %184.67 ve %31.04 daha yüksektir. Geri çevrimlerde RB-LDB1-SEW numunesinin maksimum yükü RB ve RB-LDB2-SEW numunesine göre sırasıyla %55.57 ve %3.02 daha yüksektir. İleri çevrimde LDB2 panelle güçlendirilen deney elemanı daha rijit davranış sergilerken, geri çevrimde LDB1 panelle güçlendirilen deney elemanı daha rijit davranış sergilemektedir.



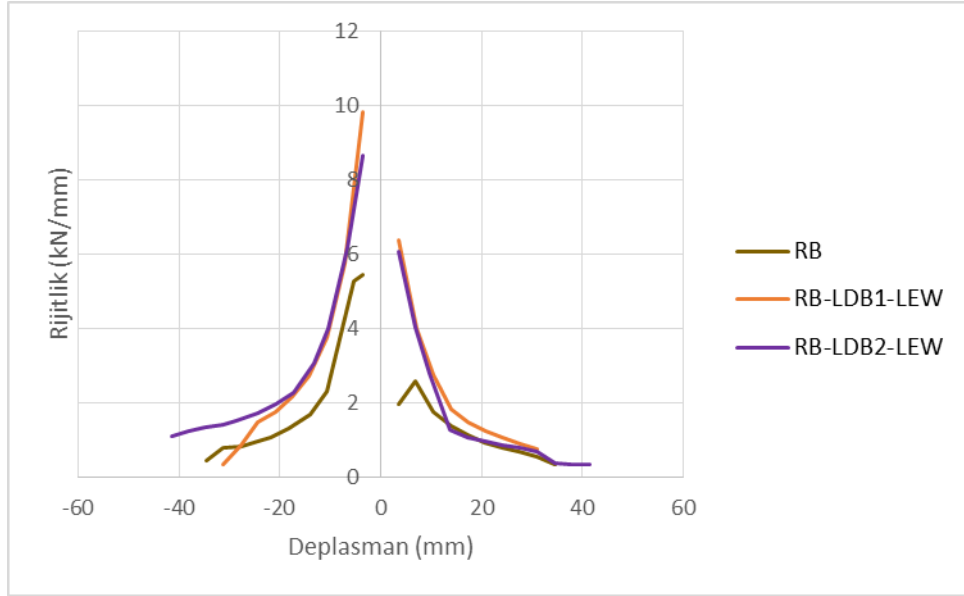
Şekil 4.106. Grup 4'e ait rijitlik grafiği

Grup 5'e ait deney elemanlarının rijitlik grafikleri vasıtasıyla farklı içerikte malzemelerle güçlendirilmiş deney numunelerinin referans numune ile karşılaştırılması incelenmiş ve Şekil 4.106'da verilmiştir. RB deney elemanının başlangıç rijitliği ileri çevrimlerde 2.61 kN, geri çevrimlerde 5.47 kN olarak ölçülmüştür. RB-LDB1-LE deney elemanının maksimum yükü ileri çevrimlerde 5.05 kN, geri çevrimlerde 6.73 kN olarak ölçülmüştür. RB-LDB2-LE deney elemanının maksimum yükü ileri çevrimlerde 5.41 kN, geri çevrimlerde 7.68 kN olarak ölçülmüştür. İleri çevrimlerde RB-LDB2-LE numunesinin maksimum yükü RB ve RB-LDB1-LE numunelerine göre sırayla %107.27 ve %7.12 daha yüksektir. Geri çevrimlerde RB-LDB2-LE numunesinin maksimum yükü RB ve RB-LDB1-LE numunesine göre sırasıyla %40.40 ve %14.11 daha yüksektir. İleri ve geri çevirmelerde LDB2 panelle güçlendirilen deney elemanının diğer deney elemanlarına göre daha rijit bir davranış sergilediği anlaşılmaktadır.



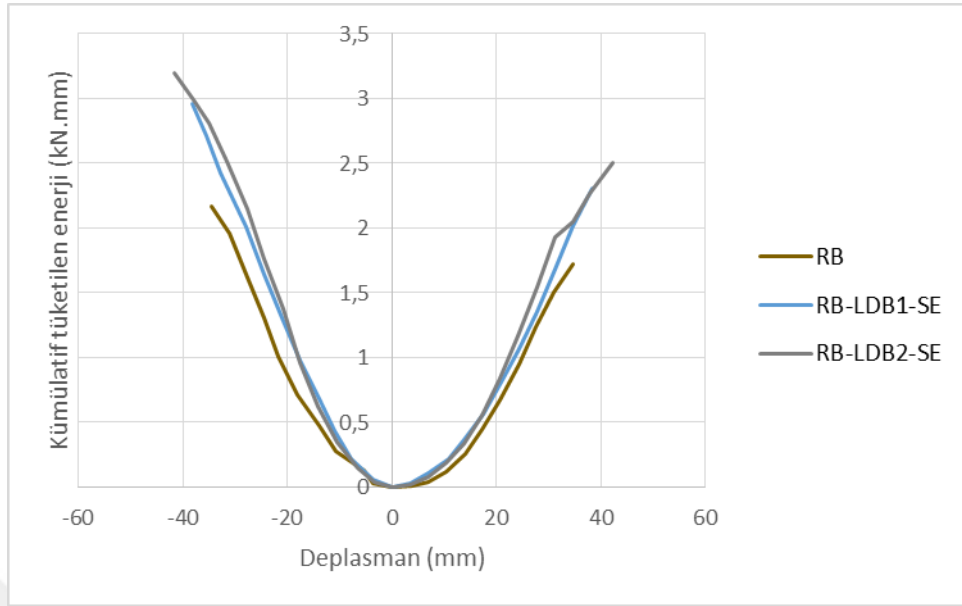
Şekil 4.107. Grup 5'e ait rijitlik grafiği

Grup 6'ya ait deney elemanlarının rijitlik grafikleri vasıtasıyla farklı içerikte malzemelerle güçlendirilmiş deney numunelerinin referans numune ile karşılaştırılması incelenmiş ve Şekil 4.107'de verilmiştir. RB deney elemanının başlangıç rijitliği ileri çevrimlerde 2.61 kN, geri çevrimlerde 5.47 kN olarak ölçülmüştür. RB-LDB1-LEW deney elemanının maksimum yükü ileri çevrimlerde 6.38 kN, geri çevrimlerde 9.84 kN olarak ölçülmüştür. RB-LDB2-LEW deney elemanının maksimum yükü ileri çevrimlerde 6.09 kN, geri çevrimlerde 8.66 kN olarak ölçülmüştür. İleri çevrimlerde RB-LDB1-LEW numunesinin maksimum yükü RB ve RB-LDB2-LEW numunelerine göre sırayla %144.44 ve %4.76 daha yüksektir. Geri çevrimlerde RB-LDB1-LEW numunesinin maksimum yükü RB ve RB-LDB2-LEW numunesine göre sırasıyla %79.89 ve %13.62 daha yüksektir. Grafikler incelendiğinde hem ileri hem geri çevrimde LDB1 panelle güçlendirilen deney elemanının diğer deney elemanlarına göre daha rijit bir davranış sergilediği görülmektedir.



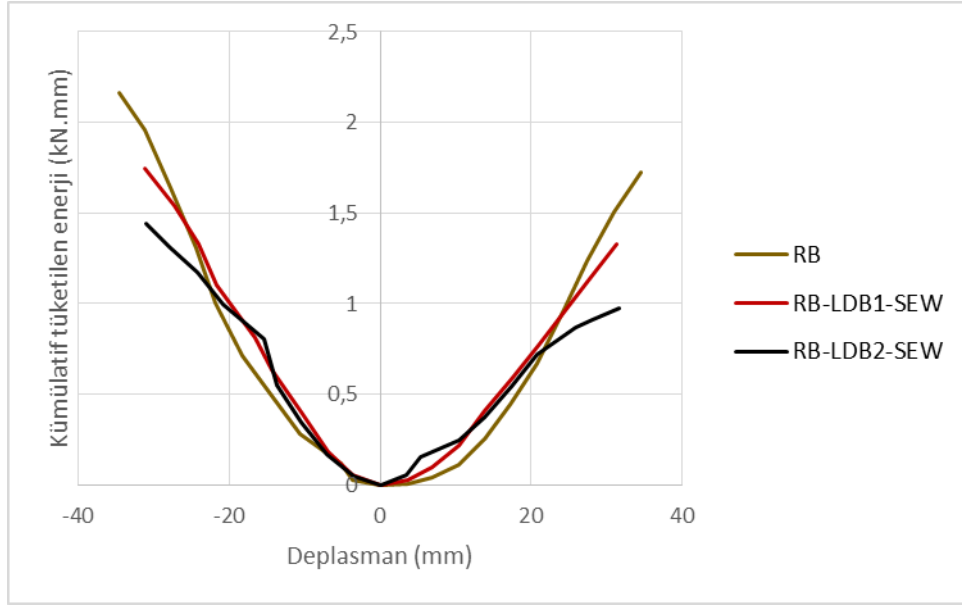
Şekil 4.108. Grup 6'ya ait rijitlik grafiği

Şekil 4.107'de Grup 3'e ait kümülatif tüketilen enerji grafiği görülmektedir. RB deney elemanının maksimum kümülatif tüketilen enerji ileri çevrimlerde 1.72 kN.mm, geri çevrimlerde 2.16 kN.mm olarak ölçülmüştür. RB-LDB1-SE deney elemanının maksimum kümülatif tüketilen enerji ileri çevrimlerde 2.30 kN.mm, geri çevrimlerde 2.95 kN.mm olarak ölçülmüştür. RB-LDB2-SE deney elemanının maksimum kümülatif tüketilen enerji ileri çevrimlerde 2.50 kN.mm, geri çevrimlerde 3.19 kN.mm olarak ölçülmüştür. İleri çevrimlerde RB-LDB2-SE numunesinin maksimum kümülatif tüketilen enerjisi RB ve RB-LDB1-SE numunelerine göre sırasıyla %45.34 ve %8.69 daha yüksektir. Geri çevrimlerde RB-LDB2-SE numunesinin maksimum kümülatif tüketilen enerjisi RB ve RB-LDB1-SE numunelerine göre sırasıyla %47.68 ve %8.13 daha yüksektir. Grafikler incelendiğinde ileri ve geri çevrimlerde LDB2 panel ile güçlendirilen deney elemanında tüketilen enerji miktarı daha fazladır. Tüketilen enerji miktarının artması soğurulan enerjinin miktarının artması demek olduğundan güçlendirme malzemesinin önemi anlaşılmaktadır.



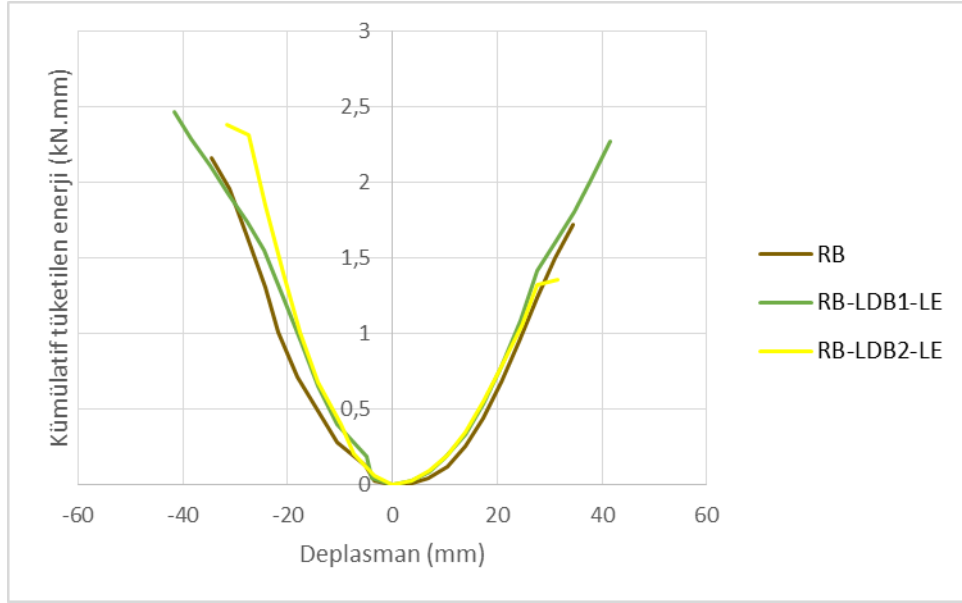
Şekil 4.109. Grup 3'e ait kümülatif tüketilen enerji grafiği

Şekil 4.108'de Grup 4'e ait kümülatif tüketilen enerji grafiği görülmektedir. RB deney elemanının maksimum kümülatif tüketilen enerji ileri çevrimlerde 1.72 kN.mm, geri çevrimlerde 2.16 kN.mm olarak ölçülmüştür. RB-LDB1-SEW deney elemanının maksimum kümülatif tüketilen enerji ileri çevrimlerde 1.32 kN.mm, geri çevrimlerde 1.74 kN.mm olarak ölçülmüştür. RB-LDB2-SEW deney elemanının maksimum kümülatif tüketilen enerji ileri çevrimlerde 0.97 kN.mm, geri çevrimlerde 1.44 kN.mm olarak ölçülmüştür. İleri çevrimlerde RB numunesinin maksimum kümülatif tüketilen enerjisi RB-LDB1-SEW ve RB-LDB2-SEW numunelerine göre sırasıyla %30.30 ve %77.31 daha yüksektir. Geri çevrimlerde RB numunesinin maksimum kümülatif tüketilen enerjisi RB-LDB1-SEW ve RB-LDB2-SEW numunelerine göre sırasıyla %24.13 ve %50,00 daha yüksektir. Grafikler incelendiğinde ileri ve geri çevrimlerde iki taraflı güçlendirme yapılmayan deney elemanında tüketilen enerji miktarı daha fazladır.



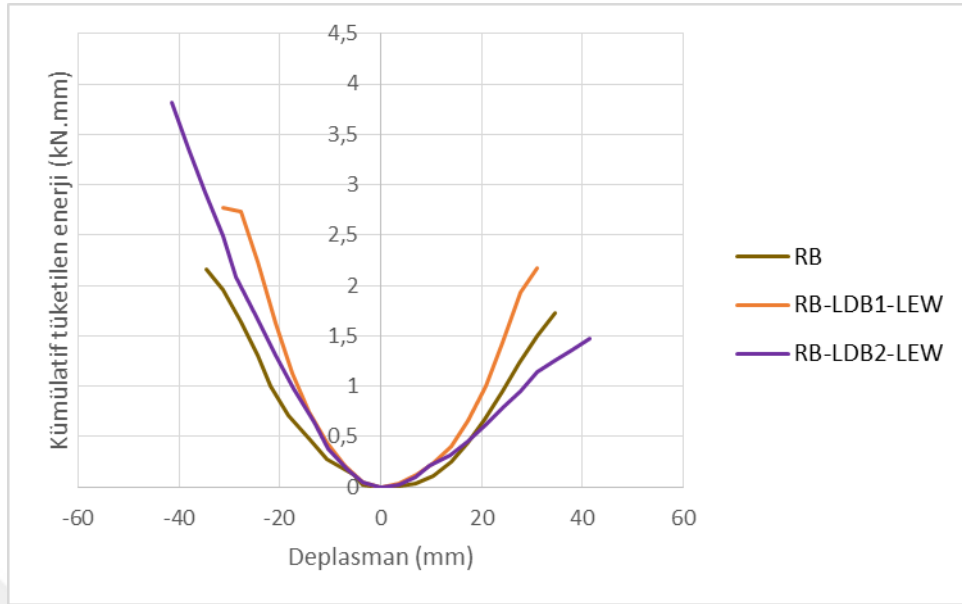
Şekil 4.110. Grup 4'e ait kümülatif tüketilen enerji grafiği

Şekil 4.109'da Grup 5'e ait kümülatif tüketilen enerji grafiği görülmektedir. RB deney elemanının maksimum kümülatif tüketilen enerji ileri çevrimlerde 1.72 kN.mm, geri çevrimlerde 2.16 kN.mm olarak ölçülmüştür. RB-LDB1-LE deney elemanının maksimum kümülatif tüketilen enerji ileri çevrimlerde 2.27 kN.mm, geri çevrimlerde 2.47 kN.mm olarak ölçülmüştür. RB-LDB2-LE deney elemanının maksimum kümülatif tüketilen enerji ileri çevrimlerde 1.35 kN.mm, geri çevrimlerde 2.38 kN.mm olarak ölçülmüştür. İleri çevrimlerde RB-LDB1-LE numunesinin maksimum kümülatif tüketilen enerjisi RB ve RB-LDB2-LE numunelerine göre sırasıyla %31.97 ve %68.14 daha yüksektir. Geri çevrimlerde RB-LDB1-LE numunesinin maksimum kümülatif tüketilen enerjisi RB ve RB-LDB2-LE numunelerine göre sırasıyla %14.35 ve %3.78 daha yüksektir. Grafikler incelendiğinde ileri ve geri çevrimlerde LDB1 panel ile güçlendirilen deney elemanında tüketilen enerji miktarı daha fazladır. Tüketilen enerji miktarının artması soğurulan enerjinin miktarının artması demek olduğundan güçlendirme malzemesinin önemi anlaşılmaktadır.



Şekil 4.111. Grup 5'e ait kümülatif tüketilen enerji grafiği

Şekil 4.110'da Grup 6'ya ait kümülatif tüketilen enerji grafiği görülmektedir. RB deney elemanının maksimum kümülatif tüketilen enerji ileri çevrimlerde 1.72 kN.mm, geri çevrimlerde 2.16 kN.mm olarak ölçülmüştür. RB-LDB1-LEW deney elemanının maksimum kümülatif tüketilen enerji ileri çevrimlerde 2.17 kN.mm, geri çevrimlerde 2.77 kN.mm olarak ölçülmüştür. RB-LDB2-LEW deney elemanının maksimum kümülatif tüketilen enerji ileri çevrimlerde 1.47 kN.mm, geri çevrimlerde 3.81 kN.mm olarak ölçülmüştür. İleri çevrimlerde RB-LDB1-LEW numunesinin maksimum kümülatif tüketilen enerjisi RB ve RB-LDB2-LEW numunelerine göre sırasıyla %26.16 ve %47.61 daha yüksektir. Geri çevrimlerde RB-LDB2-LEW numunesinin maksimum kümülatif tüketilen enerjisi RB ve RB-LDB1-LEW numunelerine göre sırasıyla %76.38 ve %37.54 daha yüksektir. Grafikler incelendiğinde ileri çevrimlerde LDB1 panel ile güçlendirilen deney elemanında tüketilen enerji miktarı daha fazladır. Geri çevrimlerde LDB2 panel ile güçlendirilen deney elemanında tüketilen enerji daha fazladır. Tüketilen enerji miktarının artması soğurulan enerjinin miktarının artması demek olduğundan güçlendirme malzemesinin önemi anlaşılmaktadır.



Şekil 4.112. Grup 6'ya ait kümülatif tüketilen enerji grafiği

Grup 3'e ait deney elemanlarının süneklik değerleri incelenmiştir. RB numunesinin süneklik değeri RB-LDB1-SE ve RB-LDB2-SE numunelerine göre sırayla %4.55 ve %40.27 daha yüksektir. Burada RB numunesi daha sünek davranış göstermiştir. Grup 4'e ait deney elemanları incelendiğinde, RB numunesinin süneklik değeri RB-LDB1-SEW ve RB-LDB2-SEW numunelerine göre sırayla %29.15 ve %56.34 daha yüksektir. Grup 5'e ait deney elemanları incelendiğinde, RB-LDB2-LE numunesinin süneklik değeri RB ve RB-LDB1-LE numunelerine göre sırayla %28.91 ve %19.02 daha düşüktür. Grup 6'ya ait deney elemanları incelendiğinde, RB-LDB1-LEW numunesinin süneklik değeri RB ve RB-LDB2-LEW numunelerine göre sırasıyla %27.12 ve %148,83 daha yüksektir. Veriler incelendiğinde güçlendirme yapılmayan referans deney elemanının sünekliği içeriğinde LDB1 ve LDB2 olan kısa panellerle yapılan güçlendirmelere göre daha sünek ancak içeriğinde LDB1 ve LDB2 olan uzun panellerle yapılan güçlendirmelere göre daha az sünek olduğu görülmüştür.

4.2.4. Tüm deneylerin karşılaştırılması

Tüm deney elemanlarına ait zarf eğrileri Şekil 4.111'de verilmiştir. Şekil 4.111 ve Çizelge 4.11 incelendiğinde en yüksek yük taşıma kapasitesine sahip olan RB-LDB2-LEW deney elemanıdır. Grafikler incelendiğinde iki tarafından uzun panellerle güçlendirilen deney elemanları (RB-LDB1-LEW ve RB-LDB2-LEW) yük taşıma

kapasiteleri en yüksek elemanlardır. Ancak tek tarafına uzun panel yerleştirilip güçlendirilen deney elemanları (RB-LDB1-LE ve RB-LDB2-LE) yük taşıma kapasiteleri en düşük seviyededir. RB-LDB1-LE deney elemanı en yüksek deplasman değerlere sahiptir. Tek taraflı uzun panel ile güçlendirilen deney elemanlarında referans numune dışında yük taşıma kapasitesi diğer numunelere kıyasla düşük seviyededir. Ancak bu numuneler daha sünek davranış göstererek eğilme kırılmasından göçmüşlerdir.

Tüm deney elemanlarına ait rijitlik deplasman grafikleri Şekil 4.112’de verilmiştir. Şekil 4.112 ve Çizelge 4.12 incelendiğinde en yüksek iki rijitliğe sahip elemanlar RB-LDB1-LEW ve RB-LDB2-SEW elemanlarıdır. İki elemanın ortak özelliği deney elemanın hem doğu hem batısına panel yerleştirilmiş olmasıdır. Tüm deney elemanlarında rijitliği en yüksek olan numuneler deney elemanının hem doğusu hem batısına panel yerleştirilmiş olanlardır. LDB1 panelle güçlendirilen deney elemanlarının rijitliği LDB2 panelle güçlendirilen deney elemanlarından genel anlamıyla fazladır.

Tüm deney elemanlarına ait kümülatif tüketilen enerji-deplasman grafiği Şekil 4.113’te verilmiştir. Şekil 4.113 ve Çizelge 4.12 incelendiğinde en fazla enerji tüketen deney elemanı RB-LDB2-SE deney elemanıdır. Ancak iki tarafından kısa panelle güçlendirilen deney elemanlarının enerji sönümle kapasiteleri düşük kalmıştır. İçeriğinde özel beton olan uzun panellerle güçlendirilmiş deney elemanlarının enerji sönümlenme kabiliyetleri genel olarak yüksek seviyelerde kalmıştır.

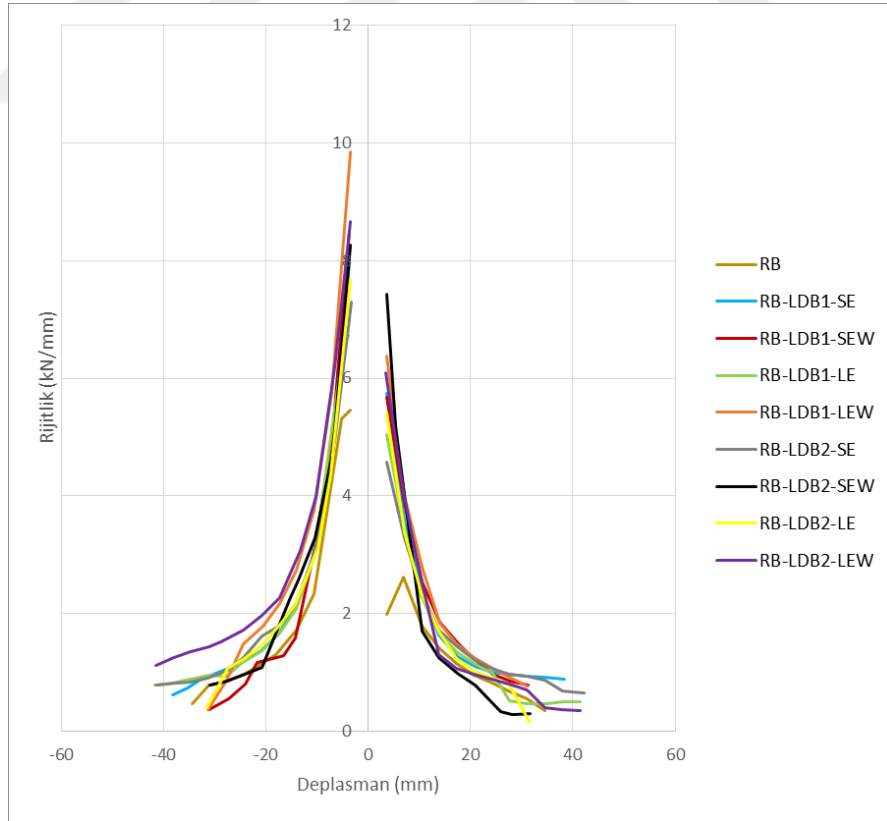
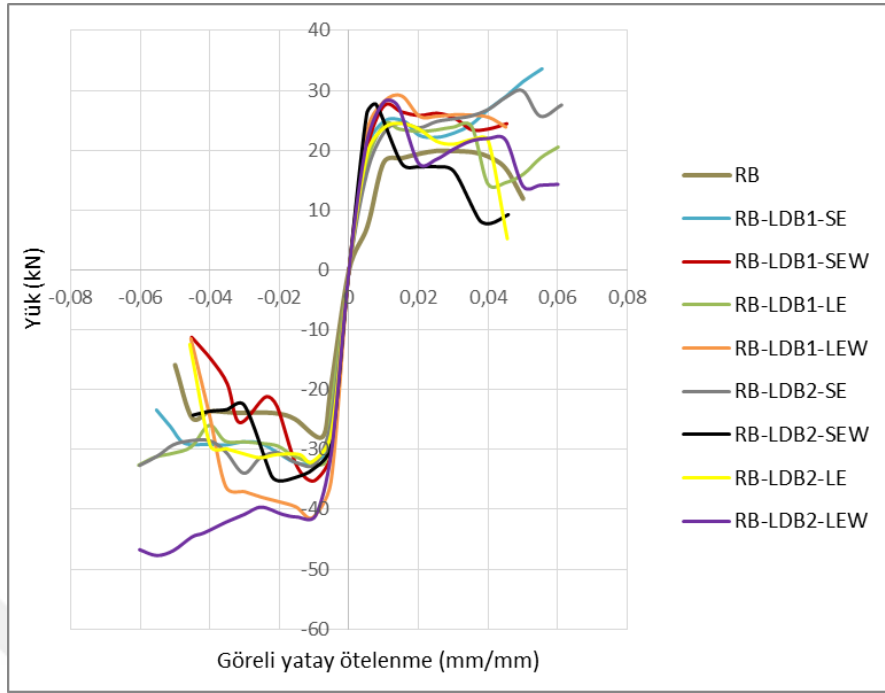
Tüm deney elemanlarına ait süneklik değerleri Çizelge 4.12’de verilmiştir. Bünyesinde özel beton olan uzun panellerle güçlendirilmiş deney elemanları daha sünek davranış gösterirken bünyesinde özel beton olan kısa panellerle güçlendirilen deney elemanları daha düşük sünek davranış göstermişlerdir. Referans olarak üretilen özel beton içeren panelle güçlendirilmeyen deney elemanı da kısa panelle güçlendirilen deney elemanlarından daha sünek davranış göstermiştir.

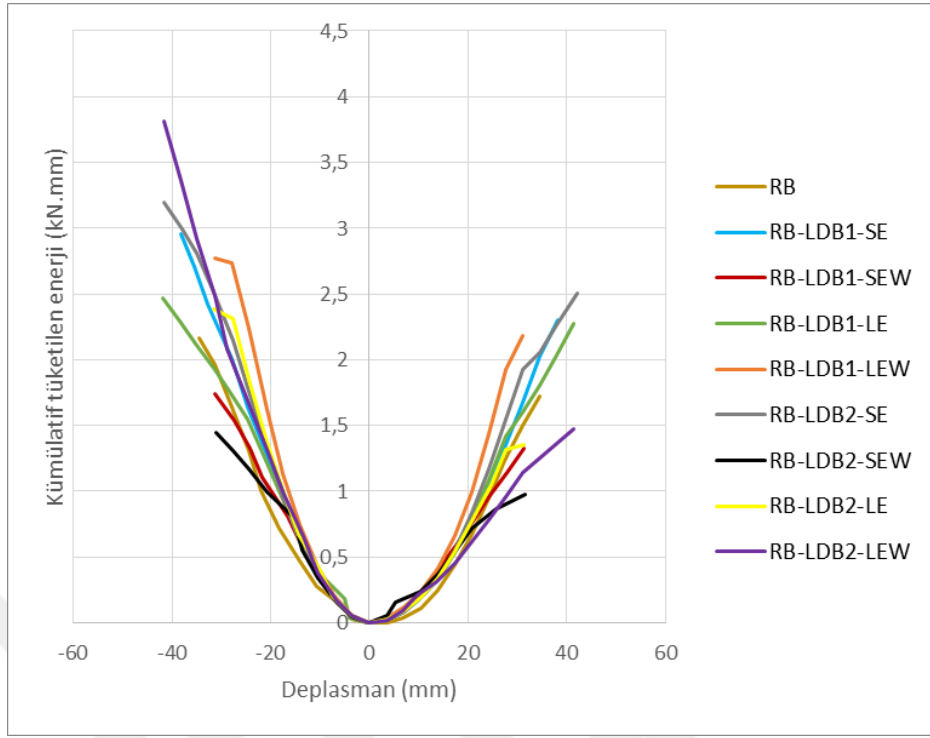
Çizelge 4.11 Kritik yük noktalarındaki deneysel sonuçları

Deney Adı	Akma Noktası						Maksimum Yük						Göçme Noktası					
	+		-		Ort.		+		-		Ort.		+		-		Ort.	
	Yük (kN)	Depl. (mm)	Yük (kN)	Depl. (mm)	Yük (kN)	Depl. (mm)	Yük (kN)	Depl. (mm)	Yük (kN)	Depl. (mm)	Yük (kN)	Depl. (mm)	Yük (kN)	Depl. (mm)	Yük (kN)	Depl. (mm)	Yük (kN)	Depl. (mm)
RB	14.93	7.94	20.91	5.25	17.92	6.59	19.9	17.31	27.88	5.25	23.89	11.28	15.92	31.79	22.30	32.09	19.11	31.94
RB-LDB1-SE	25.21	33.96	24.18	4.04	24.69	19.00	33.62	38.81	32.25	7.81	32.93	23.31	26.89	27.73	25.80	35.83	26.34	31.78
RB-LDB1-SEW	20.59	4.97	26.43	4.14	23.51	4.55	27.45	6.94	35.24	6.94	31.34	6.94	21.96	>24.34	28.19	12.18	25.07	>18.26
RB-LDB1-LE	18.26	4.82	24.47	4.93	21.36	4.87	24.35	7.05	32.63	41.76	28.49	48.81	19.48	25.84	26.10	27.55	22.79	26.69
RB-LDB1-LEW	21.82	4.56	31.01	4.20	26.41	4.38	29.1	10.45	41.35	8.68	35.22	9.56	23.28	>31.11	33.08	25.32	28.18	>28.21
RB-LDB2-SE	22.45	8.94	25.47	4.94	23.96	6.94	29.93	34.51	33.96	20.9	31.94	27.70	23.94	14.48	27.17	>27.6	25.55	>21.04
RB-LDB2-SEW	20.78	3.73	26.43	4.26	23.60	3.99	27.71	5.34	35.25	13.71	31.48	9.52	22.17	8.2	28.20	18.22	25.18	13.21
RB-LDB2-LE	18.37	4.52	24.05	4.17	21.21	4.34	24.49	10.41	32.07	7.34	28.28	8.87	19.6	28.09	25.65	28.43	22.62	28.26
RB-LDB2-LEW	21.04	4.6	35.55	6.75	28.29	5.67	28.05	6.9	47.71	38.17	37.88	22.53	22.44	11.83	38.17	>17.4	30.30	>14.61

Çizelge 4.12. Deney elemanlarının yapısal davranış sonuçları

Deney adı	Kümülatif Tüketilen Enerji (kN.mm)			Başlangıç Rijitliği (kN/mm)			Süneklik (mm/mm)		
	+	-	Ort.	+	-	Ort.	+	-	Ort.
RB	1.72	2.16	1.94	2.61	5.46	4.03	4.00	6.11	5.05
RB-LDB1-SE	2.30	2.95	2.62	5.75	7.98	6.86	0.81	8.86	4.83
RB-LDB1-SEW	1.32	1.74	1.53	5.67	8.51	7.09	>4.89	2.94	3.91
RB-LDB1-LE	2.27	2.47	2.37	5.05	6.73	5.89	5.36	5.59	5.47
RB-LDB1-LEW	2.17	2.77	2.47	6.38	9.84	8.11	>6.82	6.03	>6.42
RB-LDB2-SE	2.50	3.19	2.84	4.57	7.29	5.93	1.62	>5.58	3.60
RB-LDB2-SEW	0.97	1.44	1.21	7.43	8.27	7.85	2.2	4.27	3.23
RB-LDB2-LE	1.35	2.38	1.86	5.42	7.67	6.55	6.21	6.82	6.51
RB-LDB2-LEW	1.47	3.81	2.64	6.10	8.67	7.38	2.57	>2.58	>2.58





Şekil 4.115. Tüm elemanlara ait kümülatif tüketilen enerji grafiği

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Yapılan deneysel çalışma sonucunda 9 adet konsol kirişten şu sonuçlar elde edilmiştir.

- İçeriğinde LDB1 olan uzun panellerle her iki tarafından güçlendirilen deney elemanlarının yük taşıma kapasiteleri en yüksek seviyededir. Ancak bünyesinde LDB1 bulunan uzun panellerle tek tarafından güçlendirilen deney elemanlarının yük taşıma kapasiteleri en düşük seviyededir. İçeriğinde LDB2 bulunan kısa panellerle numunenin doğusundan güçlendirilen deney elemanı en yüksek deplasman değerine sahiptir. Ancak içeriğinde özel beton bulunan kısa panellerle deney elemanının hem doğu hem batısından güçlendirilen numuneler güçlendirme yapılmayan deney elemanından bile daha düşük deplasman düzeyindedir.
- Tüm deney elemanları arasında rijitliği en yüksek olan numuneler içeriğinde özel beton bulunan uzun panellerle deney elemanının hem doğusundan hem batısından güçlendirilen numunelerdir. İçeriğinde özel beton bulunan panellerle güçlendirme yapılan deney elemanlarının tamamının başlangıç rijitliği güçlendirme yapılmayan deney elemanından daha fazladır. İçeriğinde LDB2 özel beton bulunan ve numunenin sadece doğusuna yerleştirilen kısa paneller ile güçlendirilen deney elemanı en düşük rijitliğe sahip deney elemanıdır.
- Bünyesinde özel beton bulunduran ve deney elemanının doğusuna kısa panel yerleştirilen numunelerin enerji sönümlenme kabiliyetleri genel olarak yüksek seviyelerde kalmıştır. Deney elemanlarından hem doğusuna hem batısına içeriğinde lif donatılı beton bulunan kısa panel konulan numunelerin enerji sönümlenme seviyesi düşük seviyededir.
- Deney elemanlarının süneklik seviyeleri incelendiğinde genel olarak güçlendirilen deney elemanlarının süneklik seviyeleri referans olarak üretilen güçlendirilmeyen numuneden düşük çıkmıştır. İçeriğinde LDB1 bulunan hem iki tarafından uzun panellerle güçlendirilen numune, hem sadece doğusuna uzun panel yerleştirilen deney elemanı, bunun yanında

içeriğinde LDB2 bulunan ve sadece doğusuna uzun panel yerleştirilen deney elemanlarının süneklik değerleri yüksek seviyelerdedir.

- RB deney elemanında kolon kiriş birleşim yeri için hem çekme bölgesinde hem basınç bölgesinde ciddi hasarlar meydana gelmiştir. Kirişin batı tarafında donatı burkulmuştur. Elemanın başlangıç rijitliği diğer numunelere göre düşük, enerji tüketim seviyesi diğer numunelere göre orta seviyede kalmıştır. Bu deney elemanı düşük yük taşıma kapasitesine sahiptir. Deney elemanının süneklik değerleri ileri çevrim ve geri çevrim sırayla 4.00, 6.11 olarak ölçülmüştür.
- RB-LDB1-SE deney elemanında kolon-kiriş birleşim bölgesinde kesme çatlakları oluşmuş ve kirişin batı tarafında donatı kopmuştur. Doğu tarafına yerleştirilen güçlendirme paneli ile kiriş birleşim bölgesinde ayrılma meydana gelmiştir. Elemanın başlangıç rijitliği orta seviyede kalmıştır ve enerji tüketim seviyesi diğer numunelere göre yüksek seviyededir. Deney elemanının süneklik değerleri ileri çevrim ve geri çevrim sırayla 0.81, 8.86 olarak ölçülmüştür.
- RB-LDB1-SEW deney elemanında kesme çatlakları oluşmuştur. Kirişin hem doğu hem de batı bölgesindeki donatılar burkulmuştur. Numunenin hem doğusuna hem de batısına yerleştirilen güçlendirme panelleri kirişten ayrılmış ve panellerin üst kısmından ciddi hasarlar meydana gelmiştir. Bu elemanın başlangıç rijitliği diğer deney elemanlarına göre yüksek seviyede kalmıştır. Enerji tüketim seviyesi diğer numunelere göre oldukça düşük seviyededir. Deney elemanın süneklik değerleri ileri çevrim ve geri çevrim için sırayla >4.89, 2.94 olarak ölçülmüştür.
- RB-LDB1-LE deney elemanında kiriş doğusundaki güçlendirme elemanının birleşim bölgesinde ve kirişe ankrajlanan bölgede ayrılmalar meydana gelmiştir. Güçlendirme yapılmayan kiriş tarafındaki donatı burkulmuştur. Elemanın başlangıç rijitliği diğer numunelere göre düşük seviyede kalmıştır ve enerji tüketim seviyesi orta yüksek seviyededir. Deney elemanının süneklik değerleri ileri çevrim ve geri çevrim için sırayla 5.36, 5.59 olarak ölçülmüştür.
- RB-LDB1-LEW deney elemanında kolon-kiriş birleşim bölgesinde ayrılma oluşmuştur. Numunenin hem doğusuna hem batısına konulan uzun panellerin kolon ve kiriş ile birleştiği bölgelerde ayrılma olmuştur.

Kiriş çekme bölgesinde donatı kopması gözlemiştir. Elemanın başlangıç rijitliği en yüksek seviyededir ve enerji tüketim seviyesi diğer numunelere göre orta seviyededir. Deney elemanın süneklik değerleri ileri çevrim ve geri çevrimde sırayla >6.82, 6.03 olarak ölçülmüştür.

- RB-LDB2-SE deney elemanında güçlendirme yapılmayan bölgede kiriş basınç bölgesinde ciddi hasarlar olmuş ve donatı burkulması görülmüştür. Numunenin doğusuna yerleştirilen güçlendirme panelin kolon ve kiriş ile birleştiği bölgede ayrılma meydana gelmiştir. Kiriş ve güçlendirme panelinin birleşim yerinde de derin çatlaklar gözlenmiştir. Bu elemanın rijitliği diğer deney elemanlarına göre düşük seviyede kalmıştır ve enerji tüketim seviyesi diğer numunelere göre yüksek seviyededir. Deney elemanının süneklik değerleri ileri çevrim ve geri çevrim için sırayla 1.62, >5.58 olarak ölçülmüştür.
- RB-LDB2-SEW deney elemanında kesme çatlakları oluşmuştur. Numunenin hem doğusuna hem batısına konulan güçlendirme panelleri ile kiriş birleşim bölgesinde ayrılmalar görülmüştür. Kiriş sol tarafında donatı kopması yaşanmıştır. Elemanın rijitliği oldukça yüksek seviyededir ancak enerji tüketim seviyesi diğer numunelere göre çok düşük seviyede kalmıştır. Deney elemanının süneklik değerleri ileri çevrim ve geri çevrim için sırayla 2.2, 4.27 olarak ölçülmüştür.
- RB-LDB2-LE deney elemanında kesme çatlakları oluşmuştur. Kiriş basınç bölgesinde donatı kopması görülmüştür. Numunenin doğusuna yerleştirilen uzun panel ile kolon ve kiriş birleşim bölgesinde ayrılma gözlenmiştir. Bu elemanın rijitliği diğer deney elemanlarına göre düşük seviyede kalmıştır, Enerji tüketim seviyesi diğer numunelere göre düşük seviyelerdedir. Deney elemanının süneklik değerleri ileri çevrim ve geri çevrim için sırayla 6.21, 6.82 olarak ölçülmüştür. Bu deney elemanı güçlendirme yapılmayan numuneden sonra en düşük yük taşıma kapasitesine sahiptir.
- RB-LDB2-LEW deney elemanında kesme çatlakları oluşmuştur. Kiriş basınç bölgesinde donatı kopması görülmüştür. Numunenin hem doğusuna hem batısına yerleştirilen uzun güçlendirme panellerinde kolon ve kirişten ayrılmalar gözlenmiştir. Numunenin hem doğusuna hem batısına konulan güçlendirme panelleri ile kiriş birleşim bölgesinde derin

hasarlar görülmüştür. Bu elemanın rijitliği diğer deney elemanlarına göre orta seviyede kalmıştır. Enerji tüketim seviyesi diğer numunelere göre oldukça yüksek seviyededir. Deney elemanının süneklik değerleri ileri çevrim ve geri çevrim için sırayla 2.57, >2.58 olarak ölçülmüştür. Bu deney elemanının yük taşıma kapasitesi en yüksek seviyededir.

5.2 Öneriler

- Bu deney çalışmasındaki numuneler ½ ölçeklidir. 1/1 ölçekli numuneler tercih etmek daha doğru sonuçlara sahip olmamızı sağlayacaktır.
- Çalışmada beton içerisindeki lif oranı ve tipini değiştirerek parametre çeşitlendirilebilir.
- Deneysel çalışmada kullanılan konsol kirişler bilgisayarda modellenerek sonuçlar karşılaştırılabilir.
- Çalışmada kullanılan güçlendirme paneline göre farklı panel geometrisi tercih edilebilir.
- Çalışmada 1 ay gibi sürede kürlenmiş güçlendirme panelinin içeriğinde bulunan uçucu külden beklenen performansa ulaşabilmek için 3 ay boyunca betonun tam kürlenmesi için beklenebilir.
- Çalışmada kullanılan panel birleşim bölgesine oyuk açılarak ekstra basınç gerilmelerinin oluşması engellenebilir.
- Çalışmada uygulanan güçlendirme yöntemine göre yük taşıma kapasitesi dikkate alınırsa RB-LDB2-LEW numunesine uygulanan güçlendirme yöntemi önerilir.
- Çalışmada uygulanan güçlendirme yöntemine göre rijitlik dikkate alınırsa RB-LDB1-LEW numunesine uygulanan güçlendirme yöntemi önerilir.
- Çalışmada uygulanan güçlendirme yöntemine göre süneklik dikkate alınırsa RB-LDB2-LE numunesine uygulanan güçlendirme yöntemi önerilir.
- Çalışmada uygulanan güçlendirme yöntemine göre enerji sönümleme kapasitesi dikkate alınırsa RB-LDB2-SE numunesine uygulanan güçlendirme yöntemi önerilir.

- LDB2'nin süneklik ve maksimum yük taşıma kapasitesi olarak daha başarılı sonuçlar verdiği göz önünde bulundurulursa güçlendirmede LDB2'nin tercih edilmesi önerilmektedir.



KAYNAKLAR

- Ali, J., (2022), Saplama Kiriş Sebebiyle Oluşan Hasarların Deneysel Olarak İncelenmesi Ve Uygun Donatılendirma Ve Güçlendirme Yönteminin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Konya Teknik Üniversitesi, Konya.
- Al-Mahmoud F ve ark., RC Beams Strengthened with NSM CFRP Rods and Modeling of Peeling-Off Failure, 2010.
- Ateş, A., (2008), Çelik Lif Donatılı Betonlar, Yüksek Lisans Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale.
- Ayatar M. ve ark., Strengthening of Reinforced Concrete Frames with Engineered Cementitious Composite Panels, 2018.
- Bahadır, F., (2012), Düzlem Dışı Perde Duvarla Güçlendirilmiş Deprem Davranışı Yetersiz Betonarme Çerçvelerin Davranışına Pencere Boşluklarının Etkisi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Selçuk Üniversitesi, Konya.
- Balık, F., S., (2012), Betonarme dolgu Duvarla Güçlendirilmiş Deprem Davranışı Yetersiz Betonarme Çerçvelerin Davranışına Pencere Boşluklarının Etkisi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Selçuk Üniversitesi, Konya.
- Bedirhanoğlu, İ., (2009), Düşük Dayanımlı Betona Sahip Betonarme Kolon ve Birleşimlerin Deprem Yükleri Altında Davranışlarının İncelenmesi ve İyileştirilmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Çevirme, S., (2007), Kolon Kiriş Birleşim Bölgelerinin Çelik Elemanlarla Güçlendirilmesi ile İlgili Deneysel Çalışma, Yüksek Lisans Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Demir, A., (2012), ÖnÜretimli Betonarme Ve Lif Donatılı Beton Plaklar ie Kirişlerin Güçlendirilmesi : Alternatif Bir Yöntem, Doktora Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Celal Bayar Üniversitesi, Manisa.
- Demirhan, S., (2017), Nano Malzemeler ile Modifiye Edilmiş Yüksek Performanslı Hibrid Lif Donatılı Betonlar, Doktora Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Dilbas, H., (2014), Geri Kazanılmış Agregalı Betondan Üretilen Bir Konsol Kirişin Mekanik Davranışının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Ekinci, Y., (2005), Bir Kısmı Konsol Çıkmalara Oturan Betonarme Binalarda Konsol Kiriş Yüklerinin Deneysel Olarak Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Emmons, P., and Vaysburd, A., 1995. "Performance criteria for selection of repair materials". Phase I. Technical Report REMR-CS-47.

- Ge W. ve ark., Flexural Behavior Of ECC-Concrete Composite Beams Reinforced with Steel Bars, 2018.
- Gürbüz, E. (2018), Mikropcm İçeren Tasarlanmış Çimento Esaslı Kompozitlerin Mekaniksel ve Darbe Davranışlarının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.
- İsmail, M ., ve ark., Effect of Fiber Type On The Behavior of Cementitious Composite Beam-Column Joints Under Reversed Cyclic Loading, 2018.
- Küçükarslan, Ö., (2019), Tasarlanmış Çimento Esaslı Kompozitlerde PVA Lif Oranının Temel Mekanik, Boyutsal Stabilitate ve Üstyapı Kaplaması Olarak Performans Özellikleri Üzerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Niğde Ömer Halis Demir Üniversitesi, Niğde.
- Masri, Y. (2022), Yüksek Şekil Değiştirme Kapasitesine Sahip Lif Donatılı Betonların Konsol Kiriş Elemanlardaki Yapısal Davranışına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Konya Teknik Üniversitesi, Konya.
- Öztürk, O. (2019), Nano Ölçekte Modifiye Edilmiş Yeni Nesil Akıllı Çimento Bağlayıcı Kompozitler, Doktora Tezi, *Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Konya Teknik Üniversitesi, Konya.
- Park, R., 1989, Evaluation of Ductility of Structures and Structural Assemblages from Laboratory Testing, Bulletin of the New Zealand National Society for Earthquake Engineering, Vol.22, No.3, September.
- Rajabi, A. F., (2021), Sentetik Vollaştonit İçeren Tasarlanmış Çimento Esaslı Kompozitlerin Kendiliğinden İyileşme Özelliğinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Niğde Ömer Halis Demir Üniversitesi, Niğde.
- Salami, E., (2009), Çelik liflerin farklı dayanıma sahip betonların mekanik özelliklerine etkisinin deneysel olarak incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- Sancak, Ö. F., (2021), Demir Talaşı Katkılı Betonların veşahmara Etriye Kanca Açısının Konsol Kirişlerin Yapısal Davranışına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya Üniversitesi, Sakarya.
- Şahmaran, M., Yucel, H. E., Demirhan, S., Arik, M. T. and Li, V. C. (2012). Combined effect of aggregate and mineral admixtures on tensile ductility of engineered cementitious composites. *ACI Materials Journal*, 109(6), 627-638.
- Şirin, C., (2006), Yapılarda Oluşan Hasar Biçimleri ve Nedenleri ve Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi Teknikleri ile Bir Yapının Güçlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) 2018, “Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı için Esaslar”, TC Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara, Türkiye.

- Uğur, A.E., Ünal, A., (2022) "Assessing the structural behavior of reinforced concrete beams produced with macro synthetic fiber reinforced self-compacting concrete", Structures, Vol 38, 2022,pp. 1226-1243.
- Uygunoğlu T., Topçu İ.B., Şimşek B., Eryeşil Ö., Al-Turki Y. A. Y. A., (2022), Çimento Esaslı Harçların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinde Polivinil Alkol (PVA) Liflerin Etkisi, Politeknik Dergisi, 25(1): 29-36.
- Ünal, A., (2016), Sabit Dikdörtgen Kesitli Kirişlerin Farklı Mesnet Koşullarında Kesme Kapasitesinin Araştırılması, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 386.
- Ünal, A., Cengiz, S., Kamanlı, M., (2021). "Effect of Stirrup Spacing and Polypropylene Fiber Ratio on Behavior of Reinforced Concrete Beams", Periodica Polytechnica Civil Engineering, Vol. 65, No. 2, PP. 522-536.
- Yıldırım G., Erken Yaş Yüksek Dayanımlı Çimento Bağlayıcılı Kompozitlerle Üretilen Onarım Sistemlerinin Eğilme Performansı ve Yansıma Çatlağı Davranışı, Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 2018.