



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



YÜKSEK ŞEKİL DEĞİŞTİRME
KAPASİTESİNE SAHİP LİF DONATILI
BETONLARIN KONSOL KİRİŞ
ELEMANLARDAKİ YAPISAL DAVRANIŞA
ETKİSİ

Yumen MASRİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Haziran-2022
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Yumen Masri tarafından hazırlanan “Yüksek Şekil Değiştirme Kapasitesine Sahip Lif Donatılı Betonların Konsol Kiriş Elemanlardaki Yapısal Davranışa Etkisi” adlı tez çalışması 29/06/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Prof. Dr. Mehmet KAMANLI

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Alptuğ ÜNAL

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Fatih Süleyman BALIK

İmza

.....

.....

.....

Yukarıdaki sonucu onaylıyorum.

Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN
Enstitü Müdürü

Bu tez çalışması Konya Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından 211004005 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.

Yumen MASRİ

29/06/2022

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YÜKSEK ŞEKİL DEĞİŞTİRME KAPASİTESİNE SAHİP LİF DONATILI BETONLARIN KONSOL KİRİŞ ELEMANLARDAKI YAPISAL DAVRANIŞA ETKİSİ

Yumen MASRİ

Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Alptuğ ÜNAL
Yrd. Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Oğuzhan ÖZTÜRK
2022, 129 Sayfa

Jüri

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

Yapılan literatür çalışmalarına göre depreme dayanıklı yapılacak olan veya güçlendirilecek olan yapılarda geleneksel beton kullanımı yerine, lif donatılı çimento esaslı kompozit kullanılması hem ekonomiklik hem de dayanım ve güvenlik açısından çeşitli avantajlar barındırmaktadır. Lif donatılı betonların içerisinde özel bir beton türü olan Tasarlanmış Çimento Esaslı Kompozitler çok yüksek süneklığe sahip lif donatılı malzemelerdir. Lif donatılı betonda hacimsel olarak yaklaşık %2 oranında Polivinilalkol (PVA) lif kullanılmaktadır. Laboratuvar ortamında küçük ölçekten büyük ölçeğe kadar tasarlanan lif donatılı beton malzemeler ile konsol kirişler üretilmiştir. İlk üç numune geleneksel beton ile üretilmiş içerisinde donatı bulunan numunelerdir. Diğer 3 numune ise donatısız ve lif donatılı beton malzemeler ile üretilmiştir. Son üç numune ise içerisinde donatı bulunan ve lif donatılı beton malzemeler ile üretilmiş numuneler olup, toplam 9 adet konsol kiriş üretilmiştir. Kiriş uzunluğu; kiriş açıklığının kiriş faydalı yüksekliğine oranına (a/d) bağlı olarak değişmektedir. a/d oranı 1,2 ve 3 olarak alınmıştır. Deneyler tersinir-tekrarlanır yükleme altında yapılmıştır. Araştırmada deney elemanlarının tersinir-tekrarlanır yükler altında yapısal davranışının incelenmesi amaçlanmıştır. a/d oranının değişimi ve PVA lifleri ile yüksek hasar toleranslı konsol kirişlerin geliştirilmesi hedeflenmiştir. Deneysel çalışma sonrasında elde edilen verilerden yük-deplasman, rijitlik, kümülatif tüketilen enerji, zarf eğrileri çizilmiştir ve süneklik değerleri hesaplanmıştır. Ayrıca deney numunelerinin karşılaştırmalı değerlendirilmesi yapılmıştır. AD1-ECC1-R1 deney elemanı en yüksek yük taşıma kapasitesine sahiptir. Deney numunelerinde a/d oranı azaldıkça eğilme davranışı azaldığından a/d oranının azalmasına bağlı olarak başlangıç rijitliği artmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Konsol kiriş, polivinilalkol (PVA) lif, deneysel çalışma, tasarlanmış çimento esaslı kompozitler.

ABSTRACT

MS THESIS

EFFECT OF FIBER REINFORCED STRAIN HARDENING CEMENTITIOUS COMPOSITES ON THE STRUCTURAL BEHAVIOR OF REINFORCED CANTILEVER CONCRETE BEAMS

Yumen MASRİ

Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Civil Engineering

Advisor: Assist. Prof. Dr. Alptuğ ÜNAL
Co supervisor Assist. Prof. Dr. Oğuzhan ÖZTÜRK

2022, 129 Pages

Jury
Assist. Prof. Dr. Alptuğ ÜNAL
Prof. Dr. Mehmet KAMANLI
Assist. Prof. Dr. Fatih Süleyman BALIK

According to the literature studies, the use of fiber-reinforced cement-based composites instead of traditional concrete in buildings that will be built or strengthened against earthquakes has various advantages in terms of both economy and strength and safety. Engineered Cementitious Composites, a special type of concrete among fiber reinforced concretes, are fiber reinforced cement-based materials with very high ductility. Polyvinylalcohol (PVA) fiber is used at a rate of about 2% by volume in fiber reinforced concrete. Cantilever beams were produced with fiber reinforced concrete materials designed from small scale to large scale in a laboratory environment. The first 3 samples are produced with reinforced concrete while other 3 samples were produced with only fiber reinforced concrete materials. The last 3 samples were produced with reinforced concrete with fiber reinforced concrete matrix. It varies depending on the a/d ratio of the beam height. The a/d ratio is taken as 1,2 and 3. The experiments were carried out under reversible-repeatable loading. In the research, it is aimed to examine the structural behavior of test elements under reversible and repeated loads. It is aimed to change the ratio of beam span to beam useful height (a/d) and to develop cantilever beams with high damage tolerance with PVA fibers. Load-displacement, stiffness, cumulative consumed energy, envelope curves were drawn from the data obtained after the experimental study, and ductility values were calculated. In addition, a comparative evaluation of the test samples was made. AD1-ECC1-R1 test element has the highest load carrying capacity. As the a/d ratio decreases in the test specimens, the bending behavior decreases, and the initial stiffness increases depending on the decrease in the a/d ratio.

Keywords: Cantilever beam, Polyvinylalcohol (PVA) fiber, experimental study, Engineered Cement Composites (ECC).

ÖNSÖZ

Tez çalışması sürecinde, tez çalışmalarına başladığım andan itibaren bilgi ve deneyimlerinden faydalandığım, her konuda destek aldığım, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar her aşamalarında yardımları 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 Dr. Öğr. Üyesi Alptuğ ÜNAL'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

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

Hayatım boyunca bana destek olan, maddi ve manevi destekleri hiç esirgemeyen ve yanımda olan canım annem ve canım babama sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım boyunca her zaman yanımda olan, her konuda bana destek olan sevgili eşime sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Yumen MASRİ
KONYA-2022

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin amacı :.....	3
1.2. Tezin önemi:	4
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	6
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	13
3.1. Deney Numuneleri	13
3.1.1 Deney numunelerinin boyut özellikleri	13
3.1.2. Deney numunelerinin donatı özellikleri	13
3.2. Deney Numunelerinin Malzeme Özellikleri.....	16
3.2.1. Beton özellikleri.....	16
3.3. Deney numunelerinin hazırlanması	21
3.4. Deney Düzenegi ve Ölçme Tekniği.....	29
3.4.1. Deney düzenegi.....	29
3.4.2. Ölçme tekniği.....	32
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	36
4.1. Deney Sonuçları.....	36
4.1.1. Birinci deney (AD1-ECC0-R1)	36
4.1.2. İkinci deney (AD2-ECC0-R1)	42
4.1.3. Üçüncü deney (AD3-ECC0-R1).....	52
4.1.4. Dördüncü deney (AD1-ECC1-R0)	58
4.1.5. Beşinci deney (AD2-ECC1-R0)	64
4.1.6. Altıncı deney (AD3-ECC1-R0)	69
4.1.7. Yedinci deney (AD1-ECC1-R1).....	76
4.1.8. Sekizinci deney (AD2-ECC1-R1)	82
4.1.9. Dokuzuncu deney (AD3-ECC1-R1).....	89
4.2. Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması	96
4.2.1. a/d oranı değişimi.....	97
4.2.2. Lif donatılı harçların etkisi	106
4.2.3. Donatının lif donatılı harçlar üzerindeki etkisi	112
4.2.4. Tüm deneylerin karşılaştırılması	118

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	123
5.1 Sonuçlar	123
5.2 Öneriler	125
KAYNAKLAR	126
ÖZGEÇMİŞ	Error! Bookmark not defined.



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

a: Kesme açıklığı, mm

A_c : Kiriş en kesit alanı, mm

b : Deneş numunesinin genişliği, mm

D: Faydalı yükseklik, mm

d : Deneş numunesinin kalınlığı, mm

F : Kırılmaya neden olan yük, kN

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

σ_e : Betonun eğilme dayanımı, MPa

L_{top} : Kirişin toplam uzunluğu, mm

L : Deneş numunesinin mesnetler arasındaki mesafesi, mm

N_d : Aksel yük, Kn

P_C : Portland çimento

S_P : Beton katkısı

Uk-f : Uçuncu küller

Kısaltmalar

AD1-ECC0-R1: a/d=1, ECC kullanılmayan, donatılı numune

AD2-ECC0-R1: a/d=2, ECC kullanılmayan, donatılı numune

AD3-ECC0-R1: a/d=3, ECC kullanılmayan, donatılı numune

AD1-ECC1-R0: a/d=1, ECC kullanılan, donatısız numune

AD2-ECC1-R0: a/d=2, ECC kullanılan, donatısız numune

AD3-ECC1-R0: a/d=3, ECC kullanılan, donatısız numune

AD1-ECC1-R1: a/d=1, ECC kullanılan, donatılı numune

AD2-ECC1-R1: a/d=2, ECC kullanılan, donatılı numune

AD3-ECC1-R1: a/d=3, ECC kullanılan, donatılı numune

ECC: Tasarlanmış Çimento Esaslı Kompozitler

ECC0: ECC beton olmadığı (geleneksel beton)

ECC1: Tasarlanmış Çimento Esaslı Kompozit beton

PVA: Polivinil alkol lif

R: Referans numune

R1: donatılı elemanlar

R0: donatısız elemanlar

TBDY : Türkiye bina deprem yönetmeliği



1. GİRİŞ

Son yıllarda Türkiye’de meydana gelen depremler sebebiyle betonarme yapılarda çok fazla hasar görülmüştür. Bu sebeple yapıların performanslarının artırılması gerekmektedir. Olası bir depreme karşı mevcut yapıların dayanım, süneklik ve rijitlik açısından yeterli seviyede olması gerekmektedir. Bu sebeple depreme karşı dayanım, süneklik ve rijitlik açısından yetersiz olan mevcut yapıların güçlendirilmesi gerekmektedir. Ayrıca yeni yapılan binalarda da depreme karşı davranışın iyileştirilmesi amacıyla yeni malzemelere ve yeni teknolojilere ihtiyaç vardır. Literatür çalışmalar incelendiğinde yüksek performanslı çimento bağlayıcılı malzemeler büyük ölçeklerde kullanılması oldukça başarılı sonuçlar vermektedir.

Betonarme yapılarda karşılaşılan en önemli sorun betonun gevrek davranışa sahip olmasıdır. Gevrek davranışa sahip yapı elemanları yükler altında hızlı bir şekilde plastik deformasyona uğrarlar. Gevrek davranışa sahip yapı elemanının sönümlendiği enerji az olduğundan, yapı elemanı taşıma kapasitesine ulaştığı anda göçme meydana gelir. Bu nedenle yapı elemanlarının belirli bir oranda sünek davranışa sahip olmaları istenir. Betona katılan çeşitli lifler betona bir miktar süneklik kazandırır (Uygunoğlu, 2020).

Kolon-kiriş birleşim bölgelerinin deprem yükleri altında zayıf oldukları iki temel nokta kiriş ve kolon boyuna donatılarındaki yetersiz bindirme boyları ve birleşim bölgesinin yetersiz kesme kapasitesine sahip olmasıdır. Kenar ve iç birleşim bölgeleri kesme kuvvetlerini taşıma açısından farklı davranış sergilemektedirler. Kenar kolon-kiriş birleşim bölgelerinde birleşim bölgesine birleşen kirişler devam etmediğinden dolayı iç kolon-kiriş birleşim bölgelerine göre kesme kuvveti kapasiteleri daha azdır. Kenar kolon-kiriş birleşim bölgelerinde birleşim bölgesine birleşen kirişler devam etmediğinden dolayı kirişlerin boyuna donatıları birleşim bölgesine bükülmektedir. Düz yüzeyli donatı kullanılması ve betonun düşük dayanımlı olması donatı ile beton arasındaki aderansın çok düşük olmasına yol açmakta ve bu sebepten dolayı gerekli bindirme boyu çok artmaktadır. Bu durumda kenar kolon-kiriş birleşim bölgeleri deprem etkilerine karşı boyuna donatıların bindirme boyları ve kesme kuvveti kapasitelerinin eksikliği bakımından zayıf konumdadırlar. Ayrıca depremlerde hasarların daha çok kenar kolon-kiriş birleşim bölgelerinde olduğu gözlenmiştir. (Bedirhanoğlu, 2009).

Taze halde rahat uygulanma, sertleşmiş halde yüksek süneklik gibi avantajlar lif donatılı betonun geniş kullanım alanına sahip olmasını sağlamaktadır. Uygulamalarda dökme, sıkma veya püskürtme şeklinde kullanılabilir (Li, 2003).

Günümüzde, lif donatılı harçlar yerleşim inşaatı uygulamalarının dışında birçok mühendislik uygulamalarında kullanılmaktadır. Ulaşımı hızlıca yeniden açmak için hızlı dayanım kazanması gereken uygulamalarda yüksek-erken dayanımlı lif donatılı harç, yapı elemanlarının ölü yükünü azaltmak için hafif lif donatılı harç, hasardan sonra çatlakları kapatmak için kendi kendini iyileştiren lif donatılı beton tasarlanabilmektedir. Gelecek dönemde ihtiyaca bağlı olarak lif donatılı harçlar özelliklerinin artması beklenmektedir (Sherir, 2012).

PVA lif 50 yıl önce Japonya'nın ilk organik lifi olarak üretilmiş ve bu zamandan itibaren çeşitli uygulamalarda kullanılmıştır. Özellikle 1980'li yıllardan itibaren çimento esaslı kompozitlerin üretilmesinde kullanılmıştır. PVA lifler diğer organik liflere kıyasla yüksek dayanıklılık ve elastisite modülü değerine sahiptir. PVA lifler yüksek eğilme dayanımları ve elastisite modülleri ile çatlak ilerlemesine karşı çok iyi performans gösterirler. PVA lifler yüksek derecede lif-matris aderansı gösterirler ve üretim esnasında liflerin yüzeylerinde yapılacak deformasyonlar ile lif-matris aderansının daha da güçlü kılınması mümkündür.

Betonarme kirişler sünek eğilme kırılması ve eğik çekme (kesme) kırılması olmak üzere genelde iki şekilde kırılırlar. Kesme kırılması ani ve gevrek bir biçimde oluşmasından ve kırılmadan önce tahmin edilmesinin zorluğundan dolayı büyük bir önem taşımaktadır. Betonarme kirişlerin eğilme kapasitelerine göre tasarlanmalarının en önemli nedeni budur. Betonarme elemanlarda mutlaka yeteri kadar kesme donatısı kullanılarak, önemli sorunlar meydana getiren eğik çekme gerilmelerine karşı önlem alınmalıdır. Kullanılan kesme donatısının temel işlevi, elemanın kesmeden dolayı kırılmasını önleyerek, eğilme kapasitesine ulaşmasını sağlamaktır. Yeteri kadar kesme donatısı kullanıldığında eğik çatlakla kesişen kesme donatıları gerilme almaya başlayacak ve çatlakın daha fazla gelişmesine engel olacaktır. Kesme donatısı kullanılmaması veya çok az kullanılması durumunda oluşan eğik çatlak hiçbir kesme donatısı ile kesişmeyeceğinden, çatlak tehlikeli bir şekilde ilerleyecektir. Kesme etkisindeki betonarme elemanların davranışını etkileyen en önemli özelliklerden biri de kesme açıklığının faydalı yükseklığe oranıdır (a/d). Kesme açıklığı, kesme kuvvetinin sabit olduğu mesnetle yük arasındaki uzaklıktır. a/d oranına göre aynı özellikteki kirişlerin dayanım ve davranışında farklılıklar oluşabilmektedir. a/d oranının çok büyük olduğu durumlarda ($a/d > 7$) kiriş eğilmedeki taşıma kapasitesine ulaşabilecektir. Kesme açıklığı büyük olduğu için oluşan kesme kuvveti küçük düzeylerde kalırken büyük eğilme momenti oluşacaktır. Meydana gelen eğilme çatlaklarının büyümesiyle kesit eğilmedeki

taşıma kapasitesine ulaşacaktır. Kesme kuvvetinden dolayı oluşan eğik çekme gerilmeleri önemli değerlere ulaşmadığı için kirişte eğik çatlaklar oluşmayacaktır. a/d oranının yaklaşık olarak 3 ile 7 arasında ($3 < a/d < 7$) olduğu durumlarda, momentin maksimum olduğu bölgelerde kiriş eksenine dik eğilme çatlakları oluşacak, yükün artmasıyla birlikte eğilme çatlakları tarafsız eksene doğru uzamaya başlarken eğik çekme gerilmeleri kiriş gövdesinde önemli değerlere ulaşarak çatlama sebepleri olacaktır. Göçme, eğilme çatlaklarının bir veya birkaçının ilerleyerek eğik çatlakla birleşmesiyle meydana gelecektir. Bu göçme oldukça ani ve gevrek bir kırılmadır ve gerçek eğik çekme kırılması olarak adlandırılır. Kesme açıklığının daha da küçülerek a/d oranının 1.5 ile 3 arasında ($1.5 < a/d < 3$) olması durumunda eğilme çatlakları yüke doğru uzayıp eğik çatlakları oluşturacaktır. Eğik çatlaklar arasında oluşan beton basınç bölgelerinin dikleşmesi ile kemerlenme etkisi ortaya çıkacaktır. Yükün uygulandığı noktada oluşan yerel basınç gerilmeleri eğik çatlakların daha fazla gelişmesine engel olur. Kırılma yükün uygulandığı bölgedeki betonun ezilmesi ile oluşur. Bu durumda kiriş taşıma gücü eğilme kapasitesine yaklaşır. Ezilme nedeniyle göçme $3 < a/d < 7$ durumundaki gibi ani ve gevrek olmaz. Mesnet ile yük arasındaki açıklığın çok küçük olduğu ($a/d < 1$) durumlarda kirişte kemerlenme etkisi önem kazanır. Eğik çatlakların oluşmasından sonra kirişte eğilme önemini kaybeder ve tam bir gergili kemer davranışı gözlenir. Kesme kuvveti yük ile mesnet arasında oluşan oldukça dik beton basınç çubuklarıyla taşınır. Kırılma gövdedeki betonun basınç gerilmeleri nedeniyle ezilmesi veya basıncın aktarılmasında oluşan donatıdaki yüksek gerilmeler nedeniyle kenetlenmenin ortadan kalkmasıyla oluşur (Ersoy ve Özcebe, 2001, Ünal, 2016, Kamanlı ve Ünal 2016, Ünal ve Kamanlı 2016, Kamanlı ve Ünal 2018).

1.1. Tezin amacı :

Yapılan literatür çalışmalarına göre depreme dayanıklı yapılacak olan veya güçlendirilecek olan yapılarda geleneksel beton kullanımı yerine, lif donatılı çimento esaslı kompozit kullanılması hem ekonomiklik hem de dayanım ve güvenlik açısından çeşitli avantajlar barındırmaktadır. Lif donatılı betonların içerisinde özel bir beton türü olan Tasarlanmış Çimento Esaslı Kompozitler (Engineered Cementitious Composites [ECC]) çok yüksek sünekliliğe sahip lif donatılı malzemelerdir. Lif donatılı haçlarda hacimsel olarak yaklaşık %2 oranında Polivinilalkol (PVA) lif kullanılmaktadır.

Laboratuvar ortamında küçük ölçekten büyük ölçeğe kadar tasarlanarak lif donatılı harç malzemeleri ile konsol kirişler üretilmiştir. İlk üç numune geleneksel beton ile üretilmiş içerisinde donatı bulunan numunelerdir. Diğer 3 numune ise donatısız ve lif donatılı harç malzemeler ile üretilmiştir. Son üç numune içerisinde donatı bulunan ve lif donatılı harç malzemeler ile üretilmiş toplam 9 adet konsol kiriş üretilmiştir. Kiriş yüksekliğinin a/d oranına bağlı olarak değişmektedir. a/d oranı 1,2 ve 3 olarak alınmıştır. Üretilmiş konsol kirişlerin deprem etkisi simule edilerek yatay yük altında kolon-kiriş birleşim bölgesindeki hasarları incelenmiştir. Bu konsol kiriş tipinin kiriş kesme dayanımına etkisinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla konsol kiriş tipi ve betonarme kirişlerde a/d oranının kiriş davranışına etkisi incelenmiştir. Yapılan bu deneysel çalışmada a/d oranının değişimi ve PVA lifleri ile yüksek hasar toleranslı konsol kirişlerin geliştirilmesi hedeflenmiştir.

1.2. Tezin önemi:

Yapıların daha sünek ve yüksek dayanıklı betonla inşa edilmesinde lif donatılı beton kullanımı oldukça uygun olmasının sonucu olarak, yapı ömrü uzayıp yeni inşaatlar için harcanan malzeme ihtiyacı azaltılabilecektir. Lif donatılı harç üretiminde, uçucu kül gibi yan ürün kullanılması, ekonomik, teknik ve çevresel katkı sağladığından sürdürülebilir kalkınma için gerekli bir malzemedir (Demirhan, 2012).

Yeni yapılan binalarda depreme karşı davranışın iyileştirilmesi amacıyla yeni malzemelere ve yeni teknolojilere ihtiyaç vardır. Literatür çalışmalar incelendiğinde yüksek performanslı çimento bağlayıcılı malzemeler kullanılması oldukça başarılı sonuçlar vermektedir. Lif donatılı harç malzemesinin geleneksel betona göre şekil değiştirme kapasitesi yaklaşık 200-500 kat daha yüksektir. Ayrıca eğilmede çekme dayanımı, basınç dayanımı, düşük geçirimsizlik, yorulma mukavemeti gibi çeşitli yapısal performans açısından avantajlı özellikler göstermektedir. Yapılan literatür çalışmalarına göre kirişlerde değişik a/d oranlarının kiriş davranışını etkilediği görülmüştür. Yapılan bu çalışmada da konsol kirişlerde değişik a/d oranı etkisi de araştırılmıştır.

Lif donatılı betonlar, günümüzde yol kaplamaları, endüstriyel döşemeler, su yapıları, tüneller, köprüler, patlamaya dayanıklı askeri yapılar, uçak pistleri, beton borular ve ön dökümlü beton elemanlar gibi birçok uygulamada kullanılmaktadır. PVA lifler diğer organik liflere kıyasla yüksek dayanıklılık ve elastisite modülü değerine sahiptir.

PVA lifler yüksek çekme dayanımları ve elastisite modülleri ile çatlak ilerlemesine karşın çok iyi performans gösterirler (Boğazkesen, 2011).

Deneysel çalışmada çimento bağlayıcılı kompozitler içinde kullanılan yaklaşık %2 oranında Polivinilalkol (PVA) lif etkisi incelenmiştir. Beton bünyesine lif katılmasının bir çok avantajları bulunmakta olup, literatür çalışmalarında lif donatılı betonların, eğilme dayanımı, darbe dayanımı, enerji yutma kapasitesi ve süneklik gibi davranışsal özelliklere büyük katkıda bulunmaktadır. Geliştirilen özel betonlarla üretilen konsol kirişlerin deprem etkisi simule edilerek yatay yük altında kolon-kiriş birleşim bölgesindeki hasarları incelenecektir. Lif donatılı harç malzemesi hem donatılı ve hem de donatısız olarak üretilecek ve donatı varlığındaki lif donatılı harç davranışı konsol kirişlerde birbirinden bağımsız olarak irdelenmiş olacaktır.



2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Günümüzde beton hiç şüphesiz en yaygın olarak kullanılan yapı malzemesidir. Yüksek basınç direnci, su ve yangına karşı dayanıklılığı, hammadde erişilebilirliği, maliyetinin uygunluğu gibi birçok neden bu popüleriteyi getirmektedir. Saha koşullarında, beton gibi kompozit malzemeler yük ve çevresel etkilere bağlı olarak çekme gerilmelerine maruz kalmaktadır. Buna karşın düşük çekme mukavemeti ve düşük deformasyon kapasitesi ile mekanik yükler altında beton davranışı gevrek olmaktadır. Bu gevrek davranış; dayanıklılık, çekme ve kesme kuvveti gibi yapısal performans parametrelerinin önünde önemli bir engel teşkil etmektedir (Li, 2002).

Yüksek mukavemetli ve çimento esaslı matris içine homojen olarak dağılmış liflerle sünek bir yapının oluşturulması ve böylece bu gevrek davranışın iyileştirilmesi mantıklı bir çözüm olarak durmaktadır. Bu çözüme bağlı olarak; yük altında lif, matris ve bunların ara yüzlerindeki etkileşimi nicel olarak dikkate alan mikro-mekanik tabanlı analiz prensiplerine göre üretilen yeni bir kompozitin beton dünyasına girmesi ile yapının performansına engel olan gevrek davranış önlenmektedir. Tasarlanmış Çimento Esaslı Kompozitler (Patent İsmi: Engineered Cementitious Composites - ECC) olarak adlandırılan bu yüksek dayanımlı ve performanslı malzeme, genel olarak %2 hacim oranında polivinil alkol lif gereksinimine rağmen çimento esaslı bir malzeme için oldukça yüksek çekme şekil değiştirme kapasitesine sahip olup (%3 - %5), bu değer normal betonun çekme şekil değiştirmesinin 300 ile 500 katı arasındadır (Demirhan, 2012; Şahmaran ve Li, 2008). Ayrıca ECC, ilk çatlaktan sonra deformasyon sertleşmesi (strain hardening) gösterip bu özelliğiyle betondan öte sünek bir metal gibi davranış sergilemekte ve şiddetli basınç, eğilme ve çekme yükleri altında bile sünekliğini koruyabilmektedir (Şahmaran ve Li, 2007).

Özbek (2008) yaptığı çalışmada, delikli ve düz çelik levha ile güçlendirilmiş kirişlere dayanımın yanı sıra yeterli süneklik de kazandırılması için çelik levha, uç yan levha ve bulonlarıyla desteklediği bir çalışma yapmıştır. Eğilmeye karşı çelik levhalarla güçlendirilen eksik etriyeli betonarme kirişler ayrıca kesmeye karşı da güçlendirilmiştir. Deneysel çalışmada eğilmeye karşı birisi referans, altısı güçlendirilmiş; eğilme-kesmeye karşı ise yine birisi referans, altısı güçlendirilmiş olmak üzere on dört deney elemanı tek düze yükler altında denenmiştir. Eğilme elemanlarında değişkenler levha tipi (delikli, düz), yapıştırıcı (epoksili, epoksisiz), basınç levhası (içeren ve içermeyen) şeklindedir. Kesme ve eğilme elemanlarında ise kesmeye karşı güçlendirme tekniği sabit tutularak

eğilme elemanlarındaki değişkenler yinelenmiştir. Deney sonuçları; dayanım, süneklik, enerji tüketimi ve rijitlik bakımından irdelenmiş ve karşılaştırılmıştır. Uygulanan güçlendirme tekniği ile dayanım oranının yaklaşık üç kat artırılmasının yanı sıra süneklik oranında büyük artışlar sağlanmıştır. Ayrıca eksik etriyeli kirişlerin kesmeden kırılması önlenmiştir.

Konsol kiriş ile ilgili çalışmalar:

Altın ve Anıl (2002) yaptıkları çalışmada kesme dayanımı yetersiz betonarme kirişlerin eleman dışından yerleştirilen kelepçelerle kesmeye karşı güçlendirilmesini araştırmışlardır. Çalışmada bu güçlendirme yönteminin tersinen ve tekrarlanan yükler altındaki etkinliği incelenmiştir. Düzenlenen deney programında toplam 5 adet konsol kiriş elemanı test edilmiştir. Çeşitli düzeylerde kesme dayanımı yetersiz deney elemanları kelepçelerle güçlendirilmiştir. Güçlendirilen tüm elemanların deneylerinde sünek eğilme davranışı gözlenmiştir. Kelepçeler göçmeye kadar işlevlerini kaybetmemişlerdir. Deney sonucunda kesmeye karşı güçlendirme amacıyla eleman dışından kelepçeleme yönteminin tersinir tekrarlanır yüklemeler altında başarılı bir davranış sergilediği görülmüştür.

a/d oranı ile ilgili çalışmalar:

Ünal (2016) yaptığı çalışmada, basit mesnet ve ankastre mesnet tiplerinde oluşturulan betonarme kirişlerde a/d oranının ve etriye aralığının kiriş kesme davranışına etkisini incelemiştir. Yapılan bu çalışmada, 1/1 ölçekli, 16 adet betonarme kiriş, 4 noktalı eğilme düzeneğinde test edilmiştir. Bu deney elemanlarından 4 tanesi basit mesnetli ve 12 tanesi ankastre mesnetlidir. Çalışma kapsamında üretilen numunelerde a/d oranı 1.0, 2.0 ve 3.0 olarak alınmıştır. Ayrıca diğer bir değişken olan enine donatı miktarında ise bir grup etriyesiz ve birer grup $\phi 8/7.5$, $\phi 8/15$ ve $\phi 8/30$ olacak şekilde üretilmiş ve test edilmiştir. Deneysel çalışma sonucu elde edilen verilere bağlı olarak yük-deplasman, rijitlik, enerji tüketimi ve moment-eğrilik grafikleri çizilmiştir. Her bir deney için çizilen bu grafikler ile deneylerde meydana gelen çatlaklar ve hasar oluşumlarına göre, deney sonuçları yorumlanmış ve deneyler birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Deneysel çalışmada elde edilen sonuçlara göre mesnet şartlarının değişmesi ile kiriş davranışı oldukça değişmiştir. a/d oranlarının ve etriye oranlarının da kiriş davranışının üzerinde oldukça etkili olduğu görülmüştür. Ayrıca deneysel çalışmadan elde edilen yük taşıma

kapasitelerinin, teorik hesaplamalar sonucu elde edilen yük taşıma kapasitelerine oldukça yakın olduğu görülmüştür.

Aydemir (2017) yaptığı çalışmada üç ayrı kesme açıklığı/kiriş derinliği oranına sahip betonarme konsol kiriş imal edilerek, numuneleri deprem yükleri altındaki davranışları yer değiştirme kontrollü çevrimsel yüklere benzeştirilerek test etmiştir. Deneysel incelemelerdeki hasar gözlemleri, plastik mafsallık bölgeleri ve şekil değiştirme talepleri; Türk Deprem Yönetmeliği Hasar Sınırı Yaklaşımı kabulleriyle karşılaştırılmalı olarak irdelenmiştir. Bu incelemelerde, yönetmelik hasar sınırı yaklaşımının özellikle yanal donatı aralığının artmasıyla boyuna donatıdaki burkulma etkisini betimlemekte yetersiz kaldığı tespit edilmiştir. Basınç donatısındaki burkulmanın da etkisini yansıtacak bir hasar sınırı tespitine yönelik yapılan analizle, basınç donatısı burkulma birim şekil değiştirme sınırı etkin davranış parametrelerine göre ifade edilmiş ve geliştirilen bağıntı deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

Sağiroğlu vd. (2017), yaptıkları çalışmada, farklı a/d (kesme açıklığı / etkili derinlik) oranına sahip dört adet enine donatılı ve dört adet enine donatısız olmak üzere toplamda sekiz adet küçük ölçekli betonarme kirişe 3 nokta eğilme testi uygulanmıştır. Deneysel kısımda kirişlere ait yük deplasman eğrileri elde edilmiş ve yükleme boyunca çatlak oluşumu ve kırılma türü gözlemlenmiştir. Aynı kirişlere ait nümerik modeller sonlu elemanlar metodu ile oluşturulmuş, modellerin analizlerinden elde edilen sonuçlar deneysel verilerle kıyaslanmıştır. a/d oranının kirişlerin eğilme altındaki davranışına ve kırılma biçimine olan etkisi irdelenmiş, kirişlerin kırılma mekanizmaları deneysel ve nümerik sonuçlardan yola çıkılarak tanımlanmaya çalışılmıştır. Enine donatı kullanılmasının kirişlerin davranışına ve kırılma türüne olan etkisi irdelenmiştir.

Özkal (2017) yaptığı çalışmada, kesme açıklığının faydalı yüksekliğe oranının düşük olması halinde, kiriş davranışı önemini yitirmesine rağmen yine de etriye düzeninin yapısal davranışa etkilerini incelemiştir. Kiriş davranışından mümkün olduğunca uzaklaşmak ve hayali kemerin basınç çubuklarının 45° açıda oluşmasıyla kesme etkisinden kaynaklanan asal çekme gerilmelerinin de bu basınç çubuklarına dik şekilde oluşmasını sağlamak adına a/d oranı yaklaşık 1.0 olacak şekilde bir kiriş boyutlandırması tercih edilmiştir. Etriyeler ise farklı türlerde tasarlanırken ayrıca kanca konum ve şekilleri de dikkate alınarak kenetlenme yönünden değerlendirilmek üzere deneysel bir çalışma gerçekleştirilmiştir.

Arslan ve Polat (2004) yaptıkları çalışmada; kesme mukavemetini hesaplamak için kiriş ortasından tekil yükü yüklenmiş donatılı, yüksek mukavemetli beton kirişlerde,

deney sonuçları ile tutarlı yük-yer değiştirme eğrisini veren uygun sonlu eleman boyutları araştırmışlardır. Karşılaştırmaya tabi tutulan deney serilerinde değişkenler; beton basınç mukavemeti, kesme açıklığının kiriş etkili derinliğine oranı (a/d) ve enine donatı oranıdır. Kirişlerde kesme açıklığının etkili derinliğe oranı 1.5, 2.0 ve 2.5 olarak alınmıştır. Kirişler doğrusal olmayan çözülemeye tabi tutulmuş ve sonlu eleman boyutlarının uygun değerleri araştırılmıştır. Yapılan analizler sonucunda kirişte çubuk uzunluğu boyunca sonlu eleman boyutu değişiminin yük-yer değiştirme kapasitesinde oldukça etkili olurken, uygulanan yük doğrultusundaki sonlu eleman boyutu değişiminin, yük-yer değiştirme kapasitesinde etkili olmadığı görülmüştür. Sonlu eleman analizlerinde a/d oranı arttıkça açıklık ortasında toplam yük- yer değiştirme eğrileri deneysel verilere yaklaşmaktadır.

Arslan ve Polat (2004) yaptıkları çalışmada; kesme mukavemetini hesaplamak için kiriş ortasından tekil yükü yüklenmiş donatılı, yüksek mukavemetli beton kirişlerde, deney sonuçları ile tutarlı yük-yer değiştirme eğrisini veren uygun sonlu eleman boyutları araştırmışlardır. Karşılaştırmaya tabi tutulan deney serilerinde değişkenler; beton basınç mukavemeti, kesme açıklığının kiriş etkili derinliğine oranı (a/d) ve enine donatı oranıdır. Kirişlerde kesme açıklığının etkili derinliğe oranı 1.5, 2.0 ve 2.5 olarak alınmıştır. Kirişler doğrusal olmayan çözülemeye tabi tutulmuş ve sonlu eleman boyutlarının uygun değerleri araştırılmıştır. Yapılan analizler sonucunda kirişte çubuk uzunluğu boyunca sonlu eleman boyutu değişiminin yük-yer değiştirme kapasitesinde oldukça etkili olurken, uygulanan yük doğrultusundaki sonlu eleman boyutu değişiminin, yük-yer değiştirme kapasitesinde etkili olmadığı görülmüştür. Sonlu eleman analizlerinde a/d oranı arttıkça açıklık ortasında toplam yük-yer değiştirme eğrileri deneysel verilere yaklaşmaktadır. açıklığının faydalı yüksekliğe oranı $l_n/d = 4$, kesme açıklığı $a = 1:5d$, kesit yüksekliği $h = 1:3d$ ve genişlik $b = 50$ mm olarak alınmıştır. Deney sonucundan elde edilen bulgular, deterministik boyut etkisi teorileri ile analiz edilmiş ve sonuçlar literatürde mevcut olan boyutlandırma formülleri ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak kesme açıklığı kısa, kayma donatısız betonarme kirişlerin boyutlandırılmasında kullanılabilir basit ama gerçekçi bir formül bulunmuştur.

Kim ve ark. (2011) yaptıkları bu çalışmada derin betonarme kirişlerin eksenel ve eğilme yükleri altında davranışlarını incelemiştir. Eksenel yükün derin BA kirişler üzerine etkisini incelemek amacıyla 235 kN ve 470 kN'luk eksenel yük altında değişik kesme açıklığı-derinlik oranı bulunan numuneler hazırlanmıştır. Deneysel çalışmalar sonucu kirişlerin göçme modları, yük-deplasman ilişkileri ve numunelerdeki donatılarda

ve betonda meydana gelen gerilmeler araştırılmıştır. Deney elemanlarında kesme açıklığı-derinlik oranı ve eksenel yük değişiminin ne kadar olduğu verilmiştir. Numuneler derin kiriş olarak imal edilmiştir. Numunelerin enkesiti 200x700mm ve kiriş boyu ise 3200 mm'dir. Numunelerin beton basınç dayanımı yaklaşık 28 MPa olarak ölçülmüştür. Deneysel çalışmaların sonucunda a/d oranı 0.5 olan numunede eksenel yük arttıkça kiriş dayanımı azalmıştır. a/d oranı 1.0 ve 1.5 olan numunelerde ise eksenel yükün artmasıyla kirişin göçmesi gecikmiştir.

PVA malzemesi ile ilgili çalışmalar

Gödek vd. (2016) yaptıkları çalışmada, farklı hacim fraksiyonlarında polivinil alkol (PVA) lifin, sertleşmiş harç özelliklerine etkilerini araştırmışlardır. Lifler harç içine hacimce %2, %4, %6, oranlarında katılarak üretilmiş, bunun yanı sıra lif katkısız kontrol numunesi üretilmiştir. Üretilen numuneler sertleşmiş basınç ve eğilme dayanımı, ultrases hızı, su emme, dinamik elastisite modülü ve mikroyapı incelemesi testlerine tabi tutulmuş ve karşılaştırması yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, harçlarda PVA lif kullanım oranının artması çoklu çatlak davranışına sebep olarak sünek davranış sağlanmış bununla birlikte çatlak genişlikleri azalmıştır. Bu çalışmada, farklı polimerik lif türleri kullanılarak kompozitler üretilmiş ve lif türünün eğilme performansına etkisi araştırılmıştır. Bu kapsamda, aynı dozajda (hacimce %2) yüksek molekül ağırlıklı polietilen, polivinil alkol ve yüksek çekme dayanımlı polipropilen lif kullanılarak 25x60x300 mm boyutlarında plaka kompozitler üretilmiştir. Kompozitlerin dört noktalı eğilme yüklemesi altındaki mekanik performansları incelenmiş ve çoklu çatlak davranışları değerlendirilmiştir. Sonuçta, mekanik performansın lif türüne bağlı olarak oldukça değişken olduğu tespit edilmiş ve eğilme dayanımı 6.8-21.5 MPa, sehim kapasitesi 4.0-16.8 mm arasında değişen ECC'ler üretilmiştir.

İsmail vd. (2018), yaptıkları çalışmada, ters çevrimsel yükleme altında tasarlanmış çimento esaslı kompozit kiriş-kolon birleşim bölgesinin davranışı üzerinde farklı fiber türlerinin kullanılmasının etkisini araştırmışlardır. Test edilen lif donatılı beton kiriş-kolon bağlantıları, 8 mm ve 12 mm polivinil alkol fiberler (PVA8 ve PVA12), 13 mm polipropilen fiberler (PP13) ve 13 mm çelik fiberler (SF13) dahil olmak üzere farklı fiber türleriyle dökülmüştür. Araştırmada ayrıca karşılaştırma için 10 mm kalın agregadan yapılmış geleneksel bir normal beton (NC) kiriş-kolon birleşimi test edilmiştir. Test edilen numunelerin performansı, histerezis davranışı, süneklik, enerji yutma

kapasitesi ve çatlama davranışına göre değerlendirilmiştir. Sonuçlar, NC ile karşılaştırıldığında, PVA veya PP elyafı ECC'nin, ters çevrimsel yükleme altında geliştirilmiş sünek davranışa sahip kiriş-kolon eklemleri geliştirmek için umut verici bir yapı malzemesi olabileceğini göstermiştir. Daha kısa PVA liflerinin (PVA8'e [8mm] karşılık PVA12[12mm]) kullanılması, lif donatılı harçbirleşimlerinin döngüsel davranışını iyileştirmede daha güçlü bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. SF13 kullanıldığında ilk çatlak yükü, nihai yük, süneklik ve enerji dağıtma kapasitesi açısından en yüksek gelişmeler gözlemlenmiştir. Sonuçlar ayrıca, tüm lif donatılı harçlar birleşimlerinin kırılma modelinin, NC eklemine kıyasla daha iyi çatlama davranışına ve daha yüksek kesme dayanımına sahip olduğunu işaret etmektedir.

Boğazkesen (2011) yaptığı çalışmada, PVA lifler ile üretilmiş çimento bağlayıcı kompozitlerin, özellikle eğilme altındaki davranışı olmak üzere, mekanik özellikleri araştırmıştır. Özellikle farklı fiziksel özelliklerdeki PVA liflerin birlikte (hibrit) kullanılması ile, çimento esaslı kompozitlerin mekanik özelliklerinin ne derece etkilendiği sistematik olarak incelenmiştir. Çalışma kapsamında su/bağlayıcı oranı 0,20 olan ve 0,35 olan 2 farklı çimento esaslı karışım tasarlanmıştır. Her iki karışım içinde PVA lif yüzdeleri %0,5, 1,0, 1,5, 2,0 oranlarında değişen 14 karışım tasarlanmıştır. Ayrıca her iki su/bağlayıcı oranından lifsiz kontrol serisi harçlar üretilmiştir. Kompozitler 28 gün laboratuvar ortamında küreldikten sonra sertleşmiş numune üzerinde; kompozitin eğilme davranışını belirlemek amacıyla dört noktalı eğilme deneyi, basınç dayanımını belirlemek için basınç deneyi ve darbede enerji yutma dayanımını belirlemek amacıyla charpy impact darbe deneyi uygulanmıştır.

Deneysel çalışmalar neticesinde, yalın harca PVA lif ilave edilmesinin yalın harcın işlenebilirliğini düşürdüğü görülmüştür. PVA lif donatılı harçlar ve yalın harçlar kıyaslandığında PVA liflerin basınç dayanımını yüksek oranlarda arttırdığı sonucu elde edilmiştir. Ancak kısa lifin %2,0 oranında karışıma ilave edildiği su/bağlayıcı oranı 0,20 olan matriste işlenebilirlik değerinin çok düşük olması dolayısıyla kalıba zor yerleştirilen numunelerin basınç dayanım değerlerinin yalın harca kıyasla düşük olduğu gözlenmiştir. Su/bağlayıcı oranının 0,20 olduğu matrislerde karışıma lif ilave edilmesi ile eğilme dayanımlarının düştüğü gözlemlenmiştir. Bunun sebebinin, yüksek lif oranı ve matrisin vizkozitesinin de yüksek olmasına bağlı olarak liflerin matris içerisinde homojen dağılamaması olduğu düşünülmektedir. Karışımlardaki PVA lif miktarının artmasıyla darbe enerji yutma kapasiteleri artmaktadır. Su/bağlayıcı oranının 0,35 olduğu üretim serilerinin darbe enerji yutma kapasiteleri, su/bağlayıcı oranı 0,20 olan üretim serilerine

kıyasla genel olarak yüksek olduğu gözlenmiştir. Özgül kırılma enerjilerinin yalın matrisle PVA lif ilave edilmesiyle yüksek oranlarda arttığı görülmüştür.

Özbay (2016) yaptığı çalışmada, farklı lif türlerinin lifli betonların, basınç, eğilme ve donma-çözülme dirençlerine etkisini araştırmıştır. Su/bağlayıcı oranı 0.35, bağlayıcı miktarı 500 kg/m^3 olan karışımlar hazırlanmıştır. Tüm karışımlarda, bağlayıcının ağırlıkça %40'ı uçucu küldür. Karışımlardan ilki lif ilavesiz; diğerlerine ise %1 oranında çelik, polipropilen (PP) ve PVA lifler katılarak, lif donatılı betonlar elde edilmiştir. Üretilen beton numuneleri üzerinde basınç ve eğilme dayanımı deneyleri yapılmıştır. Eğilme dayanımı deneyi MTS cihazında gerçekleştirilerek yük-deplasman eğrileri elde edilmiştir. Ayrıca, üretilmiş olan prizma numuneler tekrarlı donma-çözülme çevrimlerine maruz bırakılarak, her 30 çevrim sonrasında ağırlık kaybı ve toplamda 300 çevrim sonucunda, numunelerde meydana gelen ağırlık ve dayanım kayıplar belirlenmiştir. Çalışma sonucunda, çelik lifle üretilen betonların PP ve PVA lif kullanılarak üretilen betonlara oranla daha yüksek eğilme ve donma çözülme direncine sahip oldukları görülmüştür.

Dilli vd. (2017) yaptıkları çalışmada, kuru birim hacim ağırlıkları 1600 ile 2000 kg/m^3 ve basınç dayanım aralığı 20 MPa ile 70 MPa aralığında değişen yalın ve PVA lif ile güçlendirilmiş genişmiş kil agregalı betonların basınç, eğilme ve çekme dayanım özellikleri incelenmiştir. Deney sonuçları, hafif agregal kullanımının yalın betonların kırılma davranışını gevrekleştirdiği, ancak hacimce %0.5 oranında PVA lif kullanımı ile kırılma enerjilerinin ortalama 8 kat arttığını göstermiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu deneysel çalışmada betonarme konsol kirişlerin depremi benzeştiren tersinir-tekrarlanır yükler altında test edilmesi amaçlanmıştır. a/d oranı sıra ile 1, 2, 3 olarak alınmıştır. Lif donatılı beton içinde hacimce %2 oranında PVA lif kullanarak konsol kirişlerin dayanımı ve davranışının incelenmesi amaçlanmaktadır.

3.1. Deney Numuneleri

Bu deneysel çalışmada deney numuneleri yönetmelik şartları dikkate alarak hazırlanmış ve test edilmiştir (TBDY 2018).

3.1.1 Deney numunelerinin boyut özellikleri

Toplam 9 adet ½ ölçekli konsol kiriş tersinir tekrarlanır yükler altında test edilmiştir. Kirişlerde kesme açıklığı 230 mm, 460 mm ve 690 mm olarak alınmıştır. Tüm kiriş numunelerinde enkesit boyutları ve kolon uzunlukları aynı olup, kiriş uzunlukları a/d oranına bağlı olarak değişim göstermektedir. Deney elemanlarının boyutları aşağıda verilmiştir.

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

$$L_{top} (\text{kiriş}) = 350 \text{ mm (a/d=1 için)} - 580 \text{ mm (a/d=2 için)} - 810 \text{ mm (a/d=3 için)}$$

$$a = 230 \text{ mm (a/d=1 için)} - 460 \text{ mm (a/d=2 için)} - 690 \text{ mm (a/d=3 için)}$$

$$d = 230 \text{ mm}$$

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

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

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

$$a/d = 1, 2, 3$$

3.1.2. Deney numunelerinin donatı özellikleri

Yapılan çalışmada 3 adet referans deney elemanının kirişlerinde boyuna donatı 2φ10, montaj donatı 2φ6, enine donatı φ6/125 ve geleneksel beton kullanılmıştır. Deney elemanlarının kolonlarında ise 8φ10 boyuna donatı ve φ8/125 enine donatı kullanılmıştır. Çalışmada 3 adet deney elemanında ise enine, boyuna ve montaj donatısı kullanılmayarak, yalnız lif donatılı harçlar ile üretilmiş kolon-kiriş birleşim bölgesinin

davranışı incelenmiştir. Son 3 deney elemanının kirişleri ise boyuna donatı $2\phi 10$, montaj donatısı $2\phi 6$, enine donatı $\phi 6/125$, a/d oranı 1, 2, 3 alınarak ve 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. Çizelge 3.1’de deney elemanlarının isimleri ve özellikleri ile ilgili bilgiler verilmiştir. Buradaki her ifade farklı özelliğe sahiptir. Kullanılan ifadeler;

a: kesme açıklığı

d: faydalı yükseklik

ECC: Tasarlanmış Çimento Esaslı Kompozitler (ECC)

R1: donatılı elemanlar

R0: donatısız elemanlar

PVA: Polivinilalkol lif

ECC0: ECC beton olmadığı (geleneksel beton)

ECC1: Tasarlanmış Çimento Esaslı Kompozit beton

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. Deneç elemanlarının özellikleri

Numune adı	Kiriş								Kolon							Lif miktarı PVA
	b _w mm	h mm	d mm	L mm	a/d oranı	Boyuna donatı	Montaj donatısı	Enine donatı	b _w mm	h mm	d mm	L mm	Boyuna donatı	Montaj donatısı	Enine donatı	
AD1-ECC0-R1	125	250	230	350	1	2φ10	2φ6	φ6/125	250	250	230	1000	2φ10	2φ6	φ8/125	0
AD2-ECC0-R1	125	250	230	580	2	2φ10	2φ6	φ6/125	250	250	230	1000	2φ10	2φ6	φ8/125	0
AD3-ECC0-R1	125	250	230	810	3	2φ10	2φ6	φ6/125	250	250	230	1000	2φ10	2φ6	φ8/125	0
AD1-ECC1-R0	125	250	230	350	1	–	–	–	250	250	230	1000	–	–	–	%2
AD2-ECC1-R0	125	250	230	580	2	–	–	–	250	250	230	1000	–	–	–	%2
AD3-ECC1-R0	125	250	230	810	3	–	–	–	250	250	230	1000	–	–	–	%2
AD1-ECC1-R1	125	250	230	350	1	2φ10	2φ6	φ6/125	250	250	230	1000	2φ10	2φ6	φ8/125	%2
AD2-ECC1-R1	125	250	230	580	2	2φ10	2φ6	φ6/125	250	250	230	1000	2φ10	2φ6	φ8/125	%2
AD3-ECC1-R1	125	250	230	810	3	2φ10	2φ6	φ6/125	250	250	230	1000	2φ10	2φ6	φ8/125	%2

3.2. Deney Numunelerinin Malzeme Özellikleri

3.2.1. Beton özellikleri

Geleneksel Beton

Geleneksel betonların taşıyıcı özelliklerinin yüksek olmasına karşılık, birim kütlelerinin fazla oluşu, yüksek yapıların inşasında düşey taşıyıcı elemanların boyutlarını çok büyüttüğünden dolayı olumsuzluk oluşturmaktadır. Diğer taraftan bu tür yapılarda temel maliyeti artmakta, hatta pratik hayata geçirilmesi gereklidir. Normale göre büyük açıklıklarda, bazen bu betonla yapılan eğilme elemanları kendi öz kütlelerini taşıyamaz hale gelmektedir. Deprem yükleri de kütle ile doğru orantılı olduğundan geleneksel betonarme yapılara gelen deprem yükleri de büyük değerler almaktadır (Hüsem, 1995).

Bu deneysel çalışmada 3 adet numunede geleneksel beton kullanılmıştır. Numunelerde içerisinde donatı bulunmakta ve a/d oranı farklı alınmıştır. a/d oranı 1,2 ve 3 alınarak geleneksel beton ile 3 adet konsol kiriş üretilmiştir.

Beton basınç dayanımı belirlemek için 150x150x150 mm boyutlarındaki küp kalıplara, beton döküm esnasında, 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 sonuçları verilmiştir. Her numune için küp dayanımının 0.85’i alınarak silindir dayanımları bulunmuştur. Yapılan testlere göre ortalama beton basınç dayanımı 34.31 MPa ve silindir dayanımı 29.17 MPa’dır ve üretilen beton C30/35 beton sınıfındadır.

Çizelge 3.2. Beton basınç sonuçları

Numune no	Yük (kN)	Kesit Alanı (cm ²)	Küp dayanımı (Mpa)	Ortalama küp Dayanımı (Mpa)	Silindir dayanımı (Mpa)	Ortalama silindir Dayanımı (Mpa)
1	740	225	32.89	34.31	27.96	29.17
2	785	225	34.89		29.66	
3	791	225	35.15		29.88	

Lif donatılı harçlar

Lif donatılı harçlar yüksek durabilite veya çarpma yük direnci gibi çeşitli performans ihtiyaçları için tasarlanmıştır. Mikro mekaniksel olarak tasarlanmış lif donatılı harçlarda matrisin çatlak sertliği, lif/matris arayüzey dayanımı ve başlangıç çatlak boyutu, kompozitin performansında belirleyici olan mikro mekaniksel parametrelerdendir. Buna bağlı olarak lif donatılı harçlar karışımı çimento, kum, uçucu kül, su, kimyasal katkı ve kısa, rastgele konumlandırılmış PVA lif içermektedir. Normal betonun aksine lif donatılı harçlardagörünen deformasyon sertleşmesi sonucundaki küçük çatlak genişliği yapının durabilitesinde olumlu yönde rol üstlenmektedir (Şahmaran ve Li, 2007).

Çimento esaslı kompozitlerin boyutsal dengesinin kontrol edilmesinde agregalar etkin olmakta, ancak hamurda iri taneli agregaların bulunması çekme sünekliğini düşürüp çatlağın başlamasını geciktiren ve kalıcı durumda çatlağın yatay yayılmasına engel olan sert matrise neden olmaktadır. Bu durumda çatlak yolunun çarpıklığı artabilmektedir. Diğer açıdan, ortalama fiber aralığından daha büyük boyutta agrega olması yumak oluşumuna ve iri agrega parçaları arasında fiberlerin daha çok etkileşmesine neden olmakta ve bu etkileşme ile maksimum agrega boyutu artmaktadır. Agregada boyutundaki artış, fiberlerin daha çok etkileşmesini ve yığılmasını meydana getirebilir. Agregaların boyutsal stabilite ve fiber takviyeli çimento esaslı kompozitlerin ekonomisi üzerindeki pozitif etkilerine rağmen, kompozitin performansına zarar verebilecek fiber dağılımı, taze halde işlenebilirliği ve matris sertliği problemlerinden dolayı agregada sınırlama yapılmaktadır. Bu nedenle ECC iri agrega yerine yeterli rijitlik ve hacim stabilitesini devam ettirmek amacıyla maksimum tane boyutu 250 µm ve ortalama boyutu 110 µm olan silika kumu içerir (Sherir, 2012).

Literatürde yapılan çalışmalara göre yüksek performanslı çimento bağlayıcılı malzemelerin beton içerisinde kullanılması beton davranışını oldukça iyileştirmektedir. Geleneksel ECC karışım tasarımı aşağıdaki Çizelge 3.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 3.3. Lif donatılı harç malzemesinin tipik karışım tasarımı

	Pç	Uk-f	Su	Kum	PVA	Sp
Geleneksel beton (kg/m ³)	33.6	0	19	215 (0-11 agg)	-	1.5
M45-ECC (kg/m ³)	17.7	15.9	15	24	0.775	1.5

Lif donatılı harç 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. 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 lif donatılı harçların basınç dayanımı sonuçları verilmiştir. Yapılan testlere göre ortalama lif donatılı harç basınç dayanımı 54.30 MPa olarak belirlenmiştir.

Çizelge 3.4. Lif donatılı harç dayanım sonuçları

Numune no	ECC dayanımı(Mpa)	Ortalama ECC dayanımı(Mpa)
1	53.2	54.3
2	56.37	
3	53.046	
4	48.7	
5	60.14	
6	54.15	

Lif donatılı betonun eğilme dayanımının belirlenmesi için 4 noktalı eğilme düzeneğinde lif donatılı harç numuneleri test edilmiştir. Eğilme dayanımı için 2 adet numune üretilmiş olup numunelerinin boyutları 360x70x50 mm olarak seçilmiştir. Mesnetler arası mesafe 310 mm, yükleme noktaları arasındaki mesafe ise 103 mm'dir. Eğilme için üretilen deney elemanının deney sonu görüntüsü Şekil 3.1'de verilmiştir. Yapılan testlere göre ortalama lif donatılı harçların eğilme dayanımı 8.42 MPa'dır (Denklemler 1). Bu deneylerin sonucunda yük-yer değiştirme grafikleri elde edilmiştir (Şekil 3.2.).

$$\sigma_e = F \cdot L / b \cdot d^2 \quad (1)$$

σ_e : Numunenin eğilme dayanımı (MPa)

F : Kırılmaya neden olan yük (N)

L : Deney numunesinin mesnetler arasındaki mesafe (mm)

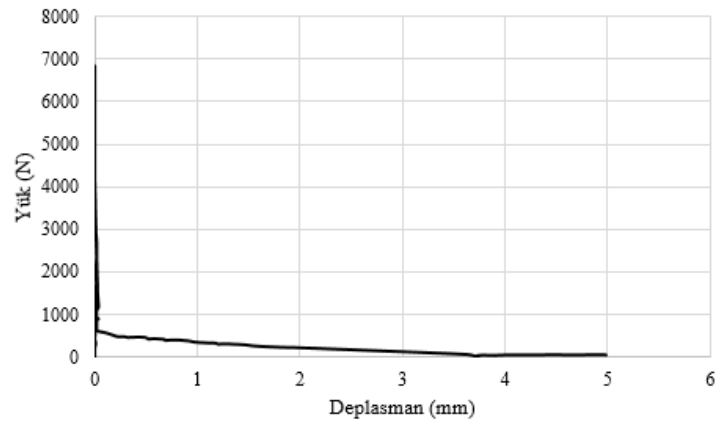
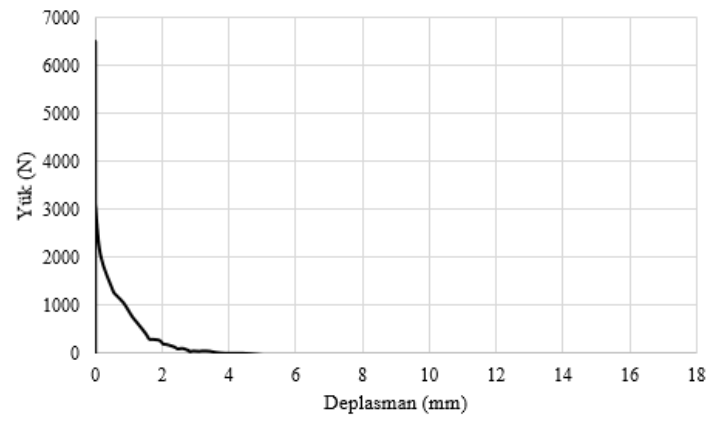
b : Deney numunesinin genişliği (mm)

d : Deney numunesinin kalınlığı (mm)

$$\sigma_e = 6656 \times 310 / (50 \times 70^2) = 8.42 \text{ MPa}$$



Şekil 3.1. Eğilme deney elemanın deney sonu görüntüsü



Şekil 3.2. Eğilme deneyi sonucunda elde edilen yük-yer değıştirme grafikleri

Donatı

Bu deneysel çalışma elemanlarında nervürlü $\phi 6$ ve $\phi 10$ donatı kullanılmıştır. Kiriş 3 adet referans ve 3 adet lif donatılı harç numunelerinde $\phi 6$ ve $\phi 10$ donatı kullanılmıştır. Nervürlü $\phi 6$ montaj donatısı 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 3.5'te verilmiştir.

Çizelge 3.5. 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

Bu deneysel çalışmada özel lif donatılı konsol içinde yaklaşık %2 oranında Polivinilalkol (PVA) lif kullanılmıştır (Şekil 3.3.). Ham halde bulunan lifler birbirinden ayrıştırılarak beton içine katılmıştır. Bu işlem için bir hava kompresöründen yararlanılarak liflerin birbirinden ayrışması sağlanmış ve beton karışımına ayrılmış

şekilde ilave edilmiştir. Lif donatılı harç üretiminde kullanılan PVA lifinin mekanik ve geometrik özellikleri Çizelge 3.6’da verilmiştir.



Şekil 3.3. Lif donatılı harç karışımlarında kullanılan PVA liflerinin görüntüsü

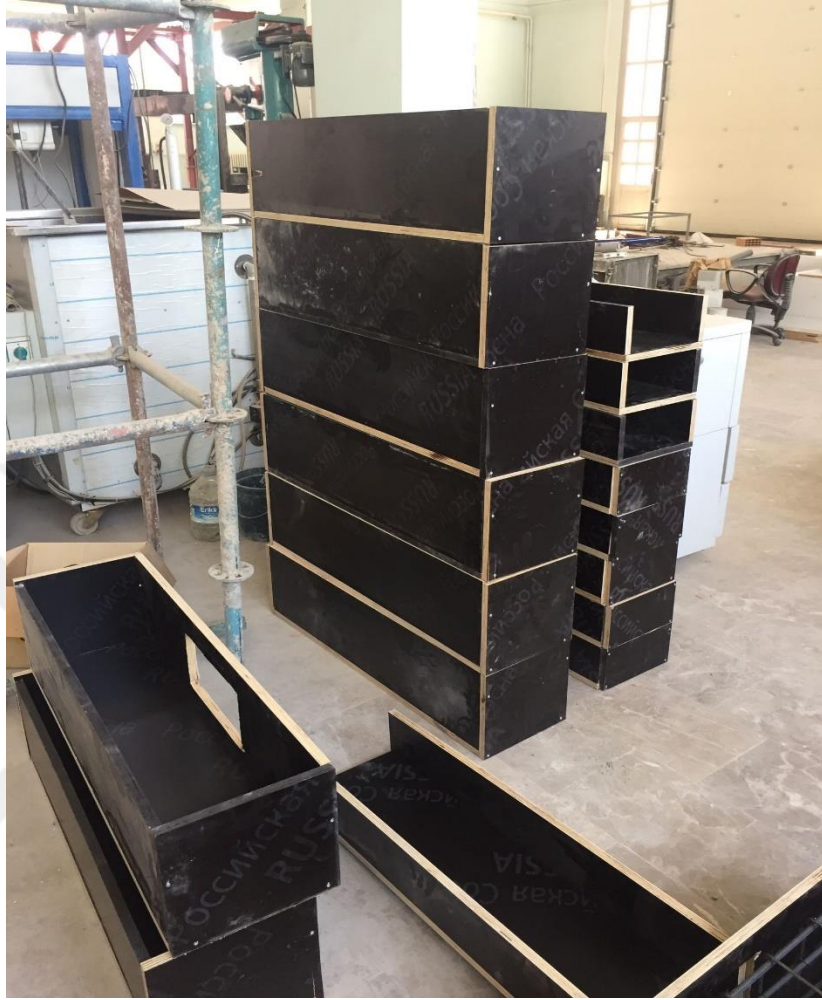
Çizelge 3.6. Lif donatılı harç üretiminde kullanılan PVA lifinin mekanik ve geometrik özellikleri
(Şahmaran, 2007)

Lif Türü	Nominal Dayanım (MPa)	Görünen Dayanım (MPa)	Çap (μm)	Boy (mm)	Elastisite Modülü (GPa)	Kopma-Uzama Oranı (%)	Özgül Ağırlık
PVA	1620	1092	39	8	42.8	6.0	1.3

3.3. Deney numunelerinin hazırlanması

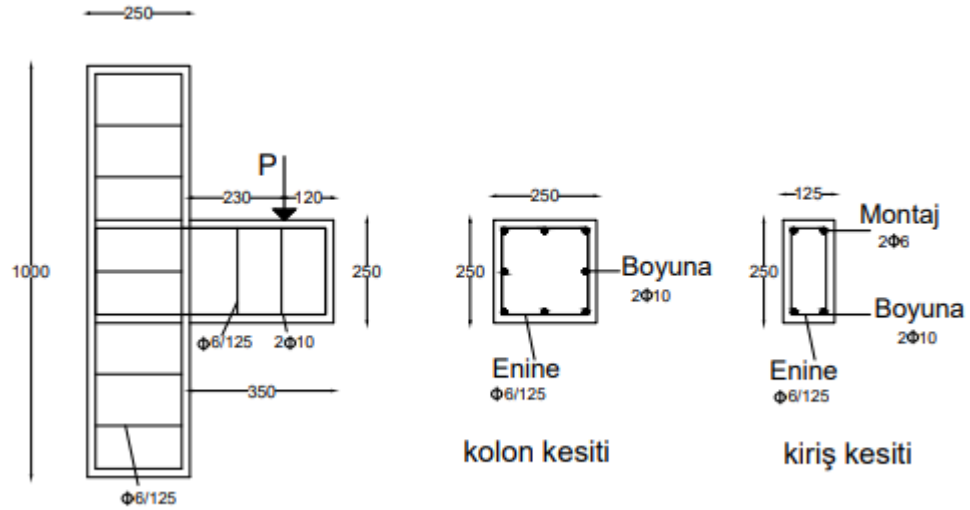
Deney elemanlarının kalıpları istenilen boyut ve özelliklerde bir plywood fabrikasında kesilerek hazırlanmış ve Konya Teknik Üniversitesi Yapı ve Deprem Araştırma Laboratuvarına getirilmiştir. Laboratuvar ortamında kalıplar projeye uygun boyutlarda birbirine vidalar ile bağlanmıştır. Deney elemanlarında kolon kesitleri ve uzunlukları aynı olmasına rağmen, a/d oranına bağlı olarak kiriş uzunlukları değişkenlik göstermektedir. Bu sebeple numune boyut özellikleri gözetilerek numune kalıpları oluşturulmuştur. 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 3.4.).

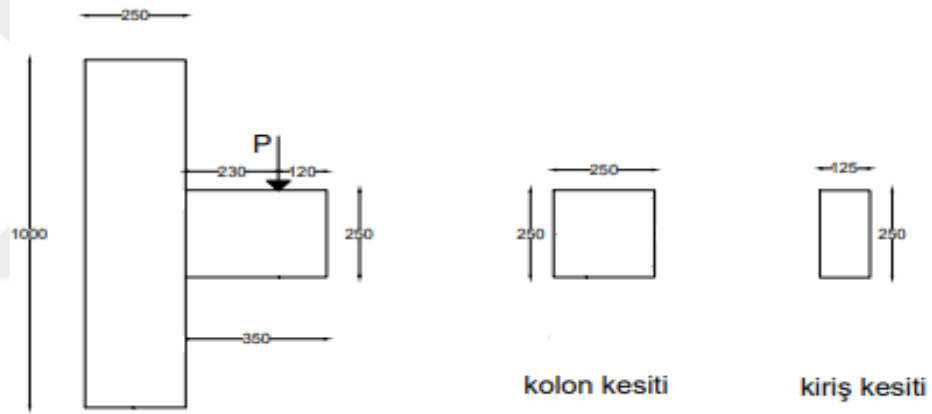


Şekil 3.4. Deney numuneleri için hazırlanan kalıplar

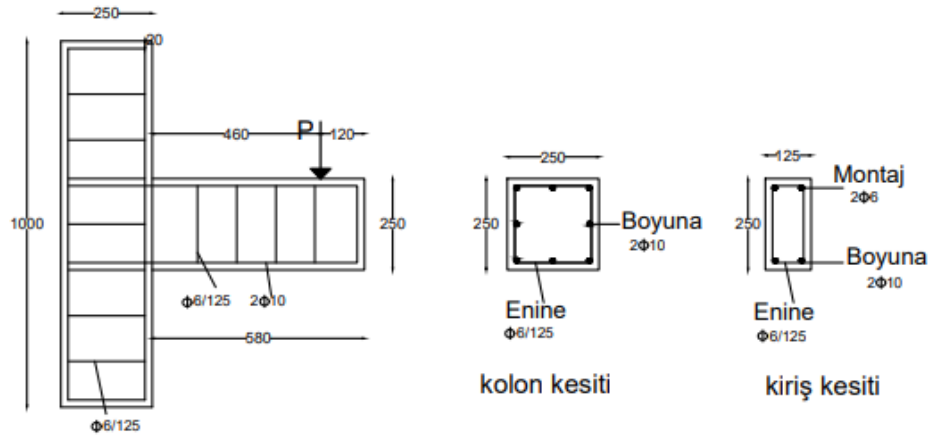
Kalıplar hazırlandıktan sonra donatılar hazırlanmış ve kalıplara yerleştirilmiştir. İlk üç referans deney elemanda boyuna donatı $2\phi 10$, montaj donatısı $2\phi 6$, enine donatı $\phi 6/125$ 'dir. Lif donatılı harçlar ile üretilmiş ve donatı bulunmayan numunelerde kalıplara herhangi bir donatı ilave edilmemiştir. Son 3 deney elemanında ise boyuna donatı $2\phi 10$, montaj donatısı $2\phi 6$, enine donatı $\phi 6/125$ 'dir. Daha önceden uzunlukları belirlenerek kesilen donatılar $d'=20$ mm olacak şekilde bükülmüştür. Ayrıca etriyeler de daha önceden belirlenen bölgelerden bükülerek boyuna donatıların etrafına yerleştirilmiştir. Dışarıda hazırlanan donatılardan önce kolon donatıları, sonra kiriş donatıları kalıplara yerleştirilmiştir. Şekil 3.5, 3.6, 3.7, 3.8, 3.9 ve 3.10'da deney elemanlarında kullanılan donatıların donatı şeması gösterilmiştir. Şekil 3.11 ve 3.12'de donatıların hazırlanması ve kalıplara yerleştirilmesi işlemleri gösterilmiştir.



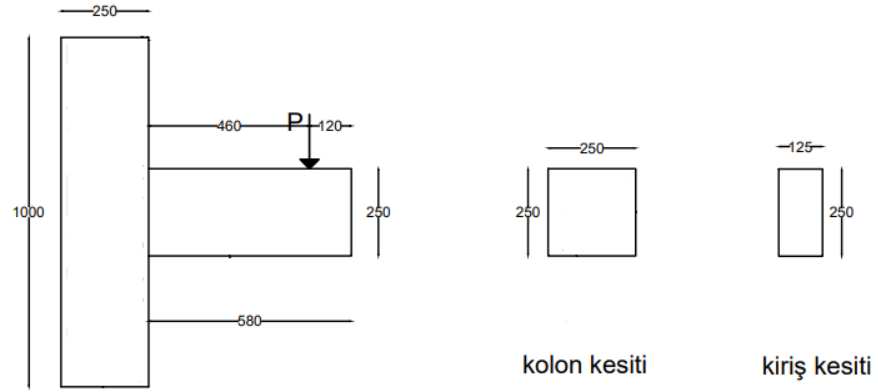
Şekil 3.5. AD1-ECC0-R1 ve AD1-ECC1-R1 deney elemanlarının boyut ve donatı özellikleri



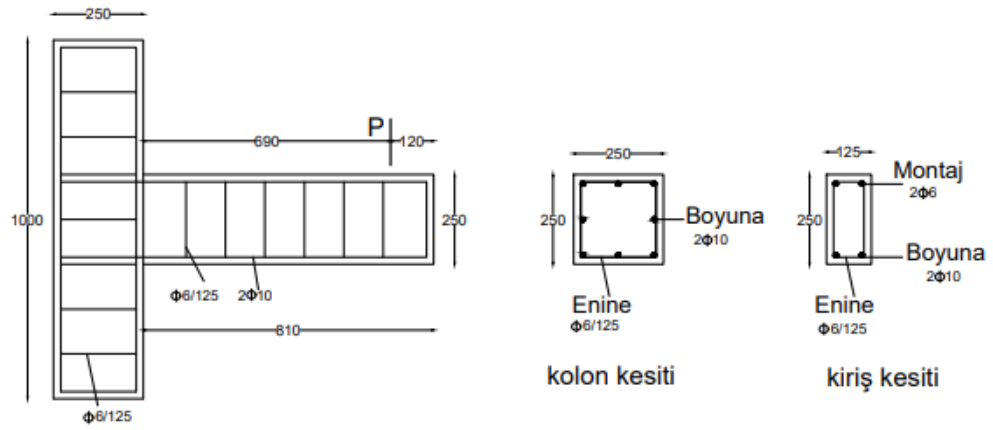
Şekil 3.6. AD1-ECC1-R0 deney elemanının boyut ve donatı özellikleri



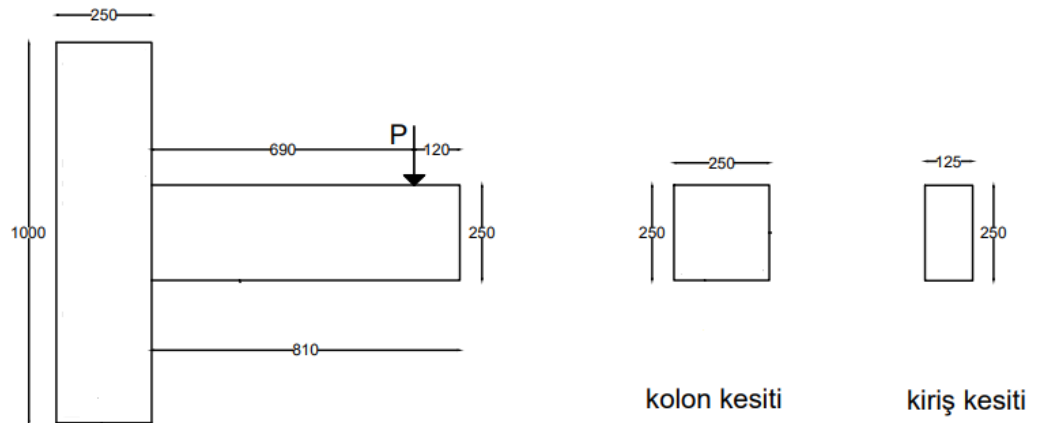
Şekil 3.7. AD2-ECC0-R1 ve AD2-ECC1-R1 deney elemanlarının boyut ve donatı özellikleri



Şekil 3.8. AD2-ECC1-R0 deney elemanının boyut ve donatı özellikleri



Şekil 3.9. AD3-ECC0-R1 ve AD3-ECC1-R1 deney elemanlarının boyut ve donatı özellikleri



Şekil 3.10. AD3-ECC1-R0 deney elemanının boyut ve donatı özellikleri



Şekil 3.11. Kolon ve kiriş donatılarının hazırlanması



Şekil 3.12. Kolon ve kiriş donatılarının kalıplara yerleştirilmesi

Donatılar kalıplara yerleştirildikten sonra beton dökölmesi için kalıplar hazırlanmıştır. Beton dökümünde beton dökerken kalıpların açılmaması için çelik köşebentler ve suntalar kullanılmıştır. Laboratuvarda mevcut olan betonyer kullanarak, geleneksel beton karışımı hazırlanmıştır (Şekil 3.13). Lif donatılı harç karışımı için ilk önce 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 (Şekil 3.14).



Şekil 3.13. Beton karışımının hazırlanması



Şekil 3.14. PVA lifli beton karışımının hazırlanması

Betonun kalıplara tamamen yerleşmesini sağlamak amacıyla, her numune için vibratör kullanılarak beton kalıplara yerleştirilmiştir (Şekil 3.15).



Şekil 3.15. Beton kalıplara yerleştirilmesi

Bu çalışmada, kesme açıklığının faydalı yüksekliğe oranı 1 ,2 ve 3 alınarak 3 tane geleneksel beton ile üretilmiş referans numune, 3 tane donatısız lif donatılı harç ile üretilmiş numune ve 3 tane donatılı lif donatılı harç kullanılarak üretilmiş numune bulunmaktadır. Beton dökümünden 1 hafta sonra numuneler kalıplardan çıkarılmıştır. Şekil 3.16’da deney numunelerinin kalıplardan çıkmış hali gösterilmiştir.



Şekil 3.16. Hazırlanan deney numuneleri

3.4. Deney Düzenegi ve Ölçme Tekniği

Çalışma kapsamında üretilmiş olan toplam 9 adet deney elemanı tersinir-tekrarlanır yatay yükler altında Konya Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Deprem Araştırma Laboratuvarında test edilmiştir.

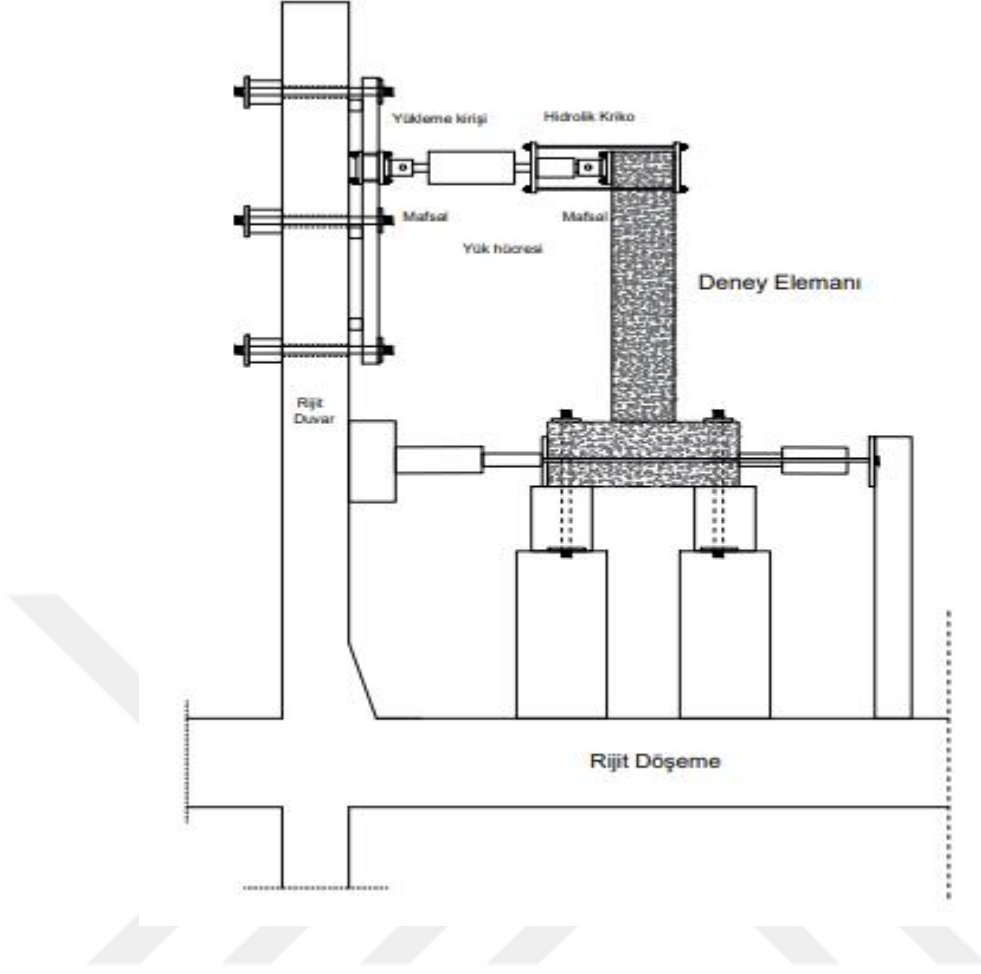
3.4.1. Deney düzenegi

Deney elemanlarının kolonları, laboratuvarda 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. Literatürde birçok konsol kiriş çalışmasında olduğu gibi deney düzeneğine numunelerin kolonları yatay, kirişleri ise düşey olarak yerleştirilmiştir (Altın ve Anıl, 2002). Deney elemanlarında yükleme kiriş 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 mafsallı bir plaka yerleştirilmiş olup, bu sayede iler 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 3.17 ve Şekil 3.18).

Deneylerde kolonlara aksenal yük verilebilmesi amacıyla bir aksenal 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 aksenal yük verilmiş olup, aksenal 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 aksenal yük miktarı kadar aksenal yük verilmiştir (Denklem 2.). Bu denkleme bağlı olarak 187.50 kN sabit aksenal yük deneyler süresince numunelere verilmiştir.

$$N_d \geq 0.1 A_c f_{ck} \quad (2)$$



Şekil 3.17. Yükleme düzeneği



Şekil 3.18. Deney düzeneği görüntüsü

3.4.2. Ölçme tekniği

Deney elemanlarında meydana gelen deformasyonların ölçülebilmesi amacıyla numunelerin çeşitli bölgelerinden 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 amacıyla ise 1 adet 400 mm kapasiteli potansiyometrik cetvel kiriş yüklemeye noktasının hizasına yerleştirilmiştir.

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

3.4.2.1. 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 (Wee, 2017). Uygulanan yükleme protokolü $a/d=1$, $a/d=2$ ve $a/d=3$ oranına sahip numuneler için Çizelge 3.7'de verilmiştir.

Çizelge 3.7. Yükleme protokolü

Çevrim No	Görelî kat ötelemesi (mm/mm)	Deplasman (mm)	Çevrim No	Görelî kat ötelemesi (mm/mm)	Deplasman (mm)	Çevrim No	Görelî kat ötelemesi (mm/mm)	Deplasman (mm)
a/d=1			a/d=2			a/d=3		
+1	0.005	1.15	+1	0.005	2.30	+1	0.005	3.45
-1	0.005	1.15	-1	0.005	2.30	-1	0.005	3.45
+1	0.005	1.15	+1	0.005	2.30	+1	0.005	3.45
-1	0.005	1.15	-1	0.005	2.30	-1	0.005	3.45
+2	0.010	2.30	+2	0.010	4.60	+2	0.010	6.90
-2	0.010	2.30	-2	0.010	4.60	-2	0.010	6.90
+2	0.010	2.30	+2	0.010	4.60	+2	0.010	6.90
-2	0.010	2.30	-2	0.010	4.60	-2	0.010	6.90
+3	0.015	3.45	+3	0.015	6.90	+3	0.015	10.35
-3	0.015	3.45	-3	0.015	6.90	-3	0.015	10.35
+3	0.015	3.45	+3	0.015	6.90	+3	0.015	10.35
-3	0.015	3.45	-3	0.015	6.90	-3	0.015	10.35
+4	0.020	4.60	+4	0.020	9.20	+4	0.020	13.80
-4	0.020	4.60	-4	0.020	9.20	-4	0.020	13.80
+4	0.020	4.60	+4	0.020	9.20	+4	0.020	13.80
-4	0.020	4.60	-4	0.020	9.20	-4	0.020	13.80
+5	0.025	5.75	+5	0.025	11.50	+5	0.025	17.25
-5	0.025	5.75	-5	0.025	11.50	-5	0.025	17.25
+5	0.025	5.75	+5	0.025	11.50	+5	0.025	17.25
-5	0.025	5.75	-5	0.025	11.50	-5	0.025	17.25
+6	0.030	6.90	+6	0.030	13.80	+6	0.030	20.70
-6	0.030	6.90	-6	0.030	13.80	-6	0.030	20.70
+6	0.030	6.90	+6	0.030	13.80	+6	0.030	20.70
-6	0.030	6.90	-6	0.030	13.80	-6	0.030	20.70
+7	0.035	8.05	+7	0.035	16.10	+7	0.035	24.15
-7	0.035	8.05	-7	0.035	16.10	-7	0.035	24.15
+7	0.035	8.05	+7	0.035	16.10	+7	0.035	24.15
-7	0.035	8.05	-7	0.035	16.10	-7	0.035	24.15
+8	0.040	9.20	+8	0.040	18.40	+8	0.040	27.60
-8	0.040	9.20	-8	0.040	18.40	-8	0.040	27.60
+8	0.040	9.20	+8	0.040	18.40	+8	0.040	27.60
-8	0.040	9.20	-8	0.040	18.40	-8	0.040	27.60
+9	0.045	10.35	+9	0.045	20.70	+9	0.045	31.05
-9	0.045	10.35	-9	0.045	20.70	-9	0.045	31.05
+9	0.045	10.35	+9	0.045	20.70	+9	0.045	31.05
-9	0.045	10.35	-9	0.045	20.70	-9	0.045	31.05
+10	0.050	11.50	+10	0.050	23.00	+10	0.050	34.50
-10	0.050	11.50	-10	0.050	23.00	-10	0.050	34.50
+10	0.050	11.50	+10	0.050	23.00	+10	0.050	34.50
-10	0.050	11.50	-10	0.050	23.00	-10	0.050	34.50
+11	0.055	12.65	+11	0.055	25.30	+11	0.055	37.95
-11	0.055	12.65	-11	0.055	25.30	-11	0.055	37.95
+11	0.055	12.65	+11	0.055	25.30	+11	0.055	37.95
-11	0.055	12.65	-11	0.055	25.30	-11	0.055	37.95
+12	0.060	13.80	+12	0.060	27.60	+12	0.060	41.40
-12	0.060	13.80	-12	0.060	27.60	-12	0.060	41.40
+12	0.060	13.80	+12	0.060	27.60	+12	0.060	41.40
-12	0.060	13.80	-12	0.060	27.60	-12	0.060	41.40

3.4.2.2. Deneş grafiklerinin çizilmesi

Yük-deplasman grafiği:

Deneş esnasında yük hücresi ve potansiyometrik cetvelden alınan veriler bilgisayara aktarılarak yük-deplasman grafiği çizilmiştir. Deneşde toplam 5 adet potansiyometrik cetvel yerleştirilmiştir. 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 amacıyla ise 1 adet 400 mm kapasiteli potansiyometrik cetvel kiriş yüklemeye noktasının hizasına yerleştirilmiştir. Bilgisayara aktarılan veriler yardım ile yük-deplasman grafikleri çizilmiştir. Grafiklerde düşey eksen yük değerleri, yatay eksen ise deplasman değerleri gösterilmiştir.

Rijitlik grafiği:

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

Enerji grafiği:

Deneş elemanında yüklemeye 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 oluşturulmuştur. Tüketilen enerji grafiklerinde yatay eksen deplasman değerleri düşey eksen ise kümülatif tüketilen enerji değerleri verilmiştir.

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 noktaları bulunması gerekmektedir. Akma ve göçme noktalarına karşılık gelen deplasman değerleri bulunur.

Deney elemanın süneklik değerleri, göçme deplasmanının akma deplasmanına oranı olarak hesaplanır. Yük-deplasman eğrelerinde düşey ekseninde max yük işaretlenir ve yatay eksen paralel bir doğru çizilir. Eğrinin max noktası ile kesişir. Göçme noktası bulmak için düşey ekseninde max yükün %80 alınarak yük deplasman eğrisinde yatay eksene paralel bir doğru çizilir kesişen nokta işaretlenir. Kesişen nokta göçme noktasıdır (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 eksende max 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} 'in 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).

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Deneyel çalışma kapsamında toplam 9 adet birbirinden farklı özelliklere sahip konsol kiriş deneyi yapılmıştır. Deneyler sonunda kolon-kiriş birleşim bölgesindeki hasarlar incelenmiştir. Geleneksel ve lif donatılı harçlar ile üretilmiş konsol kirişlerin davranış farklılıkları, donatılı ve donatısız lif donatılı harçlar ile üretilmiş konsol kirişlerin davranış farklılıkları ve a/d oranının konsol kiriş üzerindeki etkileri çalışmanın değişkenleridir. Deneylerden elde edilen sonuçların daha iyi yorumlanabilmesi amacıyla aşağıdaki grafikler ve değerler belirlenmiştir:

- Numunelere ait yük-yer değiştirme eğrileri,
- Rijitlik grafikleri,
- Zarf eğrileri,
- Kümülatif tüketilen enerji eğrileri,
- Süneklik değerleri.

Deneyel çalışma kapsamında tüm deneylerde Bölüm 3.4.2.1'de belirtilen yükleme programı uygulanmıştır. Deneylerde yükleme deplasman kontrollü olarak yapılmış olup, deney elemanlarının yük taşıma kapasitesi kayboluncaya kadar yüklemeye devam edilmiştir.

4.1. Deney Sonuçları

4.1.1. Birinci deney (AD1-ECC0-R1)

Bu deney referans numune olarak yapılmıştır. Bu deney elemanı geleneksel beton ile üretilmiştir. Deney elemanında donatı mevcut olup a/d oranı 1 olacak şekilde yükleme yapılmıştır. Şekil 4.1'de deney elemanının yükleme yapılmadan önceki görüntüsü 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.



Şekil 4.1. AD1-ECC0-R1 deney elemanının deney öncesi görüntüsü

Çizelge 4.1. AD1-ECC0-R1 elemanında gözlemlenen durumlar

Çev. No	Drift/Deplasman %/(mm)	Çatlak No	Açıklama
+1	0.005/1.15		İlk iki yüklemde hiçbir çatlak gözlenmemiştir.
-1	0.005/1.15		
+2	0.010/2.30		
-2	0.010/2.30		
+3	0.015/3.45	1	Bu yükleme adımında ilk çatlak gözlemlenmiştir. İlk çatlak kolon-kiriş birleşim bölgesinde gözlemlenmiştir.
-3	0.015/3.45	1	Bu yükleme adımında yeni bir çatlak gözlemlenmiştir.1. çatlak sol yükleme noktası altında 0.1 mm kalınlığında meydana gelmiştir.
+4	0.020/4.60	2	Bu yükleme adımında itmede 2 numaralı çatlak kolon kiriş birleşim bölgesinin yaklaşık 100 mm yukarısında oluşmuştur
-4	0.020/4.60	2	Bu yükleme adımında yeni bir çatlak gözlemlenmiştir. Yeni oluşan 2 numaralı çatlak kolon kiriş birleşim bölgesinin yaklaşık 130 mm yukarısında oluşmuştur. 1. çatlak kalınlığı artarak 0.3 mm'ye ulaşmıştır.
+5	0.025/5.75		Bu yüklemde yeni çatlak gözlemlenmemiştir. Eski çatlakların kalınlıkları, 2. çatlakta yaklaşık olarak 0.8 mm ve 1. çatlakta 0.3 mm olarak gözlemlenmiştir.
-5	0.025/5.75		Bu yükleme adımında kolon-kiriş birleşim bölgesinden ayrılma başlamıştır.
+6	0.030/6.90		Bu yükleme adımında eski çatlaklar uzamış ve kalınlıkları artmıştır. 1. çatlak kalınlığı 1.0 mm 2.

			çatlak kalınlığı ise 1.1 mm olmuştur. Bu yüklemde de kolon-kiriş birleşim bölgesinden ayrılma gözlenmiştir.
-6	0.030/6.90		Bu yüklemde adımda yeni çatlaklar gözlenmemiştir.
+7	0.035/8.05		Bu yüklemde eski çatlak uzamış ve kalınlıkları artmıştır. 1 nolu çatlak kalınlığı 2.1 mm olmuştur.
-7	0.035/8.05		Bu yüklemde yeni çatlak oluşmamıştır.
+8	0.04/9.20		Bu yüklemde 1 nolu çatlak kalınlığı 3.0 mm'yi geçmiştir. 2 nolu çatlak kalınlığı ise 1.3 mm olmuştur.
-8	0.04/9.20		Bu yüklemde 1 nolu çatlak uzamış ve kalınlığı artmıştır. Çatlak kalınlığı 1.3 mm olmuştur.
+9	0.045/10.35		Bu yüklemde paspayı dökülmüştür. Donatılar görülmeye başlamıştır. Sağ kısımda beton ezilmeye başlamıştır.
-9	0.045/10.35		Bu yüklemde adımda 1 nolu çatlaktan ayrılma başlamıştır. Çatlak kalınlığı 1.8 mm olmuştur. Paspayı dökülmüştür.
+10	0.05/11.50		Bu yüklemde adımda 2 nolu çatlak kalınlığı artmıştır. Kalınlığı 2.2 mm olarak gözlemlenmiştir.
-10	0.05/11.50		Bu yüklemde adımda çatlaklar kiriş yüzeyine iyice yayılmıştır.
+11	0.055/12.65		Bu yüklemde adımda paspayı dökülmüştür. Beton basınç bölgesinde ezilme gerçekleşmiştir.
-11	0.055/12.65		Bu yüklemde adımda çatlaklar ilerlemeye devam etmiştir.
+12	0.06/13.80		Bu yüklemde adımda paspayında dökülmeler devam etmiştir. Kirişte kesme hasarı meydana gelmiştir.
-12	0.06/13.80		Bu yüklemde adımda kesme çatlakları ilerlemiştir. Nihai yük ve deplasman değerine ulaşıldığı için deney sonlandırılmıştır.

AD1-ECC0-R1 deney elemanında oluşan ilk çatlaklar kolon kiriş birleşim bölgesinde, kiriş yüzeyinde gözlemlenmiştir. Bu yüklemde adıma ait görüntüsü Şekil 4.2'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. AD1-ECC0-R1 deney elemanında oluşan ilk çatlaklar

12. çevirimde kesme hasarı oluşmaya başlamıştır. Kesme çatlakları iyice artmış ve deney 13.80 mm deplasman değerinde deney sonlandırılmıştır. Deney elemanın son görüntüsü Şekil 4.3’de gösterilmiştir. Deney sonunda numunede meydana gelen çatlak dağılımı Şekil 4.4’te gösterilmiştir.

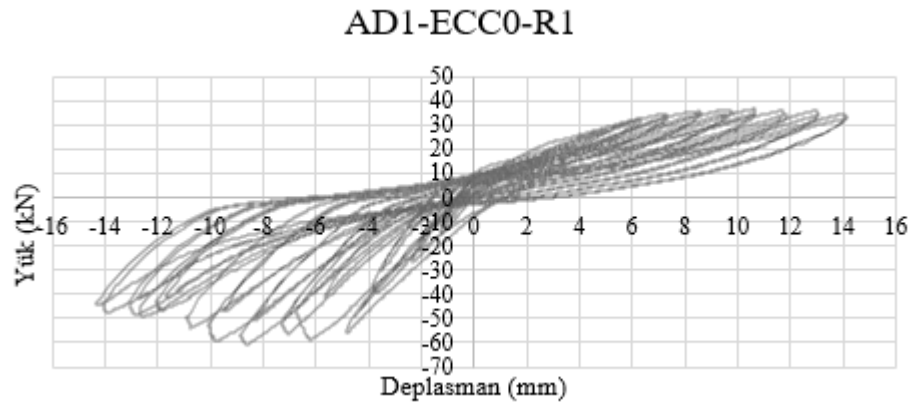
AD1-ECC0-R1 deney elemanına ait yük-deplasman grafiği Şekil 4.5’te verilmiştir.



Şekil 4.3. AD1-ECC0-R1 elemanın deney sonundaki görüntüsü

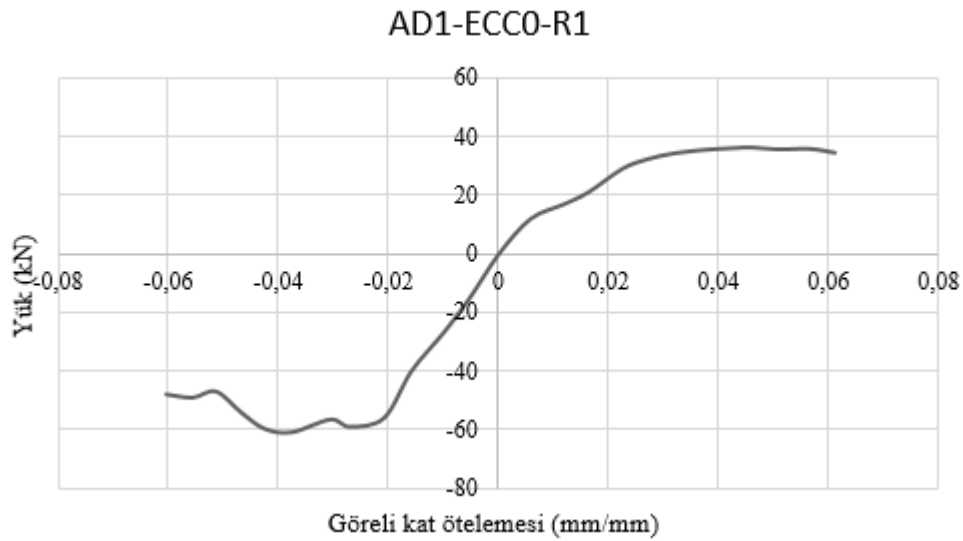


Şekil 4.4. AD1-ECC0-R1 elemanın deney sonundaki hasarları



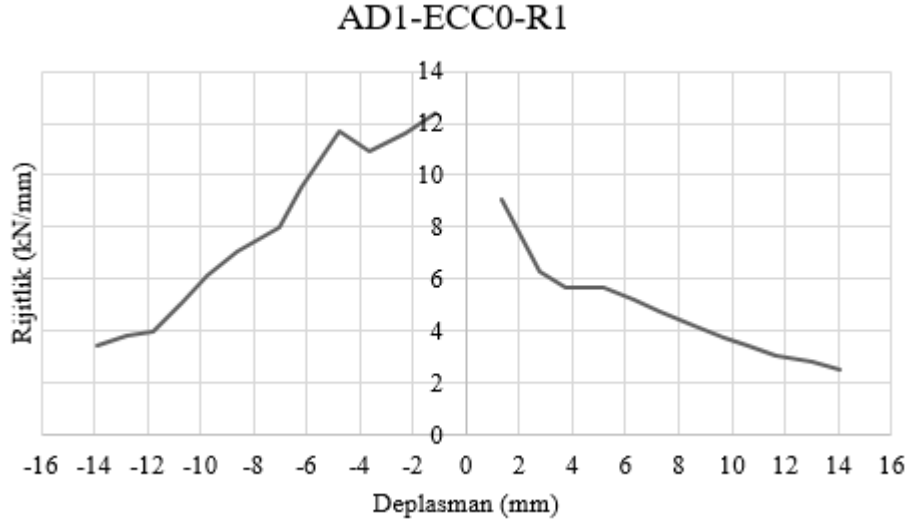
Şekil 4.5. AD1-ECC0-R1 elemanına ait yük-deplasman grafiği

Deney elemanında histeresis eğrisindeki her yüklemdeki maksimum yük noktalarının birleştirilmesi ile elde edilen zarf eğrisi Şekil 4.6’da verilmiştir.



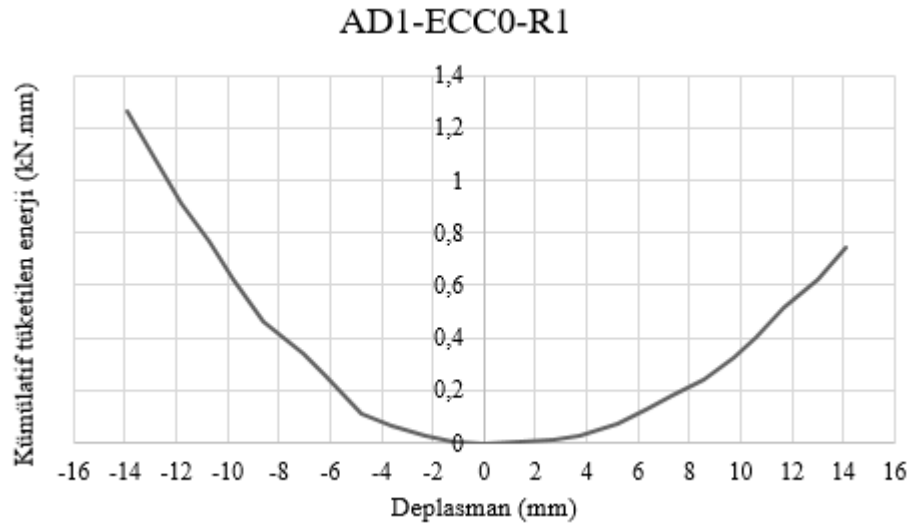
Şekil 4.6. AD1-ECC0-R1 elemanına ait zarf eğrisi

AD1-ECC0-R1 deney elemanının rijitlik grafiği çizilmiştir. Rijitlik grafiği her bir yüklemdeki yük değerinin, o noktadaki deplasman değerine bölünmesi ile elde edilmektedir. Rijitlik grafiği Şekil 4.7’de verilmiştir.



Şekil 4.7. AD1-ECC0-R1 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 4.8’de gösterilmiştir.



Şekil 4.8. AD1-ECC0-R1 elemanına ait kümülatif tüketilen enerji grafiği

4.1.2. İkinci deney (AD2-ECC0-R1)

Bu deney referans numune olarak yapılmıştır. Bu deney elemanı geleneksel beton ile üretilmiştir. Deney elemanında donatı mevcut olup a/d oranı 2 olacak şekilde yükleme

yapılmıştır. Şekil 4.9’da deney elemanının yükleme yapılmadan önceki görüntüsü verilmiştir. 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.



Şekil 4.9. AD2-ECC0-R1 deney elemanının deney öncesi görüntüsü

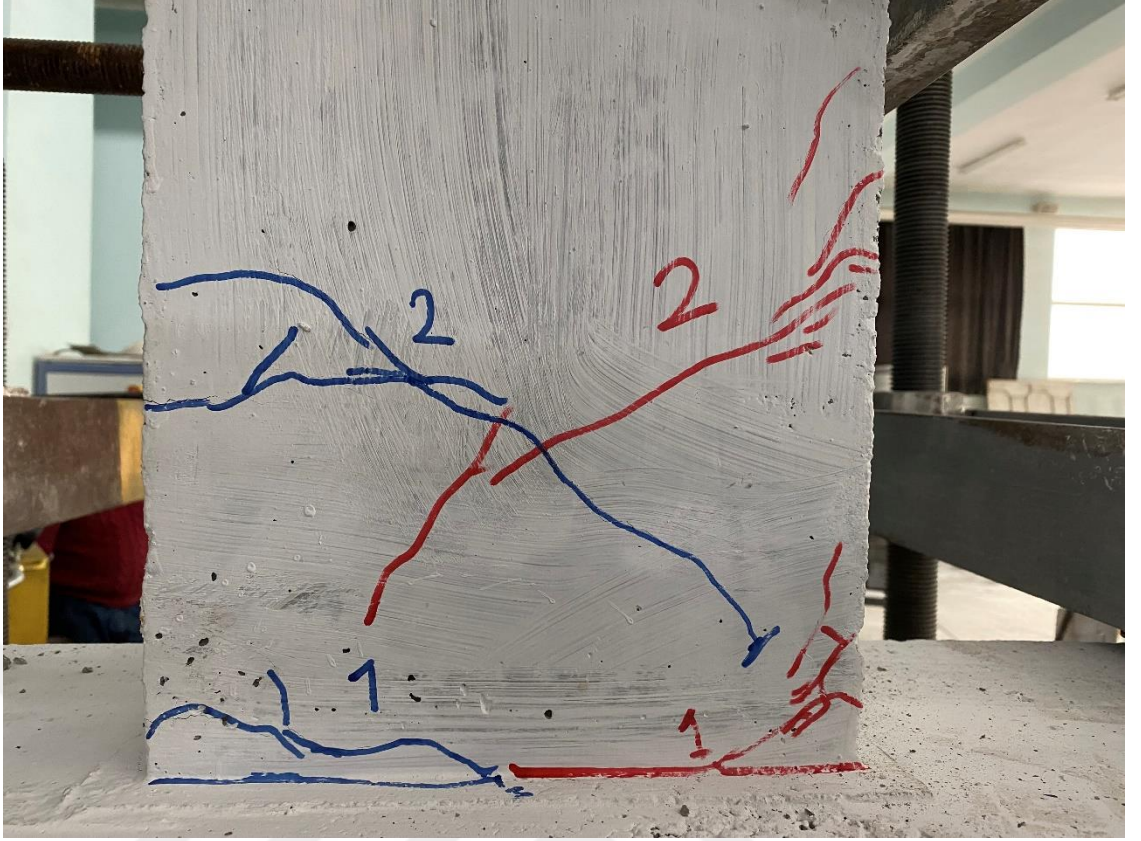
Çizelge 4.2. AD2-ECC0-R1 elemanında gözlemlenen durumlar

Çev. No	Görelî ötelenme/Deplasman %/(mm)	Çatlak No	Açıklama
+1	0.005/2.30	1,2	Bu yükleme adımında 1. çatlak kiriş birleşim bölgesinde 0.1 mm kalınlığında meydana gelmiştir. İtmede 2 numaralı çatlak kolon kiriş birleşim bölgesinin yaklaşık 200 mm yukarısında oluşmuştur.

-1	0.005/2.30	1,2	Bu yükleme adımında 1. çatlak kolon-kiriş birleşim bölgesinde gözlemlenmiştir. Çekmede 2 numaralı çatlak kolon kiriş birleşim bölgesinin yaklaşık 200 mm yukarısında oluşmuştur.
+2	0.010/4.60	3	Bu yükleme adımında yeni bir çatlak oluşmuştur. Yeni çatlak kolon-kiriş birleşim bölgesinde gözlemlenmiştir. 2 numaralı çatlak kalınlığı artmıştır.
-2	0.010/4.60	3	Bu yükleme adımında yeni bir çatlak oluşmuştur. Yeni çatlak kolon-kiriş birleşim bölgesinde gözlemlenmiştir.1 numaralı çatlak kalınlığı 0.5 mm olmuştur.
+3	0.015/6.90		Bu yükleme adımında 3 nolu çatlak uzamış ve kalınlığı artmıştır.
-3	0.015/6.90		Bu yükleme adımında eski çatlaklar uzamış ve kalınlıkları artmıştır. 1 nolu çatlak kalınlığı 1 mm olmuştur. 2 nolu çatlak ise kalınlığı 0.33 mm olmuştur. 1 nolu çatlak dallanmıştır.
+4	0.020/9.20		Bu yükleme adımında akma gerçekleşmiştir. 1 nolu çatlak dallanmalar gözlemlenmiştir. 3 nolu çatlak kalınlığı artmıştır. Kalınlığı 0.9 mm olmuştur.
-4	0.020/9.20		Bu yükleme adımında 1 nolu çatlak kalınlığı 2.8 mm olmuştur.
+5	0.025/11.50		Bu yüklemde kirişin sağ tarafından kabuğu kabarmaları mevcuttur. 3 nolu çatlak kalınlığı 1.5 mm olmuştur. Temelde ayrışmalar mevcuttur.
-5	0.025/11.50		Bu yükleme adımında kiriş sağ tarafında kabuk atma gerçekleşti. Çatlaklarda dallanmalar gözlemlenmiştir. 1 nolu çatlak kalınlığı 3.5 mm'ye ulaşmıştır.
+6	0.030/13.80		Bu yükleme adımında donatı burkulmaya başlamıştır. Kirişin sağ tarafında kabuk atmaları artmıştır.
-6	0.030/13.80		Bu yükleme adımında 2 nolu çatlak kalınlığı artmıştır. Kalınlığı 1.4 mm olmuştur.
+7	0.035/16.10		Bu yükleme adımında eski çatlaklar genişlemeye başlamıştır.
-7	0.035/16.10		Bu yükleme adımında eski çatlakların kalınlıkları artmıştır. Kabuk beton ayrılmıştır.

+8	0.04/18.40		Bu yükleme adımında kabuk beton iyice attı. Kiriş ortasındaki donatı gözükmüştür.
-8	0.04/18.40		Bu yükleme adımında eski çatlakların kalınlıkları artmıştır.
+9	0.045/20.70		Bu yükleme adımında kirişin üstüne doğru kabuk beton atmıştır.
-9	0.045/20.70		Bu yükleme adımında kirişin sol kısmında kabuk beton atmıştır.
+10	0.05/23		Bu yükleme adımında donatı burkulma seviyesi artmıştır.
-10	0.05/23		—
+11	0.055/25.30		Bu yükleme adımında çekirdek beton atmaya başlamıştır.
-11	0.055/25.30		Bu yükleme adımında donatı kopmuştur.
+12	0.06/27.60		Bu yükleme adımında arka taraftaki donatı kopmuştur.
-12	0.06/27.60		Bu yükleme adımında nihai yük ve deplasman değerine ulaşıldığı için deney sonlandırılmıştır

AD2-ECC0-R1 deney elemanında oluşan ilk çatlaklar kolon kiriş birleşim bölgesinde gözlemlenmiştir. Bu yükleme adımına ait görüntüsü Şekil 4.10'da gösterilmiştir.



Şekil 4.10. AD2-ECC0-R1 deney elemanın ilk çatlaklar

AD2-ECC0-R1 deney elemanı akma noktasına 9,20 mm deplasman değerinde ulaşmıştır. Çevirim +5'de kirişin sağ kısmında kabuk beton atmaları başlamıştır. Elemanın bu yüklemdeki görüntüsü Şekil 4.11'de gösterilmiştir. Kirişin sağ kısımdaki donatı burkulmaya başlamıştır. Elemanın bu yüklemdeki görüntüsü Şekil 4.12'de gösterilmiştir.



Şekil 4.11. Kirişin sağ kısmında kabuk betonun ayrılması



Şekil 4.12. AD2-ECC0-R1 deney elemanında donatı burkulması

AD2-ECC0-R1 deney elemanı -11 çevrimde kirişin sağ tarafındaki donatı kopmuştur. Bir sonraki yükleme adımında kirişin arka tarafındaki donatı kopmuş ve deney elemanı daha fazla deplasman yapmayacağından deney sonlandırılmıştır. Elemanın -11 yükleme adımında Şekil 4.13'te gösterilmiştir. Deney elemanının son görüntüsü Şekil 4.14'te gösterilmiştir. Deney sonunda numunede meydana gelen çatlak dağılımı Şekil 4.15'te gösterilmiştir.

AD2-ECC0-R1 deney elemanına ait yük-deplasman grafiği Şekil 4.16'da verilmiştir.



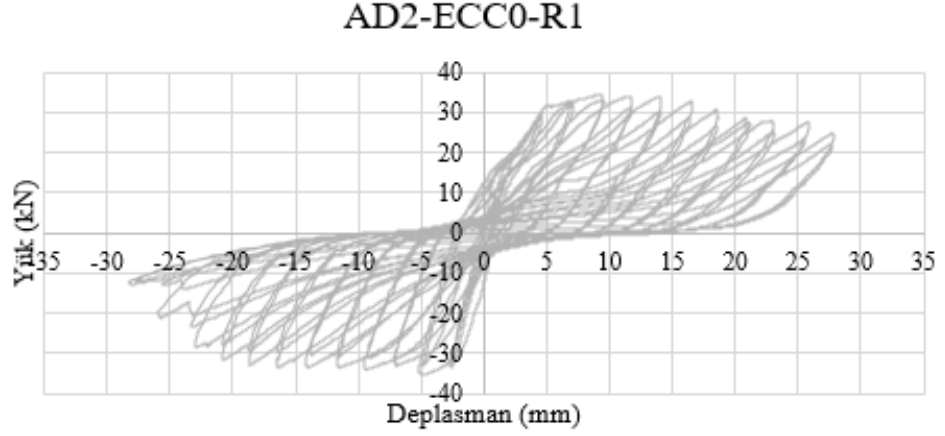
Şekil 4.13. Kirişin sağ kısmında donatı kopması



Şekil 4.14. AD2-ECC0-R1 deney elemanın son görüntüsü

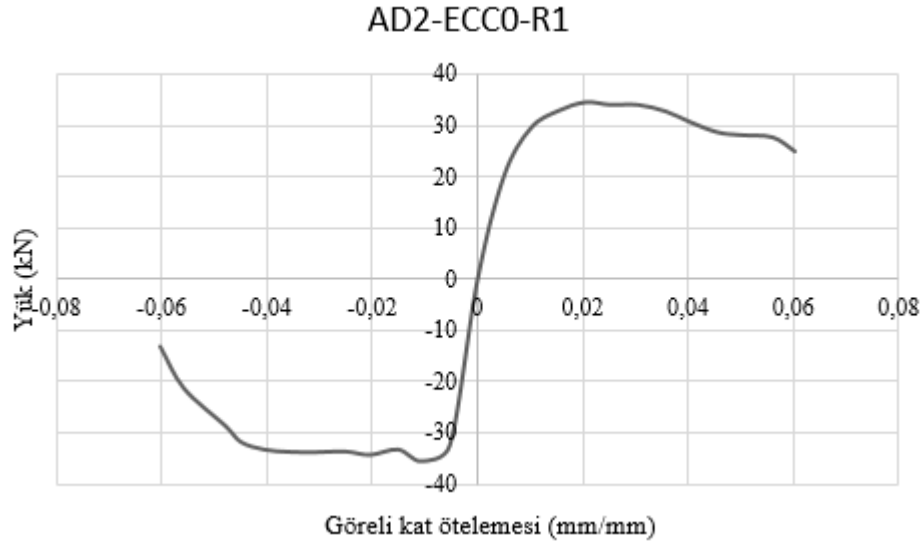


Şekil 4.15. AD2-ECC0-R1 elemanın deney sonundaki hasarları



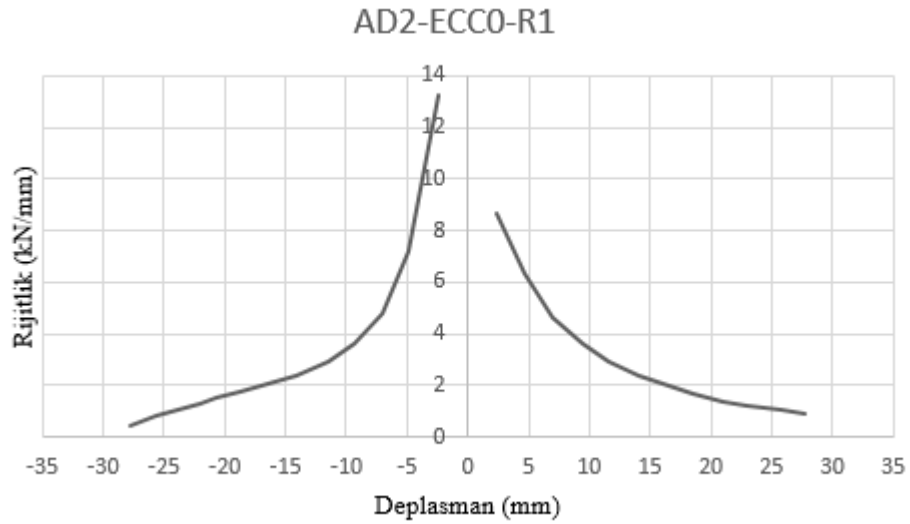
Şekil 4.16. AD2-ECC0-R1 elemanına ait yük-deplasman grafiği

Deney elemanında histeresis eğrisindeki her yüklemdeki maksimum yük noktalarının birleştirilmesi ile elde edilen zarf eğrisi Şekil 4.17’de verilmiştir.



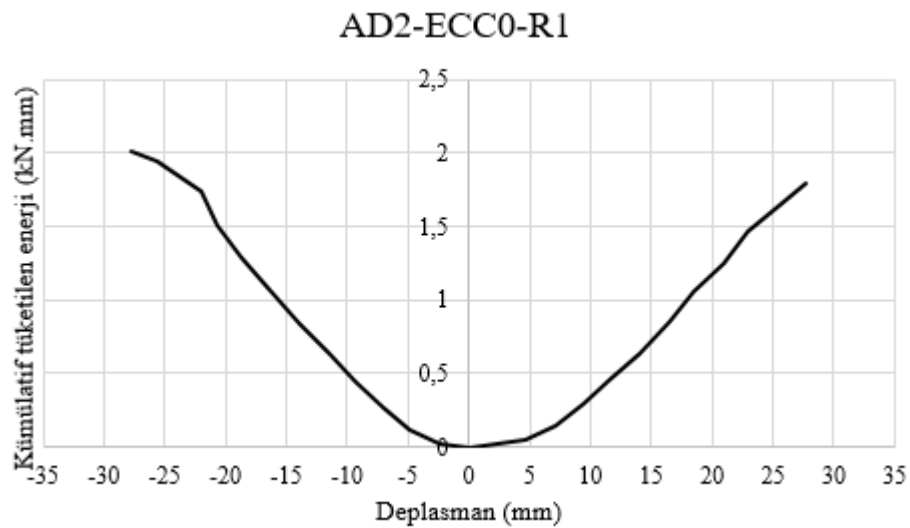
Şekil 4.17. AD2-ECC0-R1 elemanına ait zarf eğrisi

AD2-ECC0-R1 deney elemanının rijitlik grafiği çizilmiştir. Rijitlik grafiği her bir yüklemdeki yük değerinin, o noktadaki deplasman değerine bölünmesi ile elde edilmektedir. Rijitlik grafiği Şekil 4.18’de verilmiştir.



Şekil 4.18. AD2-ECC0-R1 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 4.19'da gösterilmiştir.



Şekil 4.19. AD2-ECC0-R1 elemanına ait kümülatif tüketilen enerji grafiği

4.1.3. Üçüncü deney (AD3-ECC0-R1)

Bu deney referans numune olarak yapılmıştır. Bu deney elemanı geleneksel beton ile üretilmiştir. Deney elemanında donatı mevcut olup a/d oranı 3 olacak şekilde yükleme yapılmıştır. Şekil 4.20’de deney elemanın yükleme yapılmadan önceki görüntüsü verilmiştir. 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.



Şekil 4.20. AD3-ECC0-R1 deney elemanının deney öncesi görüntüsü

Çizelge 4.3. AD3-ECC0-R1 elemanında gözlemlenen durumlar

Çev. No	Drift/Deplasman %/(mm)	Çatlak No	Açıklama
+1	0.005/3.45	1,2,3	Bu yükleme adımında 3 tane çatlak gözlemlenmiştir. Tüm çatlaklar 0.1 mm kalınlığında oluşmuştur. 1 numaralı çatlak kolon-kiriş birleşim bölgesinde meydana gelmiştir. 2 nolu çatlak kolon-kiriş birleşim

			bölgesinden yaklaşık 200 mm uzaklıkta meydana gelmiştir. 3 nolu çatlak kolon-kiriş birleşim bölgesinden yaklaşık 400 mm uzaklıkta meydana gelmiştir.
-1	0.005/3.45	1,2,3,4	Bu yükleme adımında 4 tane yeni çatlak gözlemlenmiştir. 1 nolu çatlak kolon-kiriş birleşim bölgesinden yaklaşık 30 mm uzaklıkta meydana gelmiştir. 2 nolu çatlak kolon-kiriş birleşim bölgesinden yaklaşık 200 mm uzaklıkta meydana gelmiştir. 3 nolu çatlak kolon-kiriş birleşim bölgesinden yaklaşık 350 mm uzaklıkta meydana gelmiş ve kiriş orta bölgesine doğru 45 derece açıyla ilerlemiştir. 4 nolu çatlak kolon-kiriş birleşim bölgesinden yaklaşık 500 mm uzaklıkta meydana gelmiştir. 3 numaralı çatlak kalınlığı 0.3 mm'dir.
+2	0.010/6.90		Bu yükleme adımında 1 nolu çatlak kalınlığı artmıştır. Kalınlığı 0.4 mm olmuştur. Birleşim bölgesinde ayrılma oluşmaya başlamıştır.
-2	0.010/6.90		Bu yükleme adımında eski çatlakların kalınlıkları artmaya devam etmiştir.
+3	0.015/10.35		Bu yükleme adımında 1 numaralı çatlak (birleşim bölgesinde oluşan çatlak) kalınlığı 3 mm'yi geçmiş olup temelden ayrılmaya başlamıştır.
-3	0.015/10.35		Bu yükleme adımında 1 numaralı çatlak kalınlığı 0.6 mm olmuştur. Eski çatlak yayılmıştır. Temelden ayrılmıştır.
+4	0.020/13.80		Bu yükleme adımında üst kısımdaki 1 nolu çatlak kalınlığı 2.0 mm'yi geçmiştir. Paspayı dökülmüştür.
-4	0.020/13.80		Bu yükleme adımında üst kısımdaki 1 nolu çatlak kalınlığı 1.2 mm olmuştur. Birleşim bölgesinden ayrılmaya başlamıştır.
+5	0.025/17.25		Bu yükleme adımında paspayı ayrılmıştır. 1 nolu çatlaktan boyuna donatısı gözükmüştür.
-5	0.025/17.25		Bu yükleme adımında 1 nolu çatlak kalınlığı 1.5 mm'ye ulaşmıştır. Çekme bölgesindeki çatlaklar yayılmıştır. Basınç donatısı burkulmuştur.
+6	0.030/20.70		Bu yükleme adımında basınç bölgesinde dökülmeler gözlemlenmiştir. Çekme bölgesinde donatı boyunca çatlaklar yayılmıştır.
-6	0.030/20.70		Bu yükleme adımında basınç donatısında burkulma belirginleşmiştir. Birleşim bölgesinde beton ezilmesi gözlemlenmiştir.
+7	0.035/24.15		Bu yüklemede çekme çatlakları birleşim bölgesinden ayrılmıştır. Basınç bölgesi tamamen ezilmiş ve 1 nolu çatlak büyümeye devam etmiştir.
-7	0.035/24.15		bu yükleme adımında 2. çekme donatısı kopmuştur. Çekme bölgesinde paspayı dökülmüştür. Etriyeler gözükmeye başlamıştır.
+8	0.04/27.60		Bu yükleme adımında çekme donatısı burkulmuştur. Beton ezilmiş ve eski çatlaklarda genişleme gözlemlenmiştir.
-8	0.04/27.60		Bu yükleme adımında basınç donatısı burkulmuştur. Beton boyuna donatısı boyunca dökülmüştür.
+9	0.045/31.05		Bu yükleme adımında hiç bir şey gözlemlenmemiştir

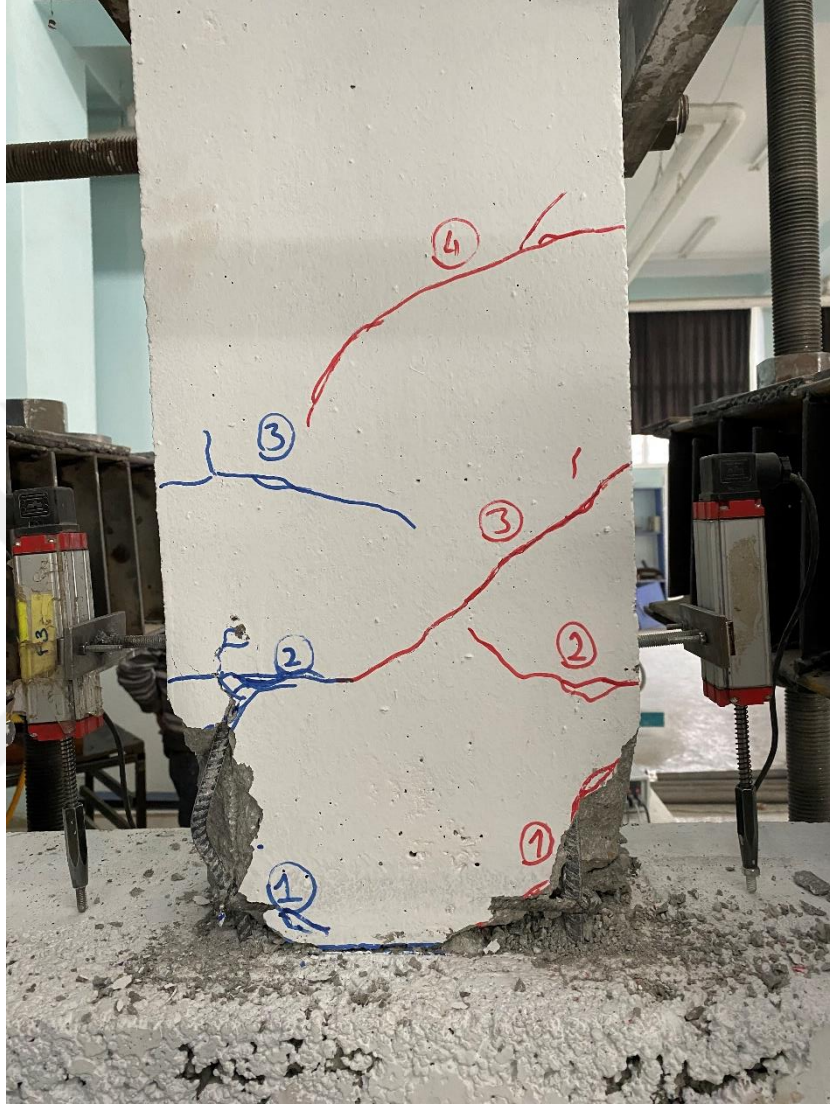
-9	0.045/31.05		Bu yükleme adımında basınç donatısında burkulmagözlemlenmiştir. Birleşim bölgesi tamamen ayrılmıştır.
+10	0.05/34.50		Bu yükleme adımında hiç bir şey gözlemlenmemiştir
-10	0.05/34.50		Bu yükleme adımında hiç bir şey gözlemlenmemiştir
+11	0.055/37.95		Bu yükleme adımında hiç bir şey gözlemlenmemiştir
-11	0.055/37.95		Bu yükleme adımında hiç bir şey gözlemlenmemiştir
+12	0.06/41.40		Bu yükleme adımında çatlakların kalınlıkları artmıştır.
-12	0.06/41.40		Bu yükleme adımında nihai yük ve deplasman değerine ulaşıldığı için deney sonlandırılmıştır

AD3-ECC0-R1 deney elemanında oluşan ilk çatlaklar kolon kiriş birleşim bölgesinde, kiriş yüzeyinde gözlemlenmiştir. Bu yükleme adımına ait görüntüsü Şekil 4.21’de gösterilmiştir.



Şekil 4.21. AD3-ECC0-R1 deney elemanında oluşan ilk çatlaklar

AD3-ECC0-R1 deney elemanında -9. çevrimde kirişin basınç bölgesinde beton ezilmiş, boyuna donatısı burkulmuştur. Elemanın bu yüklemdeki görüntüsü Şekil 4.22’de gösterilmiştir.



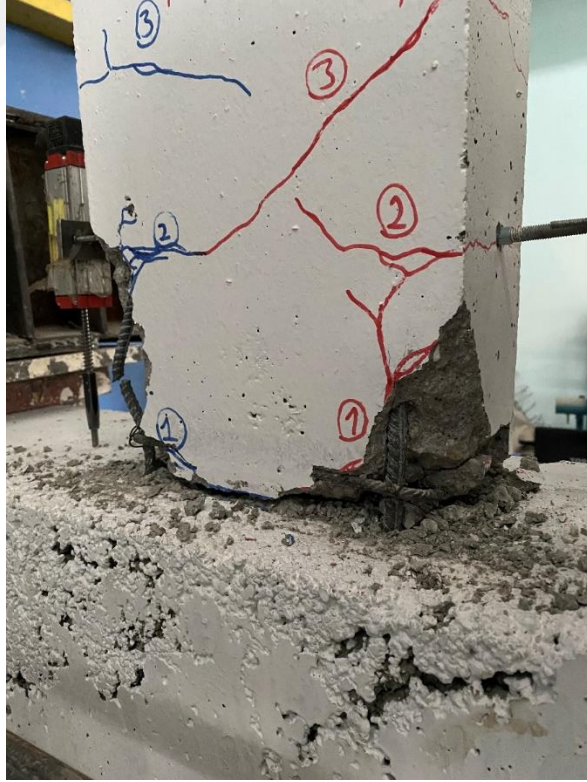
Şekil 4.22. AD3-ECC0-R1 deney elemanında basınç bölgesindeki donatısının burkulması

AD3-ECC0-R1 deney elemanın son yükleme adımlarında çatlaklar iyice yayılmış ve deney 41.40 mm deplasman değerinde deney sonlandırılmıştır. Deney elemanın son görüntüsü Şekil 4.23’te gösterilmiştir. Deney sonunda numune meydana gelen çatlak dağılımı Şekil 4.24’te gösterilmiştir.

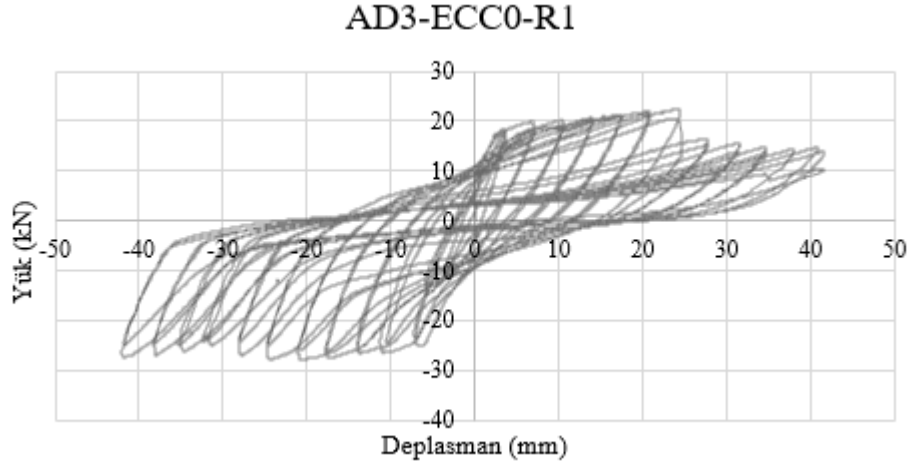
AD3-ECC0-R1 deney elemanına ait yük-deplasman grafiği Şekil 4.25’te verilmiştir.



Şekil 4.23. AD3-ECC0-R1 deney elemanının deney sonundaki görünümü

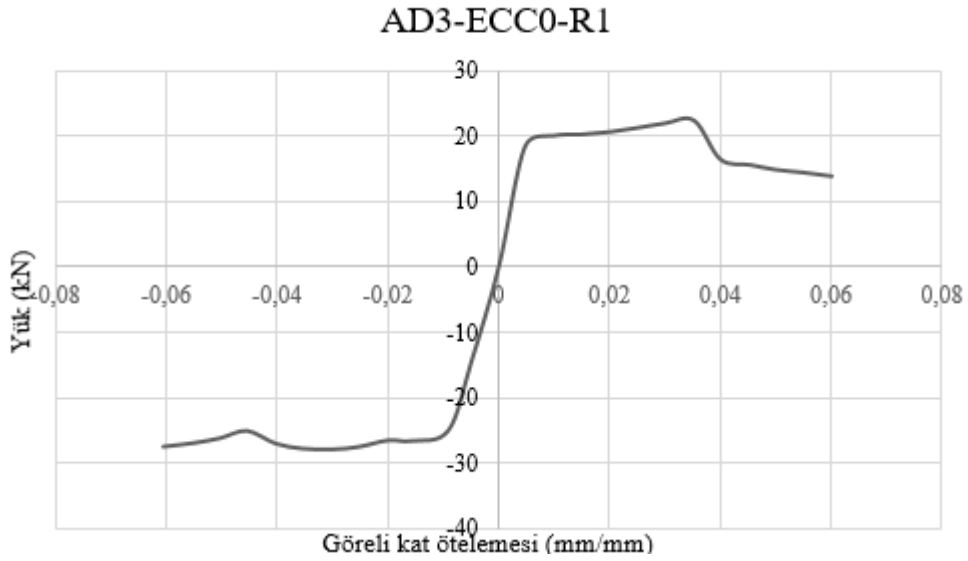


Şekil 4.24. AD3-ECC0-R1 deney elemanının deney sonundaki hasarları



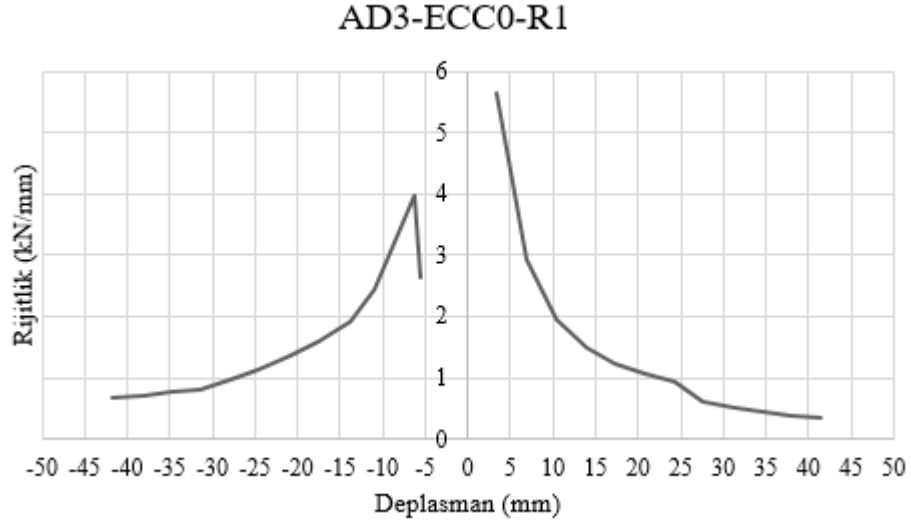
Şekil 4.25. AD3-ECC0-R1 elemanına ait yük-deplasman grafiği

Deney elemanında histeresis eğrisindeki her yüklemdeki maksimum yük noktalarının birleştirilmesi ile elde edilen zarf eğrisi Şekil 4.26'da verilmiştir.



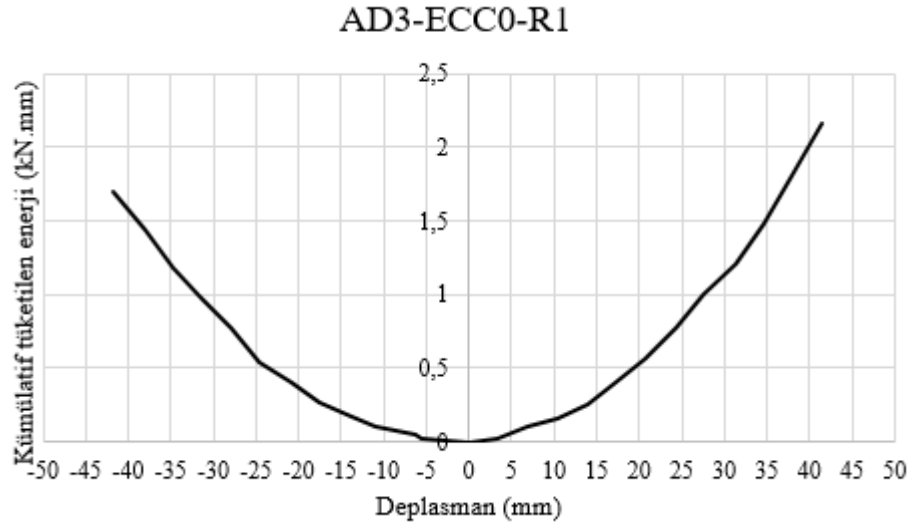
Şekil 4.26. AD3-ECC0-R1 elemanına ait zarf eğrisi

AD3-ECC0-R1 deney elemanının rijitlik grafiği çizilmiştir. Rijitlik grafiği her bir yüklemdeki yük değerinin, o noktadaki deplasman değerine bölünmesi ile elde edilmektedir. Rijitlik grafiği Şekil 4.27'de verilmiştir.



Şekil 4.27. AD3-ECC0-R1 deney elemanına ait rijitlik grafiği

Deney elemanında yükleme esnasında her bir yüklemede 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 4.28’de gösterilmiştir.



Şekil 4.28. AD3-ECC0-R1 elemanına ait kümülatif tüketilen enerji grafiği

4.1.4. Dördüncü deney (AD1-ECC1-R0)

Bu deney elemanı lif donatılı harçlar ile üretilmiştir. Deney elemanında donatı olmayıp a/d oranı 1 olacak şekilde yükleme yapılmıştır. Şekil 4.29’da deney elemanının

yüklemeye yapılmadan önceki görüntüsü verilmiştir. 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 yüklemeye noktasına iki kez gidilmiştir. Ancak Çizelge 4.4’de her bir çevrimde yüklemeye noktasına ilk ulaşıldığı andaki gözlemlenen durumlar gösterilmiştir.



Şekil 4.29. AD1-ECC1-R0 deney elemanının deney öncesi görüntüsü

Çizelge 4.4. AD1-ECC1-R0 elemanında gözlemlenen durumlar

Çev. No	Drift/Deplasman %/(mm)	Çatlak No	Açıklama
+1	0.005/1.15	1,2,3	Bu yüklemeye adımında 3 tane çatlak gözlemlenmiştir. 1 numaralı çatlak kolon-kiriş birleşim bölgesinde meydana gelmiştir. 1 nolu çatlak kalınlığı 1.4 mm’dir. 2 ve 3 numaralı çatlaklar kolon-kiriş birleşim bölgesinin yaklaşık 200 mm yukarısında oluşmuştur.
-1	0.005/1.15	1	Bu yüklemeye adımında yeni bir çatlak gözlemlenmiştir. Yeni oluşan çatlak kolon-kiriş birleşim bölgesinde gözlemlenmiştir. Yeni oluşan çatlak kalınlığı yaklaşık 0.8 mm’dir.
+2	0.010/2.30		Bu yüklemeye adımında 1 nolu çatlak kalınlığı 2.8 mm olmuştur.

-2	0.010/2.30		Bu yükleme adımında 1 nolu çatlak kalınlığı artmıştır. kalınlığı 1.4 mm olmuştur.
+3	0.015/3.45		Bu yükleme adımında 1 numaralı çatlak (birleşim bölgesinde oluşan çatlak) kalınlığı 3.5 mm'yi geçmiştir.
-3	0.015/3.45		Bu yükleme adımında lifler tam ayrılmıştır. Kolon-kiriş birleşim bölgesinde ayrılma oluşmuş ve nihai yük ve deplasman değerine ulaşıldığı için deney sonlandırılmıştır.

AD1-ECC1-R0 deney elemanında oluşan ilk çatlaklar kolon kiriş birleşim bölgesinde, kiriş yüzeyinde gözlemlenmiştir. Bu yükleme adımına ait görüntüsü Şekil 4.30'da gösterilmiştir.



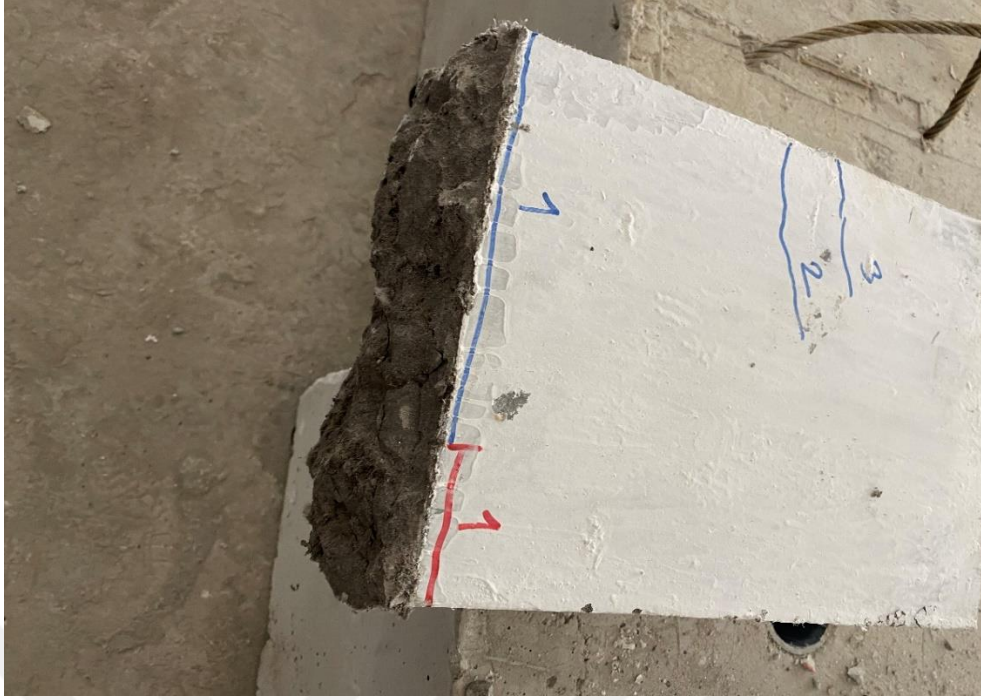
Şekil 4.30. AD1-ECC1-R0 deney elemanında oluşan ilk çatlaklar

AD1-ECC1-R0 deney elemanının son yükleme adımlarında lif tam ayrılmış ve kolon-kiriş birleşim bölgesinde ayrılma olmuştur. 3.45 mm deplasman değerinde deney sonlandırılmıştır. Deney elemanın son görüntüsü Şekil 4.31’de gösterilmiştir. Deney sonunda numunede meydana gelen çatlak dağılımı Şekil 4.32’de gösterilmiştir.

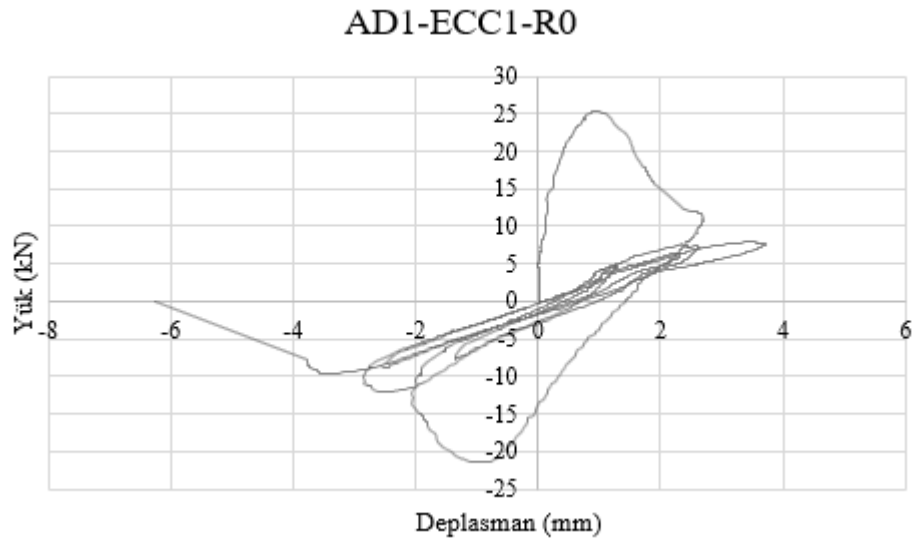
AD1-ECC1-R0 deney elemanına ait yük-deplasman grafiği Şekil 4.33’te verilmiştir.



Şekil 4.31. AD1-ECC1-R0 elemanının deney sonundaki görünümü

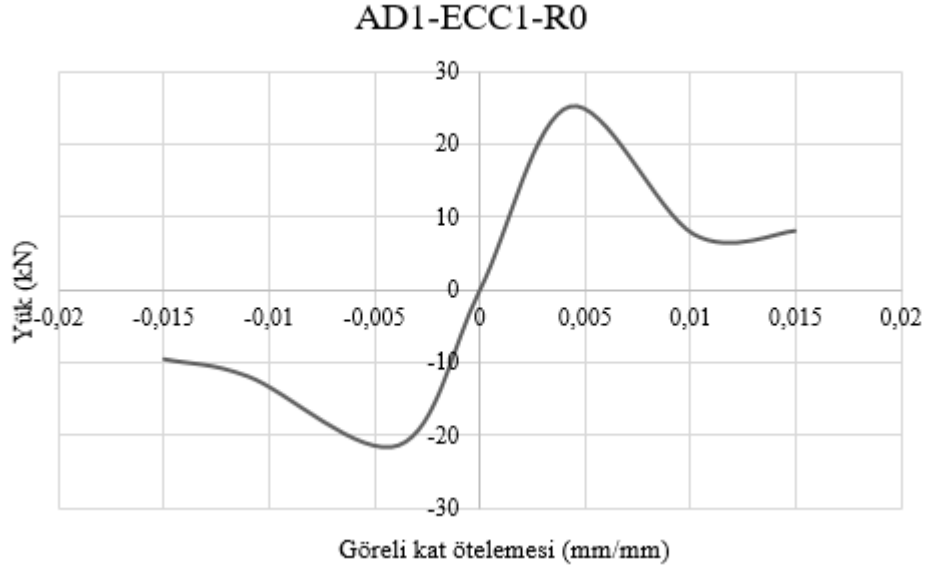


Şekil 4.32. AD1-ECC1-R0 elemanın deney sonundaki hasarları



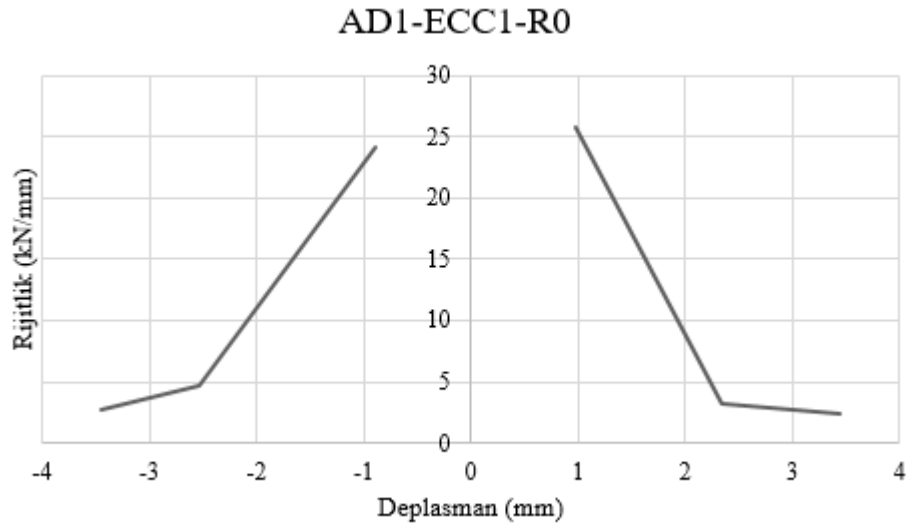
Şekil 4.33. AD1-ECC1-R0 elemanına ait yük-deplasman grafiği

Deney elemanında histeresis eğrisindeki her yüklemdeki maksimum yük noktalarının birleştirilmesi ile elde edilen zarf eğrisi Şekil 4.34'te verilmiştir.



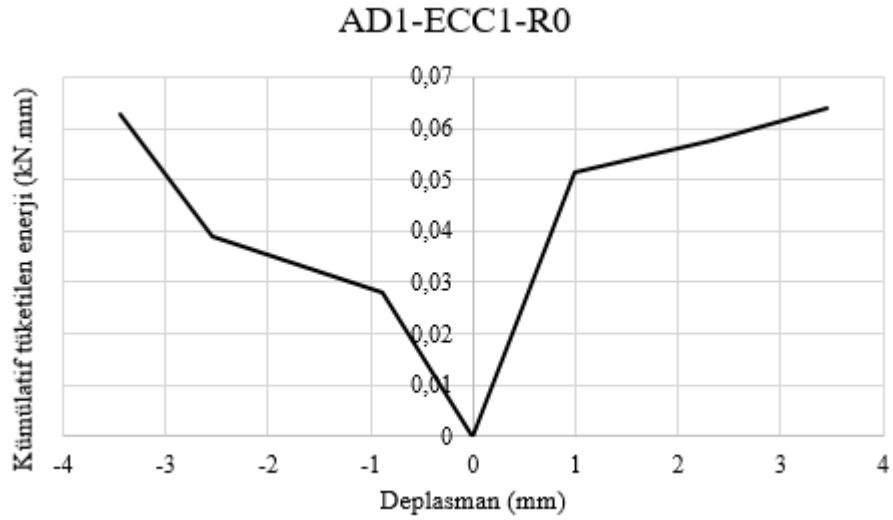
Şekil 4.34. AD1-ECC1-R0 elemanına ait zarf eğrisi

AD1-ECC1-R0 deney elemanının rijitlik grafiği çizilmiştir. Rijitlik grafiği her bir yüklemedeki yük değerinin, o noktadaki deplasman değerine bölünmesi ile elde edilmektedir. Rijitlik grafiği Şekil 4.35'te verilmiştir.



Şekil 4.35. AD1-ECC1-R0 elemanına ait rijitlik grafiği

Deney elemanında yükleme esnasında her bir yüklemede 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 4.36'da gösterilmiştir.



Şekil 4.36. AD1-ECC1-R0 elemanına ait kümülatif tüketilen enerji grafiği

4.1.5. Beşinci deney (AD2-ECC1-R0)

Bu deney elemanı lif donatılı harçlar ile üretilmiştir. Deney elemanında donatı olmayıp a/d oranı 2 olacak şekilde yükleme yapılmıştır. Şekil 4.37’de deney elemanının yükleme yapılmadan önceki görüntüsü verilmiştir. Deney esnasında oluşan yer değiştirme, çatlaklar, hasarlar ve deney elemanında gözlemlenen durumlar Çizelge 4.5’de gösterilmiştir. Deney esnasında yüklemeler iki tekrarlı yapılmış olup, her yükleme noktasına iki kez gidilmiştir. Ancak Çizelge 4.5’de her bir çevrimde yükleme noktasına ilk ulaşıldığı andaki gözlemlenen durumlar gösterilmiştir.



Şekil 4.37. AD2-ECC1-R0 deney elemanının deney öncesi görüntüsü

Çizelge 4.5. AD2-ECC1-R0 elemanında gözlemlenen durumlar

Çev. No	Drift/Deplasman %/(mm)	Çatlak No	Açıklama
+1	0.005/2.30	1,2	Bu yükleme adımında 2 tane çatlak gözlemlenmiştir. 1 numaralı çatlak kolon-kiriş birleşim bölgesinde meydana gelmiştir. 1 nolu çatlak kalınlığı 1.0 mm'dir. 2 numaralı çatlak çatlaklar kolon-kiriş birleşim bölgesinden yaklaşık 250 mm uzaklıkta meydana gelmiştir.
-1	0.005/2.30	1	Bu yükleme adımında yeni bir çatlak gözlemlenmiştir. Yeni oluşan çatlak kolon-kiriş birleşim bölgesinde gözlemlenmiştir. Yeni oluşan çatlak kalınlığı yaklaşık 1.1 mm'dir.
+2	0.010/4.60		Bu yükleme adımında 1 nolu çatlak kalınlığı artmıştır. kalınlığı 2.0 mm olmuştur.

-2	0.010/4.60		Bu yükleme adımında 1 nolu çatlak kalınlığı 3.5 mm'yi geçmiştir. Alt taraf tamamen ayrılmıştır. Nihai yük ve deplasman değerine ulaşıldığı için deney sonlandırılmıştır.
----	------------	--	--

AD2-ECC1-R0 deney elemanında oluşan ilk çatlaklar kolon kiriş birleşim bölgesinde, kiriş yüzeyinde gözlemlenmiştir. Bu yükleme adımına ait görüntüsü Şekil 4.38'de gösterilmiştir.



Şekil 4.38. AD2-ECC1-R0 deney elemanında oluşan ilk çatlaklar

AD2-ECC1-R0 deney elemanın son yükleme adımlarında kolon-kiriş birleşim bölgesinde ayrılma olmuştur. Deney 4.60 mm deplasman değerinde sonlandırılmıştır. Deney elemanın son görüntüsü Şekil 4.39'da gösterilmiştir. Deney sonunda numunede meydana gelen çatlak dağılımı Şekil 4.40'ta gösterilmiştir.

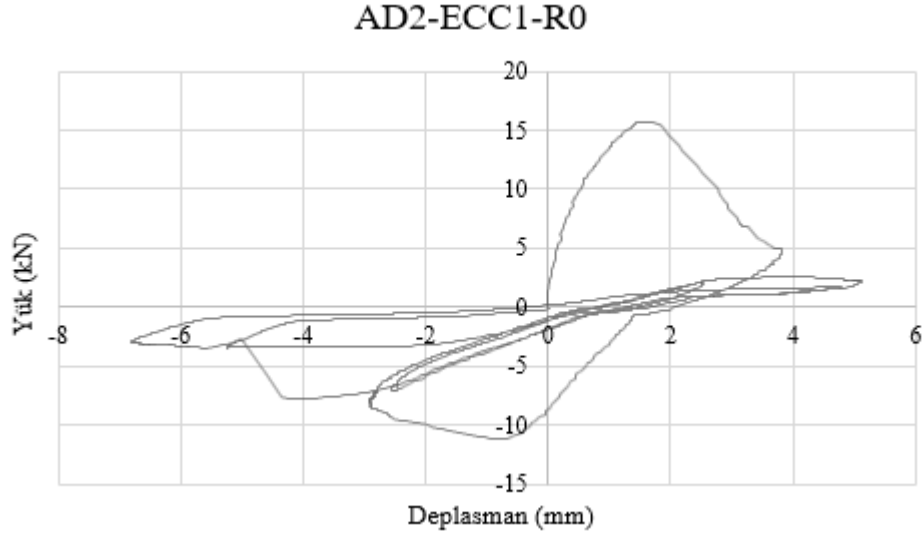
AD2-ECC1-R0 deney elemanına ait yük-deplasman grafiği Şekil 4.41'de verilmiştir.



Şekil 4.39. AD2-ECC1-R0 deney elemanın deney sonundaki görünümü

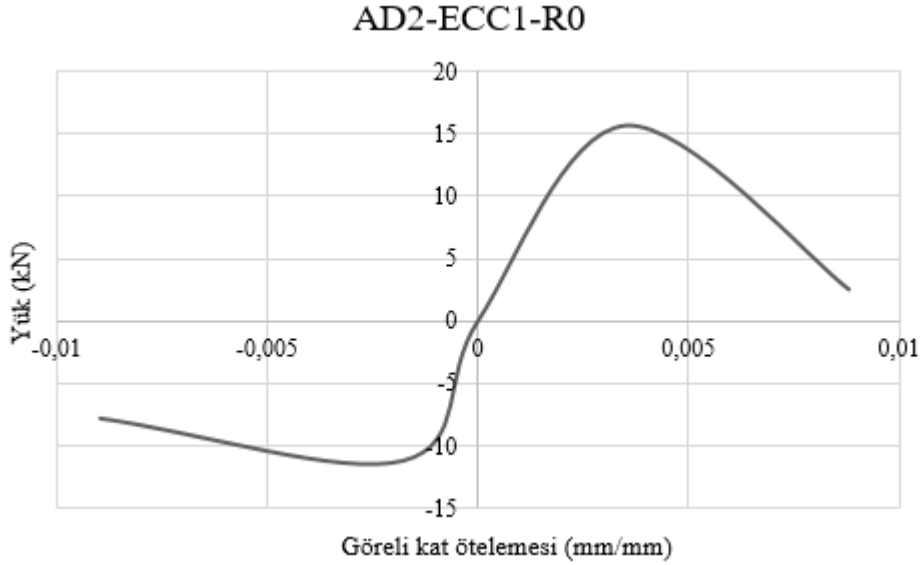


Şekil 4.40. AD2-ECC1-R0 deney elemanın deney sonundaki hasarları



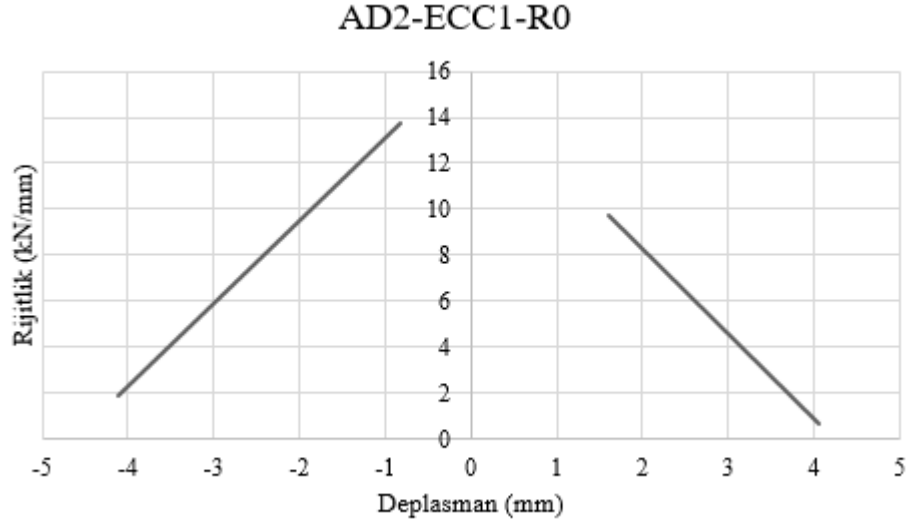
Şekil 4.41. AD2-ECC1-R0 deney elemanına ait yük-deplasman grafiği

Deney elemanında histeresis eğrisindeki her yüklemdeki maksimum yük noktalarının birleştirilmesi ile elde edilen zarf eğrisi Şekil 4.42’de verilmiştir.



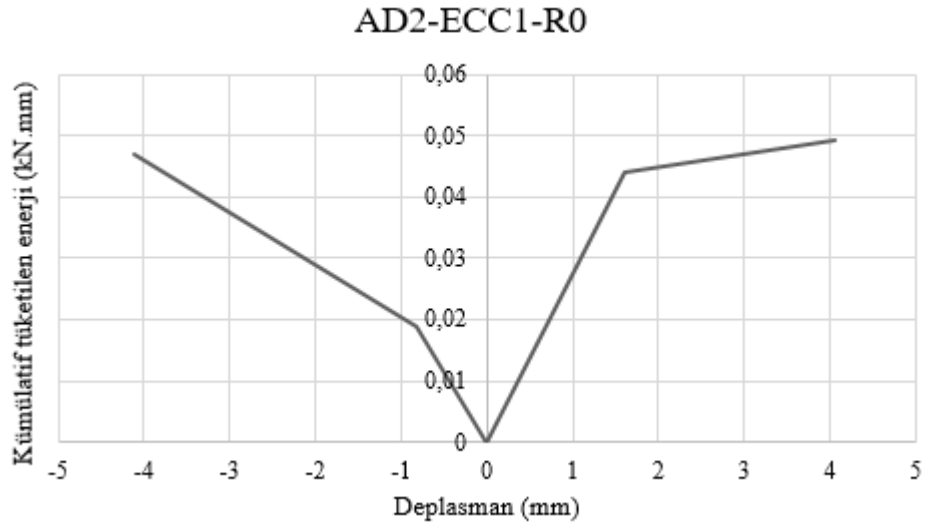
Şekil 4.42. AD2-ECC1-R0 elemanına ait zarf eğrisi

AD2-ECC1-R0 deney elemanının rijitlik grafiği çizilmiştir. Rijitlik grafiği her bir yüklemdeki yük değerinin, o noktadaki deplasman değerine bölünmesi ile elde edilmektedir. Rijitlik grafiği Şekil 4.43’te verilmiştir.



Şekil 4.43. AD2-ECC1-R0 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 4.44'te gösterilmiştir.



Şekil 4.44. AD2-ECC1-R0 elemanına ait kümülatif tüketilen enerji grafiği

4.1.6. Altıncı deney (AD3-ECC1-R0)

Bu deney elemanı lif donatılı harçlarla üretilmiştir. Deney elemanında donatı olmayıp a/d oranı 3 olacak şekilde yükleme yapılmıştır. Şekil 4.45'te deney elemanının

yüklemeye yapılmadan önceki görüntüsü verilmiştir. Deney esnasında oluşan yer değiştirme, çatlaklar, hasarlar ve deney elemanında gözlemlenen durumlar Çizelge 4.6’de gösterilmiştir. Deney esnasında yüklemeler iki tekrarlı yapılmış olup, her yüklemeye noktasına iki kez gidilmiştir. Ancak Çizelge 4.6’de her bir çevrimde yüklemeye noktasına ilk ulaşıldığı andaki gözlemlenen durumlar gösterilmiştir.



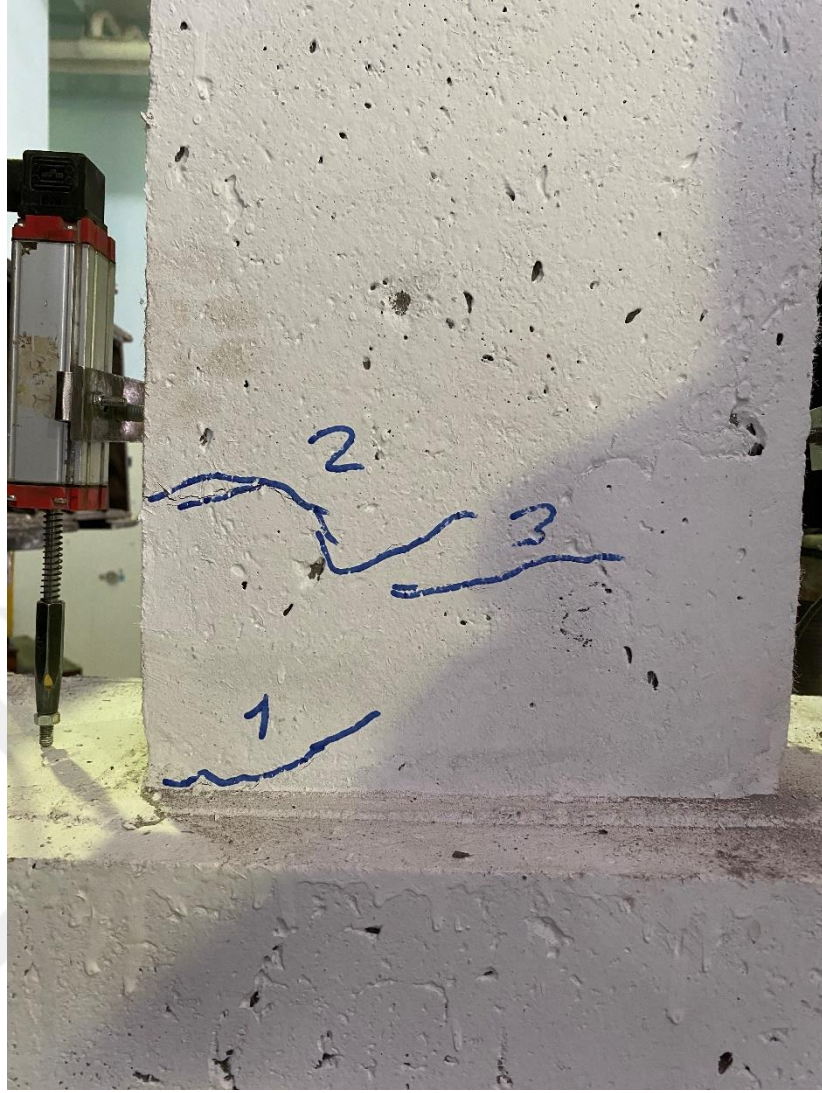
Şekil 4.45. AD3-ECC1-R0 deney elemanının deney öncesi görüntüsü

Çizelge 4.6. AD3-ECC1-R0 elemanında gözlemlenen durumlar

Çev. No	Drift/Deplasman %/(mm)	Çatlak No	Açıklama
+1	0.005/3.45	1,2,3	Bu yüklemeye adımında 3 tane çatlak gözlemlenmiştir. 1 numaralı çatlak kolon-kiriş birleşim bölgesinde meydana gelmiştir. 2 ve 3 nolu çatlaklar kolon-kiriş birleşim bölgesinden yaklaşık 200 mm uzaklıkta meydana gelmiştir ve kalınlıklarısrayla 0.2 , 0.1 olarak gözlemlenmiştir.
-1	0.005/3.45	1,2	Bu yüklemeye adımında 2 tane yeni çatlak gözlemlenmiştir. 1 nolu çatlak kolon-kiriş birleşim bölgesinde gözlemlenmiştir. 2 nolu çatlak kolon-kiriş birleşim bölgesinden yaklaşık 250 mm uzaklıkta meydana gelmiştir.

+2	0.010/6.90		Bu yükleme adımında 2 ile 3 numaralı çatlaklar birleşmiştir. 2 nolu çatlak kalınlığı 2.2 mm olmuştur.
-2	0.010/6.90		Bu yükleme adımında 1 nolu çatlak kalınlığı artmıştır. Kalınlığı 0.7 mm olmuştur.
+3	0.015/10.35		Bu yükleme adımında 1 numaralı çatlak kalınlığı 3.5 mm'yi geçmiştir.
-3	0.015/10.35		Bu yükleme adımında 1 numaralı çatlak kalınlığı 2.1 mm olmuştur.
+4	0.020/13.80		Bu yükleme adımında çatlakların kalınlıkları artmıştır.
-4	0.020/13.80		Bu yükleme adımında 1 nolu çatlak kalınlığı 3.6 mm olmuş ve dallanma gözlemlenmiştir.
+5	0.025/17.25		Bu yükleme adımında 2 nolu çatlak kalınlığı 3.5 mm'yi geçmiş ve çatlaklarda dallanmalar artmaya devam etmiştir.
-5	0.025/17.25		Bu yükleme adımında çekme çatlağı birden kırılma gerçekleşmiştir.
+6	0.030/20.70		Bu yükleme adımında yeni bir şey gözlemlenmemiştir
-6	0.030/20.70		Bu yükleme adımında temelden kolon-kiriş birleşim bölgesi ayrılmıştır.
+7	0.035/24.15		Bu yükleme adımında 1. Çatlak bağlantıdan ayrılmıştır.
-7	0.035/24.15		Bu yükleme adımında çekme ve basınç bölgesinde çatlaklar birleşmiştir. Nihai yük ve deplasman değerine ulaşıldığı için deney sonlandırılmıştır.

AD3-ECC1-R0 deney elemanında oluşan ilk çatlaklar kolon kiriş birleşim bölgesinde, kiriş yüzeyinde gözlemlenmiştir. Bu yükleme adımına ait görüntüsü Şekil 4.46'da gösterilmiştir.



Şekil 4.46. AD3-ECC1-R0 deney elemanında oluşan ilk çatlaklar

AD3-ECC1-R0 deney elemanının son yükleme adımlarında kolon-kiriş birleşim bölgesinde ayrılma olmuştur. Deney 24.15 mm deplasman değerinde sonlandırılmıştır. Deney elemanın son görüntüsü Şekil 4.47’de gösterilmiştir. Deney sonunda numunede meydana gelen çatlak dağılımı Şekil 4.48’de ve lif görüntüsü Şekil 4.49’da gösterilmiştir.

AD3-ECC1-R0 deney elemanına ait yük-deplasman grafiği Şekil 4.50’de verilmiştir.



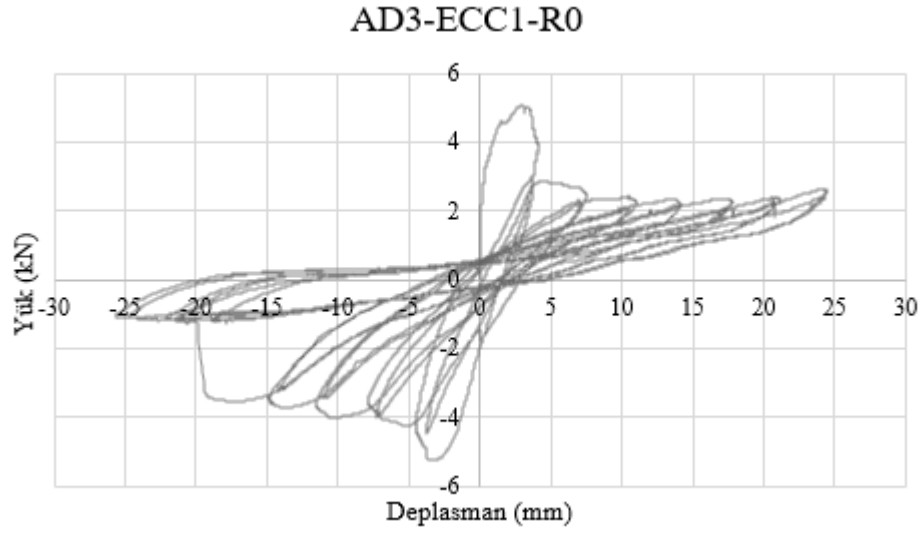
Şekil 4.47. AD3-ECC1-R0 elemanın deney sonundaki görünümü



Şekil 4.48. AD3-ECC1-R0 elemanın deney sonundaki hasarları

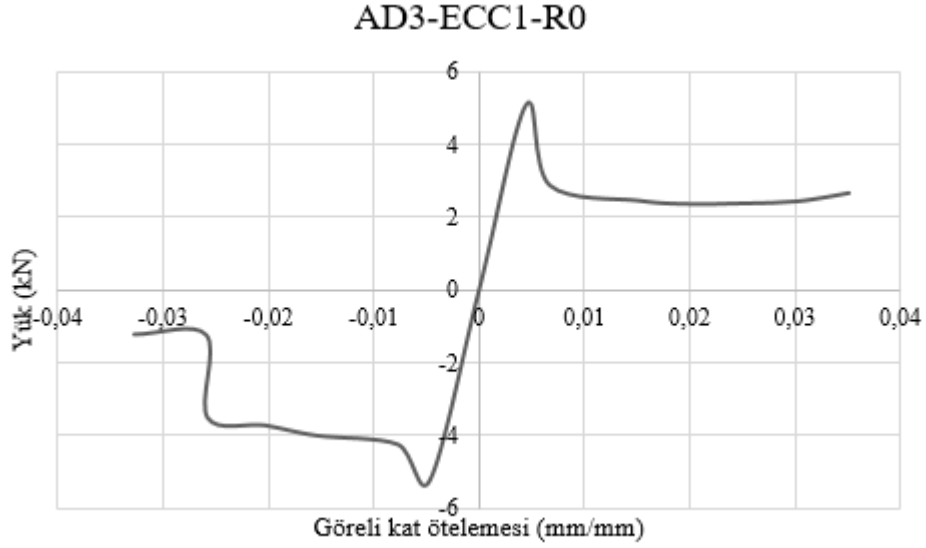


Şekil 4.49. AD3-ECC1-R0 elemanın deney sonundaki lif görüntüsü



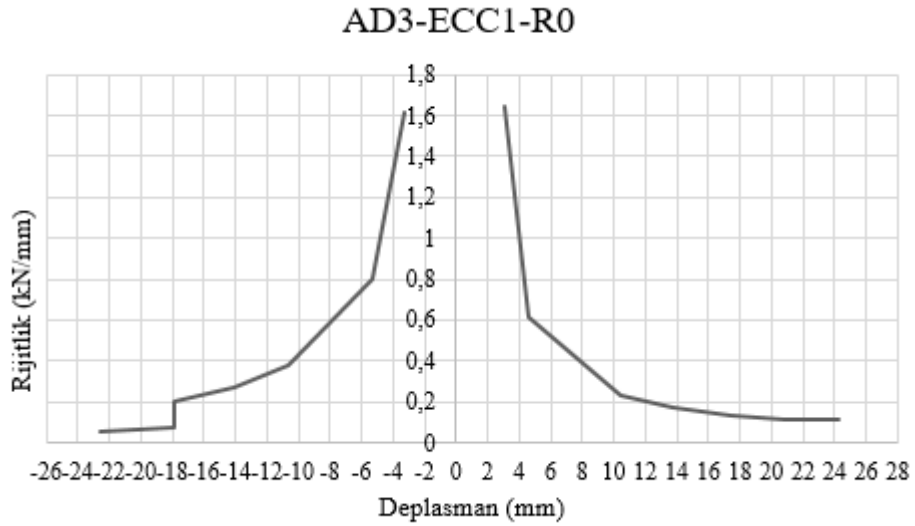
Şekil 4.50. AD3-ECC1-R0 elemanına ait yük-deplasman grafiği

Deney elemanında histeresis eğrisindeki her yüklemdeki maksimum yük noktalarının birleştirilmesi ile elde edilen zarf eğrisi Şekil 4.51’de verilmiştir.



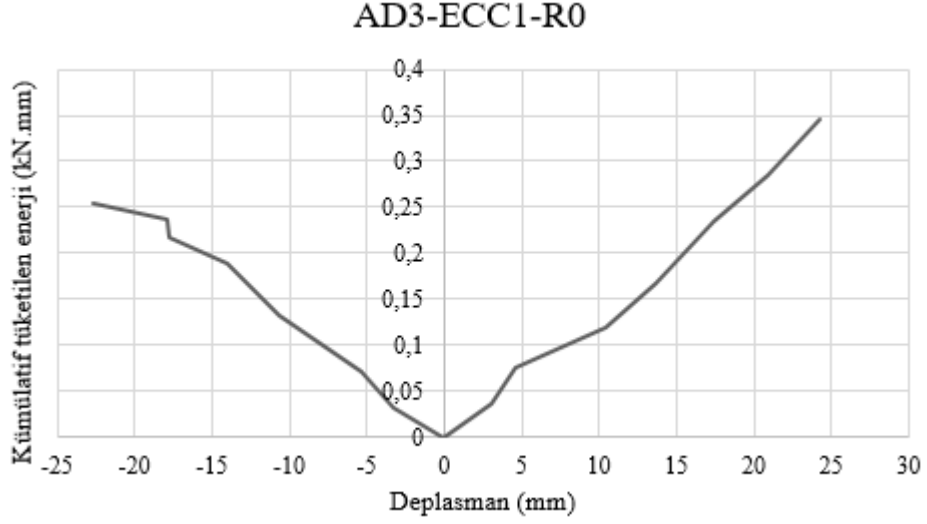
Şekil 4.51. AD3-ECC1-R0 elemanına ait zarf eğrisi

AD3-ECC1-R0 deney elemanının rijitlik grafiği çizilmiştir. Rijitlik grafiği her bir yüklemedeki yük değeri, o noktadaki deplasman değeriyle bölünmesi ile elde edilmektedir. Rijitlik grafiği Şekil 4.52’de verilmiştir.



Şekil 4.52. AD3-ECC1-R0 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 4.53’te gösterilmiştir.



Şekil 4.53. AD3-ECC1-R0 elemanına ait kümülatif tüketilen enerji grafiği

4.1.7. Yedinci deney (AD1-ECC1-R1)

Bu deney elemanı lif donatılı harçlar ile üretilmiştir. Deney elemanında donatı mevcut olup a/d oranı 1 olacak şekilde yükleme yapılmıştır. Şekil 4.54'te deney elemanının yükleme yapılmadan önceki görüntüsü verilmiştir. 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.



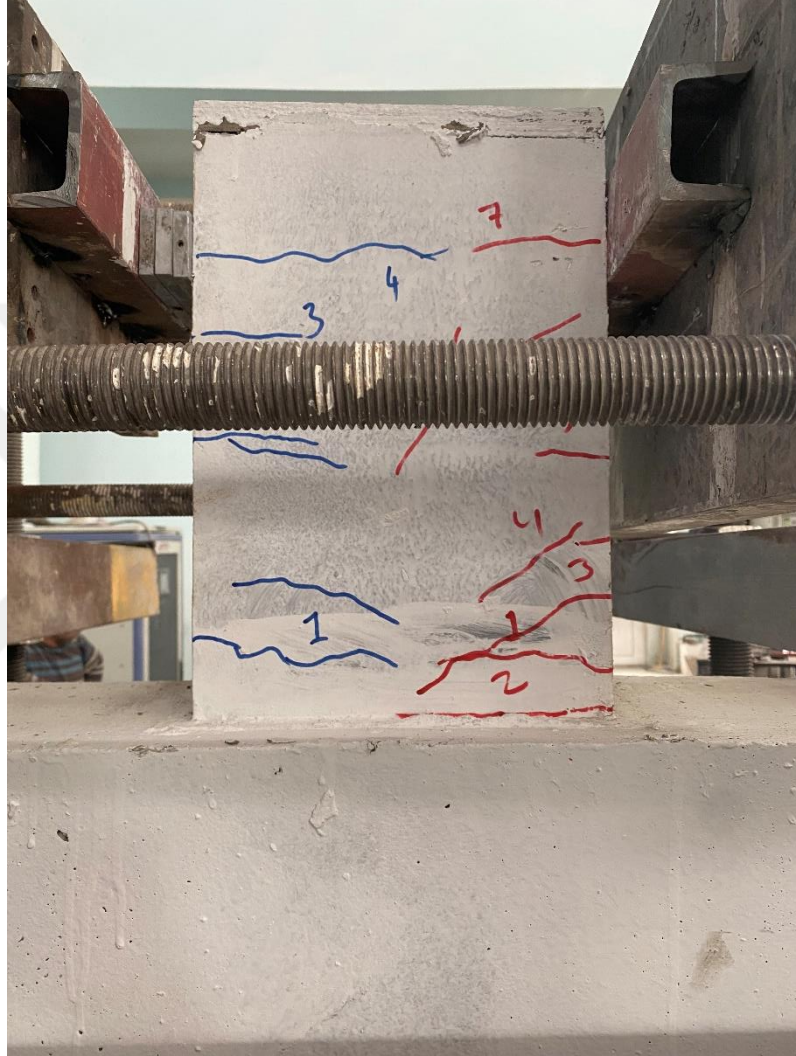
Şekil 4.54. AD1-ECC1-R1 deney elemanının deney öncesi görüntüsü

Çizelge 4.7. AD1-ECC1-R1 elemanında gözlemlenen durumlar

Çev. No	Drift/Deplasman %/(mm)	Çatlak No	Açıklama
+1	0.005/1.15	1,2,3,4	Bu yükleme adımında 4 tane çatlak gözlemlenmiştir. 1 nolu çatlak kolon-kiriş birleşim bölgesinden yaklaşık 30 mm uzaklıkta meydana gelmiştir. 2 nolu çatlak kolon-kiriş birleşim bölgesinden yaklaşık 175 mm uzaklıkta meydana gelmiştir. 3 nolu çatlak kolon-kiriş birleşim bölgesinden yaklaşık 200 mm uzaklıkta meydana gelmiştir. 4 nolu çatlak kolon-kiriş birleşim bölgesinden yaklaşık 250 mm uzaklıkta meydana gelmiştir.
-1	0.005/1.15	1	Bu yükleme adımında 1 tane yeni çatlak gözlemlenmiştir. 1 nolu çatlak kolon-kiriş birleşim bölgesinden yaklaşık 40 mm uzaklıkta meydana gelmiştir.
+2	0.010/2.30		Bu yükleme adımında yeni bir çatlak gözlemlenmemiştir.

-2	0.010/2.30	2,3,4,5,6,7	Bu yükleme adımında 6 tane yeni çatlak gözlemlenmiştir. 2 nolu çatlak kolon-kiriş birleşim bölgesinden yaklaşık 30 mm uzaklıkta meydana gelmiştir. 2. Çatlak kalınlığı 0.3 mm olarak gözlemlenmiştir. 3 nolu çatlak kolon-kiriş birleşim bölgesinden yaklaşık 70 mm uzaklıkta meydana gelmiştir. 4 nolu çatlak kolon-kiriş birleşim bölgesinden yaklaşık 75 mm uzaklıkta meydana gelmiştir. 5 nolu çatlak kolon-kiriş birleşim bölgesinden yaklaşık 150 mm uzaklıkta meydana gelmiştir. 6 nolu çatlak kolon-kiriş birleşim bölgesinden yaklaşık 200 mm uzaklıkta meydana gelmiştir. 7 nolu çatlak kolon-kiriş birleşim bölgesinden yaklaşık 250 mm uzaklıkta meydana gelmiştir.
+3	0.015/3.45	5,6,7	Bu yükleme adımında 3 tane yeni çatlak oluştu. 5 nolu çatlak kolon-kiriş birleşim bölgesinden yaklaşık 65 mm uzaklıkta meydana gelmiştir. 6 nolu çatlak kolon-kiriş birleşim bölgesinden yaklaşık 80 mm uzaklıkta meydana gelmiştir. 7 nolu çatlak kolon-kiriş birleşim bölgesinden yaklaşık 30 mm uzaklıkta meydana gelmiştir. 1 nolu çatlak kalınlığı 0.2 mm'dir.
-3	0.015/3.45		Bu yükleme adımında çatlaklarda dallanmalar gözlemlenmiştir. 2. nolu çatlak kalınlığı 0.7 mm olmuştur.
+4	0.020/4.60		Bu yükleme adımında yeni çatlak gözlemlenmemiştir.
-4	0.020/4.60		Bu yükleme adımında 1 nolu çatlak kalınlığı 1.4 mm olmuştur.
+5	0.025/5.75		Bu yükleme adımında 7 nolu çatlak kalınlığı 1.9 mm olmuştur.
-5	0.025/5.75		Bu yükleme adımında 2 nolu çatlak uzamış ve kalınlığı artmıştır. Kalınlığı 3.5 mm'dir.
+6	0.030/6.90		Bu yükleme adımında 7 nolu çatlak kalınlığı 3.5 mm'yi geçmiştir.
-6	0.030/6.90		Bu yükleme adımında 2 nolu çatlak kalınlığı 3.5 mm'yi geçmiştir.
+7	0.035/8.05		–
-7	0.035/8.05		–

AD1-ECC1-R1 deney elemanında oluşan ilk çatlaklar kolon kiriş birleşim bölgesinde, kiriş yüzeyinde gözlemlenmiştir. Bu yükleme adımına ait görüntüsü Şekil 4.55'te gösterilmiştir.



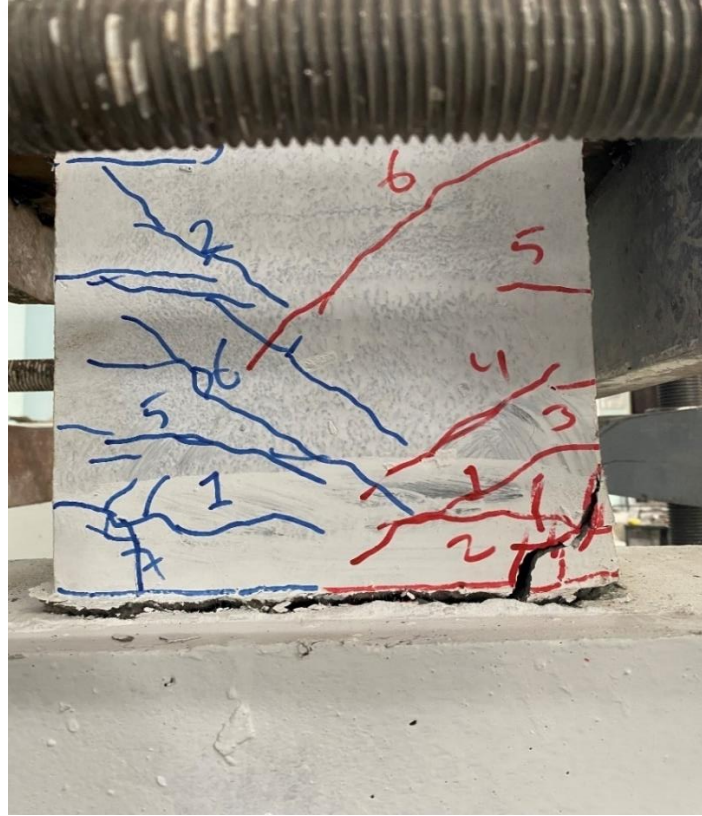
Şekil 4.55. AD1-ECC1-R1 deney elemanında oluşan ilk çatlaklar

AD1-ECC1-R1 deney elemanın son yükleme adımlarında kolon-kiriş birleşim bölgesinde ayrılma olmuştur. Deney 8.05 mm deplasman değerinde sonlandırılmıştır. Deney elemanın son görüntüsü Şekil 4.56'da gösterilmiştir. Deney sonunda numunede meydana gelen çatlak dağılımı Şekil 4.57'de gösterilmiştir.

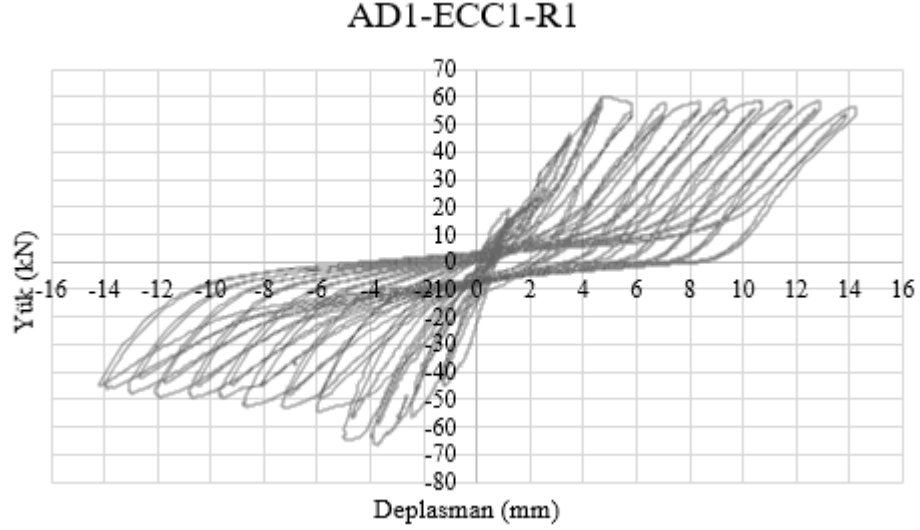
AD1-ECC1-R1 deney elemanına ait yük-deplasman grafiği Şekil 4.58'de verilmiştir.



Şekil 4.56. AD1-ECC1-R1 elemanın deney sonundaki görünümü

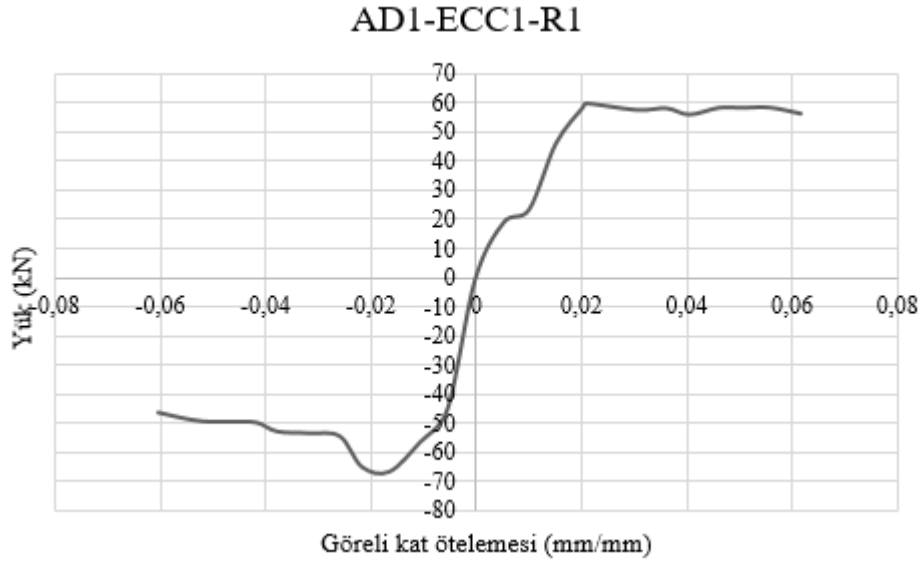


Şekil 4.57. AD1-ECC1-R1 elemanın deney sonundaki hasarları



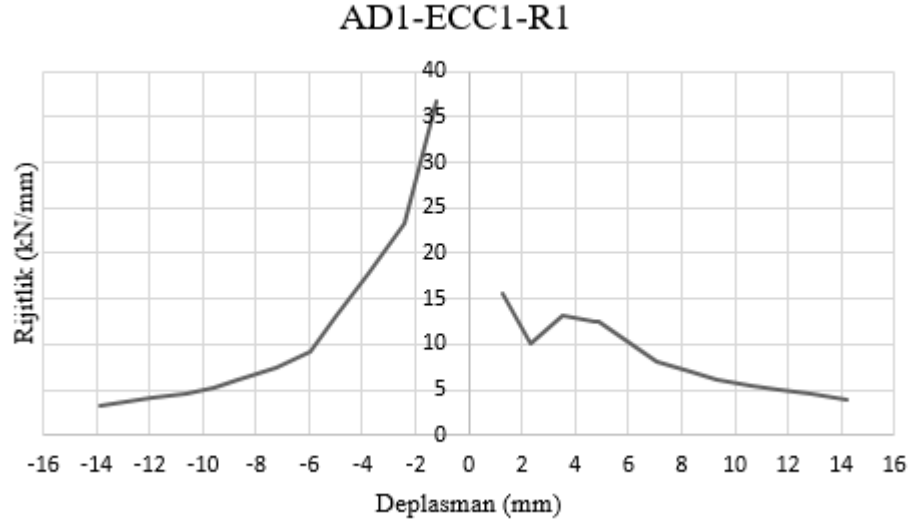
Şekil 4.58. AD1-ECC1-R1 elemanına ait yük-deplasman grafiği

Deney elemanında histeresis eğrisindeki her yüklemdeki maksimum yük noktalarının birleştirilmesi ile elde edilen zarf eğrisi Şekil 4.59’da verilmiştir.



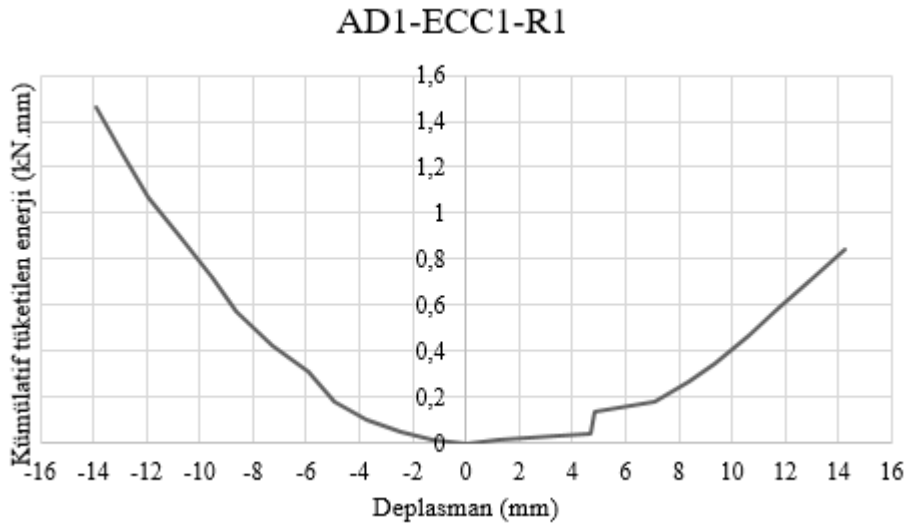
Şekil 4.59. AD1-ECC1-R1 elemanına ait zarf eğrisi

AD1-ECC1-R1 deney elemanının rijitlik grafiği çizilmiştir. Rijitlik grafiği her bir yüklemdeki yük değerinin, o noktadaki deplasman değerine bölünmesi ile elde edilmektedir. Rijitlik grafiği Şekil 4.60’ta verilmiştir.



Şekil 4.60. AD1-ECC1-R1 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 4.61’de gösterilmiştir.



Şekil 4.61. AD1-ECC1-R1 elemanına ait kümülatif tüketilen enerji grafiği

4.1.8. Sekizinci deney (AD2-ECC1-R1)

Bu deney elemanı lif donatılı harçlar ile üretilmiştir. Deney elemanında donatı mevcut olup a/d oranı 2 olacak şekilde yükleme yapılmıştır. Şekil 4.62’de deney

elemanın yüklemeye yapılmadan önceki görüntüsü verilmiştir. 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 yüklemeye noktasına iki kez gidilmiştir. Ancak Çizelge 4.8’de her bir çevrimde yüklemeye noktasına ilk ulaşıldığı andaki gözlemlenen durumlar gösterilmiştir.



Şekil 4.62. AD2-ECC1-R1 deney elemanının deney öncesi görüntüsü

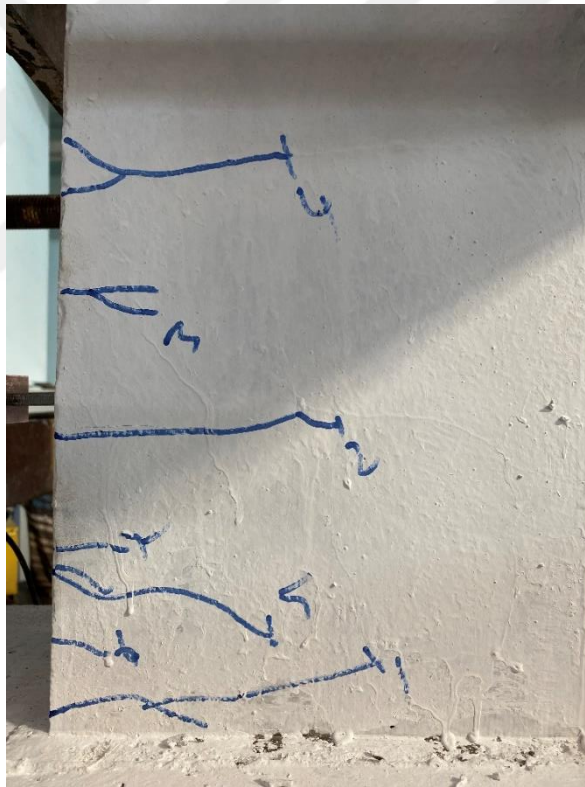
Çizelge 4.8. AD2-ECC1-R1 elemanında gözlemlenen durumlar

Çev. No	Drift/Deplasman %/(mm)	Çatlak No	Açıklama
+1	0.005/2.30	1,2,3,4,5, 6,7,	Bu yüklemeye adımında 7 tane çatlak gözlemlenmiştir. 1 nolu çatlak kolon-kiriş birleşim bölgesinden yaklaşık 30 mm uzaklıkta meydana gelmiştir. 2 nolu çatlak kolon-kiriş birleşim bölgesinden yaklaşık 200 mm uzaklıkta meydana gelmiştir. 3 nolu çatlak kolon-kiriş birleşim bölgesinden yaklaşık 250 mm uzaklıkta meydana gelmiştir. 4 nolu çatlak kolon-kiriş birleşim bölgesinden yaklaşık 300 mm uzaklıkta meydana gelmiştir. 5 nolu çatlak kolon-kiriş birleşim bölgesinden yaklaşık 100 mm

			uzaklıkta meydana gelmiştir. 6 nolu çatlak kolon-kiriş birleşim bölgesinden yaklaşık 50 mm uzaklıkta meydana gelmiştir. 7 nolu çatlak kolon-kiriş birleşim bölgesinden yaklaşık 125 mm uzaklıkta meydana gelmiştir.
-1	0.005/2.30	1,2,3,4	Bu yükleme adımında 4 tane yeni çatlak gözlemlenmiştir. 1 nolu çatlak kolon-kiriş birleşim bölgesinden yaklaşık 300 mm uzaklıkta meydana gelmiştir. 2 nolu çatlak kolon-kiriş birleşim bölgesinden yaklaşık 200 mm uzaklıkta meydana gelmiştir. 3 nolu çatlak kolon-kiriş birleşim bölgesinden yaklaşık 70 mm uzaklıkta meydana gelmiştir. 4 nolu çatlak kolon-kiriş birleşim bölgesinden yaklaşık 30 mm uzaklıkta meydana gelmiştir.
+2	0.010/4.60	8	Bu yükleme adımında kolon-kiriş birleşim bölgesinde yeni bir çatlak gözlemlenmiştir.
-2	0.010/4.60	5	Bu yükleme adımında yeni bir çatlak gözlemlenmiştir. 5 nolu çatlak kolon-kiriş birleşim bölgesinden yaklaşık 275 mm uzaklıkta meydana gelmiş ve kiriş orta bölgesine doğru 45 derece açıyla ilerlemiştir. Donatı akmıştır. Eski çatlaklarda uzamış ve kalınlıkları artmıştır.
+3	0.015/6.90		Bu yükleme adımında 1 numaralı çatlak kalınlığı 1.5 mm'dir. 8 nolu çatlak kalınlığı 1.5 mm'dir.
-3	0.015/6.90		Bu yükleme adımında 4 numaralı çatlak kalınlığı 0.7 mm olmuştur.
+4	0.020/9.20		Bu yükleme adımında 1 ile 8 nolu çatlakların kalınlıkları 2.4 mm olmuştur
-4	0.020/9.20		Bu yükleme adımında 4 nolu çatlak kalınlığı 2.1 mm olmuştur. Kolon-kiriş birleşim bölgesinde ayrılma gözlemlenmiştir.
+5	0.025/11.50		Bu yükleme adımında 1 ile 8 nolu çatlakların kalınlıkları 3.5 mm'yi geçmiştir. Donatı gözükmüştür.
-5	0.025/11.50		Bu yükleme adımında 4 nolu çatlak kalınlığı 3.5 mm'yi geçmiştir.
+6	0.030/13.80		Bu yükleme adımında çatlak kalınlığı artmaya devam etmiştir.
-6	0.030/13.80		Bu yükleme adımında çatlak kalınlığı artmaya devam etmiştir.
+7	0.035/16.10		Bu yükleme adımında çatlak kalınlığı artmıştır. Kabuk atmaları gözlemlenmiştir.
-7	0.035/16.10		Bu yükleme adımında çatlak genişliği artmaya devam etmiştir. Kabuk atmaları gözlemlenmiştir.
+8	0.04/18.40		Bu yükleme adımında donatı kopmuştur.
-8	0.04/18.40		Bu yükleme adımında farklı bir şey gözlemlenmemiştir.
+9	0.045/20.70		Bu yükleme adımında kabuk beton atmaya devam etmiştir. Temelde ayrılmalar artmıştır.

-9	0.045/20.70		Bu yükleme adımında farklı bir şey gözlemlenmemiştir.
+10	0.05/23.00		Bu yükleme adımında 2. donatı kopmuştur.
-10	0.05/23.00		Bu yükleme adımında hiç bir şey gözlemlenmemiştir
+11	0.055/25.30		Bu yükleme adımında kolon-kiriş birleşim bölgesi iyice ayrılmıştır.
-11	0.055/25.30		Bu yükleme adımında kolon-kiriş birleşim bölgesi iyice ayrılmıştır.
+12	0.06/27.60		Bu yükleme adımında hiç bir şey gözlemlenmemiştir.
-12	0.06/27.60		Bu yükleme adımında hiç bir şey gözlemlenmemiştir. Nihai yük ve deplasman değerine ulaşıldığı için deney sonlandırılmıştır.

AD2-ECC1-R1 deney elemanında oluşan ilk çatlaklar kolon kiriş birleşim bölgesinde, kiriş yüzeyinde gözlemlenmiştir. Bu yükleme adımına ait görüntüsü Şekil 4.63'te gösterilmiştir.



Şekil 4.63. AD2-ECC1-R1 deney elemanında oluşan ilk çatlaklar

AD2-ECC1-R1 deney elemanının +10. çevriminde çekme donatısı kopmuş ve kirişin çekme ve basınç bölgesinde kabuk atmaları gözlemlenmiştir. Elemanın bu yüklemedeki görüntüsü Şekil 4.64'te gösterilmiştir.



Şekil 4.64. AD2-ECC1-R1 deney elemanında basınç bölgesindeki donatı burkulması

AD2-ECC1-R1 deney elemanın son yükleme adımlarında çatlaklar iyice yayılmış ve deney 27.60 mm deplasman değerinde sonlandırılmıştır. Deney elemanın son görüntüsü Şekil 4.65'te gösterilmiştir. Deney sonunda numunede meydana gelen çatlak dağılımı Şekil 4.66'da gösterilmiştir.

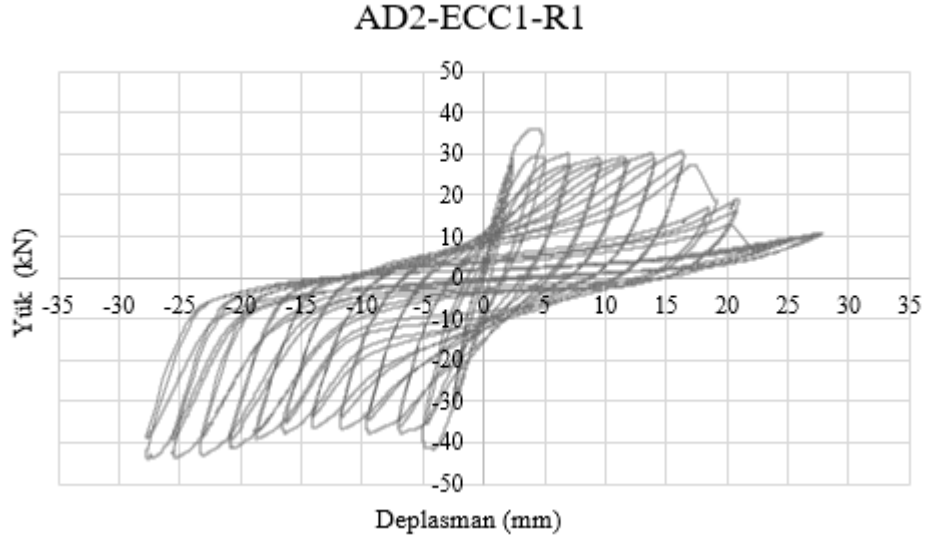
AD2-ECC1-R1 deney elemanına ait yük-deplasman grafiği Şekil 4.67'de verilmiştir.



Şekil 4.65. AD2-ECC1-R1 elemanın deney sonundaki görünümü

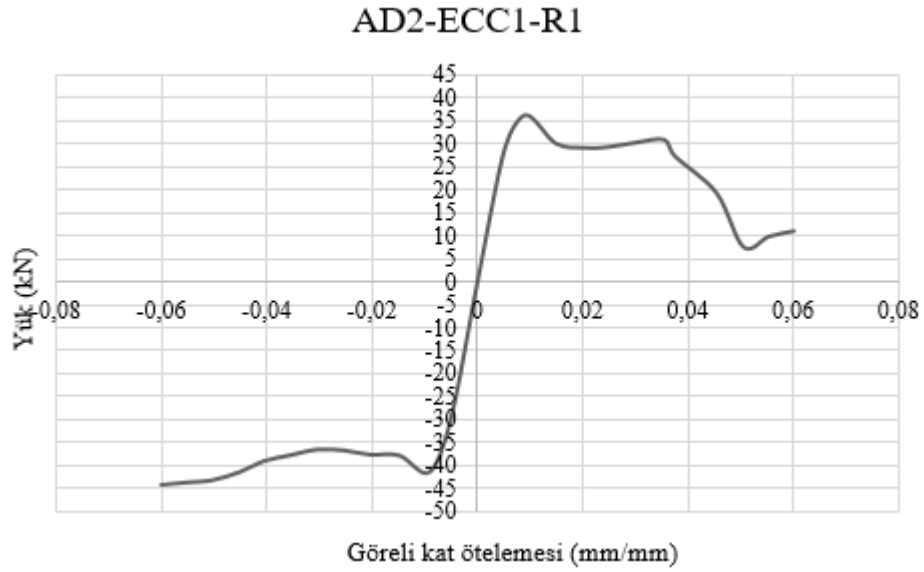


Şekil 4.66. AD2-ECC1-R1 elemanın deney sonundaki hasarları



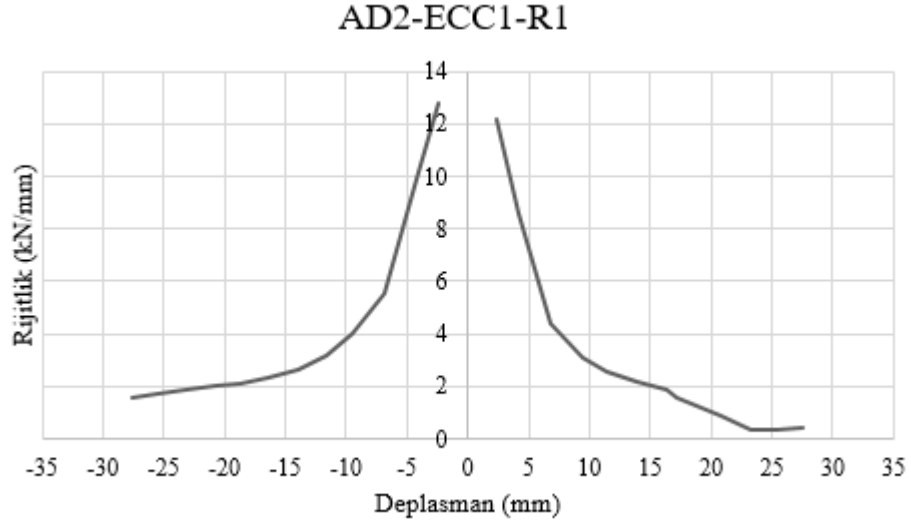
Şekil 4.67. AD2-ECC1-R1 elemanına ait yük-deplasman grafiği

Deney elemanında histeresis eğrisindeki her yüklemdeki maksimum yük noktalarının birleştirilmesi ile elde edilen zarf eğrisi Şekil 4.68’de verilmiştir.



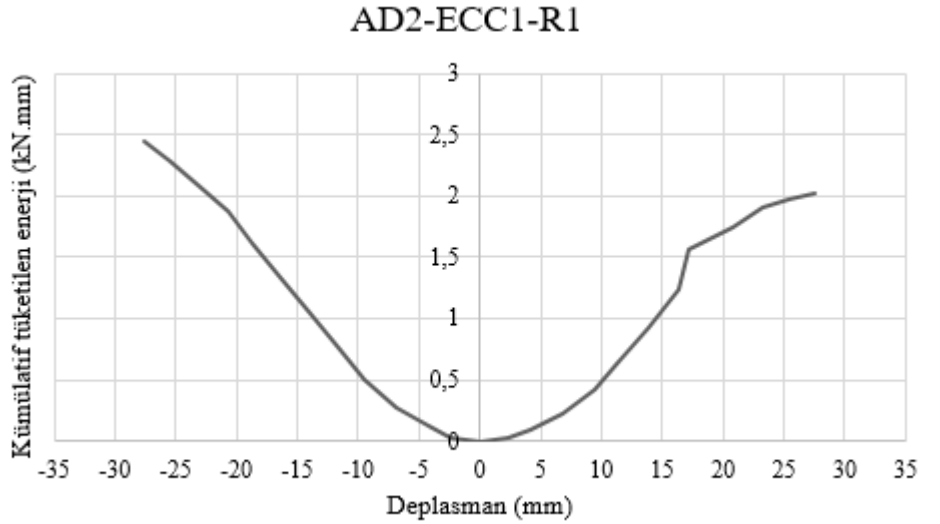
Şekil 4.68. AD2-ECC1-R1 elemanına ait zarf eğrisi

AD2-ECC1-R1 deney elemanının rijitlik grafiği çizilmiştir. Rijitlik grafiği her bir yüklemdeki yük değerinin, o noktadaki deplasman değerine bölünmesi ile elde edilmektedir. Rijitlik grafiği Şekil 4.69’da verilmiştir.



Şekil 4.69. AD2-ECC1-R1 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 4.70’te gösterilmiştir.



Şekil 4.70. AD2-ECC1-R1 elemanına ait kümülatif tüketilen enerji grafiği

4.1.9. Dokuzuncu deney (AD3-ECC1-R1)

Bu deney elemanı lif donatılı harçlar ile üretilmiştir. Deney elemanında donatı mevcut olup a/d oranı 3 olacak şekilde yükleme yapılmıştır. Şekil 4.71’de deney elemanının yükleme yapılmadan önceki görüntüsü verilmiştir. 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.



şekil 4.71. AD3-ECC1-R1 deney elemanının deney öncesi görüntüsü

Çizelge 4.9. AD3-ECC1-R1 elemanında gözlemlenen durumlar

Çev. No	Drift/Deplasman %/(mm)	Çatlak No	Açıklama
+1	0.005/2.30	1,2,3,4,	Bu yükleme adımında 4 tane çatlak gözlemlenmiştir. 1 nolu çatlak kolon-kiriş birleşim bölgesinden yaklaşık 10 mm uzaklıkta meydana gelmiş ve 45 derece açı yaparak ilerlemiştir. 2 nolu çatlak kolon-kiriş birleşim bölgesinden yaklaşık 200 mm uzaklıkta meydana gelmiştir. 3 nolu çatlak kolon-kiriş birleşim bölgesinden yaklaşık 350 mm uzaklıkta meydana gelmiştir. 4 nolu çatlak temelde gözlemlenmiştir.
-1	0.005/2.30	1,2,3,4	Bu yükleme adımında 4 tane yeni çatlak gözlemlenmiştir. 1. Nolu çatlak temelde gözlemlenmiştir. 2 nolu çatlak kolon-kiriş

			birleşim bölgesinden yaklaşık 120 mm uzaklıkta meydana gelmiştir. 3 nolu çatlak kolon-kiriş birleşim bölgesinden yaklaşık 350 mm uzaklıkta meydana gelmiştir. 4 nolu çatlak kolon-kiriş birleşim bölgesinden yaklaşık 500 mm uzaklıkta meydana gelmiştir.
+2	0.010/4.60		Bu yükleme adımında donatı aktı ve 4 nolu çatlak genişliği artmış 0,6 mm olmuştur.
-2	0.010/4.60	5,6	Bu yükleme adımında 2 tane yeni çatlak gözlemlenmiştir. 5 nolu çatlak kolon-kiriş birleşim bölgesinden yaklaşık 370 mm uzaklıkta meydana gelmiş ve kiriş ortasına doğru 45 derece açı yaparak ilerlemiştir. 6 nolu çatlak kolon-kiriş birleşim bölgesinden yaklaşık 350 mm uzaklıkta meydana gelmiştir. 1 nolu çatlak kalınlığı artmıştır.
+3	0.015/6.90		Bu yükleme adımında 1 numaralı çatlak kalınlığı artmıştır. 4 nolu çatlak kalınlığı 1.4 mm olmuştur.
-3	0.015/6.90	7	Bu yükleme adımında yeni bir çatlak gözlemlenmiştir. 7 nolu çatlak kolon-kiriş birleşim bölgesinden yaklaşık 80 mm uzaklıkta meydana gelmiştir. 5 nolu çatlak kalınlığı artmıştır. 1 nolu çatlak kalınlığı 0.7 mm'dir.
+4	0.020/9.20		Bu yükleme adımında 4 nolu çatlak kalınlığı artmıştır. kalınlığı 1.8 mm olmuştur.
-4	0.020/9.20		Bu yükleme adımında 1 nolu çatlak kalınlığı 1.3 mm olmuştur.
+5	0.025/11.50		Bu yükleme adımında 4 nolu çatlak kalınlığı 3.5 mm'yi geçmiştir.
-5	0.025/11.50		Bu yükleme adımında 1 nolu çatlak kalınlığı 3.0 mm'yi geçmiştir.
+6	0.030/13.80		Bu yükleme adımında temelde genişleme gözlemlenmiştir.
-6	0.030/13.80		Bu yükleme adımında 1 nolu çatlak kalınlığı 3.5 mm'yi geçmiştir.
+7	0.035/16.10		Bu yükleme adımında yeni bir şey gözlemlenmemiştir.
-7	0.035/16.10		Bu yükleme adımında yeni bir şey gözlemlenmemiştir.
+8	0.04/18.40		Bu yükleme adımında yeni bir şey gözlemlenmemiştir.
-8	0.04/18.40		Bu yükleme adımında yeni bir şey gözlemlenmemiştir.
+9	0.045/20.70		Bu yükleme adımında yeni bir şey gözlemlenmemiştir.
-9	0.045/20.70		Bu yükleme adımında yeni bir şey gözlemlenmemiştir.
+10	0.05/23.00		Bu yükleme adımında yeni bir şey gözlemlenmemiştir.
-10	0.05/23.00		Bu yükleme adımında yeni bir şey gözlemlenmemiştir.
+11	0.055/25.30		Bu yükleme adımında yeni bir şey gözlemlenmemiştir.
-11	0.055/25.30		Bu yükleme adımında yeni bir şey gözlemlenmemiştir.

+12	0.06/41.40		Bu yükleme adımında yeni bir şey gözlemlenmemiştir.
-12	0.06/41.40		Bu yükleme adımında nihai yük ve deplasman değerine ulaşıldığı için deney sonlandırılmıştır.

AD3-ECC1-R1 deney elemanında oluşan ilk çatlaklar kolon kiriş birleşim bölgesinde, kiriş yüzeyinde gözlemlenmiştir. Bu yükleme adımına ait görüntüsü Şekil 4.72’de gösterilmiştir.



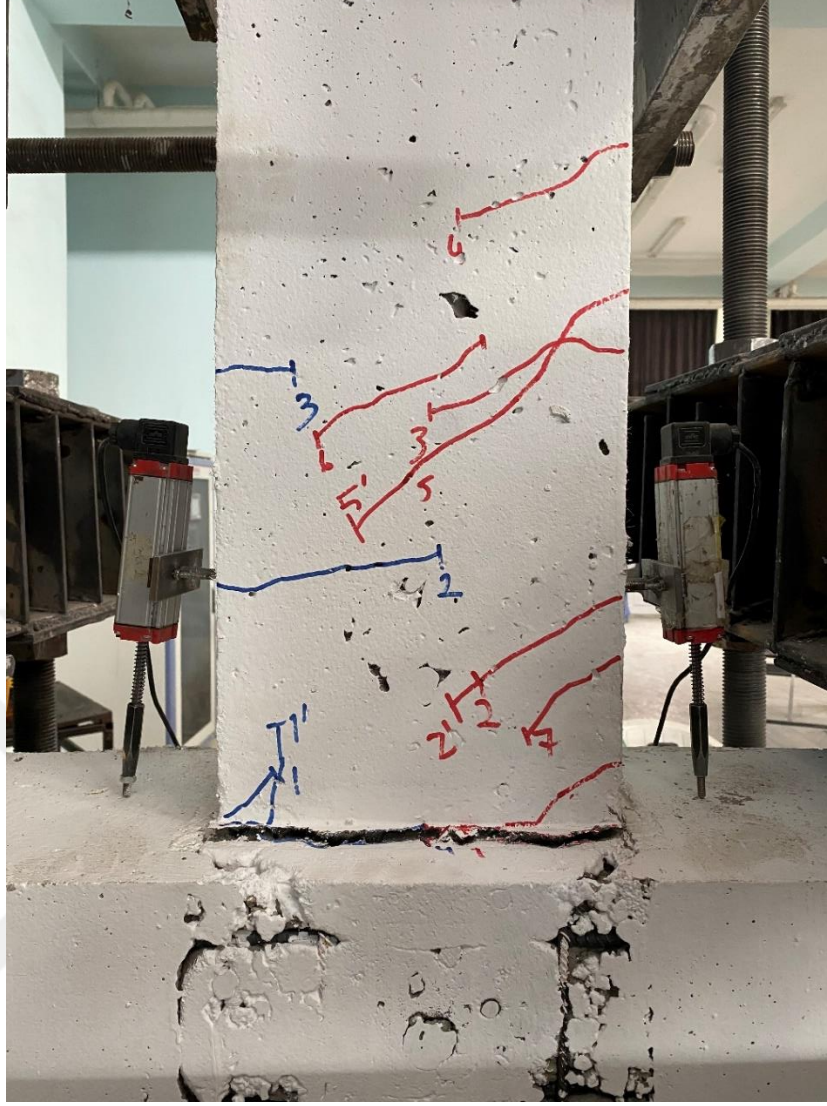
Şekil 4.72. AD3-ECC1-R1 deney elemanında oluşan ilk çatlaklar

AD3-ECC1-R1 deney elemanının son yükleme adımlarında çatlaklar iyice yayılmış ve deney 41.40 mm deplasman değerinde sonlandırılmıştır. Deney elemanının son görüntüsü Şekil 4.73’te gösterilmiştir. Deney sonunda numunede meydana gelen çatlak dağılımı Şekil 4.74’te gösterilmiştir.

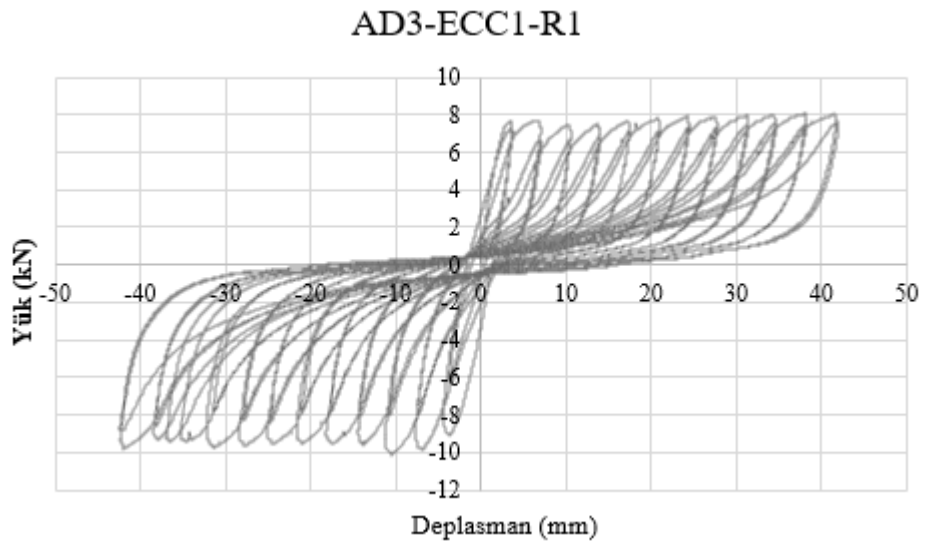
AD3-ECC1-R1 deney elemanına ait yük-deplasman grafiği Şekil 4.75’te verilmiştir.



Şekil 4.73. AD3-ECC1-R1 elemanın deney sonundaki görünümü

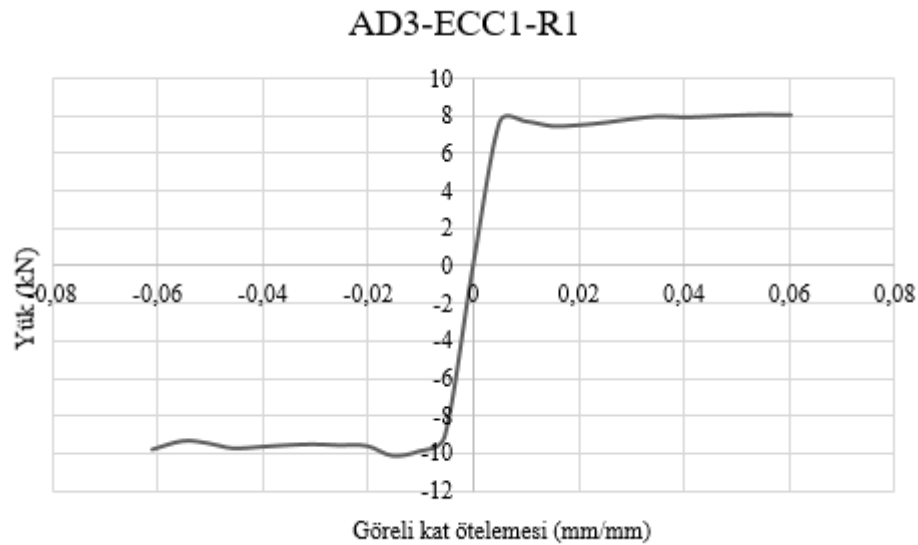


Şekil 4.74. AD3-ECC1-R1 elemanın deney sonundaki hasarları



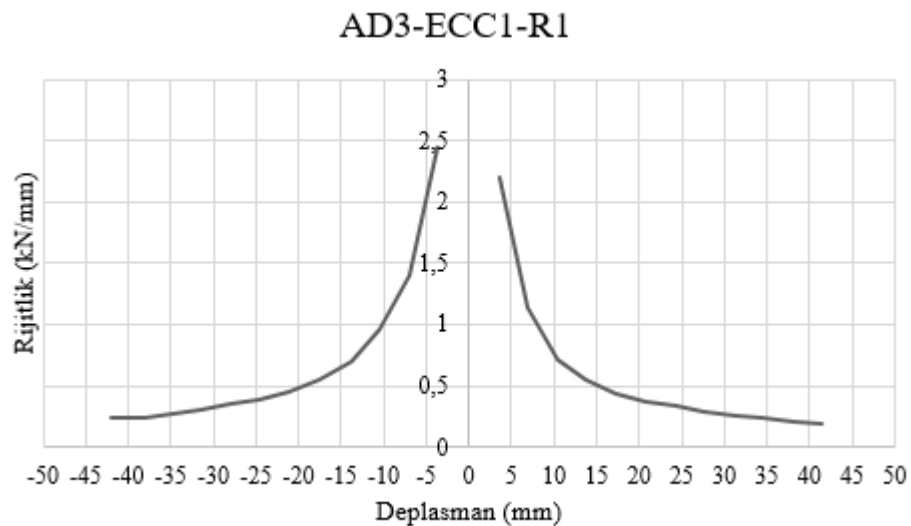
Şekil 4.75. AD3-ECC1-R1 elemanına ait yük-deplasman grafiği

Deney elemanında histeresis eğrisindeki her yüklemdeki maksimum yük noktalarının birleştirilmesi ile elde edilen zarf eğrisi Şekil 4.76'da verilmiştir.



Şekil 4.76. AD3-ECC1-R1 elemanına ait zarf eğrisi

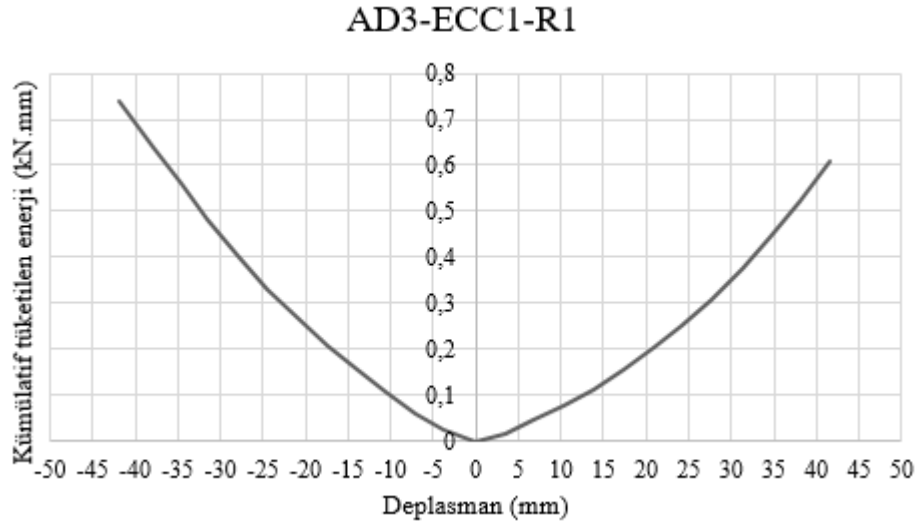
AD3-ECC1-R1 deney elemanının rijitlik grafiği çizilmiştir. Rijitlik grafiği her bir yüklemdeki yük değerinin, o noktadaki deplasman değerine bölünmesi ile elde edilmektedir. Rijitlik grafiği Şekil 4.77'de verilmiştir.



Şekil 4.77. AD3-ECC1-R1 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 4.78’de gösterilmiştir.



Şekil 4.78. AD3-ECC1-R1 elemanına ait kümülatif tüketilen enerji grafiği

4.2. DeneY Sonuçların 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 yapısal davranışının incelendiği karşılaştırma gruplarında a/d oranının değişiminin davranışa etkisi, lif donatılı harçların davranışa etkisi ve donatının lif donatılı harçlar üzerindeki etkisi incelenmiştir. DeneY numuneleri karşılaştırılırken kullanılan grafikler ve değerler şunlardır:

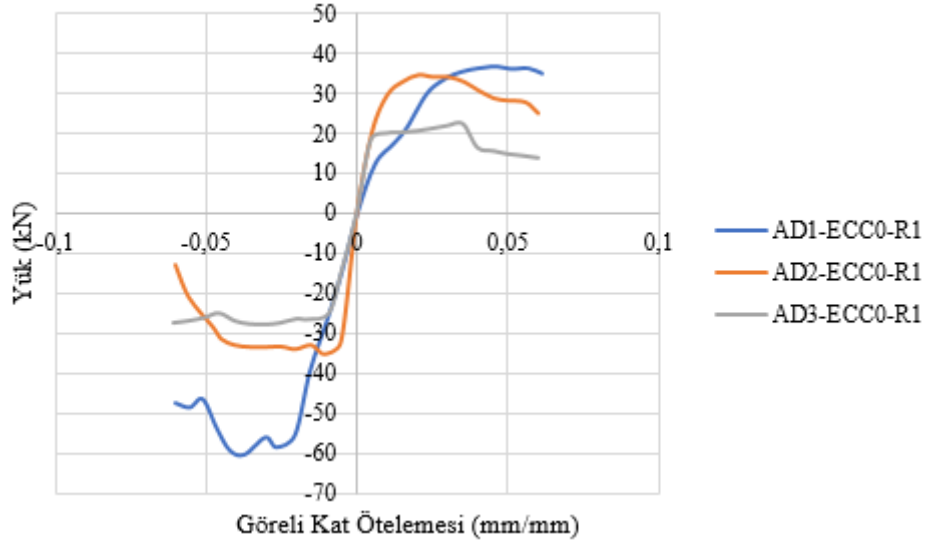
- Zarf eğrileri,
- Rijitlik grafikleri,
- Kümülatif tüketilen enerji grafikleri,
- Süneklik değerleri.

Çizelge 4.10. Deney elemanlarının karşılaştırma grupları

Grup	Karşılaştırma metodu	Kullanılan deney elemanı
1	a/d oranının değişimi	A) AD1-ECC0-R1 B) AD2-ECC0-R1 C) AD3-ECC0-R1
2		A) AD1-ECC1-R0 B) AD2-ECC1-R0 C) AD3-ECC1-R0
3		A) AD1-ECC1-R1 B) AD2-ECC1-R1 C) AD3-ECC1-R1
4	Lif donatılı harçların etkisi	A)AD1-ECC0-R1 B)AD1-ECC1-R1
5		A)AD2-ECC0-R1 B)AD2-ECC1-R1
6		A)AD3-ECC0-R1 B)AD3-ECC1-R1
7	Donatının lif donatılı harçları üzerindeki etkisi	A)AD1-ECC1-R0 B)AD1-ECC1-R1
8		A)AD2-ECC1-R0 B)AD2-ECC1-R1
9		A)AD3-ECC1-R0 B)AD3-ECC1-R1

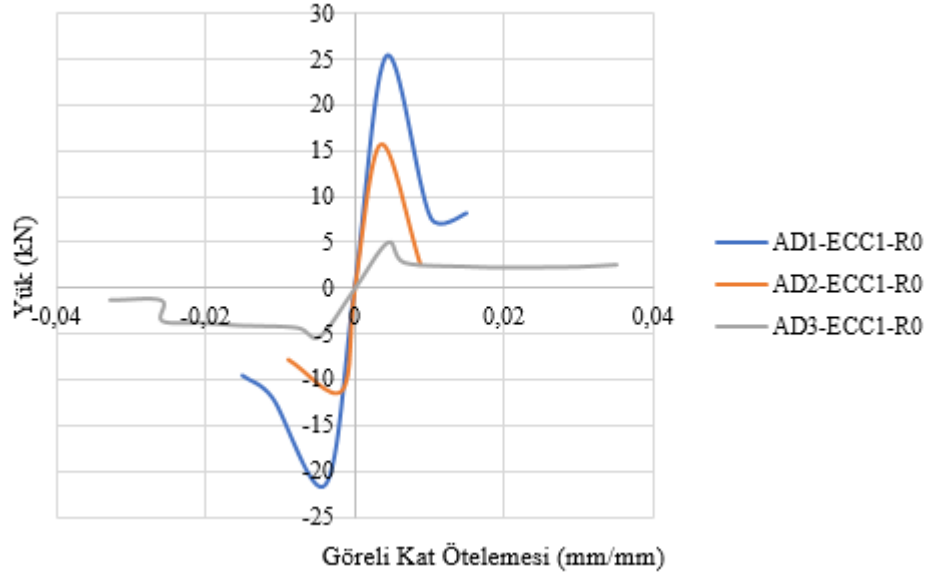
4.2.1. a/d oranı değişimi

Grup 1'e ait referans elemanların zarf eğrilerin a/d oranı değişimi incelenmiş ve Şekil 4.79'da verilmiştir. AD1-ECC0-R1 deney elemanının max yükü ileri çevrimlerde 36.55 kN, geri çevrimlerde 60.67 kN olarak ölçülmüştür. AD2-ECC0-R1 deney elemanının max yükü ileri çevrimlerde 34.47 kN, geri çevrimlerde 35.38 kN olarak ölçülmüştür. AD3-ECC0-R1 deney elemanının max yükü ileri çevrimlerde 22.45 kN, geri çevrimlerde 28.01 kN olarak ölçülmüştür. İleri çevrimlerde AD1-ECC0-R1 numunesinin max yükü AD2-ECC0-R1 ve AD3-ECC0-R1 numunelerine göre sırayla %5.67 ve %38.57 daha yüksektir. Geri çevrimlerde AD1-ECC0-R1 numunesinin max yükü AD2-ECC0-R1 ve AD3-ECC0-R1 numunelerine göre sırayla %41.68 ve %53.83 daha yüksektir. Bu grupta a/d oranı azaldıkça yük taşıma kapasitesi artmaktadır.



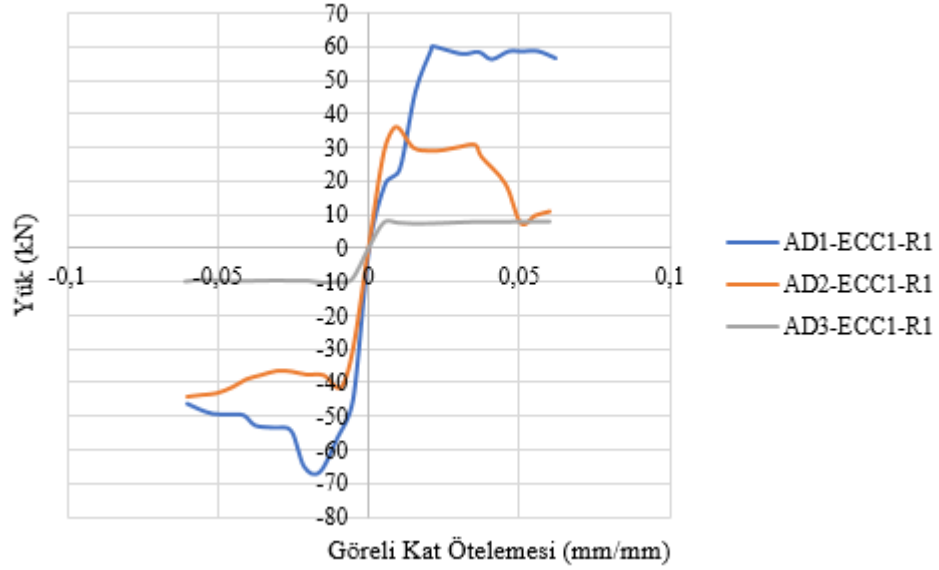
Şekil 4.79. Grup 1'e ait zarf eğrisi

Grup 2'ye ait lif donatılı harçlar, donatısız elemanların zarf eğrileri ile a/d oranı değişimi incelenmiş ve Şekil 4.80'de verilmiştir. AD1-ECC1-R0 deney elemanının max yükü ileri çevrimlerde 25.30 kN, geri çevrimlerde 21.49 kN olarak ölçülmüştür. AD2-ECC1-R0 deney elemanının max yükü ileri çevrimlerde 15.70 kN, geri çevrimlerde 11.17 kN olarak ölçülmüştür. AD3-ECC1-R0 deney elemanının max yükü ileri çevrimlerde 5.07 kN, geri çevrimlerde 5.25 kN olarak ölçülmüştür. İleri çevrimlerde AD1-ECC1-R0 numunesinin max yükü AD2-ECC1-R0 ve AD3-ECC1-R0 numunelerine göre sırayla %37.939 ve %79.96 daha yüksektir. Geri çevrimlerde AD1-ECC1-R0 numunesinin max yükü AD2-ECC1-R0 ve AD3-ECC1-R0 numunelerine göre sırayla %48.017 ve %75.57 daha yüksektir. Bu grupta a/d oranı azaldıkça yük taşıma kapasitesi artmaktadır



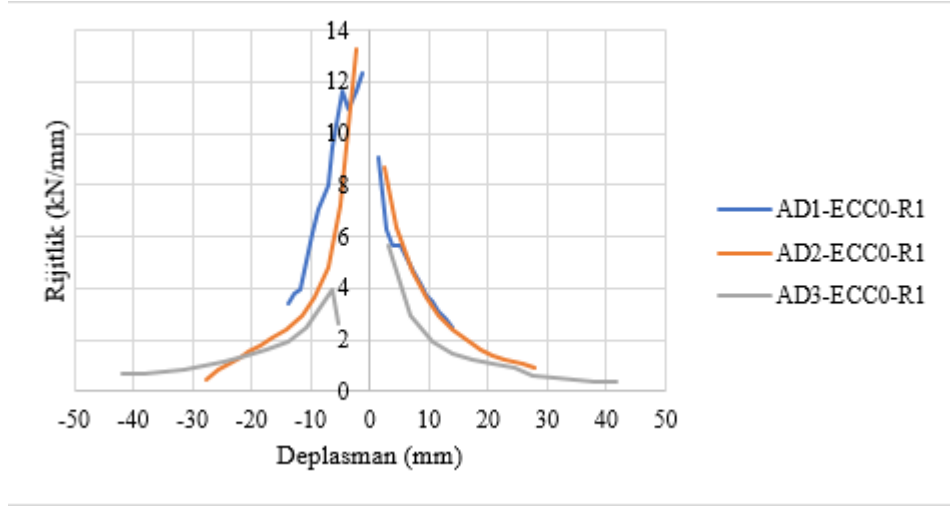
Şekil 4.80. Grup 2'ye ait zarf eğrisi

Grup 3'e ait ECC betonlu, donatılı elemanların zarf eğrileri ile a/d oranı değişimi incelenmiş ve Şekil 4.81'de verilmiştir. AD1-ECC1-R1 deney elemanının max yükü ileri çevrimlerde 60.16 kN, geri çevrimlerde 66.54 kN olarak ölçülmüştür. AD2-ECC1-R1 deney elemanının max yükü ileri çevrimlerde 36.18 kN, geri çevrimlerde 44.29 kN olarak ölçülmüştür. AD3-ECC1-R1 deney elemanının max yükü ileri çevrimlerde 8.06 kN, geri çevrimlerde 10.14 kN olarak ölçülmüştür. İleri çevrimlerde AD1-ECC1-R1 numunesinin max yükü AD2-ECC1-R1 ve AD3-ECC1-R1 numunelerine göre sırayla %39.86 ve %86.60 daha yüksektir. Geri çevrimlerde AD1-ECC1-R1 numunesinin max yükü AD2-ECC1-R1 ve AD3-ECC1-R1 numunelerine göre sırayla %33.43 ve %84.76 daha yüksektir. Bu grupta a/d oranı azaldıkça yük taşıma kapasitesi artmaktadır.



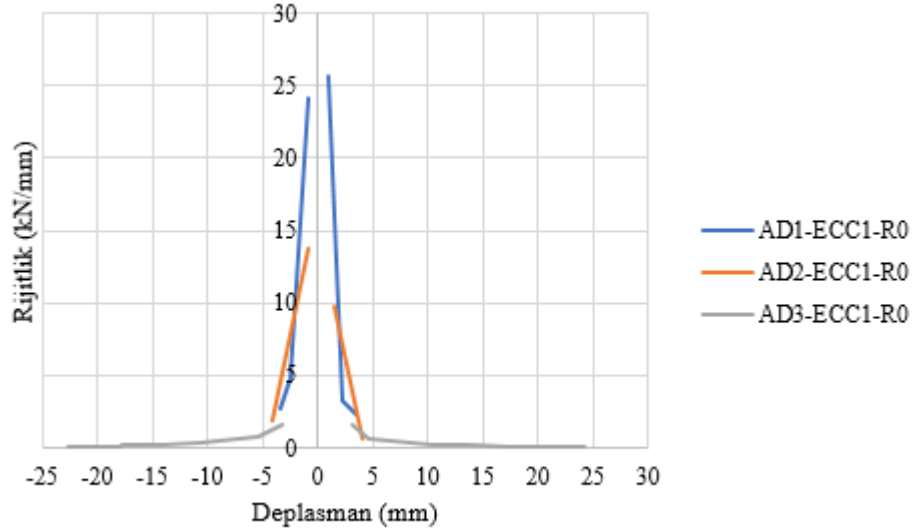
Şekil 4.81. Grup 3'e ait zarf eğrisi

Grup 1'e ait referans elemanlarda rijitlik grafiklerinde a/d oranı değişimi incelenmiş ve Şekil 4.82'de verilmiştir. AD1-ECC0-R1 deney elemanının başlangıç rijitliği ileri çevrimlerde 9.06 kN/mm, geri çevrimlerde 12.36 kN/mm olarak ölçülmüştür. AD2-ECC0-R1 deney elemanının başlangıç rijitliği ileri çevrimlerde 8.71 kN/mm, geri çevrimlerde 13.3 kN/mm olarak ölçülmüştür. AD3-ECC0-R1 deney elemanının başlangıç rijitliği ileri çevrimlerde 5.63 kN/mm, geri çevrimlerde 2.63 kN/mm olarak ölçülmüştür. İleri çevrimlerde AD1-ECC0-R1 numunesinin başlangıç rijitliği AD2-ECC0-R1 ve AD3-ECC0-R1 numunelerine göre sırayla %3.86 ve %37.86 daha yüksektir. Geri çevrimlerde AD1-ECC0-R1 numunesinin başlangıç rijitliği AD3-ECC0-R1 numunesine göre %78.72 daha yüksektir. Ancak geri çevrimlerde AD1-ECC0-R1 numunesinin başlangıç rijitliği AD2-ECC0-R1 numunesine göre %7.07 daha düşüktür. Bu grupta a/d oranı azaldıkça eğilme davranışı azaldığından a/d oranının azalmasına bağlı olarak başlangıç rijitliği artmaktadır.



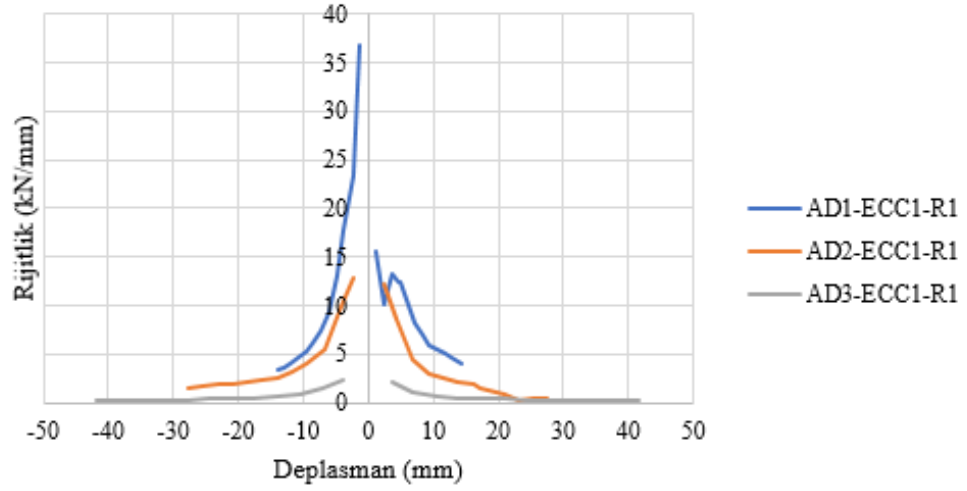
Şekil 4.82. Grup 1'e ait rijitlik grafiği

Grup 2'ye ait lif donatılı harçlar, donatısız elemanların rijitlik grafiklerinde a/d oranı değişimi incelenmiş ve Şekil 4.83'te verilmiştir. AD1-ECC1-R0 deney elemanının başlangıç rijitliği ileri çevrimlerde 25.70 kN/mm, geri çevrimlerde 24.15 kN/mm olarak ölçülmüştür. AD2-ECC1-R0 deney elemanının başlangıç rijitliği ileri çevrimlerde 9.74 kN/mm, geri çevrimlerde 13.78 kN/mm olarak ölçülmüştür. AD3-ECC1-R0 deney elemanının başlangıç rijitliği ileri çevrimlerde 1.64 kN/mm, geri çevrimlerde 1.61 kN/mm olarak ölçülmüştür. İleri çevrimlerde AD1-ECC1-R0 numunesinin başlangıç rijitliği AD2-ECC1-R0 ve AD3-ECC1-R0 numunelerine göre sırayla %62.10 ve %93.62 daha yüksektir. Geri çevrimlerde AD1-ECC1-R0 numunesinin başlangıç rijitliği AD2-ECC1-R0 ve AD3-ECC1-R0 numunelerine göre sırayla %42.94 ve %93.33 daha yüksektir. Bu grupta a/d oranı azaldıkça eğilme davranışı azaldığından a/d oranının azalmasına bağlı olarak başlangıç rijitliği artmaktadır.



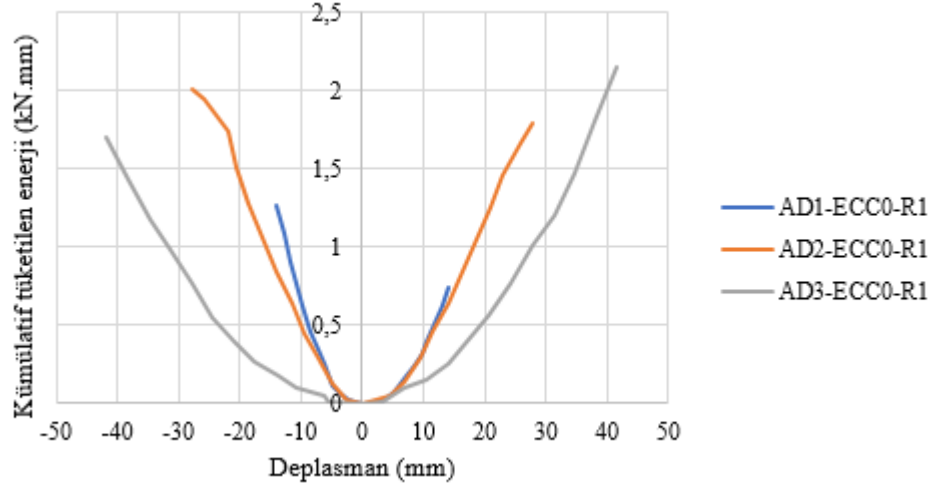
Şekil 4.83. Grup 2'ye ait rijitlik grafiği

Grup 3'e ait lif donatılı harçlar ile üretilmiş, donatılı elemanların rijitlik grafiklerinde a/d oranı değişimi incelenmiş ve Şekil 4.84'te verilmiştir. AD1-ECC1-R1 deney elemanının başlangıç rijitliği ileri çevrimlerde 15.55 kN/mm, geri çevrimlerde 36.82 kN/mm olarak ölçülmüştür. AD2-ECC1-R1 deney elemanının başlangıç rijitliği ileri çevrimlerde 12.14 kN/mm, geri çevrimlerde 12.81 kN/mm olarak ölçülmüştür. AD3-ECC1-R1 deney elemanının başlangıç rijitliği ileri çevrimlerde 2.20 kN/mm, geri çevrimlerde 2.45 kN/mm olarak ölçülmüştür. İleri çevrimlerde AD1-ECC1-R1 numunesinin başlangıç rijitliği AD2-ECC1-R1 ve AD3-ECC1-R1 numunelerine göre sırayla %21.93 ve %85.85 daha yüksektir. Geri çevrimlerde AD1-ECC1-R1 numunesinin başlangıç rijitliği AD2-ECC1-R1 ve AD3-ECC1-R1 numunelerine göre sırayla %65.20 ve %93.35 daha yüksektir. Bu grupta a/d oranı azaldıkça eğilme davranışı azaldığından a/d oranının azalmasına bağlı olarak başlangıç rijitliği artmaktadır.



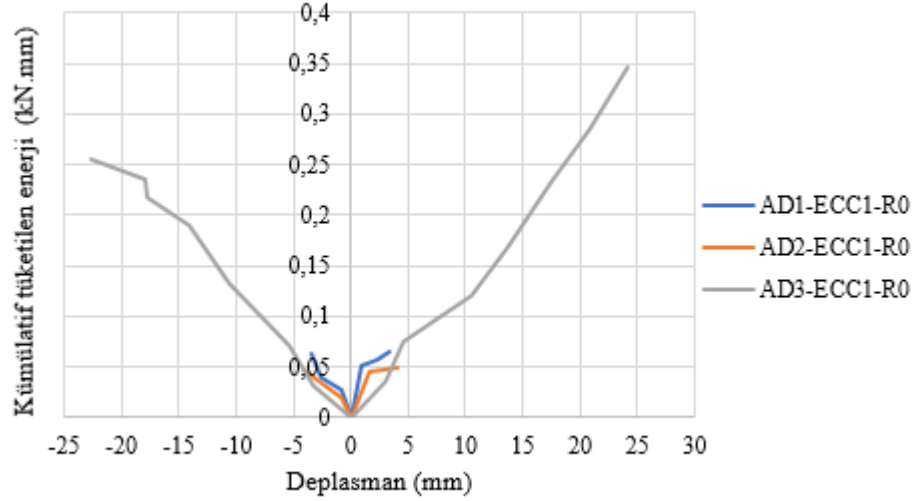
Şekil 4.84. Grup 3'e ait rijitlik grafiği

Şekil 4.85'te grup 1'e ait kümülatif tüketilen enerji grafiği görülmektedir. AD1-ECC0-R1 deney elemanının max kümülatif tüketilen enerji ileri çevrimlerde 0.74 kN.mm, geri çevrimlerde 1.26 kN.mm olarak ölçülmüştür. AD2-ECC0-R1 deney elemanının max kümülatif tüketilen enerji ileri çevrimlerde 1.79 kN.mm, geri çevrimlerde 2.01 kN.mm olarak ölçülmüştür. AD3-ECC0-R1 deney elemanının max kümülatif tüketilen enerji ileri çevrimlerde 2.15 kN.mm, geri çevrimlerde 1.69 kN.mm olarak ölçülmüştür. İleri çevrimlerde AD1-ECC0-R1 numunesinin max kümülatif tüketilen enerji AD2-ECC0-R1 ve AD3-ECC0-R1 numunelerine göre sırayla %58.659 ve %65.58 daha düşüktür. Geri çevrimlerde AD1-ECC0-R1 numunesinin max kümülatif tüketilen enerji AD2-ECC0-R1 ve AD3-ECC0-R1 numunelerine göre sırayla %37.31 ve %25.44 daha düşüktür. Grafikler incelendiğinde a/d oranındaki artış genel olarak tüketilen enerji miktarını arttırmıştır. Tüketilen enerji miktarının artması soğurulan enerjinin miktarının artması demek olduğundan a/d oranının önemi anlaşılmaktadır.



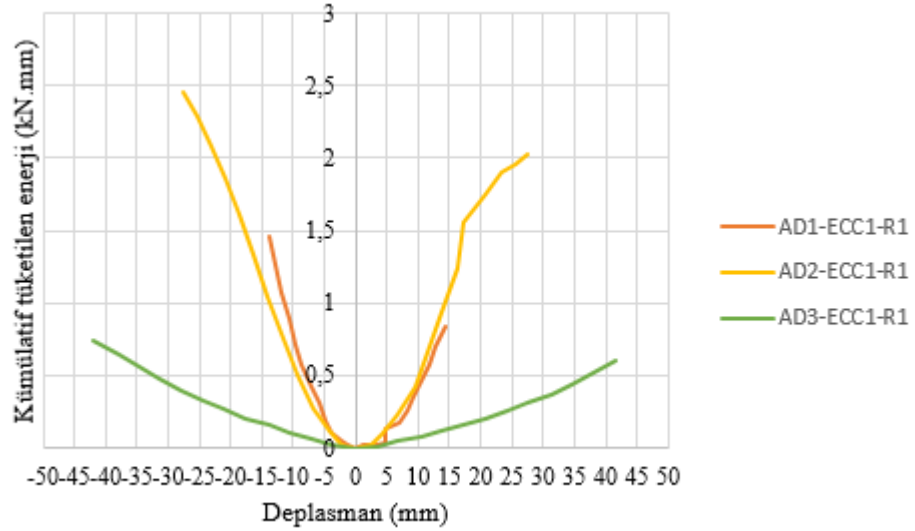
Şekil 4.85. Grup 1'e ait kümülatif tüketilen enerji grafiği

Şekil 4.86'da Grup 2'e ait kümülatif tüketilen enerji grafiği görülmektedir. AD1-ECC1-R0 deney elemanının max kümülatif tüketilen enerji ileri çevrimlerde 0.063 kN.mm, geri çevrimlerde 0.062 kN.mm olarak ölçülmüştür. AD2-ECC1-R0 deney elemanının max kümülatif tüketilen enerji ileri çevrimlerde 0.049 kN.mm, geri çevrimlerde 0.047 kN.mm olarak ölçülmüştür. AD3-ECC1-R0 deney elemanının max kümülatif tüketilen enerji ileri çevrimlerde 0.34 kN.mm, geri çevrimlerde 0.25 kN.mm olarak ölçülmüştür. İleri çevrimlerde AD1-ECC1-R0 numunesinin max kümülatif tüketilen enerji AD2-ECC1-R0 numunesine göre %22.22 daha yüksektir. Ancak ileri çevrimlerde AD1-ECC1-R0 numunesinin max kümülatif tüketilen enerji AD3-ECC1-R0 numunesine göre %81.47 daha düşüktür. Geri çevrimlerde AD1-ECC1-R0 numunesinin max kümülatif tüketilen enerji AD2-ECC1-R0 numunesine göre %24.19 daha yüksektir. Ancak geri çevrimlerde AD1-ECC1-R0 numunesinin max kümülatif tüketilen enerji AD3-ECC1-R0 numunesine göre %75.2 daha düşüktür. Grafikler incelendiğinde a/d oranındaki artış genel olarak tüketilen enerji miktarını arttırmıştır. Tüketilen enerji miktarının artması soğurulan enerjinin miktarının artması demek olduğundan a/d oranın önemi anlaşılmaktadır.



Şekil 4.86. Grup 2'ye ait kümülatif tüketilen enerji grafiği

Şekil 4.87'de Grup 3'e ait kümülatif tüketilen enerji grafiği görülmektedir. AD1-ECC1-R1 deney elemanının max kümülatif tüketilen enerji ileri çevrimlerde 0.84 kN.mm, geri çevrimlerde 1.45 kN.mm olarak ölçülmüştür. AD2-ECC1-R1 deney elemanının max kümülatif tüketilen enerji ileri çevrimlerde 2.021 kN.mm, geri çevrimlerde 2.45 kN.mm olarak ölçülmüştür. AD3-ECC1-R1 deney elemanının max kümülatif tüketilen enerji ileri çevrimlerde 0.60 kN.mm, geri çevrimlerde 0.73 kN.mm olarak ölçülmüştür. İleri çevrimlerde AD1-ECC1-R1 numunesinin max kümülatif tüketilen enerji AD3-ECC1-R1 numunesine göre %28.57 daha yüksektir. Ancak geri çevrimlerde AD1-ECC1-R1 numunesinin max kümülatif tüketilen enerji AD2-ECC1-R1 numunesine göre %58.43 daha düşüktür. Geri çevrimlerde AD1-ECC1-R1 numunesinin max kümülatif tüketilen enerji AD2-ECC1-R1 numunesine göre %40.81 daha düşüktür. Ancak geri çevrimlerde AD1-ECC1-R1 numunesinin max kümülatif tüketilen enerji AD3-ECC1-R1 numunesine göre %49.65 daha yüksektir. Grafikler incelendiğinde a/d oranındaki artış genel olarak tüketilen enerji miktarını arttırmıştır. Tüketilen enerji miktarının artması soğurulan enerjinin miktarının artması demek olduğundan a/d oranının önemi anlaşılmaktadır.



Şekil 4.87. Grup 3'e ait kümülatif tüketilen enerji grafiği

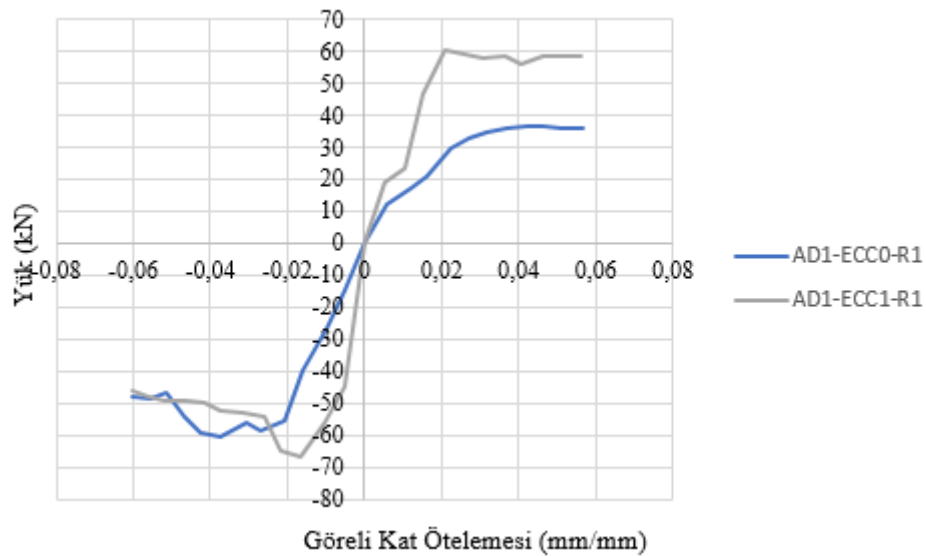
Grup 1'e ait referans elemanların süneklik değerleri incelenmiştir. AD1-ECC0-R1 numunesinin süneklik değeri AD2-ECC0-R1 ve AD3-ECC0-R1 numunelerine göre sırayla %68. ve %64 daha düşüktür. Burada AD2-ECC0-R1 numunesi daha sünek davranış göstermiştir. Grup 2'ye ait ECC beton, donatısız elemanlarını incelendiğinde, AD1-ECC1-R0 numunesinin süneklik değeri AD2-ECC1-R0 ve AD3-ECC1-R0 numunelerine göre sırayla %35.97 ve %1.22 daha düşüktür. Bu grup numunelerinde donatı bulunmadığından olumsuz yönde etkilemiştir. Grup 3'e ait lif donatılı beton, donatılı elemanlarını incelendiğinde, AD1-ECC0-R1 numunesinin süneklik değeri AD2-ECC0-R1 ve AD3-ECC0-R1 numunelerine göre sırayla %51.01 ve %70.67 daha düşüktür. Bu grup numunelerde a/d oranı arttıkça numuneler daha sünek davranış göstermiştir ve eğilme kırılmasından geçmiştir.

4.2.2. Lif donatılı harçların etkisi

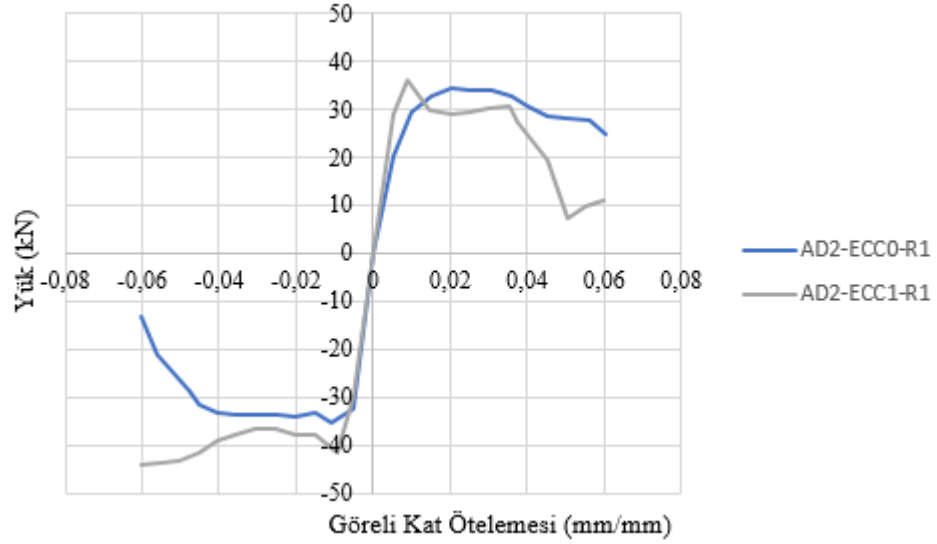
Bu bölümde çizelge 4.10'da verilen 4., 5. ve 6. gruplara ait deney sonuçlarının karşılaştırılması yapılmıştır. a/d oranı aynı olan geleneksel betonla üretilmiş numuneler ve lif donatılı harçlarla üretilmiş numuneler karşılaştırılmıştır. Toplam 3 grup ortaya çıkmıştır.

Şekil 4.88, 4.89 ve 4.90'da 4,5 ve 6 gruplarına ait zarf eğrileri incelendiğinde Grup 4'te ECC beton olan kiriş numunesinde yük taşıma kapasitesi artmaktadır. AD1-ECC0-R1 deney elemanının max yükü ileri çevrimlerde 36.55 kN, geri çevrimlerde 60.67 kN

olarak ölçülmüştür. AD2-ECC0-R1 deney elemanının max yükü ileri çevrimlerde 34.47 kN, geri çevrimlerde 35.38 kN olarak ölçülmüştür. AD3-ECC0-R1 deney elemanının max yükü ileri çevrimlerde 22.45 kN, geri çevrimlerde 28.01 kN olarak ölçülmüştür. AD1-ECC1-R1 deney elemanının max yükü ileri çevrimlerde 60.16 kN, geri çevrimlerde 66.54 kN olarak ölçülmüştür. AD2-ECC1-R1 deney elemanının max yükü ileri çevrimlerde 36.18 kN, geri çevrimlerde 44.29 kN olarak ölçülmüştür. AD3-ECC1-R1 deney elemanının max yükü ileri çevrimlerde 8.06 kN, geri çevrimlerde 10.14 kN olarak ölçülmüştür. Grup 4'te ileri çevrimlerde AD1-ECC0-R1 numunesinin max yükü AD1-ECC1-R1 numunesine göre %39.25 daha düşüktür. Geri çevrimlerde AD1-ECC0-R1 numunesinin max yükü AD1-ECC1-R1 numunesine göre %8.82 daha düşüktür. Grup 5'te ileri çevrimlerde AD2-ECC0-R1 numunesinin max yükü AD2-ECC1-R1 numunesine göre %4.72 daha düşüktür. Geri çevrimlerde AD2-ECC0-R1 numunesinin max yükü AD2-ECC1-R1 numunesine göre %20.11 daha düşüktür. Grup 6'da ileri çevrimlerde AD3-ECC0-R1 numunesinin max yükü AD3-ECC1-R1 numunesine göre %64.09 daha yüksektir. Geri çevrimlerde AD3-ECC0-R1 numunesinin max yükü AD3-ECC1-R1 numunesine göre %63.798 daha yüksektir. Grup 4 ve 5'te lif donatılı beton olduğu kiriş numunesinde yük taşıma kapasitesi artmaktadır. Grup 6'da a/d oranı arttığı için lif donatılı harçlar olduğu kiriş numunesinde yük taşıma kapasitesi azalmıştır. Bu gruplarda a/d oranı ve lif donatılı harçlar önemi anlaşılmaktadır.



Şekil 4.88. Grup 4'e ait zarf eğrisi



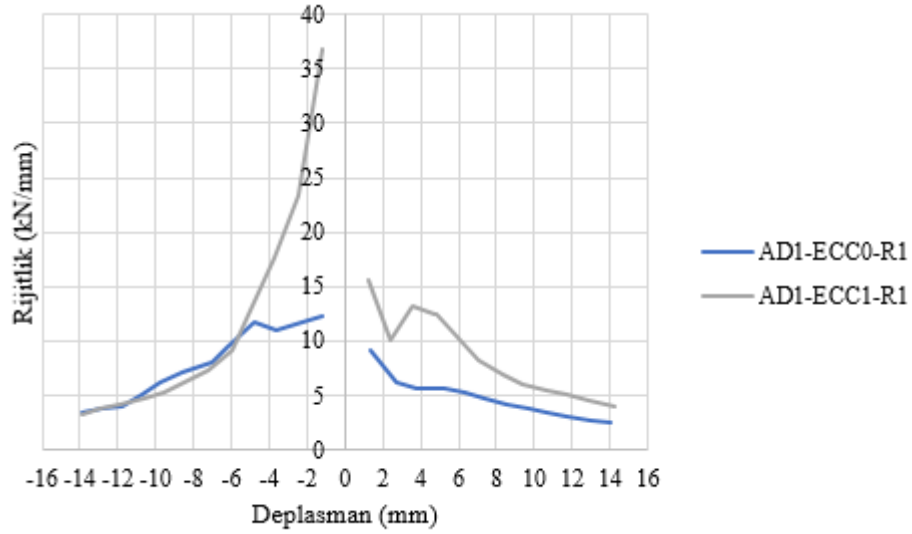
Şekil 4.89. Grup 5'e ait zarf eğrisi



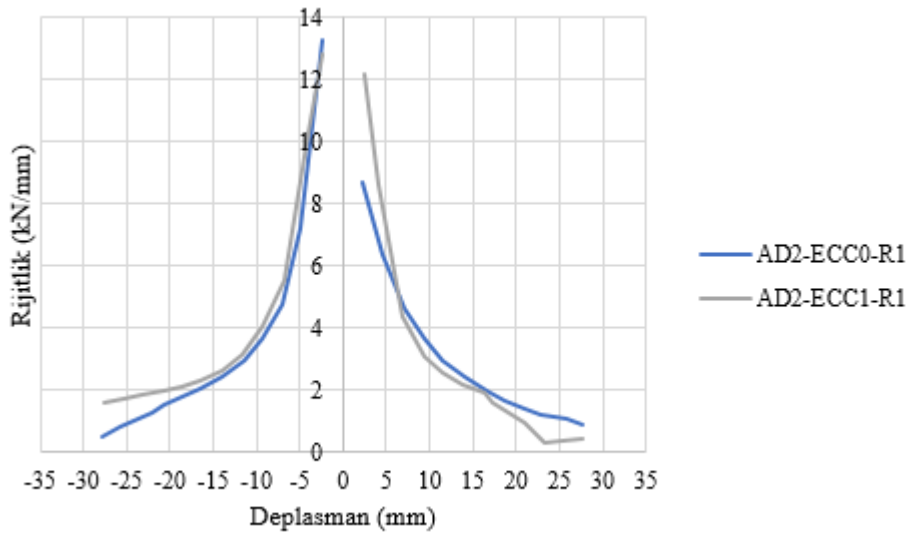
Şekil 4.90. Grup 6'ya ait zarf eğrisi

Şekil 4.91, 4.92 ve 4.93'te 4,5 ve 6 gruplarına ait rijitlik grafikleri incelendiğinde grup 4'te ileri çevrimlerde AD1-ECC0-R1 numunesinin başlangıç rijitliği AD1-ECC1-R1 numunesine göre %41.80 daha düşüktür. Geri çevrimlerde AD1-ECC0-R1 numunesinin başlangıç rijitliği AD1-ECC1-R1 numunesine göre %66.43 daha düşüktür. Grup 5'te ileri çevrimlerde AD2-ECC0-R1 numunesinin başlangıç rijitliği AD2-ECC1-R1 numunesine göre %28.25 daha düşüktür. Geri çevrimlerde AD2-ECC0-R1 numunesinin başlangıç rijitliği AD2-ECC1-R1 numunesine göre %3.61 daha yüksektir.

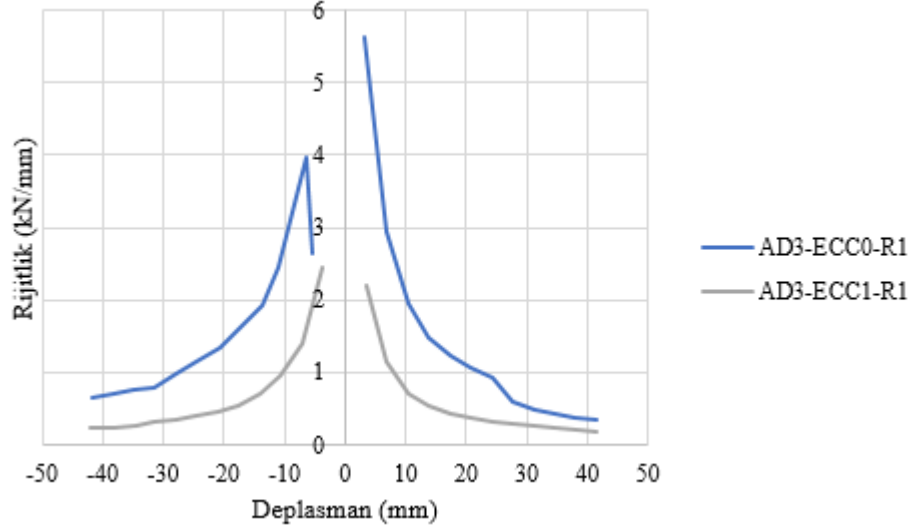
Grup 6'da ileri çevrimlerde AD3-ECC0-R1 numunesinin başlangıç rijitliği AD3-ECC1-R1 numunesine göre %61.10 daha yüksektir. Geri çevrimlerde AD3-ECC0-R1 numunesinin başlangıç rijitliği AD3-ECC1-R1 numunesine göre %6.84 daha yüksektir. Grup 4 ve 5'te lif donatılı harçlar olduğu kiriş numunesinde başlangıç rijitliği artmaktadır. Ancak grup 6'da a/d oranı arttığı için lif donatılı harçlar kiriş numunesinde başlangıç rijitlik azaldığını görülmektedir. Bu gruplarda a/d oranı ve lif donatılı harçların önemi anlaşılmaktadır.



Şekil 4.91. Grup 4'e ait rijitlik grafiği

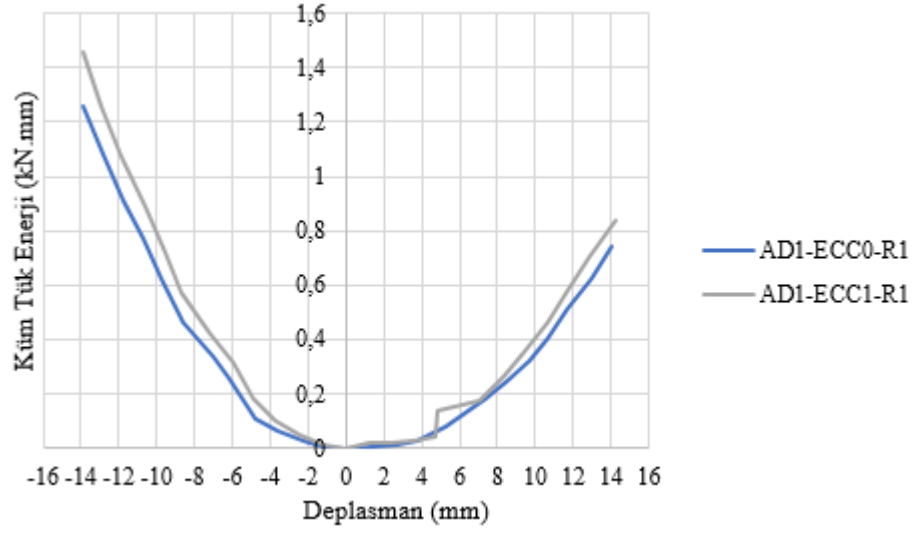


Şekil 4.92. Grup 5'e ait rijitlik grafiği

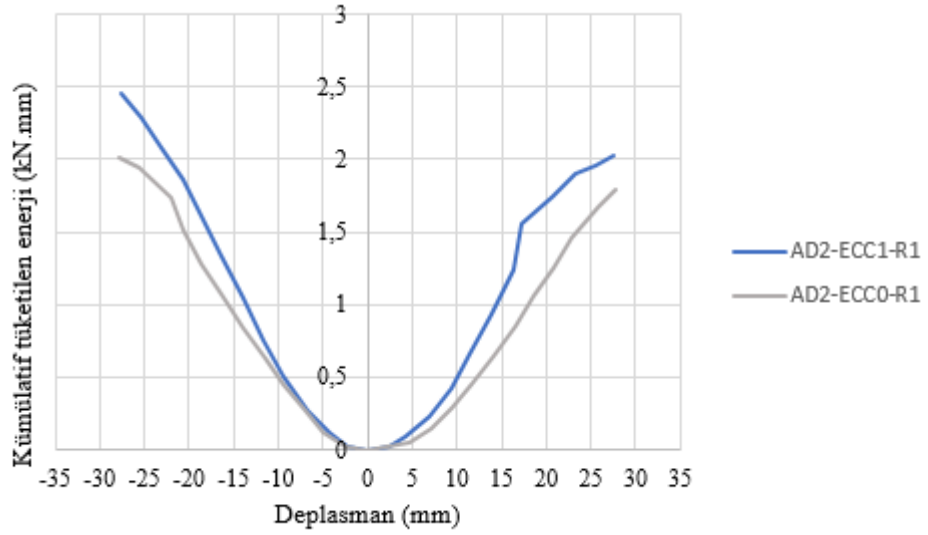


Şekil 4.93. Grup 6'ya ait rijitlik grafiği

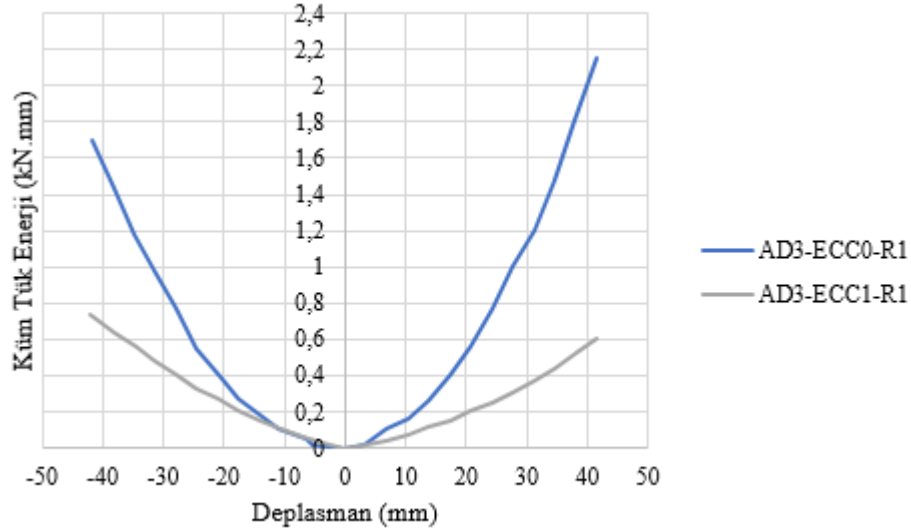
Şekil 4.94, 4.95 ve 4.96'da 4,5 ve 6 gruplarına ait kümülatif tüketilen enerji grafiği gösterilmiştir. Grafikler incelendiğinde grup 4'te ileri çevrimlerde AD1-ECC0-R1 numunesinin kümülatif tüketilen enerji miktarı AD1-ECC1-R1 numunesine göre %11.90 daha düşüktür. Geri çevrimlerde AD1-ECC0-R1 numunesinin kümülatif tüketilen enerji miktarı AD1-ECC1-R1 numunesine göre %13.10 daha düşüktür. Grup 5'te ileri çevrimlerde AD2-ECC0-R1 numunesinin kümülatif tüketilen enerji miktarı AD2-ECC1-R1 numunesine göre %11.43 daha düşüktür. Geri çevrimlerde AD2-ECC0-R1 numunesinin kümülatif tüketilen enerji miktarı AD2-ECC1-R1 numunesine göre %17.959 daha düşüktür. Grup 6'da ileri çevrimlerde AD3-ECC0-R1 numunesinin kümülatif tüketilen enerji miktarı AD3-ECC1-R1 numunesine göre %72.09 daha yüksektir. Geri çevrimlerde AD3-ECC0-R1 numunesinin kümülatif tüketilen enerji miktarı AD3-ECC1-R1 numunesine göre %56.80 daha yüksektir. Grup 4 ve 5'te kümülatif tüketilen enerji miktarı en büyük etkiyi geleneksel beton kullanılan elemanlarda göstermektedir.



Şekil 4.94. Grup 4'e ait kümülatif tüketilen enerji grafiği



Şekil 4.95. Grup 5'e ait kümülatif tüketilen enerji grafiği



Şekil 4.96. Grup 6'ya ait kümülatif tüketilen enerji grafiği

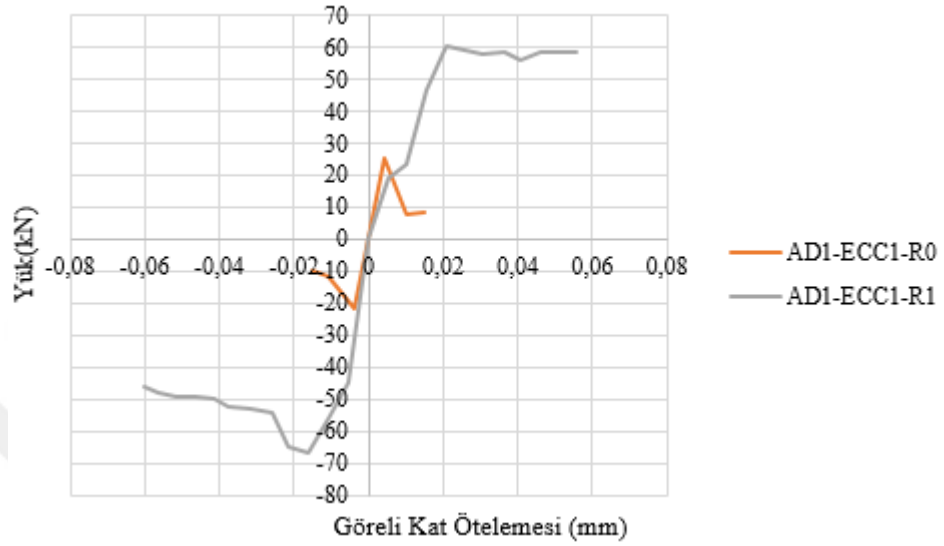
Grup 4, 5 ve 6'da deney elemanlarının süneklik değerleri incelenmiştir. Grup 4'te AD1-ECC0-R1 numunesinin süneklik değeri AD1-ECC1-R1 numunesine göre %31.43 daha düşüktür. Grup 5'te AD2-ECC0-R1 numunesinin süneklik değeri AD2-ECC1-R1 numunesine göre %4.59 daha yüksektir. Grup 6'da AD3-ECC0-R1 numunesinin süneklik değeri AD3-ECC1-R1 numunesine göre %44.13 daha düşüktür. Bu gruplarda lif donatılı harçlar önemi anlaşılmaktadır.

4.2.3. Donatının lif donatılı harçlar üzerindeki etkisi

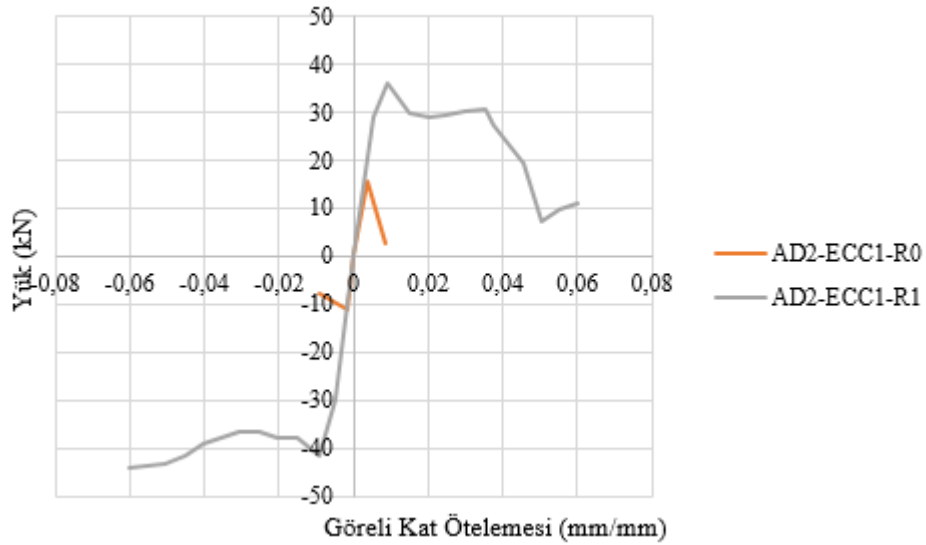
Bu bölümde çizelge 4.10'da verilen 7.,8. ve 9. gruplara ait deney sonuçlarının karşılaştırılması yapılmıştır. a/d oranı aynı olan lif donatılı betonla üretilmiş donatısız numuneler ve lif donatılı betonla üretilmiş donatılı numuneler karşılaştırılmıştır. Toplam 3 adet grup ortaya çıkmıştır.

Şekil 4.97, 4.98 ve 4.99'da 7.,8. ve 9. gruplarına ait zarf eğrileri incelendiğinde grup 7'de ileri çevrimlerde AD1-ECC1-R0 numunesinin max yükü AD1-ECC1-R1 numunesine göre %57.96 daha düşüktür. Geri çevrimlerde AD1-ECC1-R0 numunesinin max yükü AD1-ECC1-R1 numunesine göre %67.7 daha düşüktür. Grup 8'de ileri çevrimlerde AD2-ECC1-R0 numunesinin max yükü AD2-ECC1-R1 numunesine göre %56.60 daha düşüktür. Geri çevrimlerde AD2-ECC1-R0 numunesinin max yükü AD2-ECC1-R1 numunesine göre %74.78 daha düşüktür. Grup 9'da ileri çevrimlerde AD3-ECC1-R0 numunesinin max yükü AD3-ECC1-R1 numunesine göre %37.09 daha düşüktür. Geri çevrimlerde AD3-ECC1-R0 numunesinin max yükü AD3-ECC1-R1

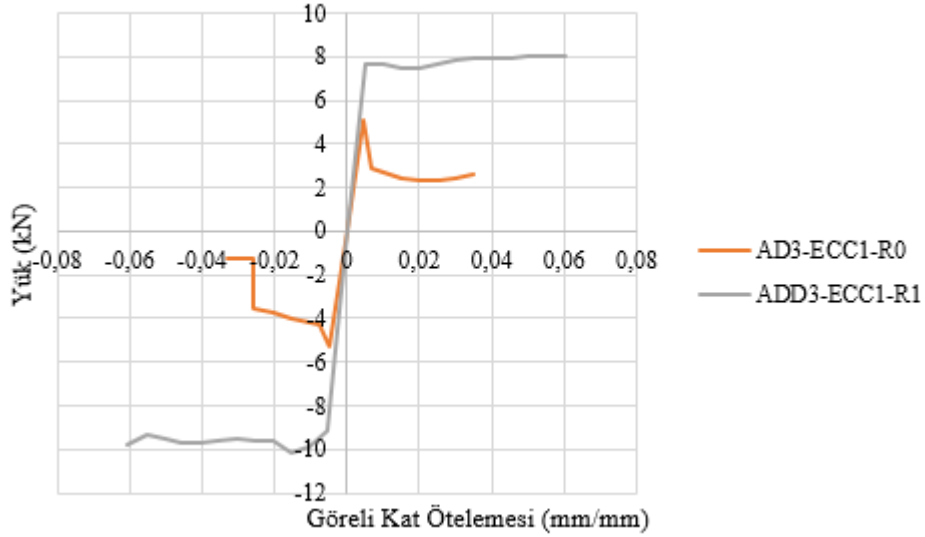
numunesine göre %48.22 daha düşüktür. grup 7,8 ve 9'da donatı olduğu kiriş numunelerinde yük taşıma kapasitesi artmaktadır. Grup 9'da iki numunede yük taşıma kapasitesi iyice azalmış bunun sebebi a/d oranı arttıkça yük taşıma kapasitesi azalmaktadır. Bu gruplarda donatı ve a/d oranı önemi anlaşılmaktadır.



Şekil 4.97. Grup 7'ye ait zarf eğrisi

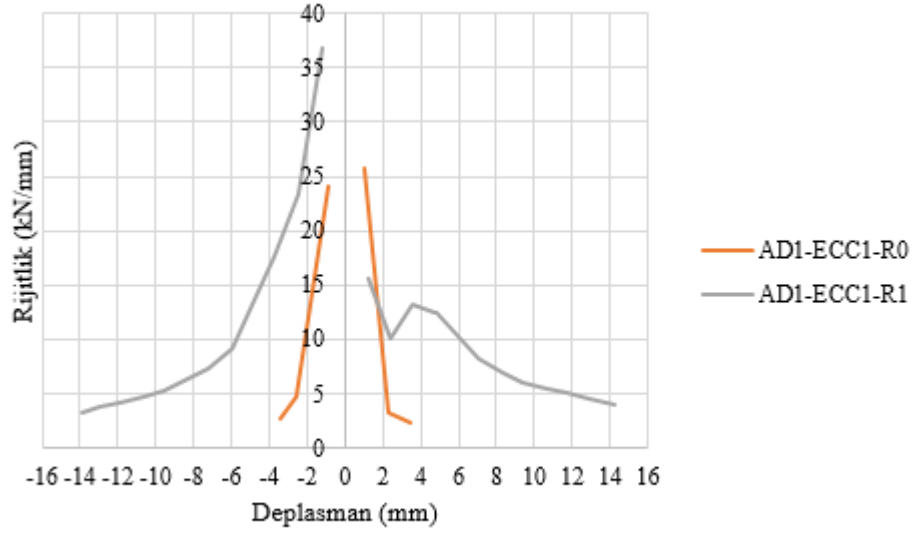


Şekil 4.98. Grup 8'e ait zarf eğrisi

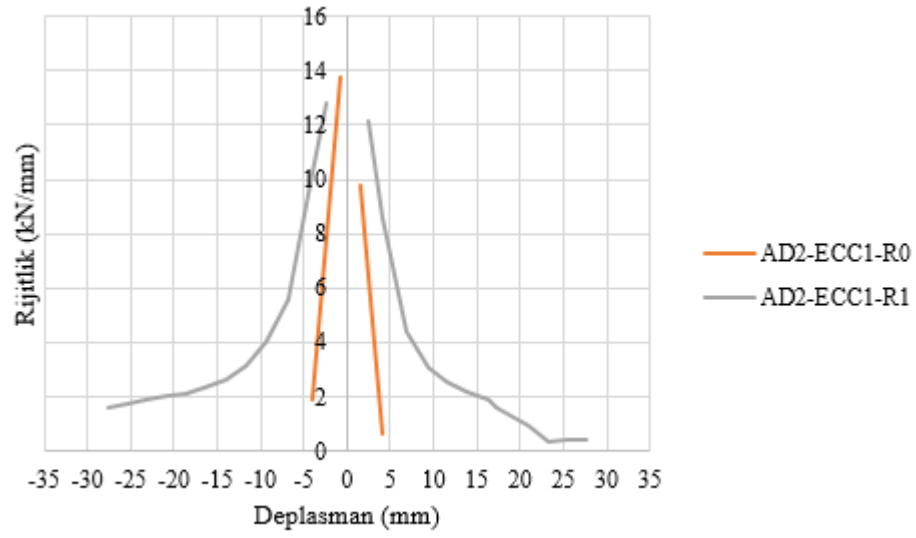


Şekil 4.99. Grup 9'a ait zarf eğrisi

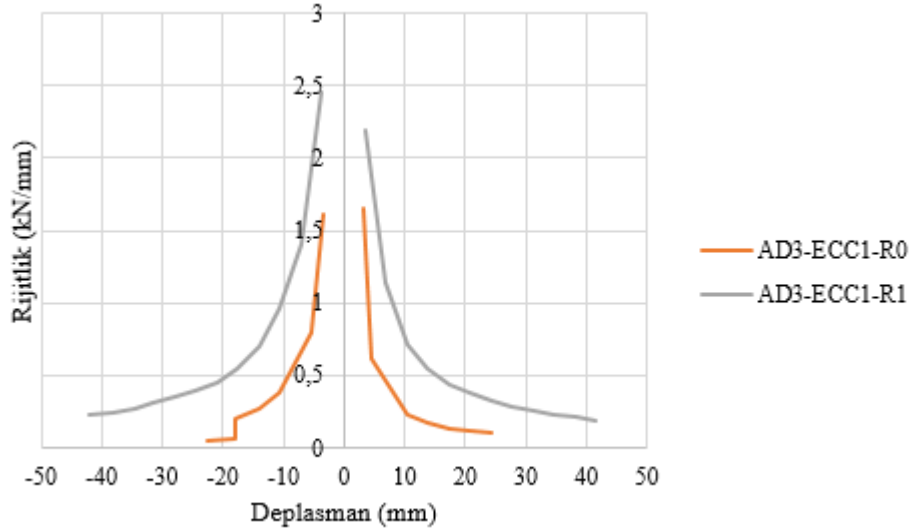
Şekil 4.100, 4.101 ve 4.102'de 7,8 ve 9 gruplarına ait rijitlik grafikleri incelendiğinde grup 7'de ileri çevrimlerde AD1-ECC1-R0 numunesinin başlangıç rijitliği AD1-ECC1-R1 numunesine göre %39.47 daha yüksektir. Geri çevrimlerde AD1-ECC1-R0 numunesinin başlangıç rijitliği AD1-ECC1-R1 numunesine göre %34.41 daha düşüktür. Grup 8'de ileri çevrimlerde AD2-ECC1-R0 numunesinin başlangıç rijitliği AD2-ECC1-R1 numunesine göre %19.77 daha düşüktür. Geri çevrimlerde AD2-ECC1-R0 numunesinin başlangıç rijitliği AD2-ECC1-R1 numunesine göre %7.03 daha yüksektir. Grup 9'da ileri çevrimlerde AD3-ECC1-R0 numunesinin başlangıç rijitliği AD3-ECC1-R1 numunesine göre %25.11 daha düşüktür. Geri çevrimlerde AD3-ECC1-R0 numunesinin başlangıç rijitliği AD3-ECC1-R1 numunesine göre %34.28 daha düşüktür. Grup 7, 8 ve 9'da donatı olduğu kiriş numunelerinde yük taşıma kapasitesi artmaktadır. Grup 9'da iki numunede rijitlik değerleri azalmış a/d oranı azaldıkça eğilme davranışı azaldığından a/d oranının azalmasına bağlı olarak başlangıç rijitliği artmaktadır. Bu gruplarda donatı ve a/d oranının önemi anlaşılmaktadır.



Şekil 4.100. Grup 7'ye ait rijitlik grafiği

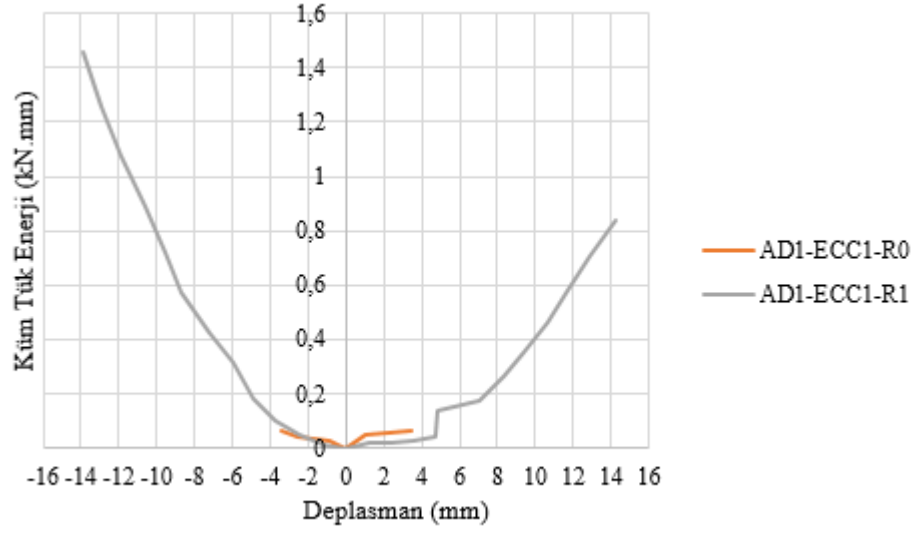


Şekil 4.101. Grup 8'e ait rijitlik grafiği

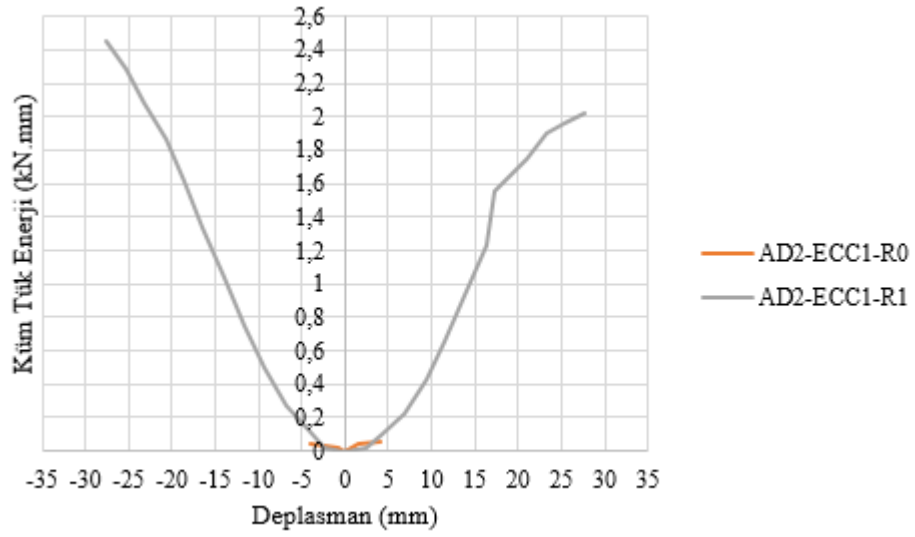


Şekil 4.102. Grup 9'a ait rijitlik grafiği

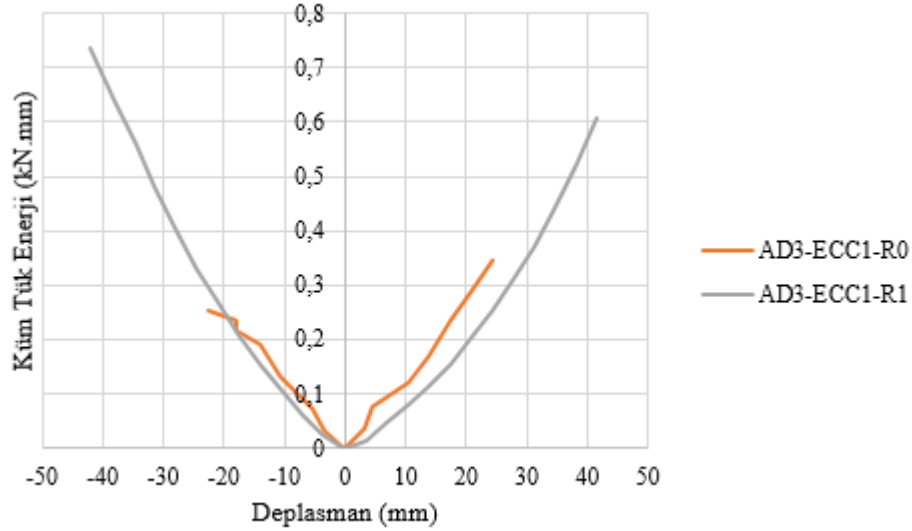
Şekil 4.103, 4.104 ve 4.105'te 7,8 ve 9 gruplarına ait kümülatif tüketilen enerji grafiği gösterilmiştir. Grafikler incelendiğinde grup 7'de ileri çevrimlerde AD1-ECC1-R0 numunesinin kümülatif tüketilen enerji miktarı AD1-ECC1-R1 numunesine göre %92.5 daha düşüktür. Geri çevrimlerde AD1-ECC1-R0 numunesinin kümülatif tüketilen enerji miktarı AD1-ECC1-R1 numunesine göre %95.72 daha düşüktür. Grup 8'de ileri çevrimlerde AD2-ECC1-R0 numunesinin kümülatif tüketilen enerji miktarı AD2-ECC1-R1 numunesine göre %97.57 daha düşüktür. Geri çevrimlerde AD2-ECC1-R0 numunesinin kümülatif tüketilen enerji miktarı AD2-ECC1-R1 numunesine göre %98.08 daha düşüktür. Grup 9'da ileri çevrimlerde AD3-ECC1-R0 numunesinin kümülatif tüketilen enerji miktarı AD3-ECC1-R1 numunesine göre %43.33 daha düşüktür. Geri çevrimlerde AD3-ECC1-R0 numunesinin kümülatif tüketilen enerji miktarı AD3-ECC1-R1 numunesine göre %65.75 daha düşüktür. Grup 7,8 ve 9'da donatı olmadığı kiriş numunelerinde kümülatif tüketilen enerji iyice azalmaktadır. Grup 9'da iki numunede kümülatif tüketilen enerji artmıştır.



Şekil 4.103. Grup 7'ye ait kümülatif tüketilen enerji grafiği



Şekil 4.104. Grup 8'e ait kümülatif tüketilen enerji grafiği



Şekil 4.105. Grup 9'a ait kümülatif tüketilen enerji grafiği

Grup 7, 8 ve 9'da deney elemanlarının süneklik değerleri incelenmiştir. Grup 7'de AD1-ECC1-R0 numunesinin süneklik değeri AD1-ECC1-R1 numunesine göre %48.57 daha düşüktür. Grup 8'de AD2-ECC1-R0 numunesinin süneklik değeri AD2-ECC1-R1 numunesine göre %60.71 daha düşüktür. Grup 6'da AD3-ECC1-R0 numunesinin süneklik değeri AD3-ECC1-R1 numunesine göre %84.73 daha düşüktür. Bu değerler incelendiğinde, donatı olmadığı deney numunelerinde sünekliği iyice azalmıştır. Numunelerde donatı bulunması yüksek süneklik davranışı göstermektedir.

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 deney elemanı AD1-ECC1-R1 deney elemanıdır. Bu grafikler incelendiğinde a/d oranı 1 olan deney numuneleri yük taşıma kapasiteleri en yüksek deney elemanlarıdır. Ancak bünyesinde lif donatılı beton bulunan ama donatı bulunmayan numuneler en düşük yük taşıma kapasitelerine sahiptir. a/d oranı 3 olan numuneler en yüksek deplasman değerlere sahiptir. a/d oranı yükseldikçe yük taşıma kapasitesi azalmıştır. Ancak bu numuneler daha sünek davranış göstererek eğilme kırılmasından geçmişlerdir. a/d oranı düştükçe numuneler kesme kırılmasından geçmişlerdir. 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 AD1-ECC1-R0 ve AD1-ECC1-R1 elemanlarıdır. İki elemanın ortak özelliği beton içerisinde lif olmasıdır. Tüm deney

elemanları arasında rijitliği en yüksek olan numunelerin a/d oranı 1'dir. a/d oranı azaldıkça eğilme davranışı azaldığından a/d oranının azalmasına bağlı olarak rijitlik artmaktadır. a/d oranı yükseldikçe rijitlik azalmaktadır.

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 AD2-ECC1-R1 deney elemanıdır. Bünyesinde lif donatılı harçlar bulunduran deney elemanlarının AD1-ECC1-R0, AD2-ECC1-R0 , AD3-ECC1-R0 ve AD3-ECC1-R1 enerji sönümlenme kapasiteleri oldukça düşük kalmıştır. Bünyesinde hem lif donatılı harçlar hem de donatı bulunduran deney elemanlarının enerji sönümlenme kabiliyetleri genel olarak yüksek seviyelerde kalmıştır.

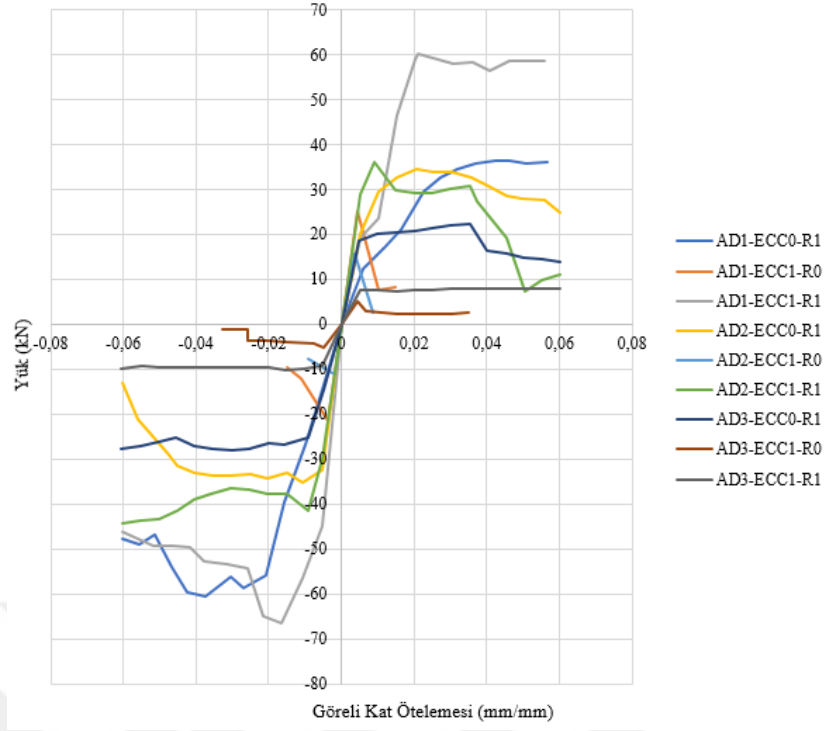
Tüm deney elemanlarına ait süneklik değerleri Çizelge 4.12'de verilmiştir. Bünyesinde hem lif donatılı harçlar hem de donatı bulunduran numuneler daha sünek davranış göstermiş ve eğilme kırılmasından göçmüştür. Bünyesinde donatı bulunmayan numuneler düşük sünek davranış göstermiş ve kesme kırılmasından göçmüştür.

Çizelge 11. Kritik yük noktalarındaki deneysel sonuçlar

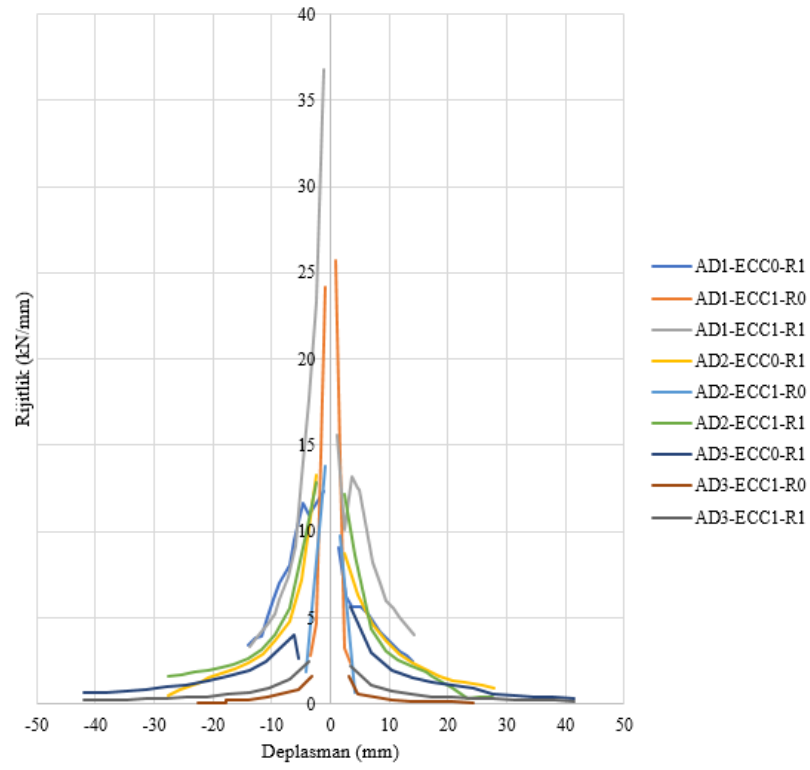
Deney Adı	Akma Noktası						Maksimum Yük						Göçme Noktası					
	+		-		Ort.		+		-		Ort.		+		-		Ort.	
	Yük (kN)	Depl. (mm)	Yük (kN)	Depl. (mm)	Yük (kN)	Depl. (mm)	Yük (kN)	Depl. (mm)	Yük (kN)	Depl. (mm)	Yük (kN)	Depl. (mm)	Yük (kN)	Depl. (mm)	Yük (kN)	Depl. (mm)	Yük (kN)	Depl. (mm)
AD1-ECC0-R1	27.41	6.47	45.50	5.39	36.5	5.93	36.55	10.60	60.67	8.64	48.61	9.62	34.76	>14.07	48.54	11.55	41.65	12.81
AD2-ECC0-R1	25.85	5.00	26.54	2.66	26.2	3.83	34.47	9.42	35.38	4.92	34.93	7.17	27.58	25.85	28.30	22.16	27.94	24.01
AD3-ECC0-R1	16.83	3.98	21.01	8.00	18.92	5.99	22.45	24.37	28.01	20.74	25.23	22.56	17.96	26.85	27.59	>41.89	20.28	34.37
AD1-ECC1-R0	18.97	0.98	16.12	0.89	17.55	0.94	25.29	0.98	21.49	0.89	23.39	0.94	20.23	1.37	17.19	1.63	18.71	1.5
AD2-ECC1-R0	11.78	1.61	8.38	0.81	10.1	1.21	15.70	1.61	11.17	0.81	13.44	1.21	12.56	2.19	8.94	2.99	10.75	2.59
AD3-ECC1-R0	3.80	3.08	3.94	3.25	3.87	3.17	5.07	3.07	5.25	3.25	5.16	3.16	4.06	3.79	4.20	6.66	4.13	5.23
AD1-ECC1-R1	45.12	4.60	49.91	2.32	47.52	3.46	60.16	4.85	66.54	3.76	63.35	4.31	56.60	>14.22	53.23	7.44	54.92	10.83
AD2-ECC1-R1	27.14	2.98	33.22	3.81	30.18	3.4	36.18	4.19	44.29	27.63	40.24	15.91	28.94	16.79	44.29	>27.63	36.62	22.21
AD3-ECC1-R1	6.05	3.67	7.61	4.14	6.83	3.91	8.06	38.08	10.14	10.56	9.1	24.32	8.04	>41.96	9.81	>41.56	8.93	41.76

Çizelge 12. Deney elemanlarının yapısal davranış sonuçları

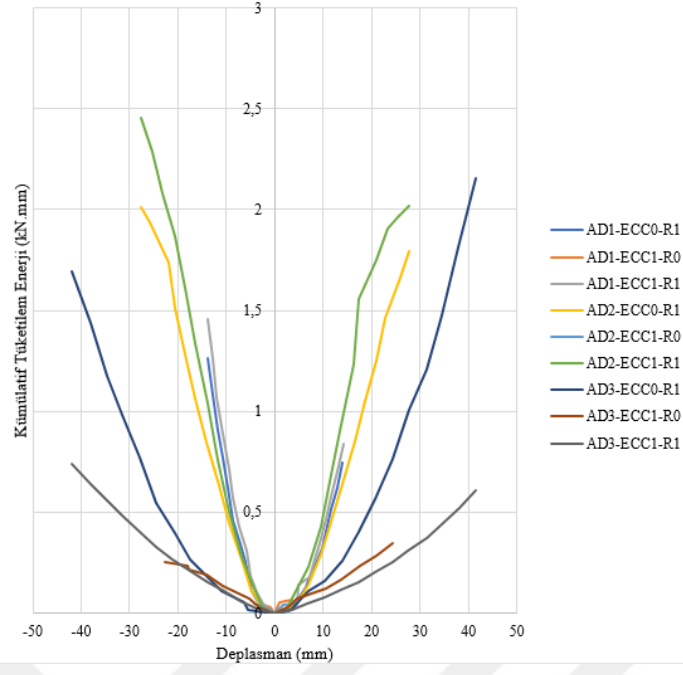
Deney adı	Kümülatif Tüketilen Enerji (kN.mm)			Başlangıç Rijitliği (kN/mm)			Süneklik (mm/mm)		
	+	-	Ort.	+	-	Ort.	+	-	Ort.
AD1-ECC0-R1	0.740	1.260	1.000	9.05	12.36	10.71	>2.17	2.14	>2.16
AD2-ECC0-R1	1.790	2.010	1.090	8.71	13.29	11.00	5.17	8.33	6.75
AD3-ECC0-R1	2.150	1.690	1.920	5.63	2.63	4.13	6.75	>5.24	>6
AD1-ECC1-R0	0.063	0.062	0.063	25.69	24.15	24.92	1.40	1.83	1.62
AD2-ECC1-R0	0.049	0.047	0.048	9.74	13.78	11.76	1.36	3.69	2.53
AD3-ECC1-R0	0.340	0.250	0.295	1.64	1.61	1.63	1.23	2.05	1.64
AD1-ECC1-R1	0.840	1.450	1.145	15.55	36.82	26.19	>3.09	3.21	>3.15
AD2-ECC1-R1	2.021	2.450	2.236	12.14	12.81	12.48	5.63	>7.25	>6.44
AD3-ECC1-R1	0.600	0.730	0.665	2.19	2.45	2.32	>11.43	>10.04	>10.74



Şekil 4.106. Tüm elemanlara ait zarf eğrisi



Şekil 4.107. Tüm elemanlara ait rijitlik grafiği



Şekil 4.108. 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.

- a/d oranı 1 olan deney numuneleri yük taşıma kapasiteleri en yüksek deney elemanlarıdır. Ancak bünyesinde lif donatılı beton bulunan ama donatı bulunmayan numuneler en düşük yük taşıma kapasitelerine sahiptir. a/d oranı 3 olan numuneler en yüksek deplasman değerlere sahiptir. a/d oranı yükseldikçe yük taşıma kapasitesi azalmıştır. Ancak bu numuneler daha sünek davranış göstererek eğilme kırılmasından göçmüşlerdir. a/d oranı düştükçe numuneler kesme kırılmasından göçmüşlerdir.
- Tüm deney elemanları arasında rijitliği en yüksek olan numunelerin a/d oranı 1'dir. a/d oranı azaldıkça eğilme davranışı azaldığından a/d oranının azalmasına bağlı olarak rijitlik artmaktadır. a/d oranı yükseldikçe rijitlik azalmaktadır.
- Bünyesinde hem lif donatılı harçlar hem de donatı bulunduran deney elemanlarının enerji sönmüleme kabiliyetleri genel olarak yüksek seviyelerde kalmıştır.
- Bünyesinde hem lif donatılı harçlar hem de donatı bulunduran numuneler daha sünek davranış göstermiş ve eğilme kırılmasından göçmüştür. Bünyesinde donatı bulunmayan numuneler düşük sünek davranış göstermiş ve kesme kırılmasından göçmüştür.
- AD1-ECC0-R1 deney elemanında kesme çatlakları oluşmuştur. Eleman kesme kırılmasından göçmüştür. Elemanın başlangıç rijitliği ve enerji tüketim seviyesi diğer numunelere göre orta seviyede kalmıştır. Bu deney elemanı yüksek yük taşıma kapasitesine sahiptir. Deney elemanının süneklik değerleri ileri çevrim ve geri çevrim sırayla >2.17, 2.14 olarak ölçülmüştür.
- AD1-ECC1-R0 deney elemanında kolon-kiriş birleşim bölgesinde ayrılma oluşmuştur. Elemanın başlangıç rijitliği yüksek seviyede kalmıştır ve enerji tüketim seviyesi diğer numunelere göre çok düşük seviyededir. Deney elemanının süneklik değerleri ileri çevrim ve geri çevrim sırayla 1.40, 1.83 olarak ölçülmüştür. Bu deney elemanı a/d oranı azaldıkça

eğilme davranışı azaldığından a/d oranının azalmasına bağlı olarak başlangıç rijitliği artmaktadır.

- AD1-ECC1-R1 deney elemanında kesme çatlakları oluşmuştur. Bu elemanın başlangıç rijitliği diğer deney elemanlarına göre en yüksek seviyede kalmıştır. Bunun sebebi; a/d oranı azaldıkça eğilme davranışı azaldığından a/d oranının azalmasına bağlı olarak başlangıç rijitliğinin artmasıdır. Enerji tüketim seviyesi diğer numunelere göre yüksek seviyededir. Deney elemanın süneklik değerleri ileri çevrim ve geri çevrim sırayla >3.09, 3.21 olarak ölçülmüştür. Bu deney elemanı max yük taşıma kapasitesine sahiptir, bunun sebebi; a/d oranı azaldıkça yük taşıma kapasitesinin artmasıdır.
- AD2-ECC0-R1 deney elemanında kesme çatlakları oluşmuştur. Elemanın donatıları burkulmuştur. 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 5.17, 8.33 olarak ölçülmüştür.
- AD2-ECC1-R0 deney elemanında kolon-kiriş birleşim bölgesinde ayrılma oluşmuştur. Elemanın başlangıç rijitliği orta seviyede kalmıştır ve enerji tüketim seviyesi diğer numunelere göre düşük seviyededir. Deney elemanın süneklik değerleri ileri çevrim ve geri çevrimde sırayla 1.36, 3.69 olarak ölçülmüştür.
- AD2-ECC1-R1 deney elemanında kolon-kiriş birleşim bölgesinde ayrılma oluşmuştur. Bu elemanın rijitliği diğer deney elemanlara göre orta seviyede kalmıştır ve enerji tüketim seviyesi diğer numunelere göre en yüksek seviyededir. Deney elemanın süneklik değerleri ileri çevrim ve geri çevrim sırayla 5.63, >7.25 olarak ölçülmüştür. Bu deney elemanı yüksek yük taşıma kapasitesine sahiptir.
- AD3-ECC0-R1 deney elemanında kesme çatlakları oluşmuştur. Elemanın rijitliği düşük seviyede kalmıştır ve enerji tüketim seviyesi diğer numunelere göre çok yüksek seviyededir. Deney elemanın süneklik değerleri ileri çevrim ve geri çevrim sırayla 6.75, >5.24 olarak ölçülmüştür. Bu deney elemanı yüksek sünekliğe sahiptir, bunun sebebi; a/d oranı arttıkça numunelerin daha sünek bir davranış göstermesidir. Bu

deney elemanının yük taşıma kapasitesi düşüktür, bunun sebebi; a/d oranı arttıkça yük taşıma kapasitesinin azalmasıdır.

- AD3-ECC1-R0 deney elemanında temelde kolon-kiriş birleşim bölgesi ayrılmıştır. Bu elemanın rijitliği diğer deney elemanlara göre en düşük seviyede kalmıştır, bunun sebebi; a/d oranı arttıkça eğilme davranışı arttığından a/d oranının artmasına bağlı olarak başlangıç rijitliğinin azalmasıdır. Enerji tüketim seviyesi diğer numunelere göre en düşük seviyelerdedir. Deney elemanının süneklik değerleri ileri çevrim ve geri çevrim sırayla 1.23, 2.05 olarak ölçülmüştür. Bu deney elemanı en düşük taşıma kapasitesine sahiptir, bunun sebebi; a/d oranı arttıkça yük taşıma kapasitesinin azalmasıdır.
- AD3-ECC1-R1 deney elemanında kesme çatlakları oluşmuştur. Bu elemanın rijitliği diğer deney elemanlara göre çok düşük seviyede kalmıştır, bunun sebebi; a/d oranı arttıkça eğilme davranışı arttığından a/d oranının artmasına bağlı olarak başlangıç rijitliğinin azalmasıdır. Enerji tüketim seviyesi diğer numunelere göre düşük seviyededir. Deney elemanının süneklik değerleri ileri çevrim ve geri çevrim sırayla >11.43, >10.04 olarak ölçülmüştür. Bu deney elemanı yüksek sünekliğe sahiptir, bunun sebebi; a/d oranı arttıkça numunelerin daha sünek bir davranış göstermesidir. Bu deney elemanının yük taşıma kapasitesi düşüktür, bunun sebebi; a/d oranı arttıkça yük taşıma kapasitesinin azalmasıdır.

5.2 Öneriler

- Bu deneysel çalışmada deney elemanları $\frac{1}{2}$ ölçeklidir. 1/1 ölçekli numuneler kullanmak daha gerçekçi sonuçlar verecektir.
- Çalışmada lif oranı değiştirilerek parametre artırılabilir.
- Çalışmaya farklı beton türleri eklenerek parametreler artırılabilir.
- Deneysel çalışmada kullanılan konsol kirişler bilgisayarda modellenerek sonuçlar karşılaştırılabilir.
- Çalışmaya farklı beton dayanımları eklenerek parametreler artırılabilir.

KAYNAKLAR

- Ali, J., 2022, Saplama Kiriş Sebebiyle Oluşan Hasarların Deneysel Olarak İncelenmesi Ve Uygun Donatılendirma Ve Güçlendirme Yönteminin Belirlenmesi, Konya Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Altın, S., ve Anıl, Ö., 2002, Türkiye Kesmeye Karşı Güçlendirilmiş Betonarme Kirişlerin Deprem Davranışı, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara.
- Arslan, G. ve Polat, Z., 2004, Yüksek Beton Mukavemetli Betonarme Kirişlerde Uygun Sonlu Eleman Boyutları, itüdergisi/d mühendislik, 3 (1), 22-28.
- Aydemir, C., ve Aydemir, M., 2017, Betonarme Kirişlerin Hasar Sınırlarının Deneysel Gözlemlerle İrdelenmesi, İMO Teknik Dergi, 28 (4), 8023-8049.
- Bahadır, F., 2012, Düzlem Dışı Perde Duvarla Güçlendirilmiş Deprem Davranışı Yetersiz Betonarme Çerçevelerin Davranışına Pencere Boşluklarının Etkisi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Balık, F., S., 2012, Betonarme dolgu Duvarla Güçlendirilmiş Deprem Davranışı Yetersiz Betonarme Çerçevelerin Davranışına Pencere Boşluklarının Etkisi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Bedirhanoğlu, İ., 2009, Düşük Dayanımlı Betona Sahip Betonarme Kolon Ve Birleşimlerin Deprem Yükleri Altında Davranışlarının İncelenmesi Ve İyileştirilmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Boğazkesen, K., Kılıç, K., 2011, Pva Lif Donatılı Çimento Esaslı Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Demirhan, S., 2012, Kireçtaşı Tozunun Lif Takviyeli Çimento Esaslı Kompozitlerin Reolojik ve Mekanik Özellikleri Üzerine Etkisi, Yüksek Lisans tezi, Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Dilli, M., Şengül, C., ve Atahan, H., 2017, PVA Liflerle Güçlendirilmiş Yapısal Yarı Hafif Betonların Kırılma Performanslarının İncelenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- Ersoy, U., ve Özcebe, G., 2001, Betonarme, Evrim Yayınevi, İstanbul.
- Sherir, M. A., 2012, Fracture Energy, Fatigue and Creep Properties of Engineered Cementitious Composites Incorporating Fly Ash/Slag with Different Aggregates, Yüksek Lisans, Ryerson University.
- Şahmaran, M. ve Li, V. C., 2007, De-icing Salt Scaling Resistance of Mechanically Loaded Engineered Cementitious Composites, Cement and Concrete Research, 37(7), 1035-1046.

- Hüsem, M., 1995, Doğu Karadeniz Bölgesi Doğal Hafif Agregalarından Biriyle Yapılan Hafif Betonun Geleneksel Bir Betonla Karşılaştırılmalı Olarak İncelenmesi, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Kamanlı, M., Ünal, A., 2016, Experimental Study on Shear Behavior of Simply Supported Full Scaled Reinforced Concrete Beams, 2nd International Conference On Science, Ecology And Technology-2016 (ICONSETE'2016), pp. 525-532, 14-16 Eylül, Barselona, İspanya.
- Kamanlı, M., Ünal, A., 2018, Investigation of Shear Behavior of Reinforced Concrete Beams Under Simple and Fixed Support Conditions, Selcuk University Journal of Engineering, Science and Technology”, v.6, n.2, pp. 218-226.
- Kim, H. S., Lee, M. S. ve Shin, Y. S., 2011, Structural Behaviors of Deep RC Beams under Combined Axial and Bending Force, Procedia Engineering, 14, 2212-2218.
- İsmail, M., Abdelaleem, B., Hassan, A., 2018, Effect of fiber type on the behavior of cementitious composite beam-column joints under reversed cyclic loading. 186:969-977.
- Gödek, E., Keskinates, M., Felekoğlu, B., Tosun Felekoğlu, K., Yıldırım, T., 2016, Çimento Esaslı Kompozitlerde Polimerik Lif Türünün Eğilme Performansına Etkisi, Dokuz Eylül Üniversitesi, 18 (54), 440-454.
- Özbay, E., 2016, Lif Türünün Betonların Yük-Deplasman Davranışı ve Donma-Çözülme Direncine Etkisi, Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 31(1), 273-279.
- Özbek, E., 2008, T-kesitli betonarme kirişlerin kesme-eğilmeye karşı güçlendirilmesi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Özkal, F., 2017, kesme açıklığı küçük olan betonarme kirişlerin etriye düzeni ve kenetlenme yönünden incelenmesi, Erzincan Üniversitesi, Erzincan.
- 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.
- Sağiroğlu, S. ve arkadaşları, 2017, Farklı A/D Oranına Sahip Betonarme Kirişlerin Eğilme Davranışları Üzerine Deneysel Ve Nümerik Bir Çalışma, Uludağ Üniversitesi, Bursa.
- Şahmaran, M., 2017, Yeni nesil erken yaş yüksek dayanımlı çimento bağlayıcılı onarım malzemesi, Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara.
- Uygunoğlu, T., ve arkadaşları, 2020, Çimento Esaslı Harçların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinde Polivinil Alkol (PVA) Liflerin Etkisi.

- Ünal, A., 2016, Sabit Dikdörtgen Kesitli Kirişlerin Farklı Mesnet Koşullarında Kesme Kapasitesinin Araştırılması, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 386.
- Ünal, A., Kamanlı, M., 2016, Investigation of Stirrup Effect on Shear Behavior of Fixed Supported Reinforced Concrete Beams, 2nd International Conference On Science, Ecology And Technology-2016 (ICONSETE'2016), pp. 518-524, 16-19 Kasım, Barselona, İspanya.
- Wee, L. S., 2017, Seismic Behaviour of Engineered Cementitious Composites Beam-Column Joints, Doktora Tezi, Nanyang Technological University, School of Civil and Environmental Engineering, 209.

