



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



YÜKSEK PERFORMANSLI TAMİR
HARÇLARININ FARKLI HASAR
DÜZEYİNDEKİ ÇERÇEVELERİN
PERFORMANSINA ETKİSİ

Murat GÜNAYDIN

DOKTORA TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Temmuz-2023
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Murat GÜNAYDIN tarafından hazırlanan “Yüksek Performanslı Tamir Harçlarının Farklı Hasar Düzeyindeki Çerçevelerin Performansına Etkisi” adlı tez çalışması 12/07/2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. Hicran AÇIKEL
(Necmettin Erbakan Üniversitesi)

.....

Danışman

Prof. Dr. Ali KÖKEN
(Konya Teknik Üniversitesi)

.....

Üye

Prof. Dr. Musa Hakan ARSLAN
(Konya Teknik Üniversitesi)

.....

Üye

Prof. Dr. Murat ÖZTÜRK
(Konya Teknik Üniversitesi)

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Ali Serdar ECEMİŞ
(Necmettin Erbakan Üniversitesi)

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Mevlüt UYAN
Enstitü Müdürü

Bu tez çalışması Konya Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından 18101020 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.

Murat GÜNAYDIN

Tarih: 12/07/2023

ÖZET

DOKTORA TEZİ

YÜKSEK PERFORMANSLI TAMİR HARÇLARININ FARKLI HASAR DÜZEYİNDEKİ ÇERÇEVELERİN PERFORMANSINA ETKİSİ

Murat GÜNAYDIN

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

**Danışman: Prof. Dr. Ali KÖKEN
İkinci Danışman: Prof. Dr. Ülkü Sultan KESKİN**

2023, 230 Sayfa

**Jüri
Prof. Dr. Ali KÖKEN
Prof. Dr. Hicran AÇIKEL
Prof. Dr. Musa Hakan ARSLAN
Prof. Dr. Murat ÖZTÜRK
Dr. Öğr. Üyesi Ali Serdar ECEMİŞ**

Onarım endüstrisindeki gelişmelere rağmen, hasarlı yapıların onarımında kullanılan malzemelerden biri olan tamir harçlarının, erken yaş performansları, uzun vadede dayanıklılık özellikleri, süneklik kapasiteleri ve saha şartlarındaki etkinliği gibi hususları karşılayamadığı durumlar olabilmektedir. Bu tez çalışması kapsamında, erken ve nihai yaşta yüksek performans gösteren, yüksek dayanıklılık ve süneklik özelliklerine sahip, şekil değiştirme sertleşmesi oluşturan ayrıca çatlak kontrolü sağlayan Tasarlanmış Çimento Esaslı Kompozitlerin (ECC) panel şeklinde üretilmesi ve onarımda kullanılması amaçlanmıştır. Tez çalışmasının ilk kısmında, onarımda kullanılacak ECC için malzeme deneyleri yapılmıştır. Bu kapsamda kullanılacak malzemelerin ve miktarlarının belirlenmesi işlemleri gerçekleştirilmiş ve uygun malzeme ile optimum oranları tespit edilmiştir. Bu amaç doğrultusunda üretilen numuneler üzerinde basınç ve eğilme testleri yapılarak numunelerin temel mekanik özelliklerinden basınç dayanımı ve eğilme dayanımı değerleri belirlenmiştir. Ayrıca, eğilme testi kapsamında numunelerin süneklik özelliklerinin tespit edilmesi açısından sehim deneyleri yapılmıştır. Tez çalışmasının ikinci kısmında ise; geometrik boyutları, donatı detayları ve beton sınıfı aynı olan, iki katlı, tek açıklıklı, 1/3 geometrik ölçekli 4 adet betonarme çerçeve üretilmiştir. Üretilen 4 adet betonarme çerçevenin 3 adedine depreme benzeştirilmiş tersinir tekrarlanır yatay yükler uygulanarak farklı hasar düzeylerine sahip olması sağlanmış, 4. çerçeve ise referans numune olarak göçme seviyesine kadar benzer şekilde test edilmiştir. Farklı hasar düzeyindeki çerçeveler, üretilen aynı özelliğe sahip ECC paneller ile onarılmış, daha sonra tersinir tekrarlanır yatay yükler altında test edilmiş ve onarımın farklı hasar seviyesindeki betonarme çerçevelerin performansına etkileri belirlenmiştir. Deney sonuçlarına göre, yapılan onarımın; yatay yük taşıma kapasitesini, rijitliği, sünekliği ve enerji tüketimini artırdığı ayrıca deprem davranışlarını iyileştirdiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Onarım, betonarme çerçeve, tasarlanmış çimento esaslı kompozitler, performans değerlendirmesi, polivinil alkol lif

ABSTRACT

PhD THESIS

THE EFFECT OF HIGH PERFORMANCE REPAIR MORTARS ON THE PERFORMANCE OF FRAMES AT DIFFERENT DAMAGE LEVELS

Murat GÜNAYDIN

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

**Advisor: Prof. Dr. Ali KÖKEN
Co-Advisor: Prof. Dr. Ülkü Sultan KESKİN**

2023, 230 Pages

**Jury
Prof. Dr. Ali KÖKEN
Prof. Dr. Hicran AÇIKEL
Prof. Dr. Musa Hakan ARSLAN
Prof. Dr. Murat ÖZTÜRK
Asst. Prof. Dr. Ali Serdar ECEMİŞ**

Despite the developments in the repair industry, there may be cases where repair mortars, one of the materials used in the repair of damaged structures, cannot meet the issues such as early age performance, long-term durability properties, ductility capacities and effectiveness in field conditions. Within the scope of this thesis, it is aimed to produce Engineered Cementitious Composites (ECC) as panels, which show high performance at early and final ages, have high durability and ductility, form strain hardening and also provide crack control, and use in repair. In the first part of the thesis, material tests were carried out for the ECC to be used in the repair. In this context, the processes of determining the materials to be used and their quantities were carried out and the optimum ratios were determined with the appropriate material. Compressive strength and bending strength values were determined from the basic mechanical properties of the samples by performing compressive and bending tests on the samples produced for this purpose. In addition, deflection tests were carried out in order to determine the ductility properties of the samples within the scope of the bending test. In the second part of the thesis; 4 two-storey, single-span, 1/3 geometric scale reinforced concrete frames with the same geometric dimensions, reinforcement details and concrete class were produced. Three of the 4 reinforced concrete frames produced were subjected to earthquake-simulated reversed-cyclic lateral loads to provide different damage levels, while the 4th frame was tested similarly as a reference sample up to the collapse level. Frames with different damage levels were repaired with ECC panels with the same properties, then tested under reversed-cyclic lateral loads and the effects of repair on the performance of reinforced concrete frames at different damage levels were determined. According to the test results, the repair made; It has been seen that it increases the lateral load carrying capacity, stiffness, ductility and energy consumption, and also improves the earthquake behavior.

Keywords: Repair, reinforced concrete frame, engineered cementitious composites, structural performance evaluation, polyvinyl alcohol fiber

ÖNSÖZ

Doktora eğitimim boyunca bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım, deneylerin yapılması dâhil olmak üzere tezin hazırlanmasındaki desteklerinden dolayı danışman hocam Sayın Prof. Dr. Ali KÖKEN'e ve ikinci danışman hocam Sayın Prof. Dr. Ülkü Sultan KESKİN'e teşekkürlerimi sunuyorum.

Tez çalışmasında, deneyim ve bilgileriyle yardımcı olmakla birlikte ayrıca deneylerin yapılmasındaki desteklerinden dolayı Sayın Prof. Dr. Musa Hakan ARSLAN'a ve Sayın Prof. Dr. Hicran AÇIKEL'e teşekkür ediyorum.

Deneylerin yapılmasında emeği geçen Arş. Gör. Dr. Ensar SUCİ, Arş. Gör. Hilmi ARISOY, Doç. Dr. Ceyhun AKSOYLU, Yüksel ÇİFTÇİ, Alaaddin ALTINIŞIK ve Murat ÇANKIRLI'ya teşekkür ederim.

Malzeme teminindeki yardımlarından dolayı, Oyak Çimento A.Ş., Konya Şeker A.Ş. ve Sika Yapı Kimyasalları A.Ş.'ye teşekkür ediyorum.

Bu tez çalışması Konya Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından desteklenmiştir. Konya Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne desteklerinden dolayı teşekkürlerimi sunuyorum.

Her türlü yardımlarından dolayı aileme teşekkür ederim.

Murat GÜNAYDIN
KONYA-2023

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Onarım ve Güçlendirme	2
1.2. Tasarlanmış Çimento Esaslı Kompozitler.....	4
1.2.1. Kullanılan malzemeler ve karışım oranları	7
1.2.2. Mekanik özellikler	9
1.2.2.1. Basınç dayanımı özellikleri	9
1.2.2.2. Eğilme performansı özellikleri	10
1.2.3. Uygulama alanları.....	10
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	13
3. MATERYAL VE YÖNTEM	26
3.1. Tasarlanmış Çimento Esaslı Kompozitler	26
3.1.1. Deneylerde kullanılan malzemeler	27
3.1.1.1. Çimento.....	27
3.1.1.2. Silis kumu	28
3.1.1.3. Öğütülmüş yüksek fırın cürufu	30
3.1.1.4. Uçucu kül.....	31
3.1.1.5. Polivinil alkol (PVA) lif	31
3.1.1.6. Süperakışkanlaştırıcı katkı	32
3.1.2. ECC'nin üretilmesi, kalıplara konulması ve kür edilmesi.....	33
3.1.3. Sertleşmiş numuneler üzerinde yapılan deneyler	36
3.1.3.1. Eğilme dayanımı deneyi	36
3.1.3.2. Basınç dayanımı deneyi	37
3.1.3.3. Sehim deneyi.....	38
3.2. Betonarme Çerçevelerin Üretilmesi.....	38
3.2.1. Deney numunelerinin detayları.....	39
3.2.2. Deney numunelerinin yapımında kullanılan malzemelerin özellikleri.....	46
3.3. Betonarme Çerçevelerin Onarılması.....	48
3.3.1. ECC'nin panel şeklinde üretilmesi	48
3.3.2. Panellerin çerçeveye yapıştırılması	50
3.4. Deney Düzenegi ve Ölçüm Tekniği.....	52
3.4.1. Deney düzenegi.....	53
3.4.2. Ölçme tekniği.....	55
3.4.2.1. Yük ölçümleri	55
3.4.2.2. Yer değiştirmelerin ölçülmesi.....	56

3.4.3. Deneylerde kullanılan ölçüm düzeneği.....	58
3.4.4. Ölçümlerin değerlendirilmesi	58
3.4.4.1. Yük geçmişi ve deplasman geçmişi grafiklerinin çizilmesi	59
3.4.4.2. Histerezis eğrisi ve zarf eğrisinin çizilmesi	60
3.4.4.3. Rijitlik azalımı grafiklerinin çizilmesi	61
3.4.4.4. Tüketilen enerji grafiklerinin elde edilmesi.....	62
3.4.4.5. Numune süneklik grafiğinin çizilmesi	64
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	66
4.1. 1 Nolu Deney (RN).....	68
4.2. 2 Nolu Deney (%1 HN)	85
4.3. 3 Nolu Deney (%2 HN)	99
4.4. 4 Nolu Deney (%3 HN)	115
4.5. 5 Nolu Deney (%1 ON)	132
4.6. 6 Nolu Deney (%2 ON)	147
4.7. 7 Nolu Deney (%3 ON)	163
5. DENEY SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI.....	178
5.1. Referans Numune ile %1 Deplasmana Kadar Yük Uygulanıp Hasar Oluşturulan Numunenin Karşılaştırılması (Deney no: 1 ve Deney no: 2).....	179
5.2. Referans Numune ile %2 Deplasmana Kadar Yük Uygulanıp Hasar Oluşturulan Numunenin Karşılaştırılması (Deney no: 1 ve Deney no: 3).....	184
5.3. Referans Numune ile %3 Deplasmana Kadar Yük Uygulanıp Hasar Oluşturulan Numunenin Karşılaştırılması (Deney no: 1 ve Deney no: 4).....	188
5.4. Referans Numune ile %1, %2 ve %3 Deplasmana Kadar Yük Uygulanıp Hasar Oluşturulan Numunelerin Karşılaştırılması (Deney no: 1, Deney no: 2, Deney no: 3 ve Deney no: 4).....	193
5.5. Referans Numune ile %1 Deplasmana Kadar Yük Uygulanarak Hasar Oluşturulup Onarılan Numunenin Karşılaştırılması (Deney no: 1 ve Deney no: 5)	197
5.6. Referans Numune ile %2 Deplasmana Kadar Yük Uygulanarak Hasar Oluşturulup Onarılan Numunenin Karşılaştırılması (Deney no: 1 ve Deney no: 6)	202
5.7. Referans Numune ile %3 Deplasmana Kadar Yük Uygulanarak Hasar Oluşturulup Onarılan Numunenin Karşılaştırılması (Deney no: 1 ve Deney no: 7)	206
5.8. Referans Numune ile %1, %2, %3 Deplasmana Kadar Yük Uygulanarak Hasar Oluşturulup Onarılan Numunelerin Karşılaştırılması (Deney no: 1, Deney no: 5, Deney no: 6, Deney no: 7)	211
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	218
6.1. Sonuçlar	218
6.2. Öneriler	224
KAYNAKLAR	226

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

A_c	: Kolonun tüm kesit beton alanı, mm ²
A_s	: Çekme donatısı kesit alanı, mm ²
A_{st}	: Kolon boyuna donatısı toplam kesit alanı, mm ²
b	: Numunenin kare kesitin kenar uzunluğu, mm
b_w	: Kiriş gövde genişliği, mm
d	: Kiriş faydalı yüksekliği, mm
E	: Tüketilen enerji, kN.mm
f	: Eğilme dayanımı, N/mm ²
F	: Betonarme çerçevelere uygulanan yatay yük, kN
F	: Eğilme dayanımı testinde numuneye uygulanan maksimum kuvvet, N
f_{ctd}	: Beton tasarım eksenel çekme dayanımı, MPa
f_{yd}	: Boyuna donatı tasarım akma dayanımı, MPa
h	: Çerçevenin kat yüksekliği, mm
H	: Çerçevenin yüksekliği, mm
L	: Mesnetler arasındaki mesafe, mm
w	: Çatlak genişliği, μ m
δ	: Yatay deplasman, mm
δ_u	: Göçme deplasmanı, mm
δ_y	: Akma deplasmanı, mm
Δ	: Net yatay deplasman, mm
ε	: Birim deformasyon
ϕ	: Donatı çapı, mm
ϕ	: Rijitlik değeri
ϕ_u	: Kırılma eğriliği
ϕ_y	: Akma eğriliği
μ_δ	: Deplasman sünekliği
μ_χ	: Eğrilik sünekliği
ρ	: Kirişte çekme donatısı oranı
ρ_{min}	: Minimum donatı oranı
ρ_t	: Kolonda toplam boyuna donatı oranı
σ	: Çekme gerilmesi, MPa

Kısaltmalar

AFS	: Amerikan Dökümcüler Derneği
ECC	: Engineered Cementitious Composites (Tasarlanmış Çimento Esaslı Kompozitler)
ECC-M45	: M45 kodlu standart ECC karışımı
FRC	: Fiber Reinforced Concrete (Lif Takviyeli Beton)
HES-ECC	: High Early Strength Engineered Cementitious Composites (Erken Yaş Yüksek Dayanımlı Tasarlanmış Çimento Esaslı Kompozitler)
HTPP	: High Tenacity Polypropylene (Yüksek Dayanımlı Polipropilen)
LVDT	: Linear Vertical Displacement Transducer
PE	: Polietilen

PECC : Prefabricated Engineered Cementitious Composite (Prefabrik
Tasarlanmış Çimento Esaslı Kompozitler)
PVA : Polivinil Alkol



1. GİRİŞ

Dünyanın en önemli deprem kuşaklarından biri olan Alp-Himalaya deprem kuşağında bulunan ülkemizde, meydana gelen depremlerde çok sayıda yapı yıkılmakta veya yapılarda farklı düzeylerde hasarlar oluşmaktadır. Betonarme yapılar kullanım süreleri içinde, deprem gibi afetlerin dışında da çeşitli etkiler altında hasara uğrayabilirler. Bu etkiler; aşırı yükleme, donatı korozyonu, sıcaklık değişimleri, yorulma, zararlı kimyasal ve fiziksel etkiler şeklinde olabilir. Hasarlar etkinin şiddetine ve türüne bağlı olarak çatlaklar, dökülmeler, bölgesel parça kopmaları ve sehim şeklinde meydana gelebilir. Yapıda onarım, güçlendirme veya yıkma kararının verilmesinde hasarın sebebinin ve hasar düzeyinin belirlenmesi oldukça önemli bir unsur olup bu husus onarım ve güçlendirme çalışmalarına da temel oluşturur. Yapı hasarlarını tespit edebilmek için yapıya tesir eden etkilerin yapıda nasıl ve neden hasar oluşturduğu bir sistem içerisinde araştırılır, çözümlenmesi ve değerlendirilmesi yapıp hasara uygun bir onarım veya güçlendirme yöntemi seçilir (Sevük, 2000).

Onarım endüstrisinde gerçekleşen gelişmelere rağmen, onarım malzemelerinin ihtiyaçlara karşılık veremediği haller bulunabilmektedir. Günümüzde onarım uygulamalarında kullanılmakta olan malzemelerin uzun vadede düşük dayanıklılık özelliklerinden ve erken yaş düşük performanslarından dolayı kayda değer problemleri olabilmektedir. Bu amaç doğrultusunda, yapıyı uzun süre çevresel ve mekanik etkilere karşı muhafaza edebilecek, her yaşta yüksek performans niteliklerine sahip onarım malzemelerinin geliştirilmesi oldukça önem arz etmektedir. Patent ismi Engineered Cementitious Composites (ECC) olan Tasarlanmış Çimento Esaslı Kompozitlerin onarım ve güçlendirme işlerinde elverişli bir şekilde kullanılabileceği literatürdeki çalışmalarda belirtilmiştir (Yıldırım, 2018).

ECC'ler şekil değiştirme sertleşmesi göstermekte olup yüksek dayanıklılık ve süneklik özellikleri kapsamında mikro-mekanik tabanlı tasarım yaklaşımları uygulanarak dizayn edilen ve ileriki yıllarda daha da önem kazanacak nispeten yeni bir kompozit malzeme çeşitidir (Yıldırım ve ark., 2015a; Yıldırım ve ark., 2015b). ECC meydana gelen ilk çatlağın devamında sünek bir malzeme şeklinde şekil değiştirme sertleşmesi özelliği oluşturmaktadır. Ayrıca, çekme şekil değiştirme özelliği bakımından lif donatılı ve normal betonların hemen hemen 300 ile 500 katı kadar kapasiteye sahiptir. Yük etkisinde kendi kendine çatlak kontrolü davranışı meydana getiren ECC bu özelliği ile normal ve lif donatılı betonlardan farklılık göstermektedir.

ECC örneklerinde deformasyon hangi seviyede olursa olsun, oluşan çatlakların genişliği genel olarak 200 μm 'den daha azdır (Yıldırım, 2018).

Bu tez çalışmasında, onarım-güçlendirme uygulamalarında genel olarak hasır çelik üzerine sıva şeklinde yapılan ECC'lerin; bina sakinlerinin rahatsızlığını en aza indirecek şekilde, uygulanabilirliği basit, makul boyut ve ağırlıkta panel şeklinde üretilerek onarım uygulamalarında kullanılması amaçlanmıştır. Bu doğrultuda öncelikle, literatürdeki çalışmalar dikkate alınarak malzeme deneyleri yapılmıştır. Bu kapsamda kullanılacak malzemelerin ve miktarlarının belirlenmesi işlemleri gerçekleştirilmiş ve uygun malzeme ile optimum oranları tespit edilmiştir. Bu amaç doğrultusunda üretilen numuneler üzerinde basınç ile eğilme testleri yapılarak numunelerin temel mekanik özelliklerinden basınç ve eğilme dayanımı değerleri belirlenmiştir. Ayrıca, eğilme testi kapsamında numunelerin süneklik özelliklerinin tespit edilmesi açısından sehim deneyleri yapılmıştır. Malzeme deneyleri tamamlandıktan sonra geometrik boyutları, donatı detayları ve beton sınıfı aynı olan, iki katlı, tek açıklıklı, 1/3 geometrik ölçekli 4 adet betonarme çerçeve üretilmiştir. Üretilen 4 adet betonarme çerçevenin 3 adedine depreme benzeştirilmiş tersinir tekrarlanır yatay yükler uygulanarak farklı hasar düzeylerine sahip olması sağlanmış, 4. çerçeve ise referans numune olarak göçme seviyesine kadar benzer şekilde test edilmiştir. Farklı hasar düzeyindeki çerçeveler, üretilen aynı özelliğe ve kalınlığa sahip ECC paneller ile onarılmış, daha sonra tersinir tekrarlanır yatay yükler altında test edilmiş ve onarımın farklı hasar seviyesindeki betonarme çerçevelerin performansına etkileri belirlenmiştir.

1.1. Onarım ve Güçlendirme

Onarım, hasar oluşmuş herhangi bir yapısal elemanın hasar meydana gelmeden önceki niteliklerinin geri kazanılması amacıyla gerçekleştirilen bir çalışmadır. Söz konusu nitelikler yapının yük taşıma kapasitesi, dayanımı, sünekliği ve rijitliği yönünden olabilir. Gerçekleştirilen onarım neticesinde yapı, onarım yapılmadan önceki dayanımı kazanabilse de rijitlik açısından geçmişteki haline ulaşabilmesi daha güçtür. Bu durumun nedeni, onarılması olanaksız olan çok ince genişlikteki çatlaklardır. Ayrıca, onarım yapıda bulunan taşıyıcı olmayan duvar ve sıva gibi kısımların düzeltilmesi ve hataların kapatılması olarak düşünülmemelidir. Onarım, yapının ilk tasarımı esnasında gerçekleştirilenden çok daha detaylı bir mühendislik çalışmasını

beraberinde getirir. Ayrıca, yapıda daha önce kullanılan malzemeye kıyasla daha güçlü kalitede malzemeye gereksinim duyulacağı hususu dikkate alınmalıdır (Bayülke, 1995).

Güçlendirme ise, bir yapının yük taşıma kapasitesini, stabilitesini, rijitliğini ve sünekliğini önceki halinin üzerine taşımak için yapılan bir çalışmadır. Bu çalışma, yapıda bulunan elemanların niteliklerini artırmakla veya yapısal elemanlar ilave edilmesiyle gerçekleştirilir. Onarım için yapıda hasarın oluşması şartı gerekmektedir. Güçlendirmede ise böyle bir koşul bulunmamaktadır. Hasar görmemiş bir yapı, projelendirildiği dönemdeki şartların farklılaşıp yönetmelik ve şartnamelere göre fazla yüklere maruz kalması, eksik kapasitede projelendirilmesi, kullanım amacının değişmesi, uygulama esnasında yapılan hatalar gibi nedenlerle güçlendirilebilir (Bayülke, 1995).

Onarım ve güçlendirmenin ilk kademesi olan yapıdaki hasarın tespit edilebilmesi için yapılarda ve elemanlarında farklı tesirlerin oluşturduğu hasar şekillerinin belirlenmesi gerekir. Hasarın göstergesi taşıyıcı elemanlarda oluşan çatlaklar ve sehimlerdir. Meydana gelen çatlakların ebatları ve yeri, hasarın türü ve yapıya tesir eden kuvvetlerin şiddetine ilişkin bilgi verir. Yapının fiziksel olarak onarılmasının imkân dâhilinde bulunup bulunmaması kararının verilmesinde, meydana gelen hasarın düzeyi belirleyicidir. Yapının onarım ve güçlendirilmesindeki başka bir aşama ise yapının mevcut taşıyıcı sistemiyle hangi oranda güvenlik limitlerinde olduğunun belirlenmesidir. Bu kapsamda çelik, beton gibi malzemelerin mukavemetlerinin tespit edilmesi gerekli olup ayrıca, yapı malzemelerinin mekanik özelliklerinde sürece ait farklılaşmaların belirlenmesi de gerekir. Hasarlı yapıların onarım ve güçlendirilmesinde kullanılacak malzemenin yapının diğer elemanlarıyla birlikte çalışabilmesi, yük taşıma kapasitesinin hangi oranda artabileceği, kısacası onarım ve güçlendirmenin etkinliği, uygulanacak yönteminin tespit edilmesinde etken olmaktadır (Bayülke, 1995).

Bu kapsamda; onarılacak yapının mevcut durumu, amaçlanan güvenlik düzeyi, hasar tipi ve derecesi, onarımın maliyeti, personel ve ekipman, işin yapım süresi gibi durumlar dikkate alınarak en uygun metot ve malzeme seçilmelidir. Günümüz onarım uygulamalarında kullanılan malzemelerden biri olan tamir harçlarının, onarım endüstrisindeki gelişmelere rağmen, erken yaş performansları, uzun vadede dayanıklılık özellikleri, süneklik kapasiteleri ve saha şartlarındaki etkinliği gibi hususları karşılayamadığı durumlar olabilmektedir.

Bu amaç doğrultusunda, yapılan tez çalışmasında, erken ve nihai süreçte yüksek performans gösteren, yüksek dayanıklılık ve süneklik özelliklerine sahip, şekil

değiştirme sertleşmesi oluşturan ayrıca, çatlak kontrolü sağlayan ECC'lerin panel şeklinde üretilip onarım malzemesi olarak kullanılması amaçlanmıştır.

1.2. Tasarlanmış Çimento Esaslı Kompozitler

1990'lı yıllarda Michigan Üniversitesi'nde yapılan çalışmalarda matrise hacimce düşük oranlarda kısa polimer lifler ilave edilerek; süneklik özelliği yüksek, mikro genişlikli çoklu çatlak davranışına sahip, matriste şekil değişimi sertleşmesi gösteren tasarlanmış çimento esaslı kompozitler geliştirilmiştir (Li, 1993).

ECC'ler yüksek dayanıklılık ve süneklik özellikleri kapsamında mikro-mekanik tabanlı tasarım yaklaşımları uygulanarak dizayn edilen ve şekil değiştirme sertleşmesi gösteren bir kompozit malzeme çeşitidir (Yıldırım ve ark., 2015a; Yıldırım ve ark., 2015b). ECC, oluşan ilk çatlaktan sonra sünek bir malzeme şeklinde şekil değiştirme sertleşmesi davranışı oluşturmaktadır. Ayrıca, lif donatılı ve normal betonlar ile kıyaslandığında, çekme şekil değiştirme açısından; ECC, 300 ile 500 kat daha fazla kapasiteye sahiptir. Yük altında kendi kendine çatlak kontrolü davranışı meydana getiren ECC bu özelliği ile normal ve lif donatılı betonlardan farklılık göstermektedir. ECC numunelerinde deformasyon hangi seviyede olursa olsun, genel olarak çatlak genişliği 200 μm değerinde veya daha az miktarlarda sınırlı kalmaktadır (Yıldırım, 2018).

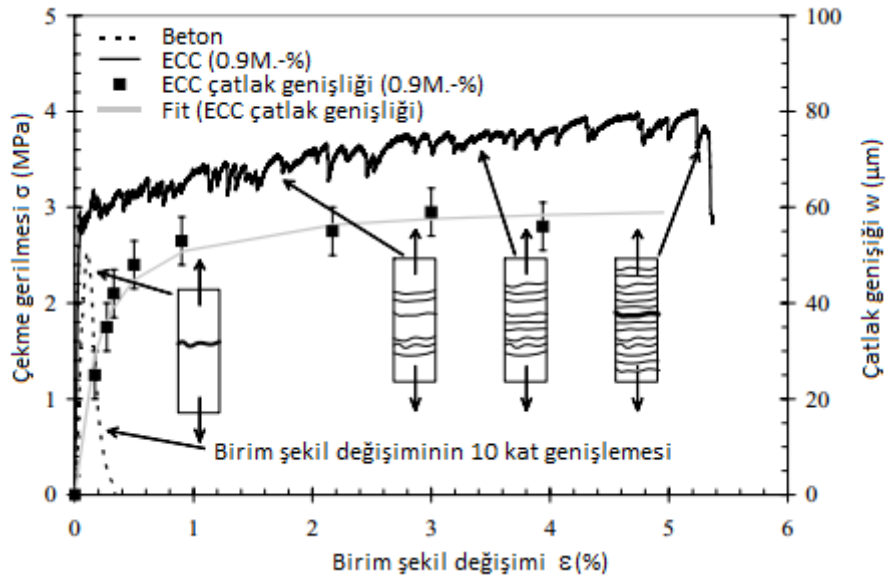
Orta düzeyde lif miktarı ile yüksek çekme sünekliğine sahip yüksek performanslı lif donatılı çimento esaslı kompozitlerin türü olan ECC, sünek metallerde olduğu gibi çekme yükleri etkisinde oluşan ilk çatlağın devamında şekil değişim sertleşmesi göstermektedir (Li, 2003). Söz konusu çekme yükleri etkisinde oluşan şekil değişim sertleşmesi davranışı; lif, matris ve lif-matris ara yüzü etkileri dikkate alınıp mikro mekanik model ile detaylı olarak dizayn edilmektedir (Li ve Leung, 1992).

ECC'ye etki eden çekme yükü neticesinde oluşan çatlak, matrisin en zayıf olduğu kesiminde meydana gelir. Çekme yükünü üzerine alan çatlak üzerinde bulunan lifler, matristen dışarı çıkarken, çatlak açılmaya başlar. Matrisin en zayıf olduğu kesiminde oluşan ilk çatlağın devamında çekme yükü kapasitesi artmayı sürdürürken, çok sayıda mikro çatlak ile beraber şekil değişim sertleşmesi durumu oluşur ve meydana gelen mikro çatlak boyunca çekme yükü yükselmeyi sürdürür. Dolayısıyla bu davranış sayesinde belirli kısımda meydana gelecek ani gevrek kırılma önlenmiş olunur.

ECC'nin sünekliği, çok sayıda meydana gelen mikro çatlak hasarından kaynaklanan dağıtılmış bütün mikro çatlaklardaki şekil değişimlerin toplamıdır (Li, 2012).

ECC'nin mikro çatlak genişliği ile karakteristik çekme gerilmesi-birim şekil değişim eğrisi Şekil 1.1'de verilmiştir. ECC'de önemli şekil değiştirme kapasitelerine; meydana gelen tek çatlak genişliğinin devamlı büyümesinin yerine, çoklu çatlakların birbirini izleyerek çoğalması ile erişilmektedir. Şekil 1.1 incelendiğinde, %1 şekil değişimine kadar çatlak genişliğinin ardışık olarak arttığı ve hemen hemen 60 μm değerine ulaştığı görülmektedir. Eğrinin devamında, yani %1 ile %5 birim şekil değişimi bölgesinde ise çatlak genişliğinin neredeyse sabit kaldığı, bu genişliğin 60 μm civarında olduğu ve çatlak sayısının arttığı görülmektedir (Weimann ve Li, 2003).

Şekil 1.1, 60 μm sabit çatlak genişliğine sahip ECC'nin bir örneğini gösterse de, karışımda kullanılan uçucu külün miktarına bağlı olarak 20 μm gibi düşük çatlak genişlikleri de elde edilmiştir (Yang ve ark., 2007).



Şekil 1.1. ECC için çekme gerilmesi ile birim şekil değişimi eğrisi ve çatlak genişliği (Weimann ve Li, 2003)

ECC, kendisi dışındaki lifli beton çeşitleriyle kıyaslandığında karışımındaki kullanılan malzemeler açısından benzerlik göstermektedir. Ancak ECC'nin tasarım ilkesi diğer lifli beton çeşitleriyle büyük ölçüde farklıdır. ECC malzemesinde şekil değişimi sertleşmesi özelliğini sağlamak için tasarımında lif içeriği artırılmaz. Yüksek lif miktarı yerine, lif, matris ve lif-matris ara yüzündeki sinerjik etkileşimleri dizayn ederek lif miktarı minimum düzeye düşürülür. Ayrıca, çoklu mikro çatlaklar meydana

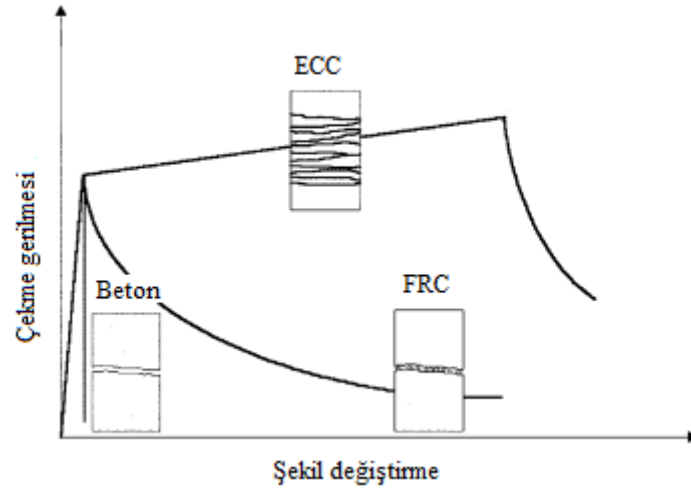
getirilerek malzemenin çekme şekil değişim kapasitesi artırılır. Elastik ve elastik olmayan yükleme kademelerinde kullanılan ECC, içeriğinde bulunan lifler sayesinde normal ve son servis yüklerinde bile tesirli olur (Li, 2008).

ECC'nin çekme şekil değişimi kapasitesi oldukça yüksektir. Eğilme yükleri altında kirişin tabanında çok sayıda mikro çatlak oluşur ve kirişin büyük bir eğrilik gelişimine maruz kalmasına izin verir. Sehim sertleşmesi, ECC'nin içsel bir özelliğidir ve geometriye bağlı değildir. Bu, kiriş yüksekliği arttıkça sehim sertleşmesinin elde edilmesinin daha zor hale geldiği gerilim yumuşatma durumu lif takviyeli beton (FRC) için geçerli değildir (Stang ve Li, 2004). Şekil 1.2'de oldukça deforme olmuş bir ECC kirişi görülmektedir (Lim ve ark., 2012).



Şekil 1.2. ECC kompozitin eğilme yükleri altındaki sünek davranışı (Lim ve ark., 2012)

Yapılan çalışmalarda, eğilme ve çekme mekanik özellikleri bakımından farklılık gösteren kompozit türleri bulunmakta olup bu kompozitler genel olarak ECC, FRC ve geleneksel beton olarak 3 sınıfa ayrılmaktadır. Şekil 1.3'de ECC, FRC ve geleneksel beton malzemesinin göçme biçimleri verilmiştir. Şekil 1.3'de görüldüğü üzere; ECC, şekil değişimi sertleşmesine, FRC yarı gevrek davranışa, geleneksel beton ise gevrek davranışa sahiptir. ECC'de gerçekleşen yüksek çekme şekil değişimi kapasitesi, malzemenin maksimum yüke gelinceye kadar çok sayıda matris çatlağın meydana gelmesiyle elde edilmektedir. Dolayısıyla üretilen ECC, geleneksel betondan birkaç yüz kat fazla çekme şekil değişim kapasitesine ulaşacaktır. ECC'nin geliştirilen kırılma enerjisi ve eğilme dayanımı; ECC, FRC ve geleneksel beton arasındaki şekil değişim sertleştirme davranışının farklılığını oluşturmaktadır (Fischer ve Li., 2002).



Şekil 1.3. Kompozitlerin çekme gerilmesi-şekil değiştirme davranışları (Fischer ve Li, 2002)

1.2.1. Kullanılan malzemeler ve karışım oranları

ECC üretiminde çimento, uçucu kül, ince agrega, su, %2 lif içeren polimerik lifler ve katkılar kullanılmaktadır. ECC karışımında polietilen (PE), polivinil alkol (PVA) ve yüksek dayanımlı polipropilen (HTPP) gibi polimer lifler kullanılmakta olup bu husus ECC'yi geleneksel beton ve FRC'den ayırmaktadır (Li ve ark., 2001; Maalej ve Li, 1995; Felekoğlu ve ark., 2014).

ECC karışımında iri agreganın bulunmaması ise diğer bir farklılıktır. ECC üretiminde kaba agregaların kullanılmamasının sebeplerinden birisi liflerin karışım içindeki homojen dağılımını bozmasıdır. Ayrıca, şekil değişimi sertleşmesine sahip ECC'nin matris kırılma tokluğu, en büyük lif köprüleme gerilmesine gelmeden çoklu mikro çatlaklar oluşturacak biçimde sınırlandırılmalı, bu durum ise geleneksel beton içeriğindeki kaba agregaların ECC'de bulunmaması ile sağlanmaktadır. ECC'de kaba agreganın kullanılmaması karışımında bulunan çimento miktarının artmasına sebep olmaktadır. Bu durum üretimde kullanılan uçucu kül ile azaltılmaktadır (Wang ve Li, 2007).

Tipik bir ECC (ECC-M45) için, çoklu mikro çatlak genişliği, lif ve matris bileşenlerinin çeşidi, miktarı ve boyutu ile arayüz özellikleri ile ilgili kendine özgü yapısı dikkate alınarak tasarlanan karışım oranları ve kullanılan malzemeler Çizelge 1.1'de verilmiştir. Daha önce de belirtildiği üzere ECC üretiminde iri agrega bulunmamakta, yeterli rijitliğin ve hacim stabilitesinin sağlanabilmesi için karışım

kum/bağlayıcı oranı 0.36 olacak şekilde ince silis kumu kullanılmaktadır. Karışımdaki silis kumunun ortalama boyutu 110 μm ve maksimum tane boyutu ise 250 μm 'dir. ECC'de, taze ve sertleştirilmiş malzeme özelliklerinin optimum dengesini oluşturmak için su/bağlayıcı oranı 0.26 olarak belirlenmiştir. Su/bağlayıcı oranında bulunan bağlayıcı, çimento ve uçucu külün toplamı şeklindedir. Ayrıca, karışımdaki tüm matris bileşenlerinin tane boyutu, yeni özellikler elde etmek için uygun şekilde derecelendirilebilir (Fischer ve ark., 2003).

Çizelge 1.1. ECC-M45 için ağırlığa göre ECC karışım tasarım oranları (Li, 2008)

Çimento	Uçucu kül	Kum	Su	Süperakışkanlaştırıcı	Lif hacmi (%)
1	1.2	0.8	0.56	0.012	0.02

ECC, temel özelliklerinin daha net anlaşılabilmesi açısından geleneksel beton ile karşılaştırılmış olup tablo Çizelge 1.2'de verilmiştir.

Çizelge 1.2. ECC ve geleneksel betonun özelliklerinin karşılaştırılması (Şahmaran ve ark., 2012)

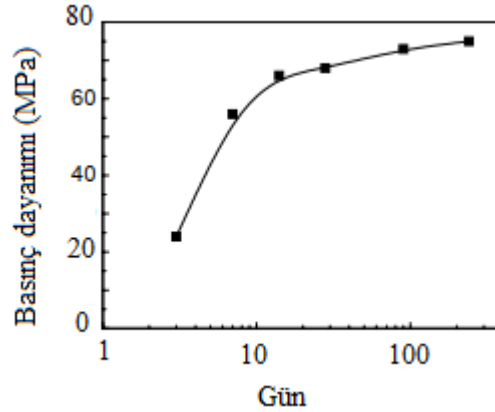
Özellikler	Geleneksel Beton	ECC
Çekme şekil değişim kapasitesi	0.01% - 0.02%	2-5% (yaklaşık olarak 200-500 kat daha fazla sünek)
Eğilmede çekme dayanımı (MPa)	5-8	10-14 (hemen hemen iki kat daha fazla)
Basınç dayanımı (MPa)	30-60	40-150 (üç kata kadar daha fazla)
Boyutsal uyumluluk	Zayıf	Geleneksel betonla fazlasıyla uyumlu
Kısıtlanmış rötre çatlak genişliği	1 mm	0.03 mm
Geçirimlilik (m/s)	1.7×10^{-5}	2.5×10^{-10} (çok düşük geçirimliliğe sahip)
Yorulma mukavemeti	Zayıf	Geleneksel betonla kıyaslandığında onlarca kat daha iyi
Çatlama/Tabakalanma	Gevrek	Sünek
Dona karşı dayanım	Hava sürüklenmiş durumda iyi	Hava sürüklenmiş beton kadar veya daha fazla dayanıklı

1.2.2. Mekanik özellikler

1.2.2.1. Basınç dayanımı özellikleri

ECC'nin basınç dayanımı özellikleri, yüksek dayanımlı betonla kıyas edildiğinde önemli ölçüde farklılık göstermemektedir. Şekil 1.4'de standart bir ECC silindir numunesinin 8 aylık basınç dayanımı değişimi grafiği görülmekte olup dayanım artışı ilk 14 günde hızlı artış göstermiş ve 14 günlük dayanım 65 MPa civarına ulaşmıştır. Bu değerden sonra dayanım kazanımı çok daha yavaş ilerlemiş ve 8 ayda 75 MPa olduğu görülmüştür (Wang ve Li, 2006).

Yüksek dayanımlı betona benzer şekilde PVA-ECC M45, basınç dayanımı testinde kırılmadan önce neredeyse doğrusal davranış sergiler. ECC'nin basınç dayanımı grafiğindeki tepe noktası sonrası davranışı, yüksek dayanımlı betona göre daha yumuşak bir şekilde alçalma eğilimi gösterirken, kırılmadan sonra kademeli olarak azalma şeklinde gerçekleşir (Li, 2008).

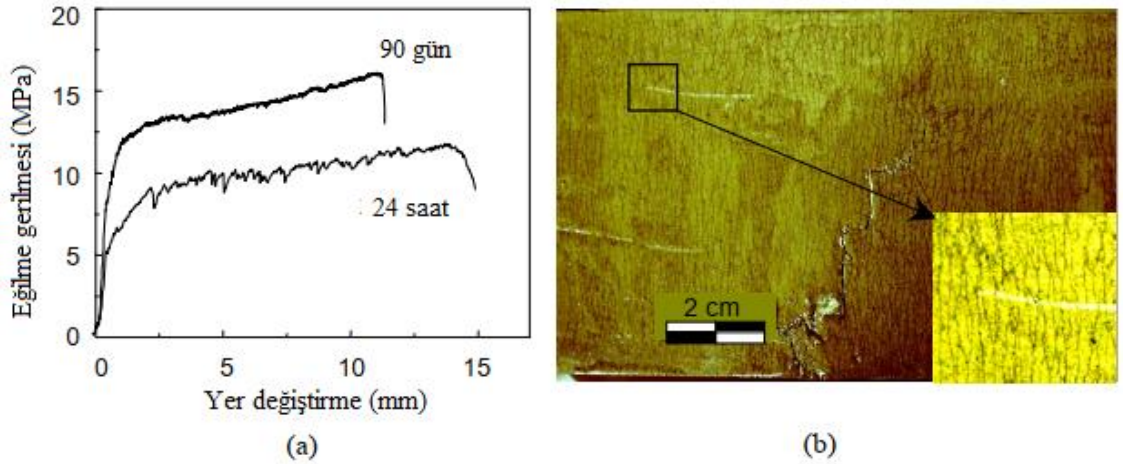


Şekil 1.4. ECC (M45) silindir numunesinin basınç dayanımı gelişimi (Wang ve Li, 2006)

ECC, 30-90 MPa arasında değişebilen basınç dayanımına sahiptir. Ayrıca, karışımında kaba agregaların bulunmaması sebebiyle normal betona kıyasla elastisite modülü (yaklaşık 20-25 GPa) daha düşüktür. ECC'nin basınç şekil değiştirme kapasitesi %0.45-0.65 aralığında olup normal betondan daha yüksek basınç şekil değiştirme kapasitesine sahiptir (Li, 2008).

1.2.2.2. Eğilme performansı özellikleri

ECC'nin eğilme performansı, malzemenin çekme sünekliğini yansıtır (Maalej ve Li, 1994; Wang, 2005; Wang ve Li, 2006; Kunieda ve Rokugo, 2006a). Eğilme yükü etkisinde, kirişin tabanında çok sayıda mikro çatlak oluşur ve bu husus kirişte büyük bir eğrilik gelişiminin oluşmasını sağlar. Ayrıca, bu durum "bükülebilir beton" adıyla sonuçlanan bir olgudur. Şekilde 1.5(a)'da görüldüğü gibi ECC numuneleri 10-15 MPa'lık bir eğilme dayanımı değerine ulaşabilir ve buna büyük ölçüde şekil değiştirme sertleşmesi eşlik eder. ECC'nin içsel bir özelliği olan şekil değiştirme sertleşmesi geometriye bağlı olarak değişmemektedir (Stang ve Li, 2004). Şekil 1.5(b)'de ise, deforme olmuş bir ECC kirişin çekme tarafındaki ince çoklu çatlama durumu gösterilmektedir (Wang, 2005; Wang ve Li, 2006).



Şekil 1.5. (a) ECC'nin eğilme gerilmesi-yer değiştirme eğrisi (b) ECC kirişinde oluşan çoklu mikro çatlaklar (Wang ve Li, 2006)

1.2.3. Uygulama alanları

ECC'nin saha uygulamalarında dayanıklı bir onarım malzemesi olarak çok yönlülüğünü göstermek için, ECC'nin kullanımını içeren birkaç proje aşağıda kısaca belirtilmiştir.

Japonya'da bulunan Mitaka Barajı'nın 2003 yılında tamamlanan onarımı Şekil 1.6'da görülmektedir (Kojima ve ark., 2004). 2003 yılında 60 yaşın üzerinde olan barajın yüzeyinde çatlaklar, dökülme ve su sızıntısı oluşmuş ve baraj yüzeyi ciddi şekilde hasar görmüştür. Barajın yüzeyine 30 mm'lik katman şeklinde uygulanan ECC

malzemesi, 500 m²'lik yüzeye püskürtülme yöntemi kullanılarak yapılmıştır (Kunieda ve Rokugo, 2006b).



Şekil 1.6. ECC'nin Mitaka Barajına püskürtme yöntemiyle uygulanması (Kojima ve ark., 2004)

Japonya'da alkali silika reaksiyonu ile hasar görmüş istinat duvarı Şekil 1.7'de görüldüğü gibi ECC kullanılarak onarılmıştır (Rokugo ve ark., 2005). İstinat duvarına 50-70 mm kalınlığında uygulama yapılarak onarım işlemi gerçekleştirilmiştir. ECC ile yapılan onarım, malzemenin göstereceği performansı tespit edebilmek açısından sürekli izlenmiştir. Onarımdan 10 ve 24 ay sonra onarım tabakasındaki mikro çatlak genişlikleri ölçülmüştür. ECC ile onarılan tabakalarda çatlak genişlikleri 10 ay sonra 50 µm ve 24 ay sonra ise 120 µm değerlerinin altında ölçülmüştür. Kontrol ve kıyas edilmesi açısından normal tamir harcı ile onarılan tabakalarda ise çatlak genişliğinin 10 ay sonra 0.2 mm ve 24 ay sonra ise 0.3 mm olduğu görülmüştür. Onarımdan sadece bir ay sonra, normal harç ile tamir edilen bloklarda çatlama görsel olarak gözlenirken, ECC ile onarılan kaplamada ise onarımdan 7 ay sonrasına kadar geçen sürede herhangi bir çatlama gözlenmemiştir (Kunieda ve Rokugo, 2006b).



Şekil 1.7. (a) İstinat duvarının yüzeyinin onarımdan önceki görünümü (b) Onarımdan sonraki görünümü (Rokugo ve ark., 2005)

Japonya’da yüksek bina inşaatlarında, binanın çekirdek birleşimlerinde bulunan bağlantı kirişlerinde ECC kullanılmıştır (Maruta ve ark., 2005). Bu bağlantı kirişleri, sismik olaylar sırasında yüksek enerji sönümleme kapasitesi sağlamaktadır. Ayrıca, ECC ile üretilmiş bağlantı kirişleri, depremlerden sonra meydana gelebilecek onarım çalışmalarını en aza indirmesi sebebiyle oldukça avantajlıdır (Kunieda ve Rokugo, 2006b).



2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Li ve Li (2011) tarafından yapılan çalışmada, onarım uygulamalarında kullanılan erken yaş yüksek dayanımlı Tasarlanmış Çimento Esaslı Kompozitler (HES-ECC) incelenmiştir. Bu kapsamda, PVA lif kullanılarak üretilen HES-ECC numunelerine; basınç, çekme, eğilme ve rötre özelliklerinin tespit edilmesi açısından deneyler yapılmıştır. Üretilen numuneler üzerinde yapılan basınç dayanımı testi sonuçlarına göre, 4 saatlik dayanım 23.59 ± 1.40 MPa değerine ulaşmıştır. 28 günlük basınç dayanımı ise 55.59 ± 2.17 MPa olarak bulunmuştur. Eğilme dayanımı, 4 saatte 9.81 ± 0.24 MPa ve 28 günde ise 15.08 ± 0.34 MPa değerine ulaşmış olup bu değer benzer basınç dayanımına sahip betonun eğilme dayanımının 2 katından fazladır. Çekme dayanımı 4 saatte 3.46 ± 0.08 MPa ve 28 günde 5.68 ± 0.14 MPa olarak bulunmuştur. Kısıtlanmış rötre şartları altında, $50 \mu\text{m}$ 'den daha az çatlak genişliğine sahip kendinden kontrollü mikro çatlaklar oluşmuştur. Bulunan sonuçlar neticesinde, üretilen HES-ECC malzemesinin beton onarımlarında uygulanmasının son derece uygun olduğu görülmüştür.

Yıldırım (2018) tarafından yapılan çalışmada, HES-ECC üretilmiş ve onarım uygulamalarında kullanılabilirliği incelenmiştir. HES-ECC üretiminde özellikle süneklilik ve çekme yüklemeleri ile oluşan çoklu mikro çatlak oluşumu hususları dikkate alınmıştır. PVA lif kullanılarak üretilen HES-ECC malzemelerin öncelikle temel mekanik özellikleri test edilmiştir. Daha sonra üretilen HES-ECC malzemelerin onarım uygulamalarında kullanılabilirliğinin uygunluğunu belirlemek için piyasadaki bir onarım malzemesiyle kıyaslanmıştır. Bu kapsamda hem üretilen HES-ECC malzemeleri, hem de kıyaslama yapılabilmesi için onarım malzemesi, alt tabaka betonu üzerine uygulanmış ve tabakalı numunelerde yansıma çatlağı ve eğilmede çekme dayanımı deneyleri yapılmıştır. Sonuç olarak, üretilen HES-ECC numunelerin temel mekanik özellikleri ve sünekliliği bakımından, piyasada kullanılan onarım malzemesinden daha yüksek sonuçlar elde edilmiştir. Üretilen tabakalı numunelerin eğilme dayanımı ve yansıma çatlağı testi sonuçları kıyaslandığında HES-ECC malzemesinin, onarım malzemesine kıyasla eğilme dayanımı ve sehim değerlerine göre daha yüksek sonuçlara sahip olduğu ayrıca, onarım malzemesindeki yansıma çatlağının üst tabakada tekil şekilde meydana geldiği, HES-ECC numunesinde ise çok sayıda mikro çatlak oluşarak yansıma çatlağının küçüldüğü görülmüştür.

Şimşek (2013) tarafından yapılan çalışmada, HES-ECC üretilmiş ve malzemenin performans özellikleri incelenmiştir. Bu kapsamda cüruf/portland çimentosu ve su/bağlayıcı malzeme oranları farklı olan karışımlar hazırlanmıştır. Lif olarak PVA lif kullanılmıştır. Üretilen HES-ECC numunelerin üzerinde yapılan basınç dayanımı test sonuçlarına göre, numunelerin önemli bir kısmının 6 saatte 20 MPa'dan daha yüksek basınç dayanımı değerlerine ulaştığı görülmüştür. Eğilme deneyinde ise numuneler minimum 6 MPa eğilme dayanımına ulaşmıştır. HES-ECC ile üretilen numuneler, normal dayanımdaki ECC numunelere benzer düzeyde şekil değiştirme sertleşmesi göstermiş olup yapılan deneyler neticesinde elde edilen veriler değerlendirildiğinde HES-ECC'nin onarım uygulamaları için gerekli koşulları sağladığı çalışmada belirtilmiştir.

Uygunoğlu ve ark. (2022) tarafından yapılan çalışmada, farklı oranlarda PVA lif, harç karışımına ilave edilerek hacimce farklı oranlarda PVA içeren harçlar üretilmiştir. Harcın içerisine ilave edilen PVA lif oranları hacimce %2, %4 ve %6 oranlarındadır. Ayrıca, kıyaslama yapmak açısından lif eklenmemiş kontrol numunesi üretilmiştir. Harç karışımında çimento, uçucu kül, silis kumu, süperakışkanlaştırıcı, su ve belirtilen oranlarda PVA lif bulunmaktadır. Sertleşmiş harç numuneleri üzerinde basınç ve eğilme dayanımı, dinamik elastisite modülü, su emme, ultrases hızı ve mikroyapı incelemesi testleri yapılmıştır. Basınç ve eğilme dayanımı sonuçları incelendiğinde en yüksek değerlerin %2 oranında lif içeren numunelerin oluşturduğu görülmüştür. Sertleşmiş harç numuneleri üzerinde yapılan basınç testi sonuçlarına göre, kontrol numunesiyle kıyaslandığında içerisinde %2 oranında PVA lif bulunan numunelerin dayanım değeri %36 oranında artış göstermiştir. Numunelerin eğilme dayanımı sonuçları incelendiğinde, yine %2 oranında PVA lif içeren numunelerin eğilme dayanımının kontrol numunesine göre %18.11 oranında arttığı görülmüştür. Ayrıca, numunelerde çatlak genişliklerinin lif oranının artmasıyla azaldığı ve çoklu çatlakların arttığı gözlenmiştir.

Küçükarslan (2019) tarafından yapılan çalışmada, farklı oranlarda PVA lif içeren tasarlanmış çimento esaslı kompozit numuneler üretilmiştir. Tasarlanmış çimento esaslı kompozit numune üretiminde kullanılan PVA lif oranları %1, %1.25, %1.5 ve %1.75'dir. Farklı oranlarda PVA lif içeren numunelerle kıyas yapılabilmesi için ayrıca hacimce %2 oranında PVA lif içeren kontrol numunesi üretilmiştir. Numunelerin temel mekanik özelliklerinin belirlenmesi açısından basınç ve eğilme dayanımı testleri yapılmıştır. Test sonuçlarına göre tüm karışımların yüksek basınç ve eğilme dayanımına

sahip olduğu görülmüştür. Numunelerde basınç dayanımı, PVA lif oranının azalması neticesinde artmış olup %2 PVA lif içeren kontrol numunesinin 28 günlük basınç dayanımı 66.1 MPa, %1 PVA lif içeren numunenin ise 69.3 Mpa olarak ölçülmüştür. Eğilme dayanımı ise PVA lif oranının yükselmesiyle artmış olup %2 PVA lif içeren kontrol numunesinin 28 günlük eğilme dayanımı 10.51 MPa, %1 PVA lif içeren numunenin ise 6.3 MPa olarak ölçülmüştür. PVA lif oranının azalması ile kuruma rötresi değerleri kısmen azalmıştır. Ayrıca, üretilen karışımların rijit üstyapı kaplaması olarak kullanılabilirliği çeşitli deneylerle test edilmiştir.

Boğazkesen (2011) tarafından yapılan çalışmada, PVA lif donatılı çimento esaslı kompozitlerin mekanik özellikleri araştırılmıştır. Bu kapsamda çeşitli fiziksel özelliklere sahip PVA lifler kullanılarak üretilen çimento bağlayıcılı kompozitlerin çeşitli mekanik özellikleri incelenmiştir. Farklı su/bağlayıcı oranlarında üretilen karışımlara, farklı yüzdelerde PVA lif ilave edilerek çimento bağlayıcılı kompozitler üretilmiştir. Ayrıca, kıyas yapılabilmesi açısından lifsiz kontrol numuneleri de üretilmiştir. Sertleşmiş numuneler üzerinde basınç, dört noktalı eğilme ve charpy impact deneyleri yapılmıştır. Sonuç olarak karışıma PVA lif ilave edilmesinin harcın işlenebilirliğini azalttığı gözlenmiştir. Genel olarak PVA lif donatılı harçların kontrol harcına kıyasla daha yüksek basınç dayanımına sahip olduğu belirlenmiş olup harca PVA lif ilave edilmesinin özgül kırılma enerjisini fazlasıyla yükselttiği görülmüştür.

Noushini ve ark. (2013) tarafından yapılan çalışmada, PVA lifin, lif takviyeli betonun dinamik özelliklerine etkisi incelenmiştir. Bu kapsamda üretilen betonlarda, uzunlukları 6 ve 12 mm olan 2 farklı geometrik özelliğe sahip PVA lif kullanılmıştır. PVA lifler beton hacminin %0.25 ve %0.5'i oranlarında karışıma ilave edilmiştir. Uçucu kül ise çimentonun kısmi ikamesi olarak karışımda kullanılmıştır. Yapılan testler neticesinde %0.25 PVA lif içeriğinin numunelerin basınç dayanımını artırdığı, kısa lif içeren numunelerin basınç dayanımının uzun lif içerenlere göre daha yüksek olduğu, düşük hacim oranlarında PVA lif ilavesinin lif takviyeli betonun mekanik özelliklerini artırdığı buna rağmen sönümleme özellikleri için kayda değer bir etkisinin olmadığı görülmüştür.

ECC üretiminde genel olarak yüzeyi yağlı PVA lifler kullanılmaktadır. Söz konusu liflerin maliyeti oldukça yüksektir. Yağlı PVA liflerin yanı sıra ECC karışımda kullanılan yüzeyi yağsız PVA liflerin maliyeti ise kısmen daha az olmakla birlikte çekme sünekliği sınırlı olabilir. **Pan ve ark.** (2015) tarafından yapılan çalışmada, uygun maliyetli PVA lifler ile üretilen ECC'lerin mekanik özellikleri incelenmiştir. Bu

kapsamda mikromekanik prensiplerle tasarlanmış ECC'de yağsız ve hibrit PVA liflerinin kullanımının uygulanabilirliği araştırılmıştır. Ayrıca, karışım oranı parametrik analiz yoluyla yeniden belirlenmiştir. Bu amaçla 21 farklı karışım oranı ile ECC üretilmiştir. Üretilen numunelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi için, tek eksenli basınç testi, tek eksenli çekme testi ve dört noktalı eğilme testi yapılmıştır. Yapılan testlerin sonuçlarına göre, PVA-ECC'nin maliyet ve performans özellikleri dikkate alındığında karakteristik üç karışım belirlenmiştir. 1. karışım maliyeti düşük olan, çekme sünekliği kısmen düşük ve yağsız PVA lifleri ile güçlendirilmiş M7, 2. karışım maliyetli orta seviyede bulunan, çekme sünekliği kısmen yüksek ve hibrit PVA lifleri ile güçlendirilmiş M17 ve 3. karışım ise maliyetli yüksek olan ancak çekme sünekliği de yüksek olan yağlı PVA lifleri ile güçlendirilmiş M21 olarak belirlenmiştir. Dolayısıyla uygulamalarda, karışım içinde hangi özellikteki PVA lifin kullanılacağına tespit edilmesi, yapısal performans gereksinimlerine göre değişmektedir.

Zhang ve Zhang (2018) tarafından yapılan çalışmada, ECC karışımlarında yaygın olarak kullanılan ve maliyeti yüksek olan PVA liflerinin yerine düşük maliyetli PVA lifi ile üretilen yeni ECC karışım tasarımları geliştirilmiştir. Düşük maliyetli PVA liflerinin normal PVA liflerinden farkı, düşük maliyetli PVA lifinin yüzeyinde yağ kaplamasının bulunmamasıdır. Ayrıca, düşük maliyetli PVA liflerinin çekme dayanımları düşüktür. Bu kapsamda düşük maliyetli PVA lifinin kullanılmasıyla ilgili mikromekanik değişikliğin telafi edilmesi ve üretilecek ECC karışımının performansının artırılması gerekmektedir. Bu amaç doğrultusunda normal ECC karışımlarından farklı olarak, karışımlarda yüksek oranda uçucu kül, uçucu kül taneleri, viskozite değiştirici katkı ve kırıntı kauçuk kullanılmıştır. Sonuç olarak, düşük maliyetli PVA lifleri ile üretilen ECC numunelerinin çekme birim deformasyon kapasitesinin, normal PVA ile üretilen ECC'lere benzer olduğu görülmüştür. Ayrıca, düşük maliyetli PVA lifi ile üretilen numunelerin basınç ve çekme dayanımının, normal PVA lifi ile üretilen ECC'lerden daha az olduğu yapılan testler neticesinde belirlenmiştir.

Gödek ve ark. (2017) tarafından yapılan çalışmada, farklı polimerik lif türleri ile kompozitler üretilmiştir. Bu amaç doğrultusunda lif olarak, PVA, PE ve HTPP lifler kullanılmıştır. Tüm lifler karışıma hacimce %2 oranında ilave edilmiştir. 25x60x300 mm boyutlarında üretilen plakalar üzerinde 4 noktalı eğilme deneyi yapılmıştır. Bu kapsamda numunelerin çoklu çatlak davranışları da incelenmiştir. Sonuç olarak, PVA lif içeren numunelerin eğilme dayanımının, HTPP lif içeren numunelere göre daha fazla olduğu görülmüştür. Ayrıca, PE lif içeren numunelerin eğilme dayanımı ve sehim

kapasitelerinin, diğer liflerle yapılan numunelere kıyasla daha yüksek değerlere ulaştığı ve HTPP lif ile üretilen numunelerin sehim kapasitesinin PVA lif ile üretilen numunelere göre daha fazla olduğu yapılan testler sonucunda görülmüştür.

Weimann ve Li (2003) tarafından yapılan çalışmada, hacimce %2 oranında PVA lif kullanılarak üretilen ECC numunesinde çekme gerilmesi altında %1 birim şekil değişimine kadar çatlak genişliklerinin arttığı, bu genişliğin 60 μ m civarında olduğu, %1 birim şekil değişiminden sonra ise çatlak genişliklerinin neredeyse aynı seviyede kaldığı, %1 ile %5 birim şekil değişiminde çatlak genişliklerinin aynı kalmasına rağmen çatlak sayılarının fazlaştığı görülmektedir. Ayrıca, normal beton ve ECC numunesinin çekme gerilmesi ile birim şekil değiştirme eğrileri dikkate alındığında iki malzemenin sünekliği arasındaki farkın büyüklüğü görülmüştür.

Lim ve ark. (2012) tarafından yapılan çalışmada, ECC karışımında kullanılan çimento miktarının belirli oranlardaki kısmı öğütülmüş yüksek fırın cürufu ile değiştirilerek numuneler üretilmiş ve üretilen numunelerin mekanik davranışları yapılan testlerle incelenmiştir. Toplamda 5 karışım üretilmiştir. Tüm karışımlarda hacimce %2 oranında PVA lif bulunmaktadır. Öncelikle, öğütülmüş yüksek fırın cürufu kullanılmadan sadece çimento kullanılarak numuneler üretilmiştir. Daha sonra, çimento miktarının belirlenmiş oranlardaki kısmı öğütülmüş yüksek fırın cürufu ile değiştirilerek numuneler üretilmiştir. Sonuç olarak karışımında çimento yerine belirli oranlarda öğütülmüş yüksek fırın cürufu kullanımının, numunelerin 28 ve 90 günlük basınç dayanımını artırdığı bunun yanı sıra daha iyi süneklik ve lif köprüleme özelliği oluşturduğu görülmüştür.

Zhang ve ark. (2014) tarafından yapılan çalışmada, farklı hacimlerde uçucu kül içeren ECC numunelerin mekanik özellikleri ve kendi kendini iyileştirme davranışı incelenmiştir. Bu kapsamda 3 farklı oranda uçucu kül içeren ECC numuneleri üretilmiştir. Karışımlarda uçucu külün çimentoya ağırlık olarak oranı sırasıyla 1.2, 2.2 ve 4 olarak alınmıştır. Tüm karışımlarda ağırlık olarak su/çimento oranı 0.25 ve silis kumu/çimento oranı ise 0.36 olarak sabit tutulmuştur. Yine tüm karışımlarda PVA lif hacimce %2 oranında kullanılmıştır. Numuneler üzerinde yapılan testler neticesinde, karışımdaki uçucu külün miktarının artması ile basınç dayanımının azaldığı görülmüştür. Ayrıca, uçucu kül miktarının artması çatlak genişliklerini azaltmış, sehim kapasitesini ise artırmıştır. Tüm numunelerin 4 noktalı eğilme testi altında Şekil 2.1'deki gibi büyük deformasyonlar oluşturduğu görülmüştür.



Şekil 2.1. Eğilme testinde oluşan büyük deformasyon (Zhang ve ark., 2014)

Huang ve Zhang (2014) tarafından yapılan çalışmada, maksimum tane boyutu 300 μm olan yerel kumul kumu kullanılarak ECC üretilmiştir. Esasen ECC üretiminde kaba agregalar matrisin dışında tutulur ve genel olarak en fazla 200 μm tane boyutundaki mikro silika kullanılarak üretilir. Maksimum tane boyutu 300 μm olan yerel kumul kumu ve PVA lif kullanılarak üretilen numuneler üzerinde basınç ve çekme deneyleri yapılmıştır. Sonuç olarak, yeni geliştirilen kompozitin, yüksek bir nihai çekme dayanımına sahip olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, numunelerin basınç dayanımının mevcut PVA lif ile üretilen ECC'ler ile kıyaslanabilir olduğu ve iyi bir çekme birim deformasyon sertleşmesi davranışına sahip olduğu görülmüştür.

Şahmaran ve ark. (2009) tarafından yapılan çalışmada, ECC üretiminde kullanılan agrega türü ve boyutunun malzemenin mekanik ve süneklik özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu kapsamda dolomitik kireçtaşı kumu veya çakıl kumu kullanılmak suretiyle ECC üretilmiştir. Ayrıca, kıyas yapılabilmesi açısından mikro silis kumu içeren standart ECC karışımları yapılmıştır. Karışımlarda kullanılan uçucu külün portland çimentosuna oranı 1.2, 2.2 ve 4.2 olarak belirlenmiş ve bu oranlar dikkate alınarak karışımlar üretilmiştir. Agrega türünün, boyutunun ve uçucu kül/çimento oranının değişiminin malzemenin basınç, tek eksenli çekme, eğilme ve rötre davranışı üzerindeki etkileri yapılan deneyler ile belirlenmiştir. Sonuç olarak ezilmiş dolomitik kireçtaşı kumu ve daha yüksek maksimum agrega boyutlarına sahip çakıl kumu ile üretilen ECC karışımlarının, matriste yüksek oranda uçucu kül kullanılması şartıyla, standart mikro silis kumu ile üretilen ECC karışımlarıyla karşılaştırılabilir şekil değiştirme ile birim deformasyon sertleşmesi davranışı sergilediği görülmüştür.

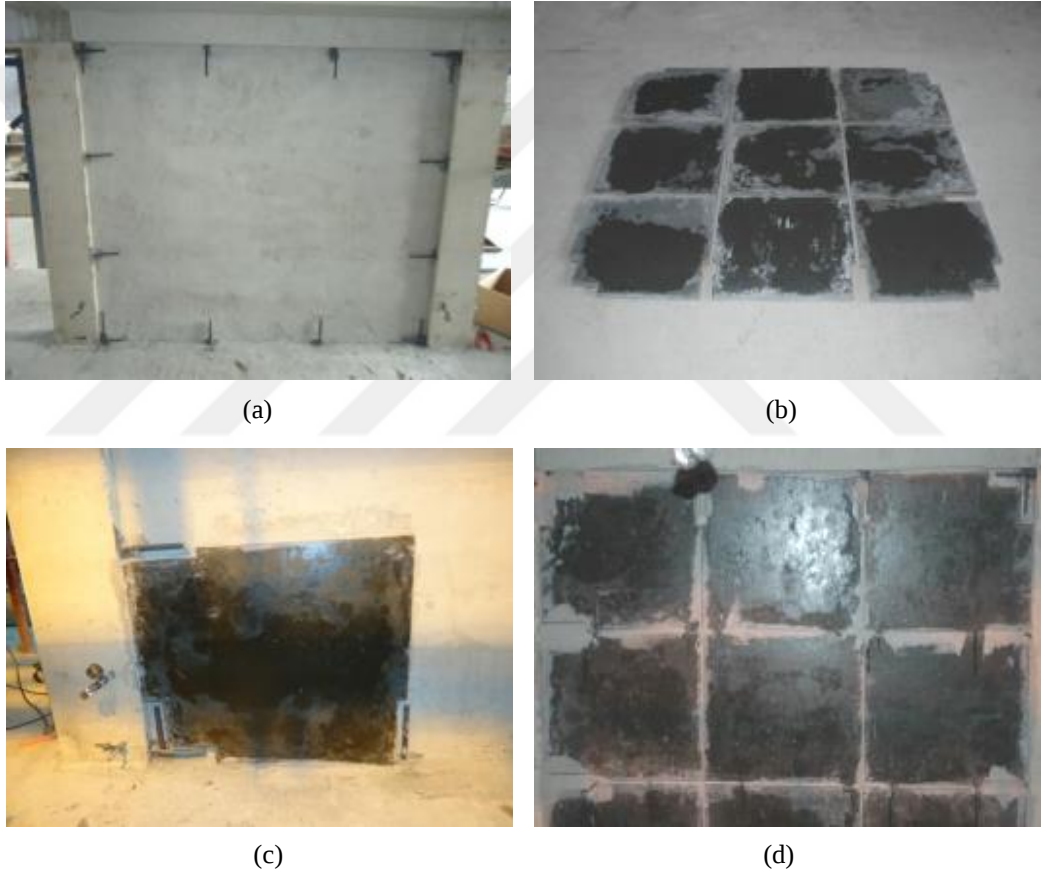
Ahmadi ve Nateghi-Alahi (2022) tarafından yapılan çalışmada, dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin prefabrik ECC (PECC) panellerle güçlendirilmesi incelenmiştir. Bu kapsamda ilk olarak ECC malzemesinin çeşitli mekanik özellikleri test edilmiş, sonrasında ise üretilen PECC panellerin duvara bağlanması için 2 tür mekanik bağlantı belirlenmiştir. PECC ile kaplanan duvar panellerine 9 adet diyagonal basınç deneyi yapılmıştır. Bu testlerde 2 bağlantı tipi arasından uygun olanı tespit edilmiştir. Sonrasında ise Şekil 2.2’de görüldüğü gibi toplamda 3 adet, tek katlı ve tek açıklıklı olan dolgu duvarlı betonarme çerçeve, kalınlıkları ve bağlantı türleri farklı olan PECC ile güçlendirilmiş ve çevrimsel yatay yük altında test edilmiştir. Sonuç olarak güçlendirilen dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin dayanımının, deformasyonunun, rijitliğinin ve enerji yutma kapasitesinin önemli ölçüde arttığı görülmüştür. Ayrıca, genel olarak önerilen bağlantılarla dolgu duvara bağlanan PECC panellerin, sistemin düzlem içi yönde yanal davranışını iyileştirdiği ve dolgu duvarı çevreleyerek çökme riskini önemli ölçüde azalttığı görülmüştür.



Şekil 2.2. Numunenin güçlendirmeden sonraki görünümü (Ahmadi ve Nateghi-Alahi, 2022)

Ayatar (2018) tarafından yapılan çalışmada, çimento, silis kumu, uçucu kül, su, süperakışkanlaştırıcı katkı maddesi ve PVA lif kullanılarak üretilen tasarlanmış çimento bağlayıcı kompozit panellerin boşluklu tuğla duvarlar üzerine uygulanmasıyla gerçekleştirilen güçlendirme yöntemi hem deneysel hem de analitik olarak incelenmiştir. Çalışma kapsamında $\frac{1}{2}$ ölçekli, üç katlı, üç açıklıklı, toplamda üç adet betonarme çerçeve üretilmiştir. Deprem yönetmeliğine uyumlu olmayacak şekilde üretilen çerçevelerin birine dolgu duvar yapılmamış, diğerlerine her katın orta açıklığına boşluklu dolgu duvar yapılmıştır. Boşluklu dolgu duvar yapılan çerçevelerden biri

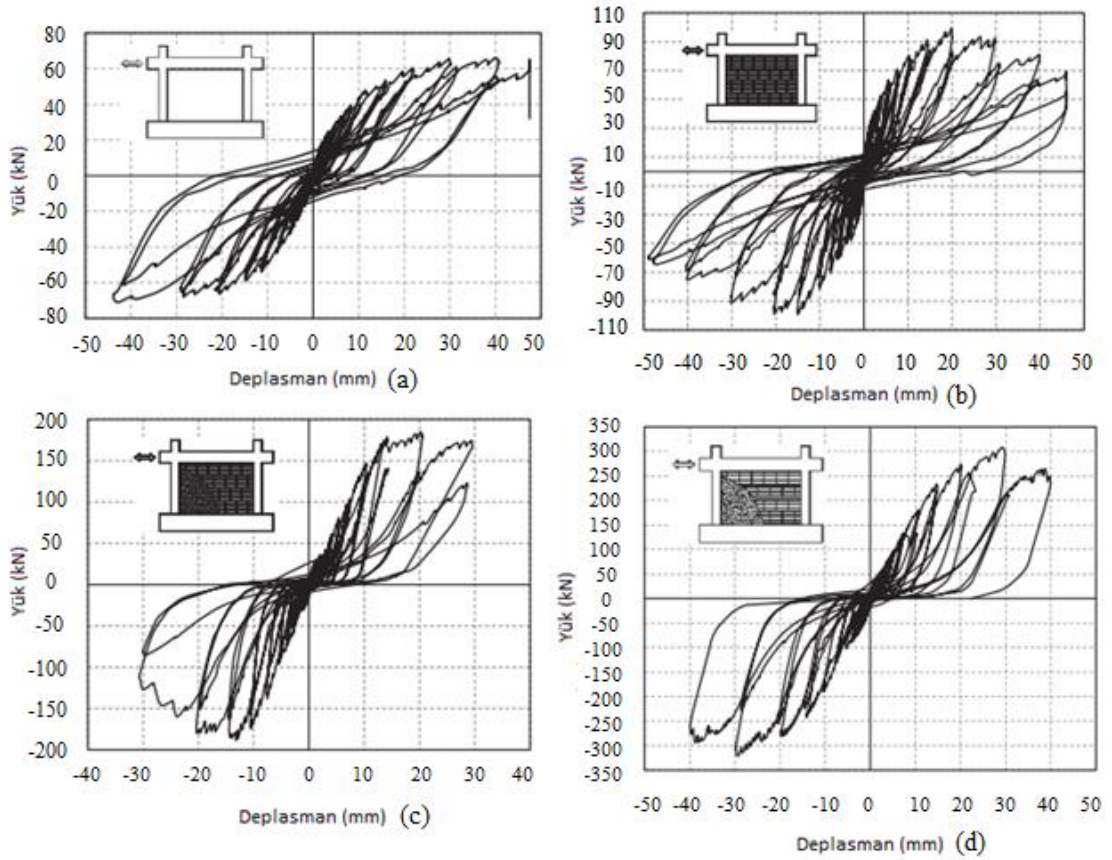
Üretilen tasarlanmış imento bağlayıcılı kompozit panellerle şekil 2.3'deki gibi güçlendirilmiştir. Tüm çerçevelere dinamik benzeri yükleme yöntemi ile testler yapılmış ve bu kapsamda elde edilen test sonuçları ile dinamik analiz neticeleri değerlendirilerek güçlendirme yöntemi incelenmiştir. Sonuç olarak önerilen güçlendirme tekniği katlar arası ötelenme oranını sınırlarken, yanal dayanım ve enerji tktme kapasitelerini önemli ölçüde iyileştirmiştir. Ayrıca, dolgu duvarlar zerine ECC panelin uygulanması, dolgu duvarı güçlendirmiş ve duvarı sağlam tutmuştur. Bu sayede, meydana gelecek depremde duvarların devrilmesinden kaynaklanan hasarların önüne geçilebilmektedir.



şekil 2.3. (a) Dolgu duvarlı ereve (b) ECC paneller (c) ECC panelin çerçeveye montaj şekli (d) ECC panellerin çerçeveye montajı (Ayatar, 2018)

Sharbatdar ve Tajari (2021) tarafından yapılan çalışmada, çevrimsel yüklemeye maruz tuğla dolgu duvarlı betonarme erevelerin ECC kullanılarak güçlendirilmesi incelenmiştir. Bu kapsamda tek katlı ve tek açıklıklı, 1/3 ölçekli olmak üzere toplamda 4 adet betonarme ereve üretilmiştir. Üretilen betonarme çerçevelerden birincisine dolgu duvar yapılmamış, ikincisine sadece dolgu duvar yapılmış, üçüncüsüne dolgu duvarın bir yüzeyine ECC kullanılarak güçlendirme yapılmış,

dördüncü betonarme çerçeveye ise yapılan dolgu duvar yüzeyinin iki tarafına ECC ile güçlendirme yapılmıştır. Yapılan testler neticesinde dolgu duvarın her iki tarafına yapılan ECC uygulamasının, güçlendirme yapılmayan dolgu duvarlı numuneye kıyasla yanal yük taşıma kapasitesinde %215 artış göstermiştir. Rijitlik ve enerji tüketim kapasitesi açısından incelendiğinde yine güçlendirme yapılmayan dolgu duvar ve her iki yüzü ECC uygulanarak güçlendirilmiş numune kıyaslandığında rijitlikte %32 ve enerji tüketme kapasitesinde ise %102 artış görülmüştür. Uygulanan güçlendirme tekniği ile dolgu duvarlarda erken kırılma önlemiştir. Bu sayede dolgu duvarların bütünlüğünün korunması sağlanmıştır. 4 farklı çerçevenin histerezis eğrisi Şekil 2.4’de verilmiştir.



Şekil 2.4. Histerezis eğrileri: (a) Dolgu duvarsız çerçeve (b) Dolgu duvarlı çerçeve (c) Dolgu duvarın bir tarafına ECC uygulanması (d) Dolgu duvarın iki tarafına ECC uygulanması (Sharbatdar ve Tajari, 2021)

Deng ve ark. (2018) tarafından yapılan çalışmada, betonarme kısa kolonlar için kolay uygulanabilen bir güçlendirme yönteminin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda güçlendirme malzemesi olarak PVA lif ile üretilen ECC kullanılmıştır. Öncelikle, 7 adet birbirleriyle aynı özelliklere sahip betonarme kısa kolon numuneleri üretilmiştir. Daha sonra ise numunelerin beş tanesi ECC veya ferrocement ile

güçlendirilmiştir. Diğer 2 numune ise kıyas yapılabilmesi için kontrol numunesi olarak kullanılmıştır. Betonarme kısa kolonların göçme modları, deformasyon kapasitesi, histerezis tepkisi, enerji tüketme kapasitesi ve rijitlik kayıpları çevrimsel yatay yükleme testleri ile incelenmiştir. Yapılan test sonuçlarına göre, ECC ile güçlendirilmiş kolonların sünek modlarda başarısız olduğu ortaya çıkmıştır. Bunun yanında ECC ile güçlendirilmiş numunelerin kontrol numunelerine kıyasla enerji tüketme kapasitesinde ve plastik deformasyon kabiliyetinde önemli bir gelişme sergilediği görülmüştür. Nihai yer değiştirme noktasında, ECC ile güçlendirilmiş kolonlar ile buna karşılık gelen kontrol numuneleri karşılaştırıldığında, ötelenme oranında ve enerji tüketiminde önemli miktarda artış olmuştur. Ayrıca, daha yüksek eksenel yükler altında, ECC ile güçlendirmenin kolonların sismik davranışını geliştirmede etkili olduğu görülmüştür.

Alhussainawe (2018) tarafından yapılan çalışmada, ECC ile üretilen düz plaka kolon bağlantısının zımbalama kesme davranışı incelenmiştir. Bu kapsamda üretilen ECC karışımlarında 2 farklı lif kullanılmıştır. Liflerden birincisi 6 ve 12 mm boyutlarındaki polivinil alkol diğeri ise 12 mm boyutundaki polipropilendir. Yapılan çalışmada 4 grup karışım bulunmaktadır. Öncelikle 6 mm boyutundaki PVA, 12 mm boyutundaki PVA, ve polipropilen lif içeren 3 grup karışım üretilmiştir. Ayrıca, kıyas yapılabilmesi için normal beton kullanılarak 4. grup karışım üretilmiştir. Levha kalınlıkları farklı, diğer boyutları ve donatı oranları aynı olarak üretilen numuneler üzerinde yapılan test sonuçlarına göre, lifin ilave edilmesiyle tüm yükleme kademelerinde ayrıca ilk meydana gelen çatlaktan sonra deformasyonlarda azalmanın meydana geldiği, ECC kullanılarak üretilen döşemelerin deformasyonunun normal beton ile yapılan döşemelere göre daha az olduğu, döşeme kalınlığının yükselmesinin kesme gerilmesini düşürdüğü, buna karşın nominal kesme kuvvetini artırdığı ve 6 mm boyutundaki PVA ile üretilen numunenin, normal beton ile üretilen numuneye kıyasla %25-%43 daha yüksek nominal kayma mukavemeti sağladığı görülmüştür.

El-Mawsly ve ark. (2022) tarafından yapılan çalışmada, merkezi boşluklu döşemeler farklı yöntemlerle güçlendirilmiş ve bu güçlendirme tekniklerinin etkinliği deneysel ve analiz olarak incelenmiştir. Bu kapsamda 300x300 mm merkezi açıklığı bulunan 5 adet 1100x1100x100 mm boyutlarında döşeme numuneleri üretilmiştir. Ayrıca, merkezi açıklığı bulunmayan 1 adet 1100x1100x100 mm boyutlarında döşeme numunesi üretilmiştir. Toplam 6 adet numunenin ikisi referans numune olarak kullanılmıştır. Referans numunelerin birinde merkezi açıklık mevcut iken diğerinde ise merkezi açıklık bulunmamaktadır. Referans numuneler güçlendirme yapılmadan test

edilmiştir. Kalan 4 döşeme numunesi ise karbon fiber laminatlar, yüzeye monte edilmiş çelik çubuklar, ankraj cıvatalı çelik şeritler ve hasır çelik ile güçlendirilmiş ECC malzemesi kullanılarak güçlendirilmiştir. Sonuç olarak, tüm güçlendirme yöntemlerinin döşemeler için yük taşıma kapasitelerini artırdığı, ECC kullanılarak güçlendirilmiş döşemenin sehiminin diğer döşemelere kıyasla en yüksek değere sahip olduğu ve ECC ile yapılan güçlendirme yönteminin merkezi açıklıklı referans numuneye kıyasla %31 ile yük taşıma kapasitesinde en büyük artışı sağladığı görülmüştür.

Endait ve Kolhe (2020) tarafından yapılan çalışmada, ECC ile güçlendirilen kil tuğlası ile üretilmiş kiriş numunelerin performansı deneysel olarak incelenmiştir. Bu kapsamda 12 adet yığma kiriş üretilmiştir. Daha sonra, üretilen kirişler ECC ile güçlendirilmiştir. Kirişlerin güçlendirilmesinde kullanılan ECC karışımında hacimce %1, %1.5 ve %2 oranında PVA lif kullanılmıştır. 12 numuneden 3 tanesi düz harçla, diğer 9 tanesi ise her birinden 3 adet olmak üzere %1, %1.5 ve %2 oranında PVA lif kullanılarak üretilen yaklaşık 15 mm kalınlığındaki ECC tabakasıyla güçlendirilmiştir. Güçlendirme katmanı, kirişin üstüne uygulanmış ve test sırasında kirişler ters çevrilmiştir. Yapılan eğilme deneylerinden bulunan sonuçlara göre, hacimce %1 PVA lif içeren ECC ile yapılmış güçlendirme neticesinde, kirişin maksimum yük taşıma kapasitesinin 11.8 kN arttığı görülmüştür. Ayrıca, bu artış miktarı %1.5 ve %2 PVA lif içeren ECC ile yapılan güçlendirme işleminde, sırasıyla 10.15 kN ve 11.13 kN olarak bulunmuştur. Hacimce %1 oranında PVA lif içeren numunelerin rötre değeri referans numuneyle kıyaslandığında %29.03 oranında azalmıştır. Bu azalma oranı %2 oranında PVA lif içeren numunede %46.24 olarak bulunmuştur. Çalışmada, güçlendirme malzemesi olarak kullanılan ECC malzemesinin ekonomik ve kolay bir yöntem olduğu, geniş güçlendirme alanında toplam harç hacmine göre %2 elyaf eklenilmesinin uygun olacağı, bu orandan fazla lif ilavesinin karışımda topaklaşma oluşturacağı ve bu durumun çekme ile eğilme performansını düşüreceği belirtilmiştir.

Alyousif ve ark. (2016) tarafından yapılan çalışmada, normal beton ve ECC ile üretilen betonarme kirişlerin 4 noktalı eğilme testi altındaki davranışı deneysel olarak incelenmiştir. Bu kapsamda 6 adedi normal beton ile 6 adedi ise ECC kullanılarak toplamda 12 kiriş üretilmiştir. Testler sırasında, kesme açıklığının etkili derinliğe oranı ve çekme donatısı oranı ana parametreler olarak belirlenmiştir. Yapılan deneylerin sonuçlarına göre ECC ile üretilmiş kirişlerin kesme altındaki davranışının, genel olarak, normal beton ile üretilmiş kirişlerden çok daha iyi olduğu görülmüştür. ECC ile üretilen kirişlerin dayanımı, sünekliği ve enerji yutma kapasitesinin, buna karşılık gelen normal

beton ile üretilen kirişlerden büyük ölçüde daha fazla olduğu yapılan testler neticesinde elde edilmiştir. Ayrıca, karşılaştırmaların kesme açıklığının derinlik oranına bağlı olduğu belirtilmiştir.

Deng ve ark. (2019) tarafından yapılan çalışmada, ECC kaplaması ile güçlendirilmiş eğilme kırılması baskın donatısız yığma duvarların statik davranışı incelenmiştir. Bu kapsamda toplamda 5 adet duvar üretilmiştir. 5 duvarın 1 tanesi, kontrol numunesi olması açısından güçlendirilmemiştir. Diğer 4 adet duvarın bir adedi çelik hasır ile, diğeri duvarın tek tarafı ECC kaplaması ile kalan iki adedi ise duvarın çift tarafı ECC kaplaması ile güçlendirilmiştir. Tek tarafı ECC ile güçlendirilen duvarın diğer yüzü harçla sıvanmış, çift tarafı ECC kaplaması ile güçlendirilen duvardan biri ise bağ kolonlu olarak yapılmıştır. Ayrıca, çelik hasırla güçlendirilen duvar, harçla sıvanmıştır. Duvarların göçme modları, yanal dayanımı, deformasyon kapasitesi, histerezis tepkisi, enerji tüketme kapasitesi ve rijitlik kayıpları gerçekleşen deneyler ile analiz edilmiştir. Yapılan testler sonucunda, ECC ile güçlendirilen duvarların yanal dayanımı, sünekliği, enerji tüketme kapasitesi ve başlangıç rijitliği önemli ölçüde artmıştır. Dolayısıyla donatısız yığma duvarlar için ECC ile yapılan güçlendirmenin uygun ve verimli bir güçlendirme tekniği olduğu görülmüştür.

Hyun ve ark. (2021) tarafından yapılan çalışmada, betonarme kolonda yer alan betonun bir kısmının ECC ile yer değiştirmesi, yani kolonun belirlenmiş bir uzunluğunda ECC, kalan kısmında ise beton kullanılmasının etkileri tersinir tekrarlanır yükleme koşulları altında deneysel olarak incelenmiştir. Bu kapsamda, belirli kısmına kadar ECC kullanılmış 2 adet kolon ve referans numune olarak 1 adet geleneksel kolon üretilmiştir. Her numunenin çevrimsel davranışını araştırmak için, aksel tersinir tekrarlanır yükleme altında bir dizi test gerçekleştirilmiştir. Test sonuçları, ECC kullanılan kolonların yük taşıma kapasitesi, enerji tüketme kapasitesi ve süneklik bakımından betonarme kolona kıyasla daha yüksek çevrimsel davranış sergilediğini göstermiştir.

Kamada ve Li (2000) tarafından yapılan çalışmada, ECC ile onarılan betonların yüzeyinin pürüzsüz olmasının, pürüzlü yüzeye göre çatlak genişliği ve çatlak yapısı açısından daha iyi performans sergilediği görülmüştür. Yani ECC ile yapılan onarımlarda, dayanıklı onarım yapısı elde etmek için pürüzlü yüzey yerine pürüzsüz yüzey sisteminin tercih edilmesi gerektiği anlaşılmaktadır. Bu sonuç genel olarak bilinen, onarımın pürüzlendirilen yüzeyin üzerine yapılması düşüncesinin tersini ortaya çıkarmıştır.

ECC malzemesinin çeşitli yapısal uygulamalarda kabul görmesi için uygun mekanik özelliklere sahip olması gerekmektedir. Bu kapsamda ECC üretiminde, karıştırıcı tipi, karıştırma prosedürü, bileşenlerin özellikleri ve karıştırma personelinin deneyimi gibi etkenler oldukça önemli olup bu hususlar malzemenin performansının değişiminde etkili olmaktadır. **Li ve Li** (2013) tarafından yapılan çalışmada, aynı karışım oranları dikkate alınarak üretilen ECC malzemesinin farklı karışım partilerinden alınan numunelerde, %0.6 ile %3.4 arasında değişen çekme şekil değiştirme kapasitesi elde edilmiştir. Bazı numunelerde, şekil değiştirme sertleşmesi aşamasında sık mikro çatlakların oluştuğu ve bu sebeple, maksimum yükte daha büyük çekme şekil değiştirme kapasitesine ulaştığı görülmüştür. Diğer numunelerde ise sınırlı sayıda mikro çatlakların oluştuğu, devamında şekil değiştirme yumuşaması aşamasına ulaştığı ve daha düşük bir çekme şekil değiştirme kapasitesinin gerçekleştiği belirtilmiştir. Bu örnek, optimize edilmiş ECC özelliklerini elde edebilmenin, üretimde etkili bir kalite kontrol ile sağlanacağını kanıtlar niteliktedir

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tez çalışmasında, erken ve nihai yaşta yüksek performans gösteren, yüksek dayanıklılık ve süneklik özelliklerine sahip, şekil değiştirme sertleşmesi oluşturan ayrıca çatlak kontrolü sağlayan Tasarlanmış Çimento Esaslı Kompozitlerin (ECC) panel şeklinde üretilip onarım malzemesi olarak kullanılması amaçlanmıştır. Bu kapsamda ilk olarak kullanılacak malzemelerin ve miktarlarının belirlenmesi işlemleri gerçekleştirilmiş ve uygun malzeme ile optimum oranları tespit edilmiştir. Bu amaç doğrultusunda üretilen numuneler üzerinde basınç ile eğilme testleri yapılarak numunelerin temel mekanik özelliklerinden basınç dayanımı ve eğilme dayanımı değerleri belirlenmiştir. Ayrıca, eğilme testi kapsamında numunelerin süneklik özelliklerinin tespit edilmesi açısından sehim deneyleri yapılmıştır. Malzeme deneyleri tamamlandıktan sonra geometrik boyutları, donatı detayları ve beton sınıfı aynı olan, iki katlı, tek açıklıklı, 1/3 geometrik ölçekli 4 adet betonarme çerçeve üretilmiştir. Üretilen 4 adet betonarme çerçevenin 3 adedine depreme benzeştirilmiş tersinir tekrarlanır yatay yükler uygulanarak farklı hasar düzeylerine sahip olması sağlanmış, 4. çerçeve ise referans numune olarak göçme seviyesine kadar benzer şekilde test edilmiştir. Farklı hasar düzeyindeki çerçeveler, üretilen aynı özelliğe ve kalınlığa sahip ECC paneller ile onarılmış, daha sonra tersinir tekrarlanır yatay yükler altında test edilmiş ve onarımın farklı hasar seviyesindeki betonarme çerçevelerin performansına etkileri belirlenmiştir.

Bu bölümde ECC üretimi, sertleşmiş malzeme üzerinde yapılan deneyler, betonarme çerçevelerin üretimi ve onarımı ile deney düzeneği ve ölçüm tekniği hakkında bilgilere yer verilmiştir.

3.1. Tasarlanmış Çimento Esaslı Kompozitler

Yüksek performanslı tamir harcı için, literatürdeki çalışmalar dikkate alınarak, tasarlanmış çimento esaslı kompozitler üretilmiştir.

İlk olarak, literatürdeki yeni nesil erken yaş yüksek dayanımlı tasarlanmış çimento esaslı kompozitlerde (HES-ECC) kullanılan malzemeler ve oranları gözönünde bulundurularak 1. seri deneme karışımları yapılmıştır. 1. seri karışımlarda öncelikle çimento, silis kumu, su, süperakışkanlaştırıcı katkı, PVA lif ve öğütülmüş yüksek fırın cürufu kullanılmış sonrasında ise öğütülmüş yüksek fırın cürufunun yerine uçucu kül kullanılarak karışımlar üretilmiştir. 2. seri karışımlarda ise literatürdeki tipik ECC

yapımında kullanılan malzemeler ve oranları dikkate alınarak deneme karışımları üretilmiştir. Bu seri karışımında da 1. seride olduğu gibi öncelikle çimento, silis kumu, su, süperakışkanlaştırıcı katkı, PVA lif ve öğütülmüş yüksek fırın cürufu kullanılmış sonrasında ise öğütülmüş yüksek fırın cürufu malzemesi yerine uçucu kül kullanılarak karışımlar yapılmıştır.

3.1.1. Deneylerde kullanılan malzemeler

3.1.1.1. Çimento

ECC üretiminde, erken ve nihai mukavemeti yüksek, hızlı imalat olanağı sağlayan, düşük alkali içeriğine sahip, özgül ağırlığı 3.06 g/cm^3 olan CEM I 52.5 R beyaz çimento kullanılmıştır.

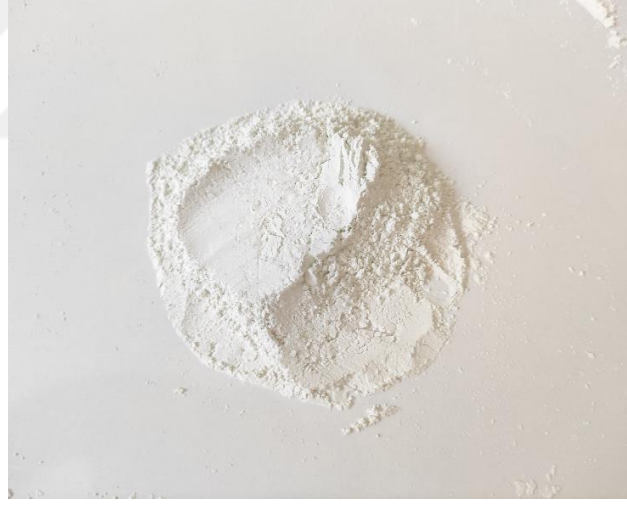
Çimentonun, üretici firma Çimsa A.Ş.'den temin edilen fiziksel ve mekanik özellikleri ile kimyasal özellikleri Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2'de, görünümü ise Şekil 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. CEM I 52,5 R beyaz çimentonun fiziksel ve mekanik özellikleri

Fiziksel özellikler	Analiz sonucu	Standart Limiti (TS EN 197-1)	Minimum	Maksimum
Özgül ağırlık (gr/cm^3)	3.06	-	-	-
Özgül yüzey (cm^2/gr)	4600	-	-	-
Beyazlık Y (%)	85.5	85.0	-	-
Priz başlangıcı (dakika)	100	45.0	-	-
Priz sonu (dakika)	130	-	-	-
Su (%)	30	-	-	-
Hacim sabitliği (mm)	1.0	-	-	10.0
0.045 mm elekten kalıntı (%)	1.0	-	-	-
0.090 mm elekten kalıntı (%)	0.1	-	-	-
2 günlük basınç dayanımı (MPa)	37.0	30.0	-	-
7 günlük basınç dayanımı (MPa)	50.0	-	-	-
28 günlük basınç dayanımı (MPa)	60.0	52.5	-	-

Çizelge 3.2. CEM I 52,5 R beyaz çimentonun kimyasal özellikleri

Kimyasal özellikler	Analiz sonucu %	Standart Limiti (TS EN 197-1)	
		Minimum	Maksimum
Çözünmeyen kalıntı	0.18	-	5.0
SiO ₂	21.6	-	-
Al ₂ O ₃	4.05	-	-
Fe ₂ O ₃	0.26	-	-
CaO	65.7	-	-
MgO	1.30	-	-
SO ₃	3.50	-	4.0
Kızdırma kaybı	3.50	-	5.0
Na ₂ O	0.30	-	-
K ₂ O	0.35	-	-
Klorür (Cl)	0.01	-	0.1
Serbest CaO	2.20	-	-

**Şekil 3.1.** CEM I 52,5 R beyaz çimentonun görünümü

3.1.1.2. Silis kumu

ECC üretiminde 60-70 AFS aralığında bulunan ve %98.71 oranında SiO₂ içeren silis kumu kullanılmıştır. Silis kumunun üretici firma Çeliktaş A.Ş.'den temin edilen granülometri değerleri ve kimyasal özellikleri Çizelge 3.3 ile Çizelge 3.4'de, görünümü ise Şekil 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Silis kumunun granülometrisi

Elek boyutu (mm)	Analiz sonucu (%)
0.710	0
0.500	0
0.355	0.82
0.250	16.34
0.180	53.65
0.125	25.09
0.090	3.40
0.063	0.64
Tava	0.06

Çizelge 3.4. Silis kumunun kimyasal özellikleri

Kimyasal özellikler	Analiz sonucu	Kabul kriterleri	
		Minimum	Maksimum
SiO ₂ (%)	98.71	98	99
Fe ₂ O ₃ (%)	0.07	-	0.4
Al ₂ O ₃ (%)	0.57	-	1.2
PH (%)	7.35	6	8
Kil (%)	0.30	-	0.5
Kızdırma kaybı (%)	0.33	-	0.35
Sinleştirme sıcaklığı	>1500 °C	1500 °C	-

**Şekil 3.2.** Silis kumunun görünümü

3.1.1.3. Öğütülmüş yüksek fırın cürufu

ECC üretiminde Oyak Çimento A.Ş. İskenderun tesislerinden temin edilen öğütülmüş yüksek fırın cürufu kullanılmıştır. Malzemenin üretici firmadan temin edilen mekanik özellikleri Çizelge 3.5’de, kimyasal özellikleri Çizelge 3.6’da ve görünümü ise Şekil 3.3’de verilmiştir.

Çizelge 3.5. Öğütülmüş yüksek fırın cürufunun fiziksel özellikleri

Fiziksel özellikler	Analiz sonucu	Sınır Değerleri (TS EN 197-1) Minimum	Maksimum
Rutubet (%)	0.10	-	1.0
Özgül ağırlık (g/cm ³)	2.89	-	-
Özgül yüzey (cm ² /g)	5450	2750	-
Priz başlangıcı (dakika)	225	-	-
7 günlük aktivite indeksi (%)	52	45	-
Priz başlangıcı referans (dakika)	200	-	-

Çizelge 3.6. Öğütülmüş yüksek fırın cürufunun kimyasal özellikleri

Kimyasal özellikler	Analiz sonucu	Sınır Değerleri (TS EN 197-1) Minimum	Maksimum
MgO (%)	5.89	-	18
SO ₃ (%)	0.75	-	2.5
Kızdırma kaybı (%)	0.75	-	3.0
(CaO+MgO)/SiO ₂	1.0	1.0	-



Şekil 3.3. Öğütülmüş yüksek fırın cürufunun görünümü

3.1.1.4. Uçucu kül

ECC üretiminde Konya Şeker A.Ş. Çumra tesislerinden temin edilen uçucu kül kullanılmıştır. Malzemenin üretici firmadan temin edilen kimyasal özellikleri Çizelge 3.7’de ve görünümü ise Şekil 3.4’de verilmiştir.

Çizelge 3.7. Uçucu külün kimyasal özellikleri

Kimyasal özellikler	Ağırlık (%)	Kimyasal özellikler	Ağırlık (%)
SiO ₂	35.50	SO ₃	13.73
Al ₂ O ₃	12.95	TiO ₂	0.62
CaO	17.76	P ₂ O ₅	0.14
MgO	2.33	Cr ₂ O ₃	0.03
Fe ₂ O ₃	11.78	Kızdırma kaybı	2.84
K ₂ O	1.44	Organik karbon	1.37
Na ₂ O	0.15	-	-



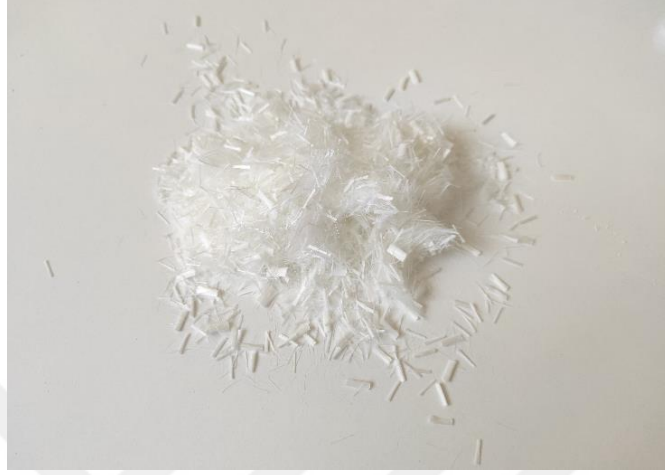
Şekil 3.4. Uçucu külün görünümü

3.1.1.5. Polivinil alkol (PVA) lif

ECC üretiminde çekme dayanımı 1600 MPa, elastisite modülü ise 41000 MPa olan Kuralon Recs 15/8 mm polivinil alkol (PVA) lif kullanılmıştır. Lifin üreticisi olan Kuraray firmasından temin edilen, PVA lifin geometrik ve mekanik özellikleri Çizelge 3.8’de, görünümü ise Şekil 3.5’de verilmiştir.

Çizelge 3.8. PVA lifin geometrik ve mekanik özellikleri

Lif	Çap (µm)	Uzunluk (mm)	Çekme dayanımı (GPa)	Kopma uzaması (%)	Elastisite modülü (GPa)
PVA	40	8	1.6	6.5	41



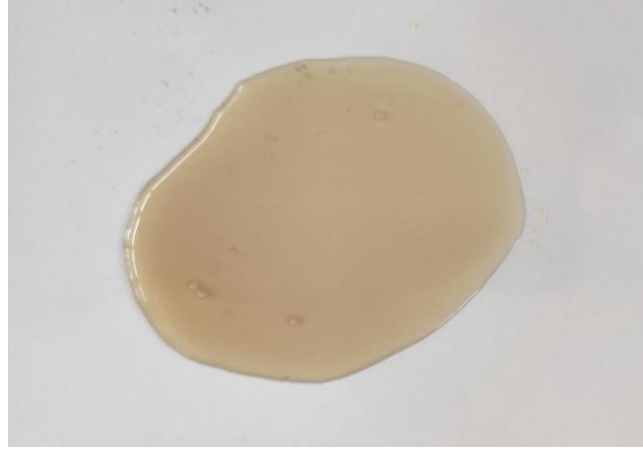
Şekil 3.5. PVA lifin görünümü

3.1.1.6. Süperakışkanlaştırıcı katkı

ECC üretiminde, yüksek oranda su azaltma ve mükemmel akışkanlık ile yüksek erken dayanım gelişimi sağlayan, sıvı, 1.07-1.11 kg/l yoğunluğunda, modifiye polikarboksilat esaslı polimer, 3. nesil yüksek performanslı harç ve beton katkısı olan yüksek performanslı süperakışkanlaştırıcı Sika ViscoCrete PC 15 katkısı kullanılmıştır. Süperakışkanlaştırıcı katkının üretici firmadan temin edilen kimyasal özellikleri Çizelge 3.9’da görünümü ise Şekil 3.6’da verilmiştir.

Çizelge 3.9. Süperakışkanlaştırıcı katkının kimyasal özellikleri

Kimyasal özellikler	Analiz sonucu
Yoğunluk	1.07-1.11 kg/l, 20°C’de
PH değeri	3-7
Suda çözünebilir klorür yüzdesi	Maksimum %0.1 klorür içermez
Alkali miktarı (% Na ₂ O eşdeğeri olarak)	En fazla %3



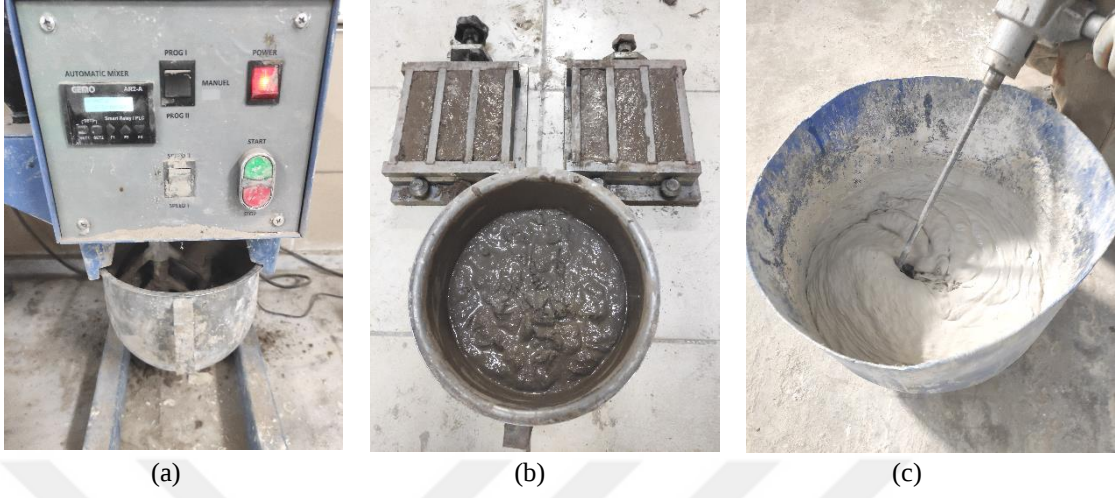
Şekil 3.6. Kimyasal katkının görünümü

3.1.2. ECC'nin üretilmesi, kalıplara konulması ve kür edilmesi

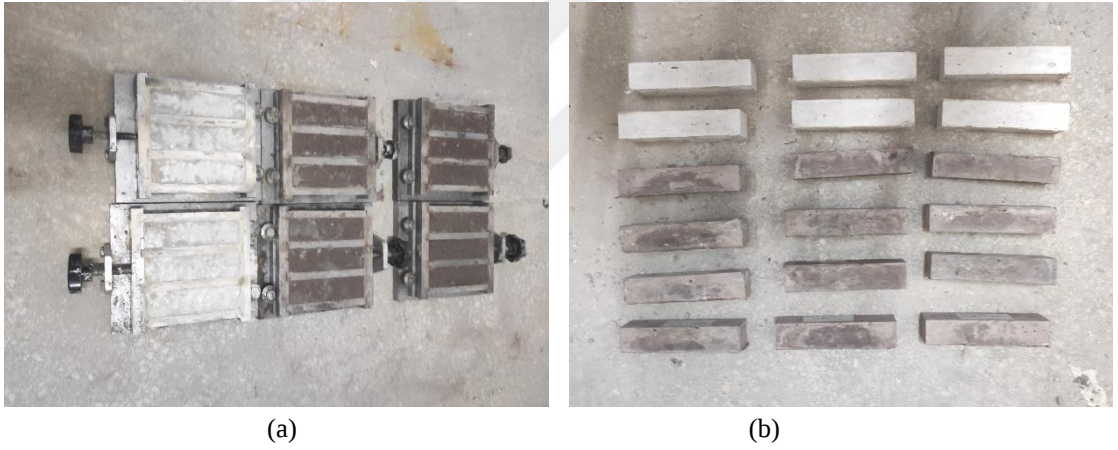
ECC üretimi için literatürdeki ilgili çalışmalar dikkate alınarak çeşitli karışımlar üretilmiştir. Tüm karışımlarda ön deneyler yapılmış ve optimum malzeme miktarları bulunmuştur. İlk olarak literatürdeki HES-ECC üretiminde kullanılan malzemeler ve oranları göz önünde bulundurularak 1. seri deneme karışımları yapılmıştır. 1. seri karışımlarda öncelikle öğütülmüş yüksek fırın cürufu kullanılmış, sonrasında öğütülmüş yüksek fırın cürufunun yerine uçucu kül kullanılarak karışımlar üretilmiştir. Tüm 1. seri karışımlarda 1 m³ harç üretimi için 710 kg çimento ve 26 kg PVA lif kullanılmıştır. Öğütülmüş yüksek fırın cürufu içeren 1. seri karışımda özellikle su/bağlayıcı oranını ve katkı maddesi miktarını değiştirerek deneme karışımları üretilmiş ve optimum performansı, su/bağlayıcı oranı %23 olan karışımın sağladığı görülmüştür. 1. seri karışımda öğütülmüş yüksek fırın cürufunun yerine aynı miktarda uçucu kül kullanıldığında ise uygun işlenebilirliği sağlamak için su ve katkı maddesinin artması gerektiği görülmüştür. Uçucu kül içeren 1. seri karışımda, öğütülmüş yüksek fırın cürufu ile üretilen karışımda kullanılan miktarda su ve katkı maddesi kullanıldığında kuru bir karışım oluşmuş, bu sebeple su ve katkı maddesi miktarını artırarak çok sayıda deneme karışımı üretilmiş ve optimum performansın su/bağlayıcı malzeme oranının %39 olduğu karışımda sağlandığı görülmüştür. Tüm deneme karışımlarında kullanılan katkı miktarı, karışımın işlenebilirliğini, ayrılmaya karşı direncini ve liflerin karışım içinde homojen olarak dağılmasını sağlayacak şekilde belirlenmiştir. 2. seri karışımlarda ise literatüredeki tipik ECC yapımında kullanılan malzemeler ve oranları dikkate alınarak karışımlar üretilmiştir. Bu seri karışımda da 1. seride olduğu gibi öncelikle

öğütülmüş yüksek fırın cürufu kullanılmış, sonrasında öğütülmüş yüksek fırın cürufu malzemesi yerine uçucu kül kullanılarak karışımlar yapılmıştır. Tüm 2. seri karışımlarda 1 m³ harç üretimi için 580 kg çimento ve 26 kg PVA lif kullanılmıştır. Öğütülmüş yüksek fırın cürufu içeren 2. seri karışımda özellikle su/bağlayıcı oranını ve katkı maddesi miktarını değiştirerek deneme karışımları üretilmiş ve optimum performansı, su/bağlayıcı oranı %27 olan karışımın sağladığı görülmüştür. 2. seri karışımda öğütülmüş yüksek fırın cürufunun yerine aynı miktarda uçucu kül kullanıldığında ise uygun işlenebilirliği sağlamak için su ve katkı maddesinin artması gerektiği görülmüştür. Uçucu kül içeren 2. seri karışımda, öğütülmüş yüksek fırın cürufu ile üretilen 2. seri karışımda kullanılan miktarda su ve katkı maddesi kullanıldığında yine uçucu kül içeren 1. seride olduğu gibi kuru bir karışım oluşmuş, bu sebeple su ve katkı maddesi miktarını artırarak çok sayıda deneme karışımları üretilmiş ve optimum performansın, su/bağlayıcı malzeme oranının %39 olduğu karışımda sağlandığı görülmüştür. Optimum malzeme miktarları tespit edilen ECC üretiminde öncelikle çimento, silis kumu ve öğütülmüş yüksek fırın cürufu veya öğütülmüş yüksek fırın cürufunun yerine uçucu kül karıştırılmıştır. Daha sonra, karışıma su ve süperakışkanlaştırıcı katkı ilave edilmiştir. Üretilen harcın işlenebilirliğini artırmak için kullanılan katkı maddesi suyla karıştırılarak karışıma eklenmiştir. Sonrasında ise PVA lif, topaklaşmanın önlenmesi için yavaş yavaş karışıma ilave edilmiştir. Malzemenin temel mekanik özelliklerinin tespiti için üretilen düşük miktarlardaki karışımlarda karıştırma işlemi laboratuvar mikserinde gerçekleştirilmiştir. Ancak çerçeve onarımında kullanılacak olan malzemenin üretiminde ise karıştırma işlemi harç karıştırıcısıyla yapılmıştır. Malzemenin karıştırılma süresi üretilecek malzemenin miktarına göre ve karışımda PVA lifin topaklaşma oluşturmamasını önleyecek şekilde üretim sırasında belirlenmiştir. Üretilen karışımlar 4x4x16 cm boyutlarındaki kalıplara yerleştirilmiştir. Kalıplardan 24 saat sonra çıkartılan numuneler, deney yapılacak güne kadar ortalama sıcaklığı 23±2 °C olan hava geçirimsiz özel poşetlerde kür edilmiştir. Literatürde ECC için çok kullanılan bir kür yöntemi olmasından dolayı numuneler hava geçirimsiz poşetlerde saklanılmıştır. Malzemenin üretimi, kalıplara yerleştirilmesi ve kürü ile ilgili fotoğraflar Şekil 3.7, Şekil 3.8 ve Şekil 3.9’da, ön deneyler neticesinde belirlenen, karışımda kullanılan malzemeler ve miktarları ise Çizelge 3.10’da verilmiştir. Çizelge ve şekillerde kısaca; 1. seri karışımda içerisinde öğütülmüş yüksek fırın cürufu bulunan karışım 1. seri cüruf, uçucu kül içeren karışım ise 1. seri uçucu kül olarak isimlendirilmiştir. 2. seri karışımda ise; içerisinde öğütülmüş yüksek fırın cürufu içeren

karışım 2. seri cüruf, uçucu kül içeren karışım ise 2. seri uçucu kül olarak adlandırılmıştır.



Şekil 3.7. (a) Laboratuvar mikserinde karışımın yapılması (b) Uçucu kül içeren karışım (c) Harç karıştırıcısıyla yapılan öğütülmüş yüksek fırın cürufu içeren karışım



Şekil 3.8. (a) Malzemenin kalıplara konulması (b) Numunelerin kalıplardan çıkartılması



Şekil 3.9. Numunelerin özel poşet içinde kür edilmesi

Çizelge 3.10. 1 m³ ECC karışımında kullanılan malzeme miktarları

Malzemeler (kg)	1. seri cüruf	1. seri uçucu kül	2. seri cüruf	2. seri uçucu kül
Çimento	710	710	580	580
Öğütülmüş yüksek fırın cürufu	600	-	695	-
Uçucu kül	-	600	-	695
Su	300	510	340	495
Silis kumu	590	590	465	465
PVA lif	26	26	26	26
Süperakışkanlaştırıcı katkı	14	25	10.2	16.7

3.1.3. Sertleşmiş numuneler üzerinde yapılan deneyler

3.1.3.1. Eğilme dayanımı deneyi

Üretilen 40x40x160 mm boyutlarındaki numunelerin 7 ve 28 günlük eğilme dayanımları, TS EN 1015-11 standardına uygun olarak, orta noktasından yüklenmiş basit kiriş metodu ile test edilmiştir. Mesnet açıklığı 100 mm, yükleme hızı 10 N/s olacak şekilde, numunelere kırılincaya kadar tek noktadan yükleme uygulanmıştır. 7 ve 28 günlük eğilme dayanımı deneyi için her seriden 3'er adet numune test edilmiştir. Numunelerin eğilme dayanımları Denklem 3.1'e göre hesaplanmış, her seri numune için hesaplanan değerlerin aritmetik ortalamalarına göre eğilme dayanımları bulunmuştur. Numuneler üzerinde yapılan eğilme dayanımı testi Şekil 3.10'da verilmiştir.

$$f = 1,5 \times \left(\frac{F \times L}{b^3} \right) \quad (3.1)$$

f : Eğilme dayanımı, (N/mm²)

F : Numuneye uygulanan maksimum kuvvet, (N)

L : Mesnetler arasındaki mesafe, (100 mm)

b : Numunenin kare kesitinin kenar uzunluğu, (40 mm)



Şekil 3.10. Eğilme dayanımı testi

3.1.3.2. Basınç dayanımı deneyi

Üretilen 40x40x160 mm boyutlarındaki numunelerin eğilme dayanımlarını belirlemek için yapılan test sonrasında, numuneler 2 parçaya ayrılmıştır. Bölünen 7 ve 28 günlük numuneler; TS EN 1015-11 standardına uygun olarak, test cihazında yükleme hızı 5.0 kN/s olacak şekilde basınç dayanımı deneyine tabi tutulmuştur. Basınç dayanımı, numuneye uygulanan en büyük kuvvetin, numunenin yük uygulanan kesit alanına bölünmesiyle hesaplanmıştır. Basınç dayanımı testi ile her seri numune için hesaplanan değerlerin aritmetik ortalamalarına göre basınç dayanımları bulunmuştur. Numuneler üzerinde yapılan basınç dayanımı testi Şekil 3.11’de verilmiştir.



Şekil 3.11. Basınç dayanımı testi

3.1.3.3. Sehim deneyi

Üretilen 40x40x160 mm boyutlarındaki numunelerin eğilme dayanımlarını belirlemek için yapılan eğilme dayanımı deneyi sürecinde, numuneye yerleştirilen komparametre ile numunelerin kırılma anındaki sehim değerleri bulunmuştur. Komparametre kullanılarak okunan değerlerde maksimum hassasiyeti elde etmek için, yapılan testler video ile kayıt altına alınmış olup bu şekilde veriler tekrar kontrol edilmiştir. 7 ve 28 günlük numunelerin süneklikleri hakkında bilgi veren sehim değerleri, her seri için komparametrede okunan değerlerin aritmetik ortalamalarına göre bulunmuş olup yapılan sehim testi Şekil 3.12’de verilmiştir.



Şekil 3.12. Sehim testi

3.2. Betonarme Çerçevelerin Üretilmesi

Betonarme çerçevelerin onarılması veya güçlendirilmesi ile ilgili literatürde çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu tez kapsamında ise onarım uygulamalarında kullanılan malzeme ve yöntemlere alternatif olabilecek yüksek performanslı ve uygulaması oldukça kolay bir onarım yöntemi araştırılmıştır. Bu amaç doğrultusunda üretilen betonarme çerçeveler, son yıllarda yapılan yapıları temsil etmekte olup çerçevelerin yapımında aşağıda belirtilen hususlar dikkate alınmıştır.

- Beton ve donatı ile ilgili mekanik özelliklerin şartname limitlerini sağlaması,
- Kolon ve kirişlerde etriye sıklaştırmasının kurallara uygun şekilde yapılması,
- Elemanlarda eğilme hasarından sonra kesme hasarının meydana gelmesi,

- Birleşim bölgelerinde, kenetlenme ve bindirme boylarının uygun şekilde olması (Arslan ve ark., 2015).

3.2.1. Deney numunelerinin detayları

Bu tez kapsamında geometrik boyutları, beton sınıfı ve donatı detayları aynı olan 4 adet betonarme çerçeve üretilmiştir. Betonarme çerçeveler, iki katlı ve tek açıklıklı yapılmış olup laboratuvar şartları ve yükleme sistemi de dikkate alınarak 1/3 geometrik ölçekli olarak üretilmiştir. Şekil 3.13’de boyutları verilen çerçevenin kat yüksekliği 900 mm, çerçeve açıklığı ise dıştan dışa 1500 mm’dir. Kiriş ve kolonların boyutları 150x150 mm’dir. Temelin oldukça rijit olması istendiği için betonarme çerçeve, 500x700x2500 mm boyutlarındaki temel kirişine mesnetlenmiştir. Betonarme çerçevelerde, kirişlerde üstte 3φ8 montaj donatısı, altta ise 3φ8 eğilme donatısı mevcuttur. Ayrıca, kirişlerde pilye kullanılmamış, mesnette ve açıklıkta donatı oranı değişmemiştir. 150x150 mm boyutlarındaki kirişlerin donatı oranı Denklem 3.2 ile hesaplanmış ve 0.0077 bulunmuştur. Bu donatı oranı TS500’de belirtilen sınırlar içerisinde yer almaktadır (Denklem 3.3).

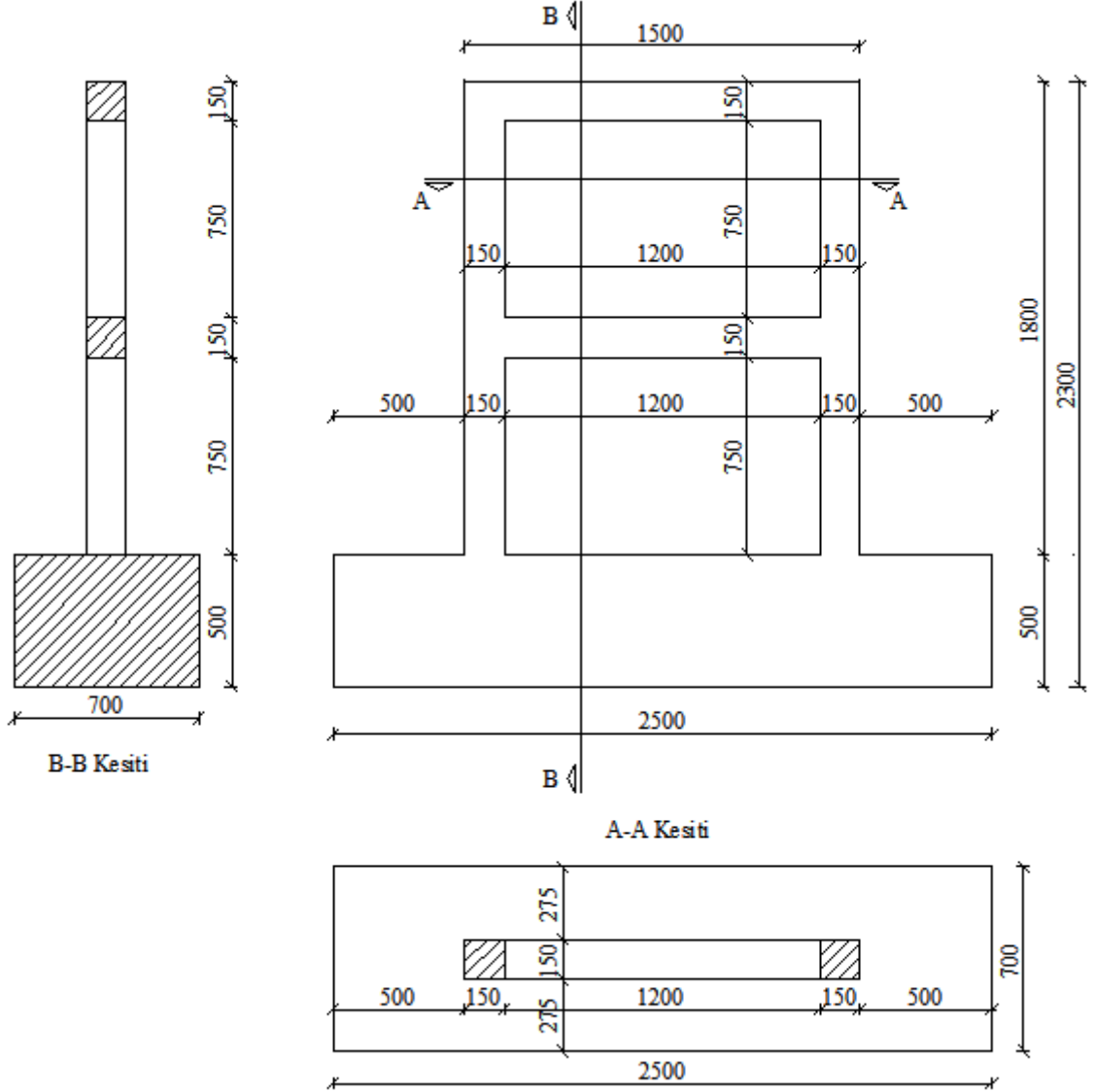
$$\rho = \frac{A_s}{b_w \times d} = \frac{3 \times 50.24}{150 \times 130} = 0.0077 \quad (3.2)$$

$$\rho_{\min} = 0.8 \times \frac{f_{ctd}}{f_{yd}} = 0.8 \times \frac{0.35 \times \sqrt{32} / 1.5}{365} = 0.0029 \quad 0.0029 < 0.0077 < 0.02 \quad (3.3)$$

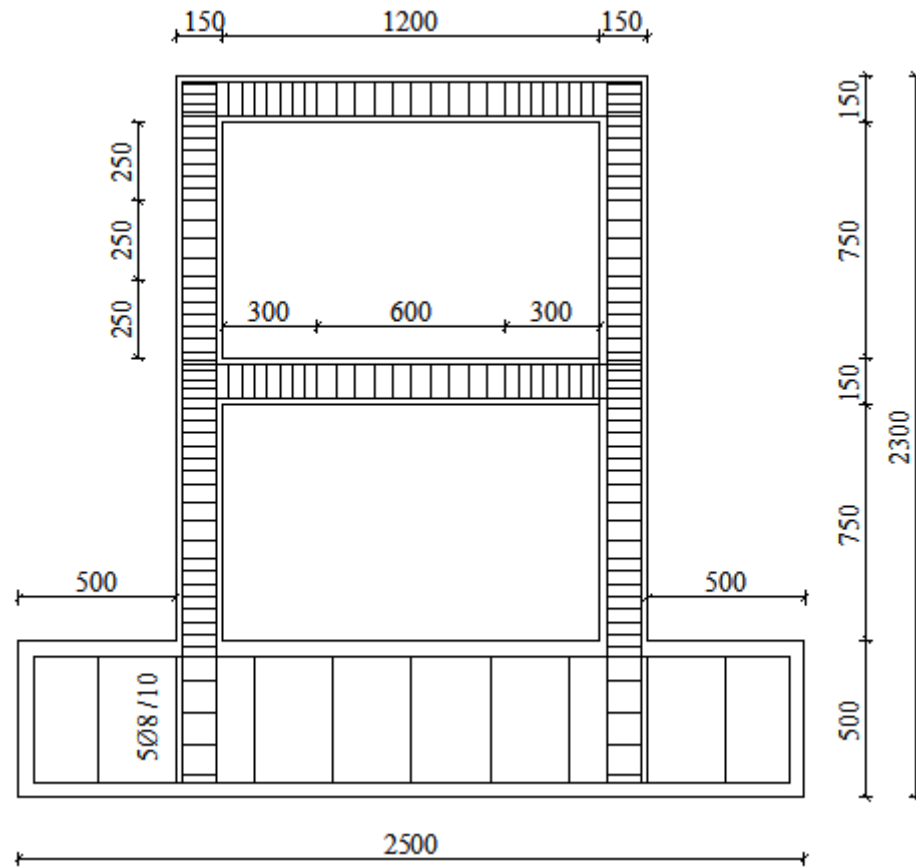
Kolonlarda ise kesit içinde simetrik olarak dağılmış 8φ8 boyuna donatı kullanılmıştır. 150x150 mm boyutlarındaki kolonların donatı oranı Denklem 3.4 ile hesaplanmış ve 0.0178 bulunmuştur. Kullanılan kolon donatı oranı yönetmelikte belirlenen minimum koşuldan fazladır. Ayrıca, kolon boyuna donatısında bindirmeli ek yapılmamıştır.

$$\rho_t = \frac{A_{st}}{A_c} = \frac{8 \times 50.24}{150 \times 150} = 0.0178 \quad \rho_{\min} = 0.01 \quad \rho_{\min} < \rho_t \quad 0.01 < 0.0178 \quad (3.4)$$

Kolon ve kirişlerde $\phi 4/40/60$ mm, temelde ise $\phi 8/25$ mm etriye kullanılmıştır. Etriyelerin kancası 135 derece bükümlü olacak şekilde hazırlanmıştır. Çerçeve donatılarında; kolon ve kiriş etriyelerinde düz yüzeyli, diğer donatılarda nervürlü donatı (S420) kullanılmıştır. Temelde ise $10\phi 16$ boyuna donatı kullanılmıştır. Çerçevelerde kullanılan beton sınıfı C25'dir. Betonarme çerçevelerin beton sınıfının aynı olabilmesi için tüm çerçevelerin betonu, hazır beton olarak aynı süreç içerisinde aynı mikserden dökülmüştür. Tez kapsamında yapılan çerçevelerin üretiminde genel olarak, Arslan ve ark., (2015) Konya Teknik Üniversitesi Deprem Araştırma Laboratuvarında yapmış oldukları çalışmadaki çerçevenin özellikleri dikkate alınmıştır. Betonarme çerçevelerin boyut ve donatı şeması Şekil 3.14'de, kirişlerin kesit ve donatı detayları Şekil 3.15'de, kolonların kesit ve donatı detayları Şekil 3.16'da temelin kesit ve donatı detayları ise Şekil 3.17'de verilmiştir.

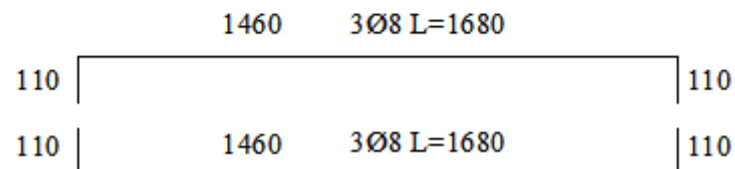
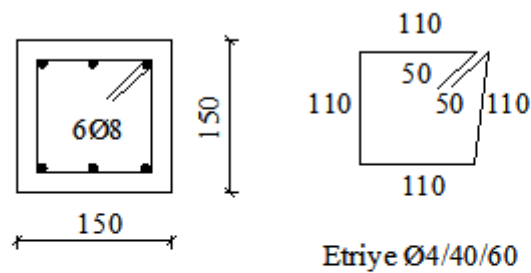


Şekil 3.13. Betonarme çerçevenin boyutları



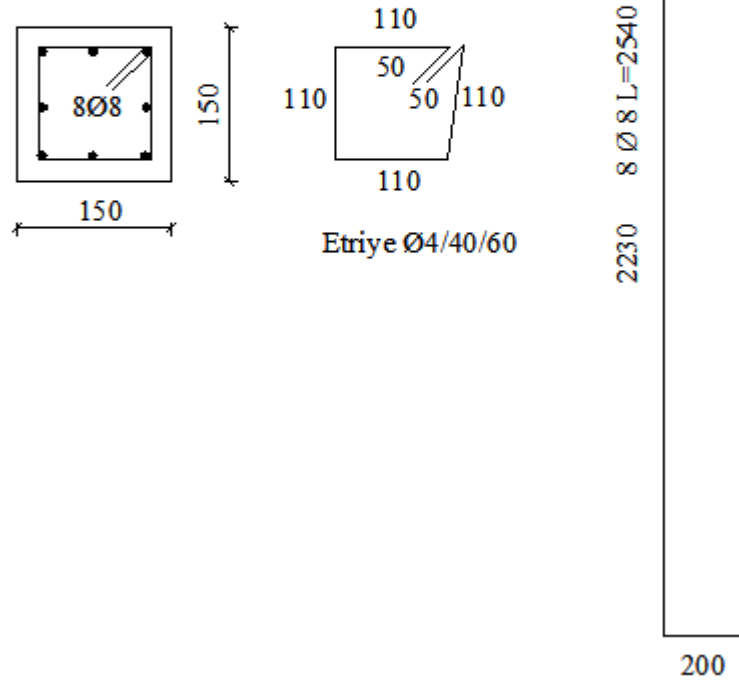
Şekil 3.14. Betonarme çerçevenin boyutları ve donatı şeması

Kiriş donatı detayı



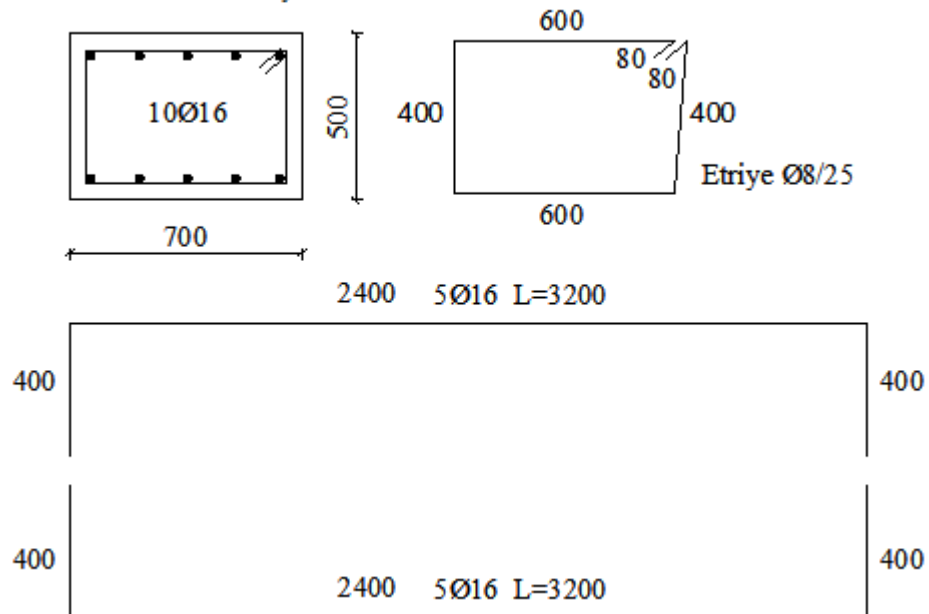
Şekil 3.15. Betonarme çerçeveye ait kiriş kesit ve donatı detayları

Kolon donatı detayı



Şekil 3.16. Betonarme çerçeveye ait kolon kesit ve donatı detayları

Temel donatı detayı



Şekil 3.17. Betonarme çerçeveye ait temel kesit ve donatı detayları

Betonarme çerçevelerin üretimine öncelikle, kalıp yapımından başlanılmıştır. Çerçeve boyutlarına uygun şekilde plywood kullanılarak kalıplar hazırlanmıştır. Beton dökümünde kalıbın açılmasını önlemek için Şekil 3.18’de görüldüğü gibi temel, kolon ve kirişler tahtalarla desteklenmiştir. Temelin laboratuvarındaki rijit döşemeye bağlanabilmesi için temele 8 adet dairesel boşluk bırakılmıştır. Bu boşluklar temel içine yerleştirilen plastik borular vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir. Temeldeki boşluklar, laboratuvarındaki rijit döşemede bulunan dairesel boşlukların ölçüleri ve birbirlerine olan mesafeleri dikkate alınarak yapılmıştır. Ayrıca, çerçevelerin taşınmasını sağlayacak olan çelik halatlar temel kalıbına uygun şekilde yerleştirilmiştir.



Şekil 3.18. Çerçeve numunelerinin kalıbının hazırlanması

Kalıp yapımından sonra detaylarına göre hazırlanan donatılar kalıplara yerleştirilmiştir. Temel, kolon ve kirişlerde paspayları kullanılmıştır. Hazır beton santralinden transmikser ile C25 sınıfında beton gelmiş ve tüm çerçevelere aynı mikser içerisinden beton dökülmüştür. Hazır betonun dökülmesine öncelikle temelden başlanılmıştır. Sıkıştırma işlemi için çelik şişler kullanılmış ve beton döküm işi tamamlandıktan sonra tüm yüzeyler mala ile düzeltilmiştir. Beton, dökümünden sonraki günlerde kür etmek amacıyla sulanmış, prizini aldıktan sonra kalıplardan çıkartılmış ve 1 ay sonra vinç yardımıyla Konya Teknik Üniversitesi Deprem Araştırma Laboratuvarına taşınmıştır. Şekil 3.19’da çerçeve numunelerinin donatılarının yerleştirilmesi, Şekil 3.20’de çerçeve numunelerinin betonunun dökülmesi, Şekil

3.21’de betonarme çerçevelerin sulanarak kür uygulanması, Şekil 3.22’de ise betonarme çerçevelerin kalıplarının çıkartılması verilmiştir.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

Şekil 3.19. Deney numunelerinin donatılarının yerleştirilmesi: (a) Çerçeve numunesi (b) Kolon kiriş birleşim bölgesi (c) Çerçevenin temeli (d) Kolon (e) Kolon kiriş birleşim bölgesi



Şekil 3.20. Çerçeve numunelerinin betonunun dökülmesi



Şekil 3.21. Betonarme çerçevelerin sulanarak kür uygulanması



Şekil 3.22. Betonarme çerçevelerin kalıplarının çıkartılması

3.2.2. Deney numunelerinin yapımında kullanılan malzemelerin özellikleri

Betonarme çerçeve yapımında kullanılan beton malzemesi hazır beton firmasından temin edilmiştir. Beton döküm işlemi çerçeveler yatay konumda iken gerçekleşmiştir. Toplam 4 adet çerçevenin betonu tek mikserden, aynı süreç içinde dökülmüştür. Betonarme çerçevenin 1/3 ölçekli olması, boyuna donatıların ve özellikle etriyelerin aralıklarının az olmasından dolayı maksimum agrega çapı 15 mm olan brüt beton kullanılmıştır. Betonun basınç dayanımını belirlemek için mikserle gelen betondan küp numuneler alınmıştır. Beton basınç dayanımı, 150x150x150 mm boyutlarında küp numunelerin 3, 7 ve 28 gün sonunda yönetmeliğe uygun şekilde test edilmesiyle belirlenmiştir. Küp numuneler deney gününe kadar su içerisinde kür edilmiştir. Basınç deneyinden elde edilen sonuçlar Çizelge 3.11’de numuneler üzerinde yapılan basınç dayanımı testi ise Şekil 3.23’de verilmiştir.

Çizelge 3.11. Beton numunelerinin ortalama basınç dayanımı değerleri

Numune	3 günlük basınç dayanımı ortalaması (MPa)	7 günlük basınç dayanımı ortalaması (MPa)	28 günlük basınç dayanımı ortalaması (MPa)
150x150x150 mm küp	26.68	30.54	32.63



Şekil 3.23. Beton basınç dayanımı deneyi

Betonarme çerçeve yapımında; kolon ve kirişlerde kullanılan etriyelerin haricinde tüm donatılarda nervürlü (S420) donatı kullanılmıştır. Kolon ve kirişlerde kullanılan 4 mm çaplı etriye ise düz yüzeyli olup transmisyon çeliğinden üretilmiştir. Donatıların akma ve kopma gerilmesi değerlerinin belirlenebilmesi amacıyla 3'er adet numune Şekil 3.24'de gösterildiği gibi test edilmiş olup deney sonuçları Çizelge 3.12'de verilmiştir.

Çizelge 3.12. Donatıların ortalama akma ve çekme dayanımı değerleri

Donatı çapı (mm)	Akma dayanımı ortalaması (MPa)	Maksimum çekme dayanımı ortalaması (MPa)
Ø4	295.54	395.21
Ø8	495.59	616.24
Ø16	435.63	554.26



Şekil 3.24. Çelik çekme deneyi

3.3. Betonarme Çerçevelerin Onarılması

3.3.1. ECC'nin panel şeklinde üretilmesi

Bölüm 3.1.3'de anlatıldığı üzere, üretilen ECC numuneler üzerinde basınç ve eğilme dayanımı testleri yapılmıştır. Ayrıca, yapılan eğilme dayanımı testi kapsamında numunelerin sünekliği ile ilgili bilgi veren sehim deneyi gerçekleştirilmiştir.

7 ve 28 günlük basınç ve eğilme dayanımı deneyi için öğütülmüş yüksek fırın cürufu veya uçucu kül içeren her seri karışımdan 3'er adet numune test edilmiştir. Numunelerin basınç ve eğilme dayanımları hesaplanmış olup her seri numune için bulunan dayanım değerlerinin aritmetik ortalamalarına göre basınç ve eğilme dayanımları tespit edilmiştir. Çizelge 3.13'de görüldüğü üzere 7 ve 28 günlük basınç dayanımı test sonuçlarına göre en yüksek değerler öğütülmüş yüksek fırın cürufu içeren 1. seri karışımında elde edilmiştir. Bu değerler 7 günlük basınç dayanımında 89.8 MPa, 28 günlük basınç dayanımında ise 125.3 MPa'dır. 7 ve 28 günlük eğilme dayanımı test sonuçlarına göre en yüksek değerler basınç dayanımına benzer şekilde öğütülmüş yüksek fırın cürufu içeren 1. seri karışımında elde edilmiştir. Bu değerler 7 günlük eğilme dayanımında 15.6 MPa, 28 günlük eğilme dayanımında ise 16 MPa'dır. Öğütülmüş yüksek fırın cürufu içeren 1. seri karışımında 7 günlük sehim değeri 0.8 mm, 28 günlük sehim ise 0.7 mm'dir. Öğütülmüş yüksek fırın cürufu içeren 2. seri karışımında ise 7 günlük sehim 0.9 mm, 28 günlük sehim değeri ise 0.7 mm'dir.

Tüm deney sonuçları dikkate alınarak değerlendirme yapıldığında, optimum karışımın öğütülmüş yüksek fırın cürufu içeren 1. seri karışım olduğu belirlenmiştir. Bu kapsamda tespit edilen karışımında bulunan malzemeler ve miktarları kullanılarak onarım malzemesi üretilmiştir.

Çizelge 3.13. Numunelerin basınç ve eğilme dayanımı sonuçları ile sehim değerleri

Numuneler	Basınç dayanımı (MPa)		Eğilme dayanımı (MPa)		Sehim (mm)	
	7 gün	28 gün	7 gün	28 gün	7 gün	28 gün
1. seri cüruf	89.8	125.3	15.6	16	0.8	0.7
1. seri uçucu kül	71.8	87.2	11.9	11.4	0.6	0.55
2. seri cüruf	89.5	104.2	13.9	14.1	0.9	0.7
2. seri uçucu kül	71.5	83.6	11.9	13.2	0.7	0.6

Optimum karışımın öğütülmüş yüksek fırın cürufu içeren 1. seri karışım olduğu belirlendikten sonra, üretilen malzemenin çerçevelerin onarımında nasıl uygulanması gerektiği araştırılmıştır. Bu kapsamda çerçeveyi onarmak için ECC uygulaması; sıva yapılarak, kalıp kurularak ve panel şeklinde üretilip yapıştırmak suretiyle denenmiştir. Literatürdeki çalışmalar da dikkate alındığında sıva yapımında özellikle giriş altı bölgesi için sıva kalınlığının ve aderansın önemli olduğu, uygulamalarda sıva yapımında ayrıca hasır çeliğin de kullanıldığı görülmektedir. Kalıp yapılarak uygulamada ise işçiliğin arttığı ayrıca malzemenin kalıba yerleşmesinde zorlukların olduğu, kalıp söküldükten sonra ayrışma ve bazı kısımlarda boşlukların meydana geldiği görülmüştür. Uygulamanın panel şeklinde üretilip yapıştırılarak yapıldığı durumda ise, diğer uygulamalardaki dezavantajların ortadan kalktığı görülmüş, ayrıca; yapı alanı dışında panel üretiminin gerçekleştirilmesi, dolayısıyla panellerin hazır olarak yapıya gelme imkânının bulunması, uygulanabilecek kolay ve makul bir yöntem olması, işçilikteki kolaylık, kalifiye işçiye gerek olmadan uygulamanın yapılabilmesi, panel ile çerçeve arasında aderansın yapıştırıcı ile güçlü şekilde sağlanması, daha önce yapılan sıva gibi standart uygulamaların dışında yeni ve farklı bir uygulamanın geliştirilmesi gibi hususlar dikkate alınarak en uygun onarım uygulamasının panel şeklinde üretilip çerçeveye yapıştırılması şeklinde olacağı düşünülmüştür. Onarım işlerinde tamir harcının ortalama 3 cm olarak uygulanması, üretilen çerçevelerin ise 1/3 ölçekli olarak tasarlanıp üretilmesinden dolayı, çalışma kapsamında onarımın 1 cm kalınlığında yapılmasının uygun olacağı görülmüştür. Bu kapsamda, belirlenen optimum karışımında kullanılan malzemeler ve miktarları dikkate alınarak üretilen ECC, Şekil 3.25’de görüldüğü gibi çerçeve boyutlarına uygun ve 1 cm kalınlığında olacak şekilde hazırlanan kalıplara dökülmüştür. 24 saat sonra kalıplardan çıkartılan paneller 28 gün sonra onarım için çerçevelere yapıştırılmıştır.



(a)



(b)

Şekil 3.25. ECC’nin panel şeklinde üretilmesi: (a) ECC’nin hazırlanması (b) Kalıpların yapılması
(c) ECC’nin kalıplara dökülmesi



(c)

Şekil 3.25. (Devamı)

3.3.2. Panellerin çerçeveye yapıştırılması

Onarım için sertleşmiş ECC panellerin farklı hasar düzeyindeki çerçevelere yapıştırılmasında Sika dur 31 ürünü kullanılmıştır. Yüksek dayanımlı yapıştırıcı olan ürün, tiksotropik, sarkma yapmayan, düşey ve baş üstü uygulamalar için kullanılabilen, solvent içermeyen, rötresiz sertleşen, neme toleranslı, bir epoksi yapıştırıcıdır. Ürün Şekil 3.26’da görüldüğü gibi A ve B olmak üzere 2 bileşenden oluşmaktadır. Yapıştırıcı, ağırlık veya hacim olarak A bileşeninden 3, B bileşeninden ise 1 birim alınıp karıştırılmak suretiyle hazırlanmıştır. Karışım sonunda 1.65 kg/l yoğunluğa sahip olan ürünün üretici firmadan temin edilen yapışma dayanımı özellikleri Çizelge 3.14’de verilmiştir.

Çizelge 3.14. Yapıştırıcı harcın yapışma dayanımı özellikleri

Kür süresi (gün)	Sıcaklık (°C)	Yüzey	Yapışma dayanımı (N/mm ²)
10	+10 ile +20	Kuru beton	>4*
10	+10 ile +20	Çelik	15

* %100 betonda göçme

Panellerin yapıştırılması işlemi yapılmadan önce panellerin ve betonarme çerçevelerin yüzeyi, komprasör ve bez ile temizlenmiştir. Ağırlık olarak A bileşeninden 3, B bileşeninden ise 1 birim alınıp düşük hızda en az 3 dakika, malzeme düzgün kıvamlı ve homojen gri renkte olana kadar karıştırılmıştır. Sonrasında ise yapıştırıcı Şekil 3.27’de görüldüğü gibi mala ile tüm panellere yaklaşık 1 mm kalınlığında sürülmüş ve paneller çerçevelere yapıştırılmıştır.

Çerçeveye yapıştırılan paneller ayrıca işkence ile desteklenmiştir. 1 gün sonra ise işkenceler çerçevelerden sökülüştür. Betonarme çerçeveye yapıştırılan paneller Şekil 3.28’de görülmektedir.



Şekil 3.26. Yapıştırıcı malzemenin görünümü (a) A bileşeni, (b) B bileşeni, (c) Karışımı



Şekil 3.27. Panellere yapıştırıcı malzemenin uygulanması



Şekil 3.28. Betonarme çerçeveye yapıştırılan paneller

3.4. Deney Düzeneği ve Ölçüm Tekniği

Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Deprem Araştırma Laboratuvarında yapılan deneysel çalışmalar kapsamında, 4 adet betonarme çerçevenin 3 adedine depreme benzeştirilmiş tersinir tekrarlanır yatay yükler uygulanarak farklı hasar düzeylerine sahip olması sağlanmış, 4. çerçeve ise referans numune olarak göçme seviyesine kadar benzer şekilde test edilmiştir. Referans çerçevenin %4 deplasmana karşılık gelen 72 mm değerinde göçme seviyesine ulaştığı görülmüştür. Bu husus dikkate alınarak diğer çerçevelere sırasıyla %1, %2, %3 deplasmana ulaşınca kadar depreme benzeştirilmiş tersinir tekrarlanır yatay yük uygulanmış ve bu şekilde çerçevelerin farklı hasar düzeylerine sahip olması sağlanmıştır. Farklı hasar düzeyindeki çerçeveler, aynı özelliğe sahip, 1 cm kalınlığında üretilen panellerin yapıştırılmasıyla onarılmış, daha sonra betonarme çerçeveler tersinir tekrarlanır yatay yükler altında test edilmiş ve ECC ile üretilen panellerin farklı hasar seviyesindeki betonarme çerçevelerin performansına etkileri belirlenmiştir. Betonarme çerçevenin test edilmesine öncelikle yük kontrollü olarak başlanmıştır. Sistem akmaya

ulaştığında ise deplasman kontrollü yüklemeye geçilmiştir. Deneylerde deplasman okumalarının yapılabilmesi için LVDT (Linear Vertical Displacement Transducer) olarak adlandırılan 6 adet deplasman ölçer çerçeveye bağlanmıştır. Deney düzeneğinde bulunan yük hücrelerinden elde edilen yük okumaları ile LVDT'ler vasıtasıyla belirlenen deplasman değerleri kullanılarak ilgili deney numunesinin, yük ve deplasman verileri elde edilmiştir. Yapılan deneylerde her bir yükleme çevrimi, ölçülen yatay yük ve deplasman değeri, numunelerde oluşan çatlaklarla birlikte kayda alınmıştır.

3.4.1. Deney düzeneği

Deneysel çalışmalar, deprem laboratuvarında bulunan deney yükleme sistemi üzerinde, üretilen çerçevelerin rijit duvar ve döşemeye yerleştirilmesiyle yapılmıştır. Çerçevelerin döşemeye sabitlenmesi işlemi numunenin temelinde bulunan 8 adet dairesel boşluğun içine yerleştirilen tijlerin laboratuvar döşemesinden geçirilip bağlanmasıyla gerçekleştirilmiştir. Daha önce belirtildiği üzere, betonarme çerçeveler imal edilirken, laboratuvar döşemesindeki bağlantı deliklerine uyacak şekilde temele dairesel boşluklar bırakılmıştır. Bu dairesel boşluklardan geçen tijler, betonarme çerçeve temeli üzerinden ve laboratuvar döşemesinin altından pul ve somunlar ile sıkıştırılmıştır. Ayrıca ilave bir önlem olarak, deney sırasında tersinir tekrarlanır yük çevrimleri sonucunda temelin hareketini önlemek amacıyla temelin iki yanına hidrolik silindir yerleştirilerek temel sabitlenmiştir. Çerçeveye uygulanan yatay yükü verecek olan hidrolik silindir, laboratuvardaki rijit duvarın üzerinde bulunan deliklere sabitlenmiş çelik yükleme düzeneğine Şekil 3.29'daki gibi bağlanmıştır. Çerçeveler 2 katlı olarak üretildiği için depremi benzeştiren tersinir tekrarlanır yükleme etkisi alt kata bir birim ve üst kata iki birim yük gelecek şekilde uygulanmıştır. Yükleme el ile kumanda edilen bir hidrolik pompa vasıtasıyla yapılmıştır. Pompayla yükleme, çerçevelerde meydana gelen hasarları gözlemleyebilecek hızda uygulanmıştır. Deneylerde hidrolik silindir ile gerçekleşen yüklemenin ölçülmesi ve yük verilerinin bilgisayar ortamına aktarılmasında yük hücresi (loadcell) kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan LVDT'ler ise kutu profillerden yapılan sabit bir iskeleye bağlanmıştır. Çerçevenin tijlerle döşemeye sabitlenmesi Şekil 3.30'da, temelin iki yanına yerleştirilen hidrolik silindirler Şekil 3.31'de ve yükleme düzeneğinin genel görünümü Şekil 3.32'de verilmiştir.



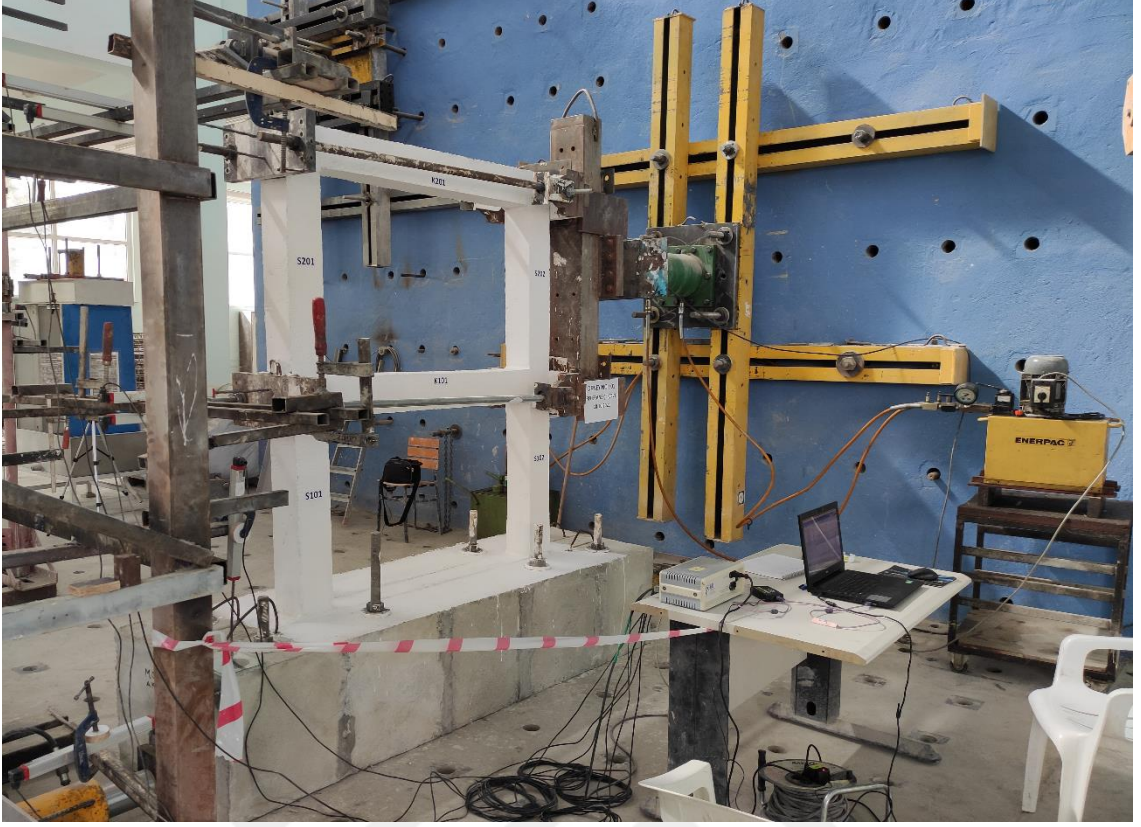
Şekil 3.29. Yük ölçüm düzeneği



Şekil 3.30. Çerçevenin tijlerle sabitlenmesi



Şekil 3.31. Temelin iki yanına yerleştirilen hidrolik silindirler



Şekil 3.32. Yükleme düzeneğinin genel görünümü

3.4.2. Ölçme tekniği

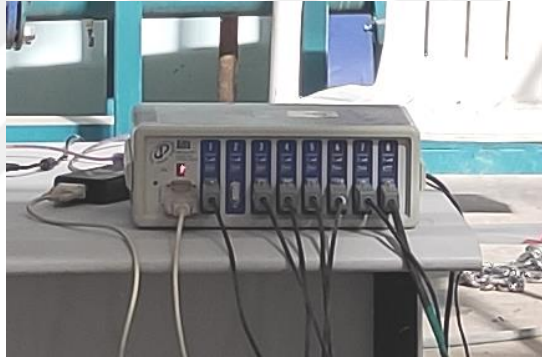
Deneyler kapsamında yatay yük ölçümleri, yük hücresi ile yapılmıştır. Çerçevelerde oluşan yatay ve düşey yer değiştirmeler ise LVDT kullanılarak ölçülmüştür. Cihazlardan okunan değerler, veri toplama (data logger) sistemi kanalıyla bilgisayara aktarılmış olup ayrıca kayıt altına alınmıştır.

3.4.2.1. Yük ölçümleri

Deney numunelerine hidrolik silindir ile ileri ve geri olacak şekilde yatay yükler uygulanmış ve değerler yük hücreleri vasıtasıyla okunmuştur. Uygulanan toplam yatay yükün $\frac{2}{3}$ 'ü üst kata, $\frac{1}{3}$ 'ü ise alt kata uygulanmıştır. Toplam yatay yük ölçümü için kullanılan yük hücresi kapasitesi 500 kN'dir. Yük hücreleri veri toplama kutusuna bağlı olup yük değerleri bilgisayar ortamına aktarılıp kaydedilmiştir. Deneylerde kullanılan hidrolik silindir Şekil 3.33'de, veri toplama sistemi ise Şekil 3.34'de verilmiştir.



Şekil 3.33. Hidrolik silindir

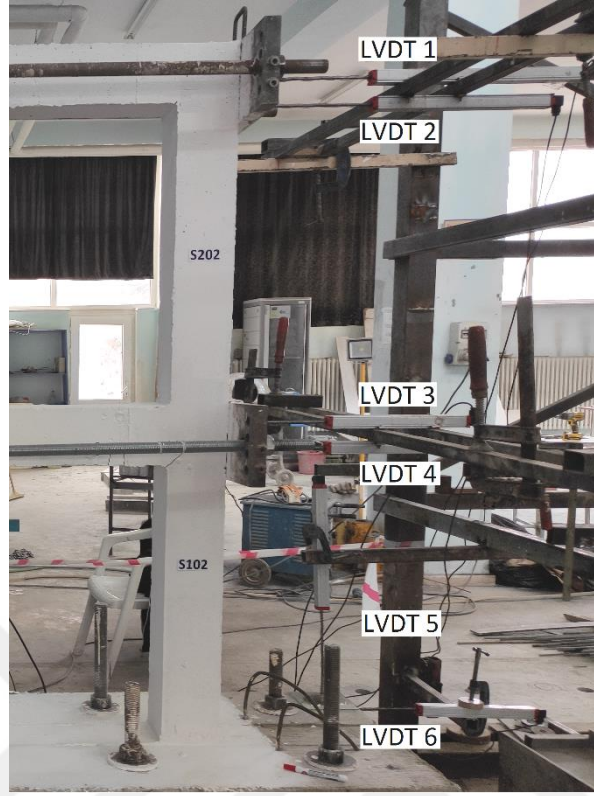


Şekil 3.34. Deneylerde kullanılan veri toplama sistemi

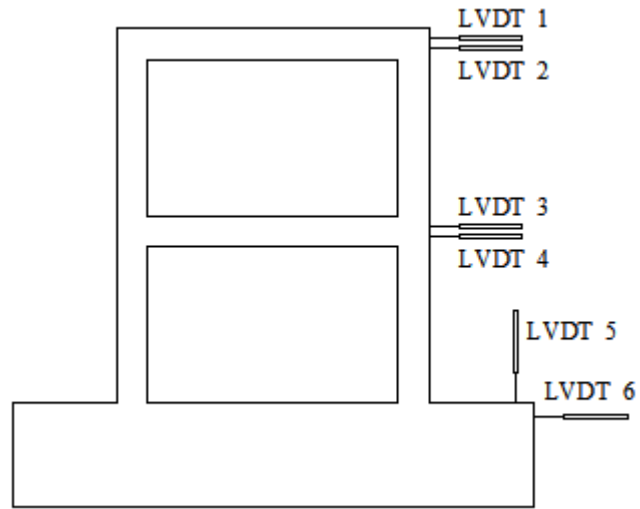
3.4.2.2. Yer değıştirmelerin ölçülmesi

Çerçevelerde oluşan yatay ve düşey yer değıştirme değeri LVDT kullanılmak suretiyle ölçülmüştür. Deney kapsamında kullanılan LVDT'ler 0.01mm hassasiyetinde ölçüm yapabilmektedir.

Deplasman ölçümleri için her bir katta ikişer adet olmak üzere 4 adet LVDT kullanılmıştır. Temel hareketlerini ölçmek için ise ayrıca 2 adet LVDT yatay ve düşey doğrultuda temele yerleştirilmiştir. LVDT'lerden okunan değeri, veri toplama sistemi vasıtasıyla bilgisayar ortamına aktarılıp kaydedilmiştir. Deneylerde kullanılan LVDT'lerin, çerçevelere yerleşimi Şekil 3.35 ve Şekil 3.36'da verilmiştir.



Şekil 3.35. LVDT'lerin çerçeveye yerleşimi



Şekil 3.36. LVDT'lerin çerçeveye yerleşim düzeni

3.4.3. Deneylerde kullanılan ölçüm düzeneği

Yapılan deneysel çalışma kapsamında 1. ve 2. katta bulunan kolon kiriş birleşim bölgesinin dış yüzüne destek plakaları yerleştirilmiştir. Bu destek plakalarına Şekil 3.37’de görüldüğü üzere yükleme kirişinden uzatılan çelik miller geçirilerek sabitlenmiştir. Deneylerde kullanılan şekil değiştirme ve yer değiştirme ölçümleri için toplam 6 adet LVDT kullanılmıştır. 4 adet LVDT söz konusu destek plakalarının üzerine yani tam kiriş hizalarına yerleştirilmiştir.



Şekil 3.37. Deney numunesi ve düzeni ile ilgili genel görünüm

3.4.4. Ölçümlerin değerlendirilmesi

Yapılan deneylerde 6 adet LVDT ve 1 adet yük hücresi kullanılmış olup ölçülen değerler bilgisayar ortamına kaydedilmiştir. Bu değerler dikkate alınarak numunelerin davranış özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Bu kapsamda, deney numuneleri ile ilgili yük ve deplasman geçmişi, histerezis ve zarf eğrisi, rijitlik azalımı, tüketilen enerji ve süneklik değerlendirmesi grafikleri çizilmiştir. Grafiklerin nasıl çizildiği ise aşağıdaki başlıklarda açıklanmıştır.

3.4.4.1. Yük geçmişi ve deplasman geçmişi grafiklerinin çizilmesi

Yapılan deneyler kapsamında numunelere uygulanan ileri ve geri yüklemelerden elde edilen yatay yük değerleri ile deplasman değerleri belirlenir. Her bir numune için yatay yük-çevrim sayısı ile deplasman-çevrim sayısı grafikleri çizilip, yük ve deplasman grafikleri oluşturulur (Arslan, 2007).

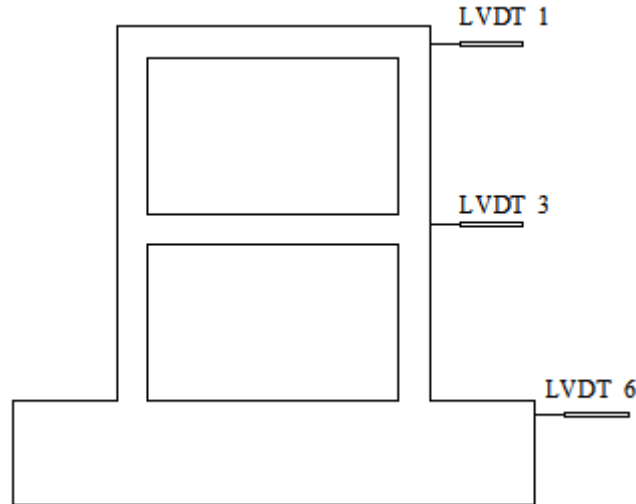
Yapılan deneyler kapsamında yük hücrelerinden okunan yatay yük değerleriyle, kiriş hizalarına ve temele yatay olarak yerleştirilen LVDT'ler vasıtasıyla, üst kat ve alt kat çerçeve kirişi seviyesindeki net deplasman değerleri belirlenir. Üst ve alt katta oluşan deplasman değerlerinden, temeldeki deplasman değerinin çıkarılması neticesinde her katta meydana gelen net deplasman hesaplanmaktadır. Şekil 3.38'de verilen numune dikkate alınarak, örnek net yatay deplasmanın hesaplanma şekli Denklem 3.5 ve Denklem 3.6'da verilmiştir.

Üst kat net yatay deplasmanı (tepe deplasmanı)

$$\Delta_{\text{net üst}} = LVDT1 - LVDT6 \quad (3.5)$$

Alt kat net yatay deplasmanı

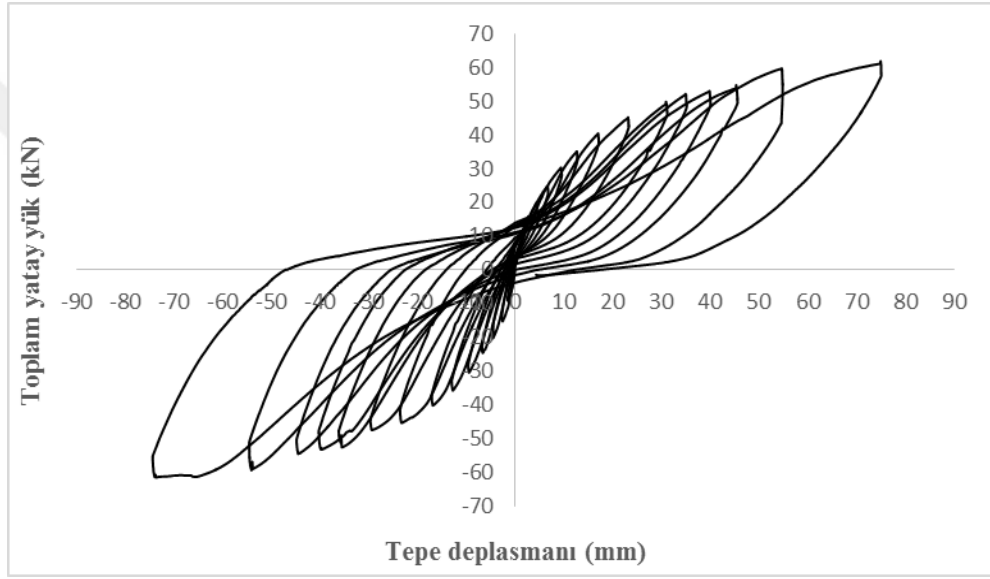
$$\Delta_{\text{net alt}} = LVDT3 - LVDT6 \quad (3.6)$$



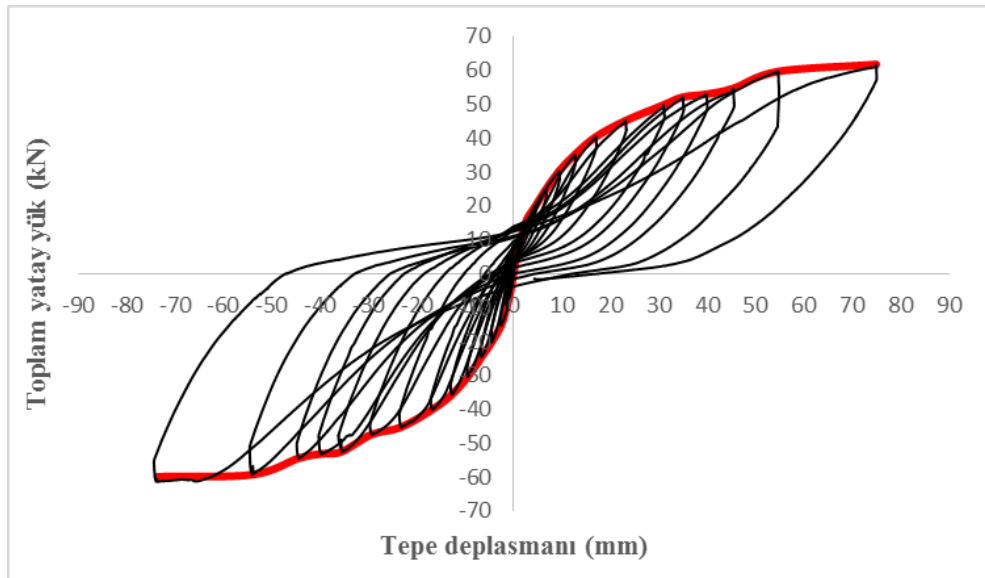
Şekil 3.38. Deplasman ölçümlerinin isimlendirilmesi

3.4.4.2. Histerezis eğrisi ve zarf eğrisinin çizilmesi

Yapılan deneyler kapsamında, ileri ve geri çevrimlerde numuneye uygulanan yük ve yüke karşılık gelen deplasman değerlerine göre histerezis eğrisi çizilmiştir. Histerezis eğrisi ileri ve geri çevrimlerde farklı değerler almaktadır. Dolayısıyla çizilen grafiğin üst ve alt kısmında kesintisiz olarak ilerleyen çevrimsel eğriler meydana gelmektedir. Çizilen histerezis eğrisindeki her bir çevrimde oluşan tepe noktalarının birleştirilmesi ile de zarf eğrisi elde edilmektedir. Şekil 3.39 ve Şekil 3.40'da histerezis eğrisi ve zarf eğrisine ait örnek verilmiştir.



Şekil 3.39. Histerezis eğrisinin çizilmesi



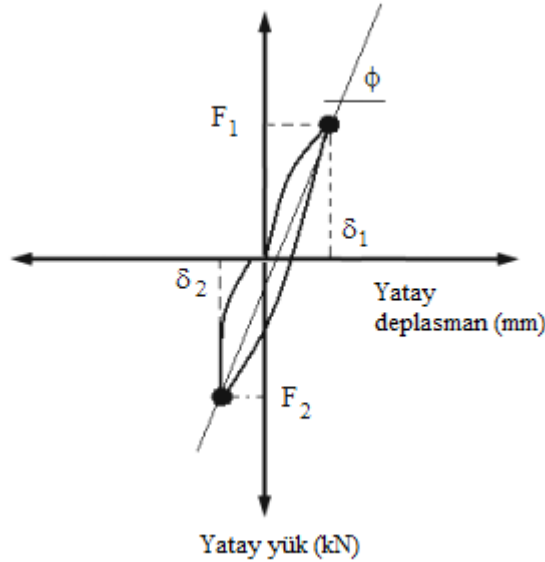
Şekil 3.40. Zarf eğrisinin çizilmesi

3.4.4.3. Rijitlik azalımı grafiklerinin çizilmesi

Yapılan deneyler kapsamında, numunelerde yatay yükleme etkisinde meydana gelen plastik mafsall oluşumu ile birlikte numunelerin rijitliklerinde azalma olur. Rijitlik değeri, numuneler için oluşturulan yük-deplasman grafiğinde her bir çevrim için eğim hesaplanarak belirlenir. Numunelerin yük-deplasman eğrisinde her bir çevrim için okunan yatay yük değerleri F_1 ve F_2 , yatay deplasman değerleri δ_1 ve δ_2 ise, söz konusu çevrim için rijitlik değeri, Denklem 3.7’de belirtildiği gibi hesaplanır (Arslan, 2007).

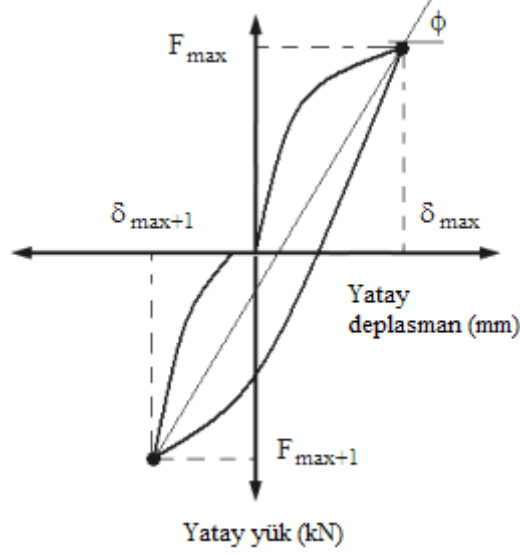
$$Rijitlik(\phi) = \frac{(|F_1| + |F_2|)}{(|\delta_1| + |\delta_2|)} \quad (3.7)$$

Şekil 3.41 ve Şekil 3.42’de görüldüğü üzere, “birinci çevrim rijitliği” 1-1 çevriminde yatay yük-deplasman eğrisinin eğiminin hesaplanmasıyla, “maksimum yük çevrim rijitliği” ise maksimum yüke karşılık gelen çevrimde oluşan yatay yük-deplasman eğrisinin eğiminin hesaplanmasıyla elde edilir. Ayrıca, Şekil 3.43’de görüldüğü gibi “deney sonu çevrim rijitliği” deney bitimindeki çevrimde meydana gelen yatay yük-deplasman eğrisinin eğimi hesap edilerek bulunur (Arslan, 2007).

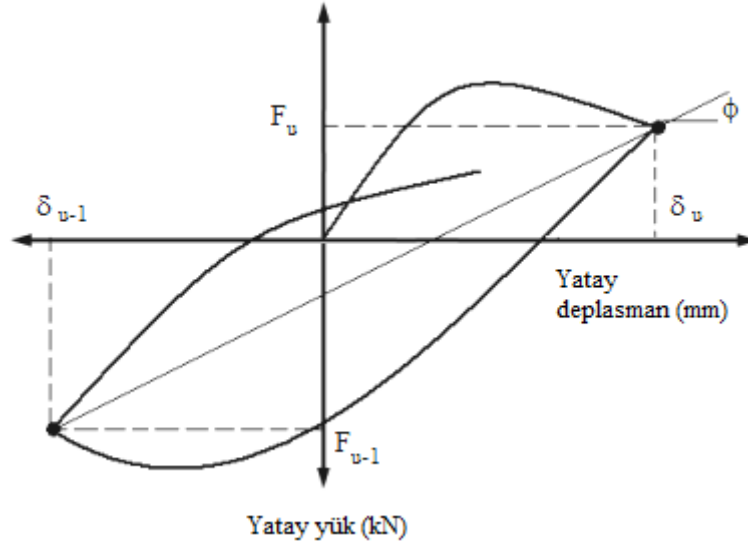


Şekil 3.41. Başlangıç rijitlik değerinin belirlenmesi (Arslan, 2007)

Çalışma kapsamında, rijitlik azalım grafikleri; toplam yatay yük-tepe deplasmanı değerleri dikkate alınarak oluşturulmuş olup aynı grafikte hem pozitif hem de negatif yöndeki rijitlik azalışları gösterilmiştir.



Şekil 3.42. Maksimum yük rijitlik değerinin belirlenmesi (Arslan, 2007)

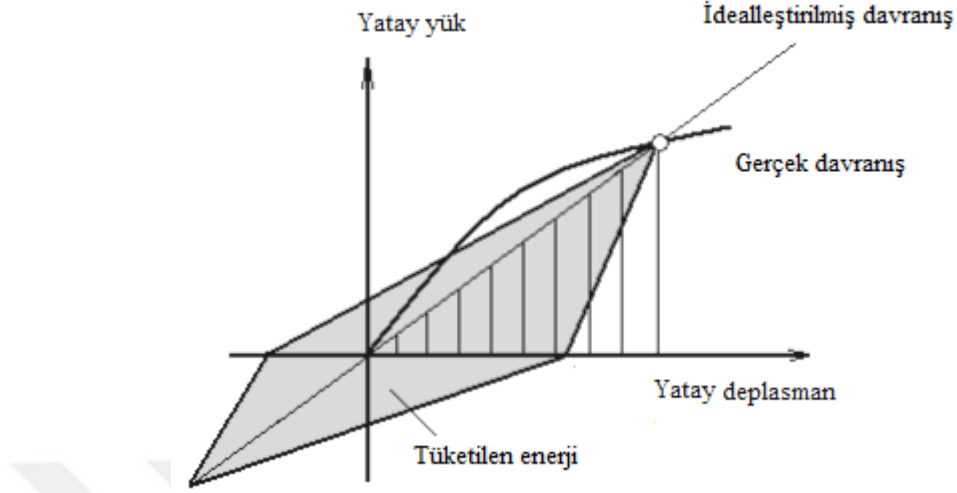


Şekil 3.43. Deney sonu rijitliğinin belirlenmesi (Arslan, 2007)

3.4.4.4. Tüketilen enerji grafiklerinin elde edilmesi

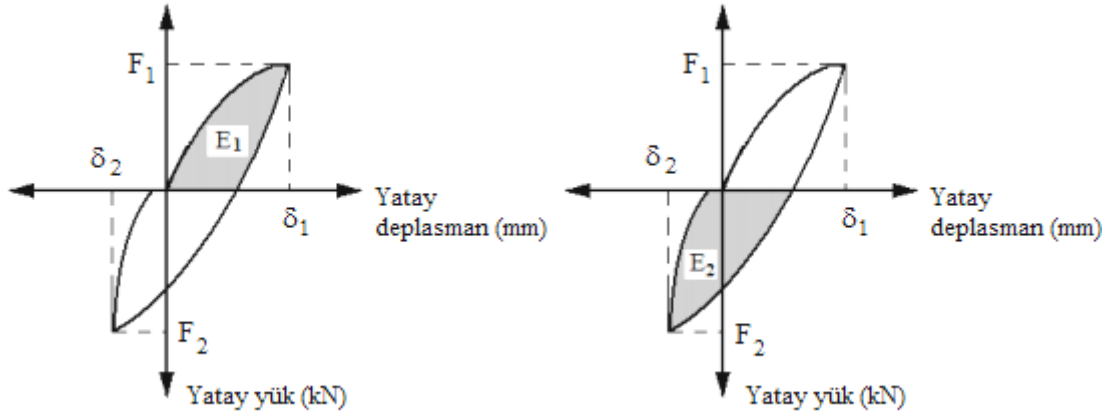
Depreme benzeştirilmiş tersinir tekrarlanır yatay yük tesirindeki numuneler, üstünde oluşan enerjinin bir miktarını deformasyon yapmak suretiyle tüketir. Deney kapsamında test edilen numunelerin tükettikleri enerji, her çevrimde yük-deplasman

eğrisinin altındaki alana eşittir (Arslan, 2007). Şekil 3.44’de sistem tarafından tüketilen enerji grafiği verilmiştir.



Şekil 3.44. Sistem tarafından tüketilen enerji (Arslan, 2007)

Numunelerin enerji tüketme kapasitelerinin hesaplanmasında Şekil 3.45’de görüldüğü gibi öncelikle ileri yüklemede oluşan yük-deplasman eğrisinin altındaki E_1 alanı ve geri yüklemede oluşan yük-deplasman eğrisinin altındaki E_2 alanı hesaplanır (Arslan, 2007).



Şekil 3.45. Toplam tüketilen enerji değerlerinin hesaplanması (Arslan, 2007)

E_1 ve E_2 değerlerinin toplanmasıyla söz konusu çevrim için toplam tüketilen enerji hesaplanmış olunur. Deney kapsamında toplam tüketilen enerji ise her çevrim için hesaplanan tüketilen enerji değerleri toplanarak bulunur. Toplam tüketilen enerji değerinin, tepe deplasmanı/toplam yükseklik (δ/H) oranı ile tüketilen enerji grafikleri çizilir (Arslan, 2007).

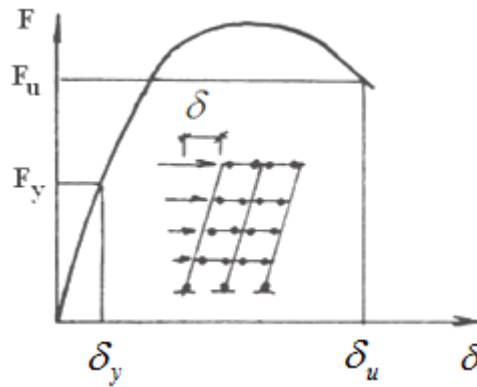
3.4.4.5. Numune süneklik grafiğinin çizilmesi

Herhangi bir sistemin veya kesitin, dayanımında kayda değer bir azalma gerçekleşmeksizin yapacağı elastik ötesi deformasyon olarak tanımlanabilen süneklik ile ilgili, eğrilik sünekliği ve deplasman sünekliği olarak 2 farklı kavram bulunmaktadır (Arslan, 2007). Taşıyıcı elemanların kesit özelliklerine bağlı olan eğrilik sünekliği, Denklem 3.8’den bulunabilmekte olup kesitin güç tükenmesi anındaki eğriliğin, çekme donatısının aktığı andaki eğriliğe oranı olarak tanımlanır.

$$\mu_x = \frac{\phi_u}{\phi_y} \quad (3.8)$$

Deplasman sünekliği, diğer bir ifade ile ötelenme sünekliği ise, sistemle ilgili bir değişkendir. Deplasman sünekliği, mesnet şartlarının meydana getirdiği ötelenme rijitliğiyle, yapının yüksekliği, açıklığı, boykesit ve plan özellikleri ile alakalıdır. Yapının sünek kabul edilebilmesi için ötelenme süneklik değeri 4-5 olmalıdır. Deplasman sünekliği, Denklem 3.9’dan bulunabilmekte olup ilgili grafik Şekil 4.46’da verilmiştir (Arslan, 2007).

$$\mu_\delta = \frac{\delta_u}{\delta_y} \quad (3.9)$$



Şekil 4.46. Deplasman sünekliği (Arslan, 2007)

Yapının, genellikle son kat-döşemesi seviyesinde veya belirli bir noktasında, en büyük yanal ötelenmesinin, sistemin akmaya ulaştığındaki yanal ötelenmesine oranı,

sistem sünekliği olarak ifade edilebilir. Sistemin akma yer değiştirmesinin belirlenmesinde bazı kabuller yapılmaktadır. Sistem sünekliği ile akma yer değiştirmesi birbirleriyle orantılıdır. Dolayısıyla süneklik oranının doğruluğu, akma yer değiştirmesi değerinin doğru belirlenmesine bağlıdır. Yapılan çalışmalar neticesinde sistem akma yer değiştirmesinin tespitinde bazı yöntemler geliştirilmiştir (Paulay ve Priestley, 1992; Paulay, 1993). Bu yöntemlerden genel olarak kabul edileni ve en eski olanı klasik yöntem olarak bilinmektedir. Bu yöntemde, sistem nominal dayanımının belirli bir oranında, sistemin elastik bölgeden plastik bölgeye geçtiği kabul edilir. Fakat bu oran için tam bir değer verilememektedir. Genel olarak nominal mukavemetin %70-80'i kadar olduğu varsayılmaktadır. Sistemin ideal dayanımı yük-deplasman eğrisinde ulaşılan en büyük yük değeridir. İdeal dayanımın %75'ine gelindiğinde sistemin elastik özelliğini kaybettiği ve plastik deformasyonların olduğu kabul edilir. İdeal dayanımın %75'ine denk gelen yer değiştirme ise akma yer değiştirmesi olarak belirlenir (Priestley, 1997).

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

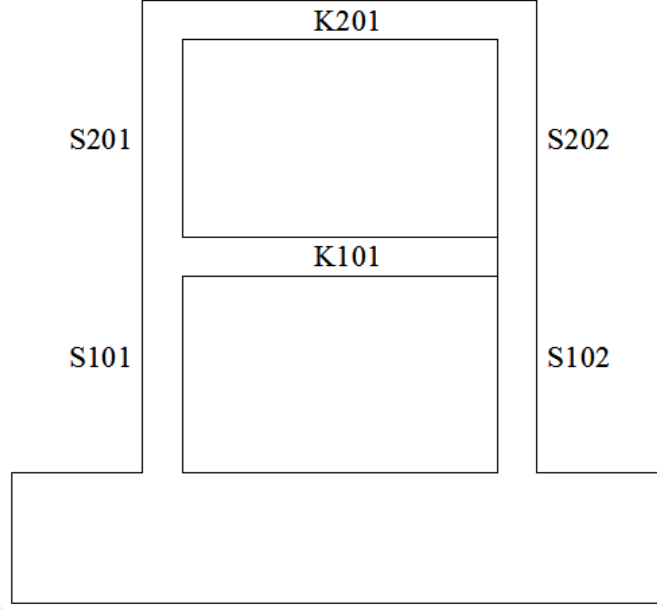
Bu bölümde, 3 adet betonarme çerçeve numunesine depreme benzeştirilmiş tersinir tekrarlanır yatay yük uygulayarak, numunelerin farklı hasar düzeylerine sahip olmasının sağlanması, referans numunenin göçme seviyesine kadar benzer şekilde test edilmesi, aynı özelliğe sahip ECC paneller ile onarılan farklı hasar seviyelerindeki numunelerin tersinir tekrarlanır yatay yükler altında test edilmesi ve onarımın farklı hasar seviyesindeki numunelerin performansına etkileri anlatılmıştır.

Bu kapsamda; deneylerin yapılış yöntemi, gözlenen davranış özellikleri, oluşan hasarlar ve elde edilen sonuçlar detaylı bir şekilde anlatılmış ve deney esnasında çekilen fotoğraflar sunulmuştur. Deneylere yük kontrollü olarak başlanıp, betonarme sistemin akma yükünden sonra deplasman kontrollü olarak devam edilmiştir. Akma yükü, yük-deplasman eğrisinin hatırı sayılır oranda değiştiği an olarak deney sırasında gözlemlenmiştir. Deney numuneleri alt kata 1 birim, üst kata ise 2 birim yük gelecek şekilde yüklenmiştir. Yük artışları 5 kN'luk adımlarla, deplasman artışları ise 5 mm'lik adımlarla yapılmıştır.

Çalışma kapsamında elde edilen sonuçların anlaşılabilmesi ve test edilen numunelerin birbirleriyle kıyaslanabilmesi açısından aşağıda belirtilen grafikler hazırlanmıştır.

1. Yük geçmişi grafiği
2. Deplasman geçmişi grafiği
3. Toplam yatay yük-tepe deplasmanı grafiği (Histerezis eğrisi)
4. Toplam yatay yük-tepe deplasmanı grafiği (Zarf eğrisi)
5. 1. kata gelen yatay yük-1. kat deplasmanı grafiği (Histerezis eğrisi)
6. 1. kata gelen yatay yük-1. kat deplasmanı grafiği (Zarf eğrisi)
7. 1. kata gelen yatay yük-1. kat ötelenme oranı grafiği
8. Sistem rijitlik azalım grafiği
9. Kümülatif toplam enerji tüketimi-tepe deplasmanı/toplam yükseklik grafiği
10. Sistem süneklik değerlendirme grafiği
11. Toplam yatay yük-tepe deplasmanı/toplam yükseklik grafiği

Deney esnasında oluşan hasarları belirtmek için kiriş ve kolonların numaralandırılması Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Deney numunelerindeki elemanların numaralandırılması

Çalışma kapsamında referans numune RN şeklinde, %1, %2 ve %3 yani 18 mm, 36 mm ve 54 mm deplasmana ulaşınca kadar tersinir tekrarlanır yatay yük uygulanıp hasar oluşturulan numuneler ise sırasıyla %1 HN, %2 HN ve %3 HN olarak kısaca isimlendirilmiştir. %1, %2 ve %3 deplasmana ulaşınca kadar yük uygulanarak hasar oluşturulup sonrasında onarılan numuneler ise sırasıyla %1 ON, %2 ON ve %3 ON olarak adlandırılmıştır. Bu bölümde toplam 7 deney yapılmış olup, deneylerin kısaca isimlendirilmesi ve yapımı ile ilgili özet açıklama Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Yapılan deneylerin isimlendirilmesi ve açıklaması

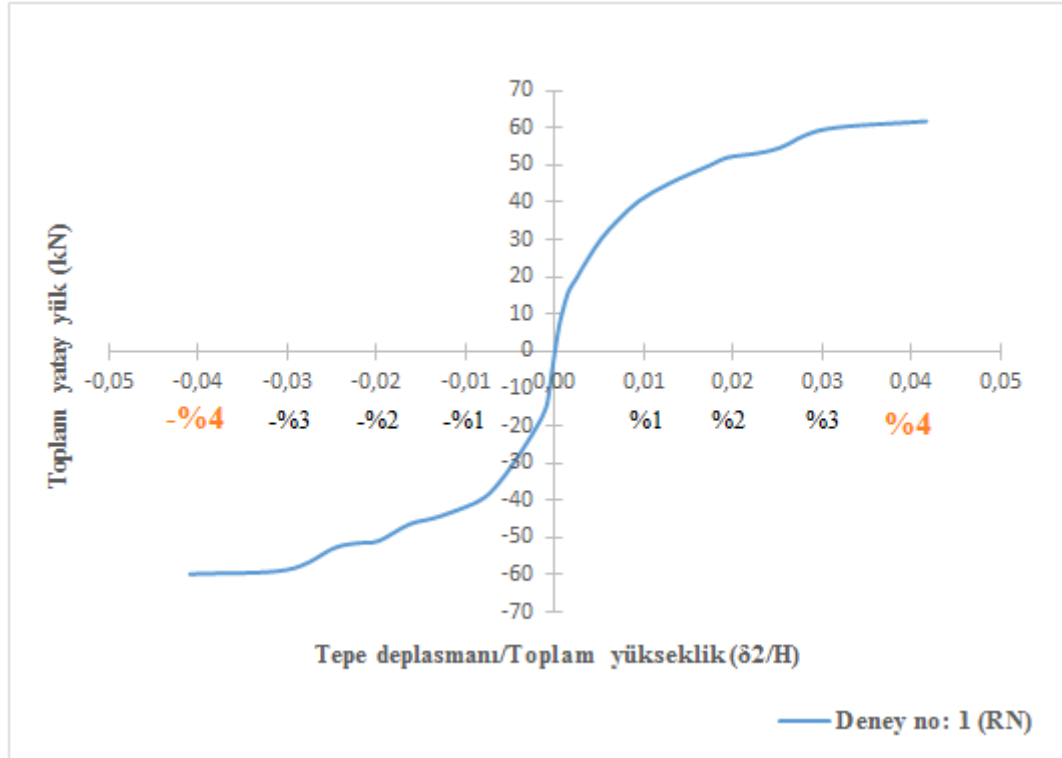
Deney no	Deneyin özet açıklaması
1 nolu deney (RN)	Göçme seviyesine kadar tersinir tekrarlanır yatay yük uygulanıp test edilen referans numune
2 nolu deney (%1 HN)	%1, yani 18 mm deplasmana ulaşınca kadar tersinir tekrarlanır yatay yük uygulanıp hasar oluşturulan numune
3 nolu deney (%2 HN)	%2, yani 36 mm deplasmana ulaşınca kadar tersinir tekrarlanır yatay yük uygulanıp hasar oluşturulan numune
4 nolu deney (%3 HN)	%3, yani 54 mm deplasmana ulaşınca kadar tersinir tekrarlanır yatay yük uygulanıp hasar oluşturulan numune
5 nolu deney (%1 ON)	2 nolu deney numunesinin ECC paneller ile onarılması ve sonrasında test edilmesi
6 nolu deney (%2 ON)	3 nolu deney numunesinin ECC paneller ile onarılması ve sonrasında test edilmesi
7 nolu deney (%3 ON)	4 nolu deney numunesinin ECC paneller ile onarılması ve sonrasında test edilmesi

4.1. 1 Nolu Deney (RN)

Deneyisel çalışma kapsamında ilk olarak; referans numune (RN) depreme benzeştirilmiş tersinir tekrarlanır yatay yükler altında göçme seviyesine kadar test edilmiştir.

Yapılan deney sonucunda Şekil 4.2’de görüldüğü gibi numunenin %4 deplasmana karşılık gelen 72 mm değerinde göçme seviyesine ulaştığı görülmüştür. Referans numunenin %4 deplasmanda göçme seviyesine ulaştığı hususu dikkate alınarak, diğer 3 çerçeveye, sırasıyla %1, %2, %3 deplasmana ulaşincaya kadar depreme benzeştirilmiş tersinir tekrarlanır yatay yük uygulanmış ve bu şekilde geometrik boyutları, donatı detayları ve beton sınıfı aynı olan çerçevelerin farklı hasar düzeylerine sahip olması sağlanmıştır.

Referans numunenin test edilmesinin amacı, üretilen özdeş betonarme çerçevelerin yatay yük taşıma kapasitesinin, sünekliğinin, rijitliğinin, enerji tüketme kapasitesinin ve deprem davranışının belirlenmesi olup ayrıca, onarılan farklı hasar seviyesindeki betonarme çerçevelerin performansının belirlenmesine temel teşkil etmektedir.



Şekil 4.2. 1 nolu deney numunesinin toplam yatay yük-tepe deplasmanı/toplam yükseklik grafiği

1 nolu deney numunesinin deneyden önceki görünümü Şekil 4.3’de verilmiştir.

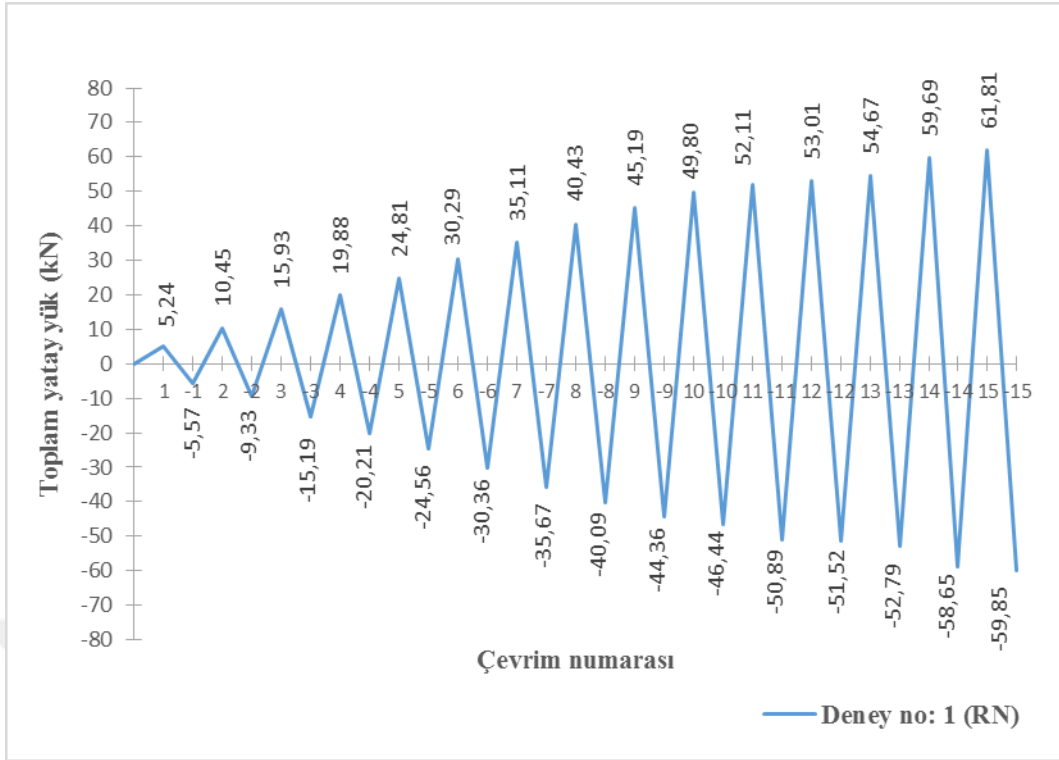


Şekil 4.3. 1 nolu deney numunesinin deneyden önceki görünümü

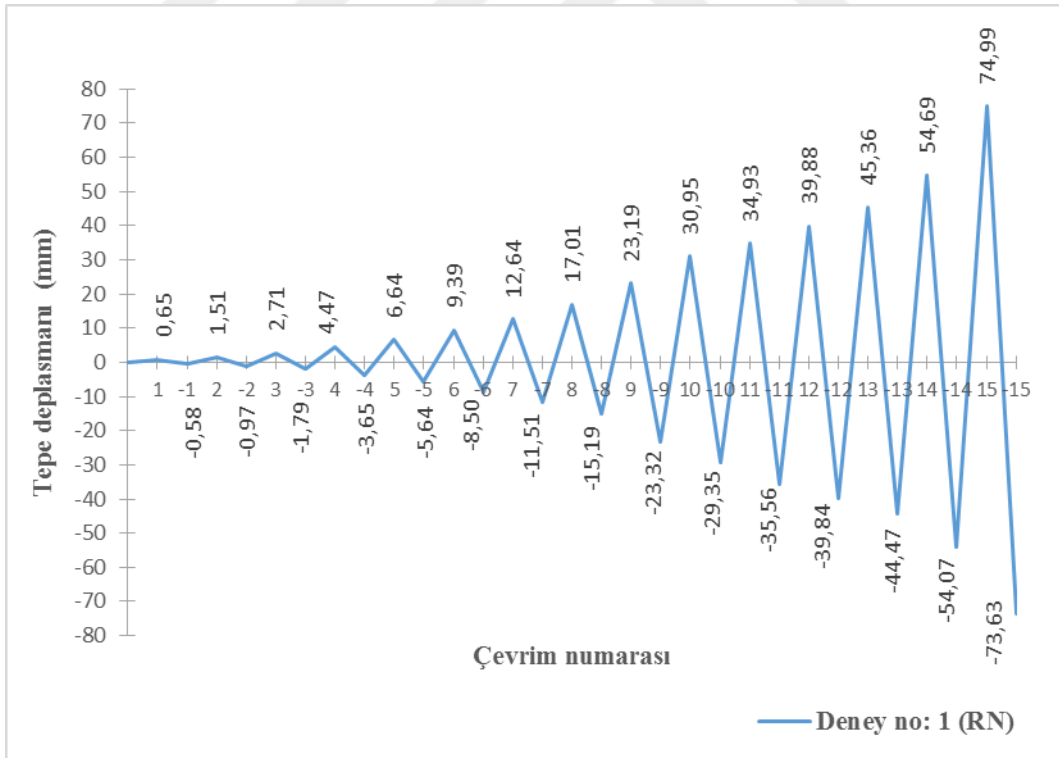
Deneye öncelikle yük kontrollü olarak başlanmış, betonarme sistemin akma yükünden sonra deplasman kontrollü olarak göçme seviyesine kadar devam edilmiştir. Akma yükü; deney esnasında, yük-deplasman eğrisinin kayda değer oranda değiştiği an olarak gözlemlenmiştir.

Deney numunesi alt kata 1 birim, üst kata ise 2 birim yük gelecek şekilde yüklenmiş olup yük artışları 5 kN’luk adımlarla, deplasman artışları ise 5 mm’lik adımlarla yapılmıştır.

Deney numunesine ileri (+) ve geri (-) olmak üzere 15 yük çevrimi uygulanmıştır. Yükleme geçmişi, Şekil 4.4 ve Şekil 4.5’de çerçeveye uygulanan toplam yatay yük ve ölçülen tepe deplasmanına göre ayrı ayrı verilmiştir.

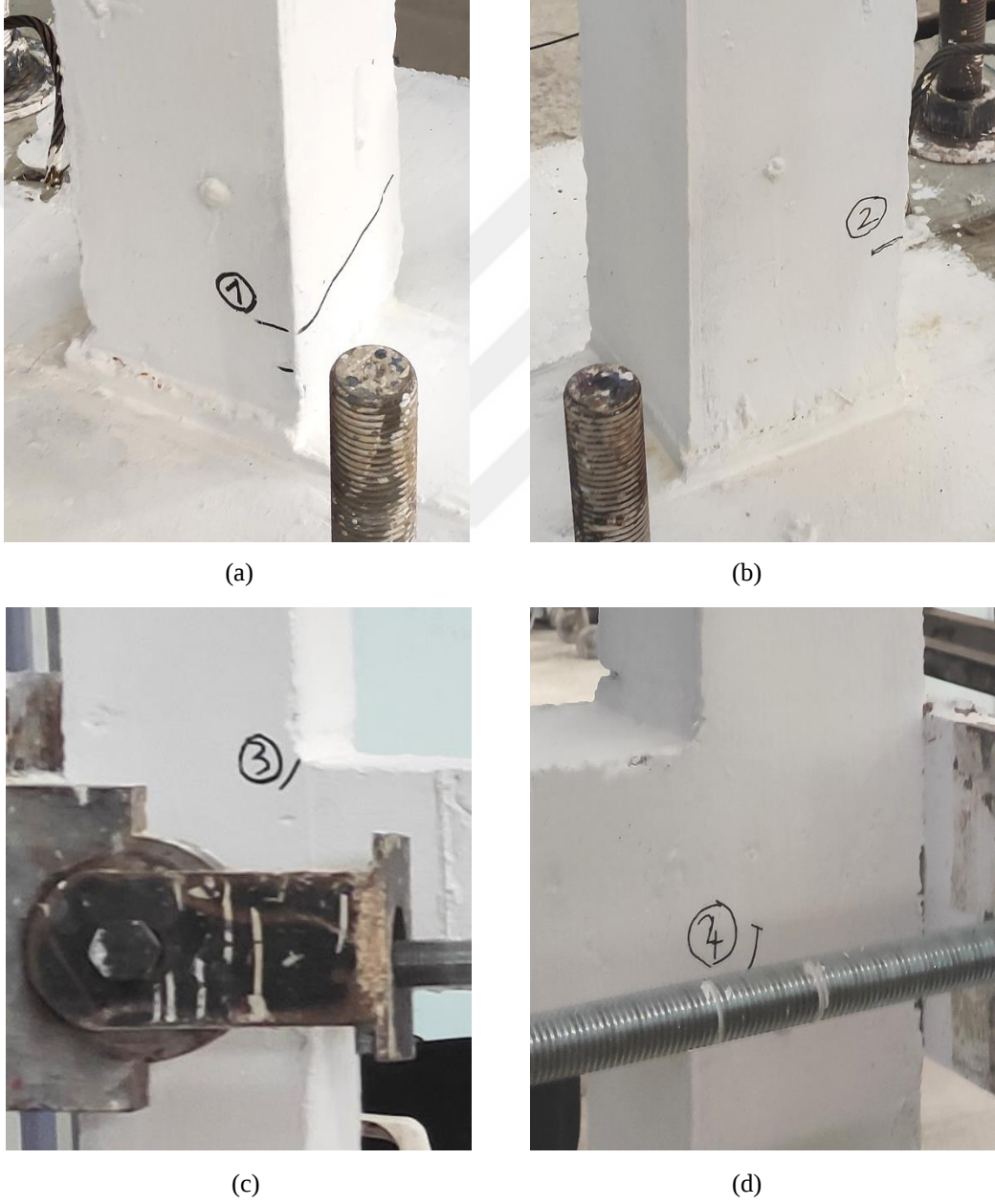


Şekil 4.4. 1 nolu deney numunesine ait yük geçmişi



Şekil 4.5. 1 nolu deney numunesine ait deplasman geçmişi

Referans numunede ilk çatlak, S101 kolonunun sağ alt kısmında, temelin üstünden 9 cm yukarıda, 2 nolu çatlak S102 kolonunun sağ alt kısmında, temelin üstünden 13 cm yukarıda, 3 nolu çatlak S201 kolonu ile K101 kirişi birleşiminde, 4 nolu çatlak S102 kolonu ile K101 kirişi birleşiminde ve 5 nolu çatlak ise S202 kolonu ile K201 kirişi birleşiminde meydana gelmiştir. İlk 5 çatlak geri 3. çevrimde meydana gelmiş olup bu andaki yük değeri -15.19 kN ve tepe deplasmanı -1.79 mm olarak ölçülmüştür. Deney sırasında oluşan ilk 5 çatlak Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



Şekil 4.6. 1 nolu deney numunesinde oluşan ilk çatlaklar: (a) S101-temel (b) S102-temel (c) S201-K101 (d) S102-K101 (e) S202-K201



(e)

Şekil 4.6. (Devamı)

Referans numunenin göçme seviyesine kadar test edildiği bu deneyde, ileri ve geri çevrimler olmak üzere her bir yükleme çevrimi, yatay yük ile ölçülen tepe deplasman değeri, deney esnasında gözlenen davranışlar Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. 1 nolu deney numunesinde her çevrimde gözlenen davranış

Çevrim no	Yatay yük (kN)	Tepe deplasmanı (mm)	Gözlenen davranış
+1	+5.24	+0.65	
-1	-5.57	-0.58	-
+2	+10.45	+1.51	-
-2	-9.33	-0.97	-
+3	+15.93	+2.71	-
-3	-15.19	-1.79	1 nolu çatlak, S101 kolonunun sağ alt kısmında, temelin üstünden 9 cm yukarıda oluştu. 2 nolu çatlak, S102 kolonunun sağ alt kısmında, temelin üstünden 13 cm yukarıda oluştu. 3 nolu çatlak, S201 kolonu ile K101 kirişi birleşiminde oluştu. 4 nolu çatlak, S102 kolonu ile K101 kirişi birleşiminde oluştu. 5 nolu çatlak, S202 kolonu ile K201 kirişi birleşiminde oluştu.
+4	+19.88	+4.47	-
-4	-20.21	-3.65	6 nolu çatlak, S101 kolonunda 1 nolu çatlağın 10 cm üzerinde oluştu.

			7 nolu çatlak, S102 kolonunda 2 nolu çatlağın 15 cm üstünde oluştu. 8 nolu çatlak, S202 kolonunun sol üst kısmında, K101 kirişinin üst yüzünün 59 cm yukarısında oluştu. 9 nolu çatlak, K101 kirişinin sol üst kısmında, kolon yüzünden 21 cm uzaklıkta oluştu. 10 nolu çatlak, K101 kirişinin sağ alt kısmında ve kolon yüzünden 17 cm uzaklıkta oluştu. 11 nolu çatlak, K101 kirişinin sağ alt kısmında ve kolon yüzünden 11 cm uzaklıkta oluştu. 12 nolu çatlak, K101 kirişinin sol üst kısmında, kolon yüzünden 10 cm uzaklıkta oluştu ve genişliği 0.2 mm olarak belirlendi. 13 nolu çatlak, S202 kolonunun sağ alt kısmında, K101 kirişinin üst yüzünden 4.5 cm yukarıda oluştu. 1, 2, 3, 4 ve 5 nolu çatlaklar ilerledi. 12 nolu çatlak genişliği 0.2 mm olarak belirlendi.
+5	+24.81	+6.64	-
-5	-24.56	-5.64	14 nolu çatlak, S102 kolonunun sağ alt kısmında, temelin üstünden 7 cm yukarıda oluştu. 15 nolu çatlak, S101 kolonu ile temel birleşiminde eğilme çatlağı şeklinde oluştu. 16 nolu çatlak, S102 kolonu ile temel birleşiminde eğilme çatlağı şeklinde oluştu. 1 ve 3 nolu çatlaklar ilerledi ve çatlak genişlikleri arttı. 5 nolu çatlak, S202 kolonu ile K201 kirişi birleşiminde ilerledi.
+6	+30.29	+9.39	17 nolu çatlak, 3 nolu çatlağın simetriğinde S101 kolonu ile K101 kirişi birleşiminde oluştu. 18 nolu çatlak, K101 kirişi sağ üst mesnetinde oluştu. 17 nolu çatlak genişliği 0.3 mm olarak belirlendi
-6	-30.36	-8.50	4 nolu çatlak genişliği 0.4 mm olarak belirlendi. 4 ve 18 nolu çatlaklar birleşti. 6, 7 ve 9 nolu çatlaklar ilerledi.
+7	+35.11	+12.64	19 nolu çatlak, S102 kolonunun sol alt kısmında, temelin üstünden 13 cm yukarıda oluştu.
-7	-35.67	-11.51	20 nolu çatlak, S202 kolonunun sağ alt ucunda oluştu. 21 nolu çatlak, S201 kolonunun sol üst kısmında, K101 kirişinin üst yüzünden 53 cm yukarıda oluştu. 22 nolu çatlak, S201 kolonunun sol üstünde ve 21 nolu çatlağın 9 cm üzerine oluştu. 23 nolu çatlak, K101 kirişinin sol üst kısmında, kolon yüzünden 32 cm uzaklıkta oluştu. 24 nolu çatlak, K101 kirişinin sağ alt kısmında, kolon yüzünden 32 cm uzaklıkta oluştu. 1 nolu çatlak, S101 kolonunun diğer yüzüne kadar ilerledi. 2 nolu çatlak, 19 nolu çatlakla birleşti. 9 nolu çatlak, kiriş ortasına kadar uzadı. 7, 10 ve 11 nolu çatlaklar ilerledi.
+8	+40.43	+17.01	25 nolu çatlak, 1 nolu çatlağın simetriğinde oluştu. 26 nolu çatlak, S102 kolonunun sol alt kısmında, temelin üstünden 23 cm yukarıda oluştu. 27 nolu çatlak, S201 kolonu ile K201 kirişi birleşiminde oluştu.

			28 nolu çatlak, S102 kolonu ile K101 kirişi birleşimde diyagonal olarak oluştu. 29 nolu çatlak, S201 kolonunun sol alt kısmında oluştu. 5 nolu çatlak, kiriş üst yüzeyine kadar uzadı. 11 nolu çatlak, kiriş üst ucuna ulaştı.
-8	-40.09	-15.19	30 nolu çatlak, S102 kolonu ile K101 kirişi birleşiminde oluştu. 31 nolu çatlak, S101 kolonunun sol üst kısmında, temel üstünden 62 cm yukarıda oluştu. 5 nolu çatlak çatallandı ve 8 nolu çatlak ilerledi.
+9	+45.19	+23.19	32 nolu çatlak, K101 kirişinin sol alt kısmında, kolon yüzünden 7 cm uzaklıkta oluştu. 33 nolu çatlak, S102 kolonunun sol alt kısmında, temelin üstünden 11 cm yukarıda oluştu. 17 nolu çatlak ilerledi. 28 nolu çatlak ilerledi ve kolonun arka kenarına ulaştı.
-9	-44.36	-23.32	Akma başladı. Kolon temel birleşimindeki çatlakların genişliği 1-1.5 mm aralığına ulaştı. 34 nolu çatlak, S101 kolonunda, temelin üstünden 30 cm yukarıda oluştu. 35 nolu çatlak, S102 kolonunun sol üst kısmında, temelin üstünden 62 cm yukarıda oluştu. 36 nolu çatlak, K201 kirişinin sol üstünde oluştu. 37 nolu çatlak, S202 kolonunun sol üstünde ve 8 nolu çatlağın 10 cm altında oluştu. 38 nolu çatlak, S202 kolonunun sağ altında ve 13 nolu çatlağın 8 cm yukarısında oluştu. Kolon temel birleşimindeki çatlaklar ilerledi. 16 nolu çatlak ilerledi.
+10	+49.80	+30.95	39 nolu çatlak, K101 kirişinin sağ üstünde ve kolon yüzünden 32 cm uzaklıkta oluştu. 40 nolu çatlak, S101 kolonunda 31 nolu çatlağın simetrisinde oluştu. 41 nolu çatlak, K101 kirişinin sağ üst kısmında, kolon yüzünden 23 cm uzaklıkta oluştu. 42 nolu çatlak, K101 kirişinin sol üst kısmında, kolon yüzünden 16 cm uzaklıkta oluştu. 43 nolu çatlak, 28 nolu çatlağın simetrisinde S101 kolonu ile K101 kirişi birleşimde diyagonal olarak oluştu.
-10	-46.44	-29.35	31 ve 35 nolu çatlaklar ilerledi.
+11	+52.11	+34.93	%2'lik deplasmanda çatlak genişliği 0.6 mm olarak ölçüldü. 44 nolu çatlak, S202 kolonunun sağ üst kısmında, K101 kirişinin üst yüzünün 45 cm yukarısında oluştu. 45 nolu çatlak, 44 nolu çatlağın 13 cm yukarısında oluştu. 14 ve 33 nolu çatlaklar birleşti. 29 nolu çatlak ilerledi. 35 nolu çatlak ilerleyip kolonun arka kenarına ulaştı.
-11	-50.89	-35.36	46 nolu çatlak, K201 kirişinin sağ alt kısmında, kolon yüzünden 9 cm uzaklıkta oluştu. 47 nolu çatlak, K201 kirişinin sol üst kısmında, kolon yüzünden 21 cm uzaklıkta oluştu. 48 nolu çatlak, S201 kolonunun sol tarafında, 21 numaralı çatlağın 13 cm altında oluştu.

+12	+53.01	+39.88	49 nolu çatlak, S102 kolonunun üstünde oluştu. 50 nolu çatlak, S102 kolonu ile K101 kirişi birleşiminde oluştu. 47 nolu çatlak ilerledi. 36 ile 27 nolu çatlaklar birleşti.
-12	-51.52	-39.84	51 nolu çatlak, S202 kolonunun sol kısmında, K101 kirişinin üst yüzünden 37 cm yukarıda oluştu. S201 kolonunun tabanında kabuk betonu parçalandı. S102 kolonunun temel ile birleşiminde kabuk betonu parçalandı.
+13	+54.67	+45.36	52 nolu çatlak, S101 kolonunun sağ kısmında, temelin üstünden 52 cm yukarıda oluştu. 53 nolu çatlak, S101 kolonunun sol alt kısmında, temelin üstünden 22 cm yukarıda oluştu. 54 nolu çatlak, S101 kolonunun sol alt kısmında, temelin üstünden 12 cm yukarıda oluştu. 55 nolu çatlak, S102 kolonunun sol kısmında oluştu.
-13	-52.79	-44.47	Çatlak genişlikleri arttı.
+14	+59.69	+54.69	%3 lük deplasmanda çatlak genişliği 0.8 mm olarak ölçüldü. 56 nolu çatlak, S202 kolonunun sağ kısmında, 44 nolu çatlağın 14 cm aşağısında oluştu. 57 nolu çatlak, S101 kolonunun altında oluştu. 58 nolu çatlak, K201 kirişinin sağ üst kısmında, kolon yüzünden 13 cm uzaklıkta oluştu. Temelde ayrılmalar arttı. 5, 14, 35, 55 nolu çatlaklar çapraz ilerledi. 21 ve 22 nolu çatlaklar ilerledi.
-14	-58.65	-54.07	59 nolu çatlak, S102 kolonunun sol kısmında oluştu. 60 nolu çatlak, S202 kolonu ile K101 kirişi birleşiminde çapraz olarak oluştu. 61 nolu çatlak, S101 kolonu ile K101 kirişi birleşiminde oluştu. S102 kolonu altında 14 ve 16 nolu çatlaklar çapraz şeklinde ilerleyerek birleşti. 1 ve 6 nolu çatlaklar çapraz birleşti.
+15	+61.81	+74.99	Kolon kiriş birleşimlerinde çatlak genişlikleri arttı.
-15	-59.85	-73.63	Kolon temel birleşimlerinde çatlak genişlikleri arttı, parçalanmalar meydana geldi.

Referans numunenin akmaya başladığı andaki yük değeri -44.36 kN olarak ölçülmüş olup bu yükte tepe deplasmanı -23.32 mm değerine ulaşmıştır. Referans numunede maksimum tepe deplasman değeri +15. çevrimde 74.99 mm olarak ölçülmüştür. Maksimum tepe deplasman değerine karşılık gelen yatay yük ise 61.81 kN olarak belirlenmiştir. Referans numuneye uygulanan toplam yük, maksimum değere 15. çevrimde ulaşmıştır. Yapılan deney kapsamında ileri çevrimde en fazla 74.99 mm, geri çevrimde ise en fazla -73.63 mm deplasman değerlerine kadar yükleme yapılmış olup 15. çevrimde numunede meydana gelen ağır hasarlardan dolayı deney sonlandırılmıştır.

Ayrıca, 15. çevrimde oluşan deplasman değerleri numune için % 4'lük deplasmana karşılık gelen 72 mm değerini aşmış bulunmaktadır. Referans numunede

%4'lük deplasmanda ağır hasarların oluşması sonucunda deney sonlandırılmış ve bu husus dikkate alınarak diğer 3 numuneye sırasıyla %1, %2 ve %3 deplasman seviyesine kadar tersinir tekrarlanır yatay yük uygulanarak, bu şekilde farklı düzeyde hasarların oluşturulacağı belirlenmiştir. Referans numunenin akma anındaki görünümü Şekil 4.7'de verilmiştir.

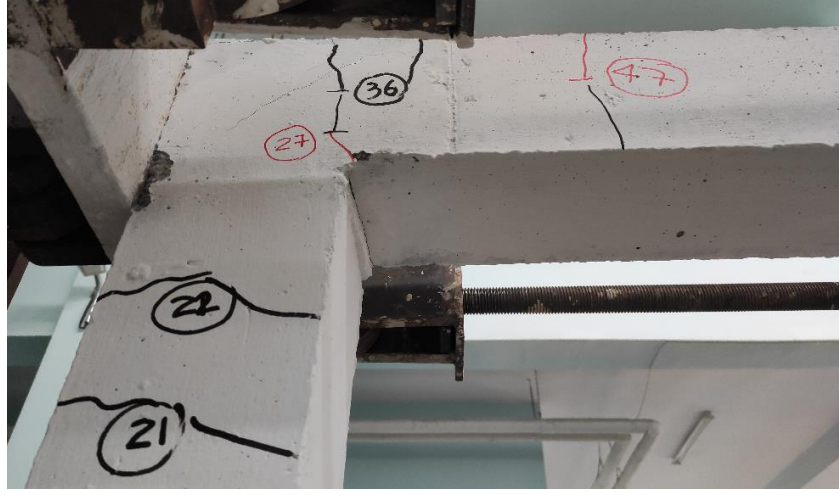


Şekil 4.7. 1 nolu deney numunesinin akma anındaki görünümü

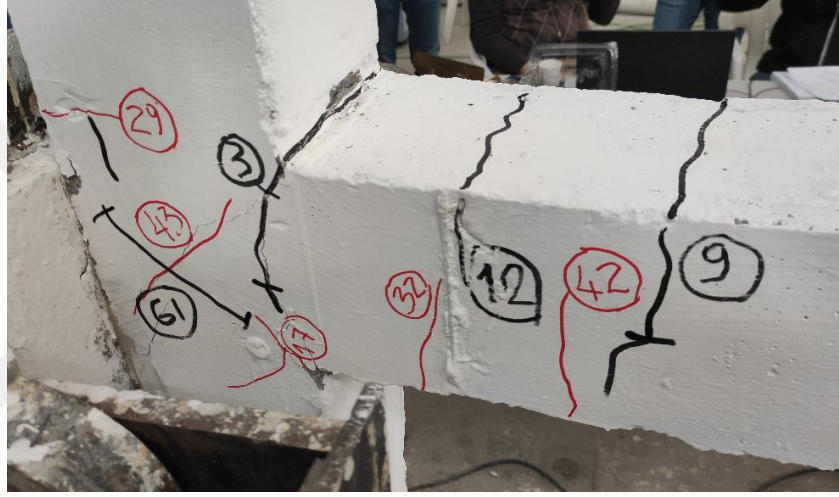
1 nolu deney numunesinin deney sonrasındaki görünümü Şekil 4.8’de, deney sonrasında oluşan hasarlar Şekil 4.9’da, S101 kolonu ile temel birleşiminde meydana gelen ağır hasar ise Şekil 4.10’da verilmiştir.



Şekil 4.8. 1 nolu deney numunesinin deney sonrasındaki görünümü



(a)



(b)

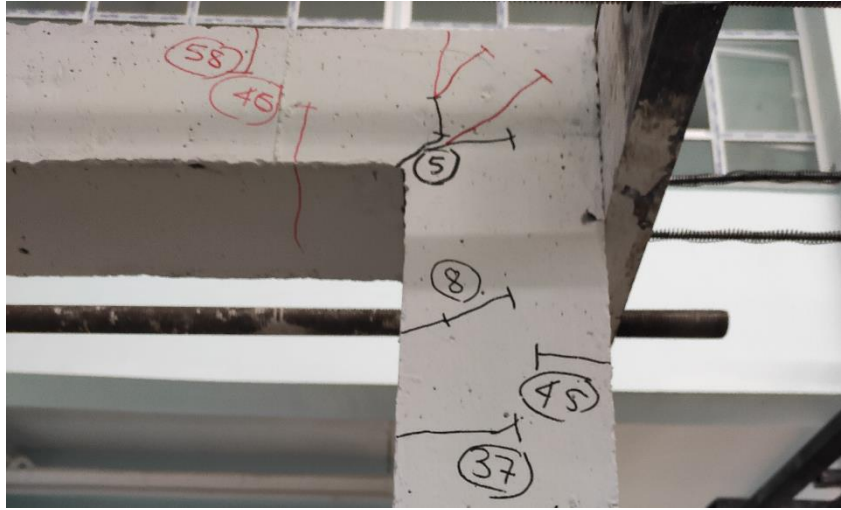


(c)

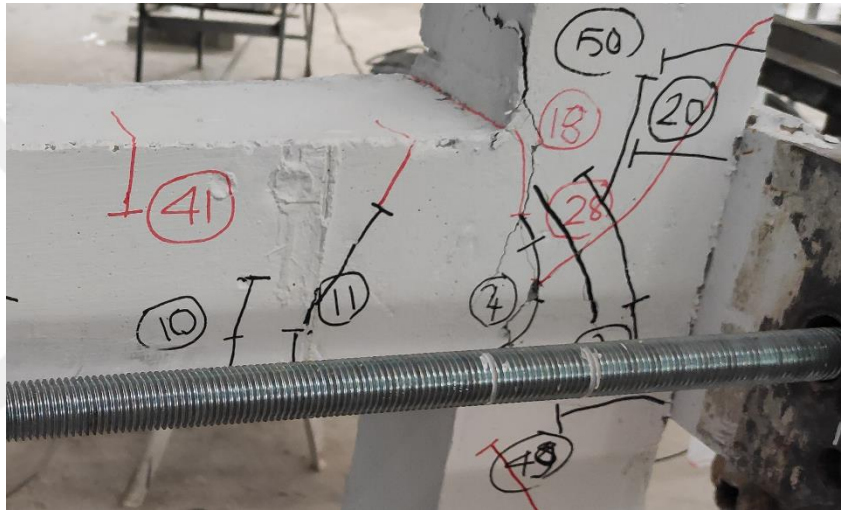


(d)

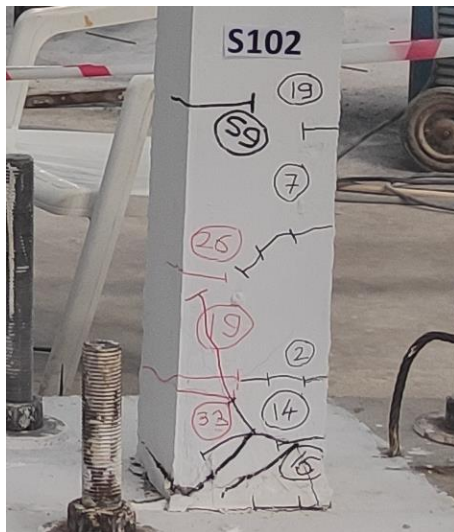
Şekil 4.9. 1 nolu deney numunesinde deney sonrasında oluşan hasarlar: (a) S201- K201 (b) S201- K101 (c) S101-temel (d) S101-temel (e) S202- K201 (f) S202- K101 (g) S102-temel (h) S102-temel



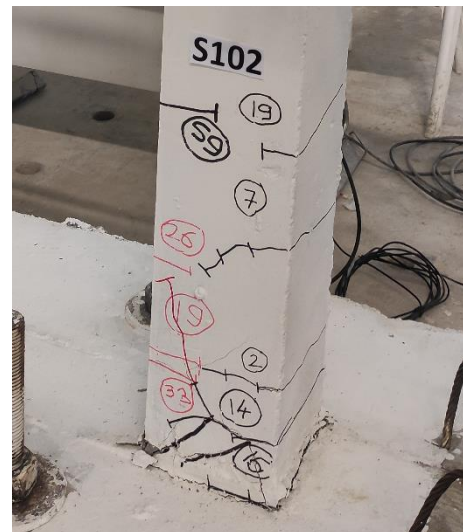
(e)



(f)



(g)



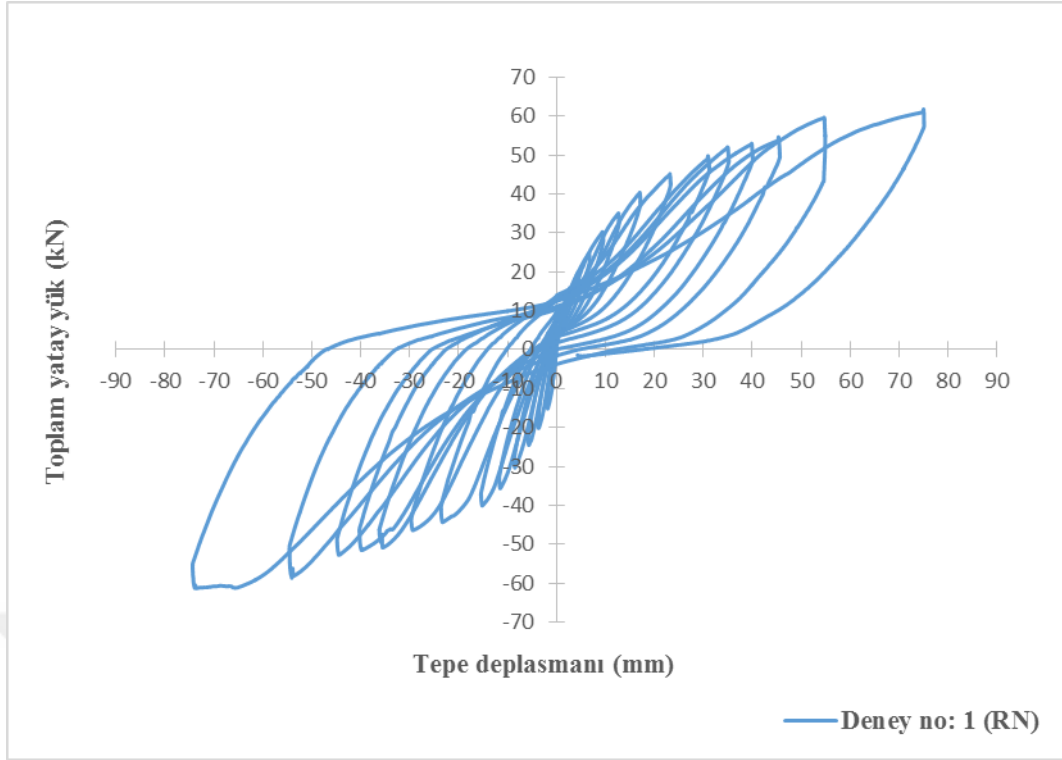
(h)

Şekil 4.9. (Devamı)

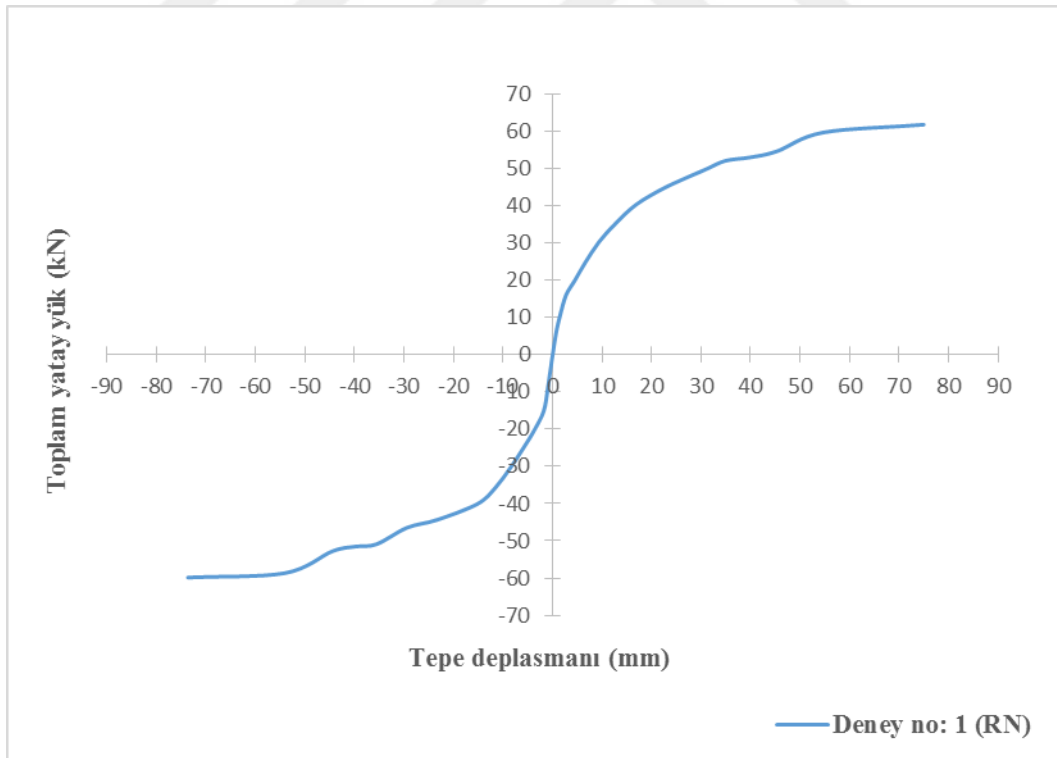


Şekil 4.10. S101 kolonunda deney sonunda oluşan hasarlar

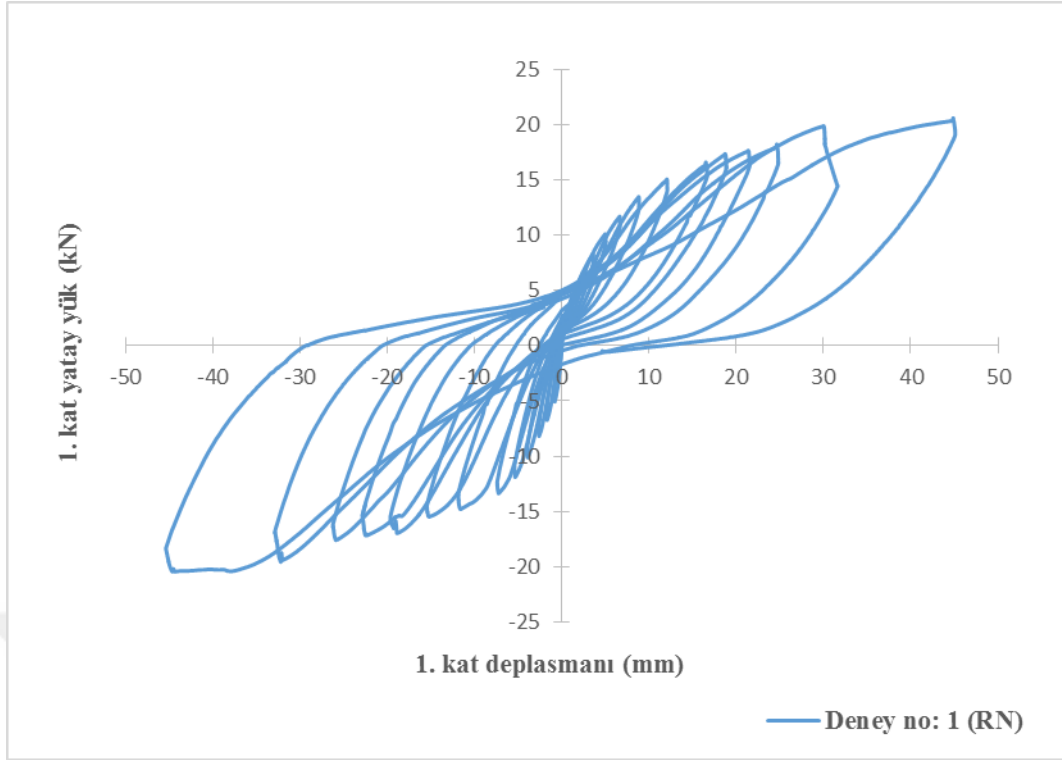
Deney sonrasındaki verilere göre oluşturulan, toplam yatay yük-tepe deplasmanı grafiği (Histerezis eğrisi) Şekil 4.11’de, toplam yatay yük-tepe deplasmanı grafiği (Zarf eğrisi) Şekil 4.12’de, 1. kat yatay yük-1. kat deplasmanı grafiği (Histerezis eğrisi) Şekil 4.13’de, 1. kat yatay yük-1. kat deplasmanı grafiği (Zarf eğrisi) Şekil 4.14’de, 1. kata gelen yatay yük-1. kat ötelenme oranı grafiği Şekil 4.15’de, sistem rijitlik azalım grafiği Şekil 4.16’da, kümülatif toplam enerji tüketimi grafiği Şekil 4.17’de ve sistem süneklik değerlendirme grafiği Şekil 4.18’de verilmiştir.



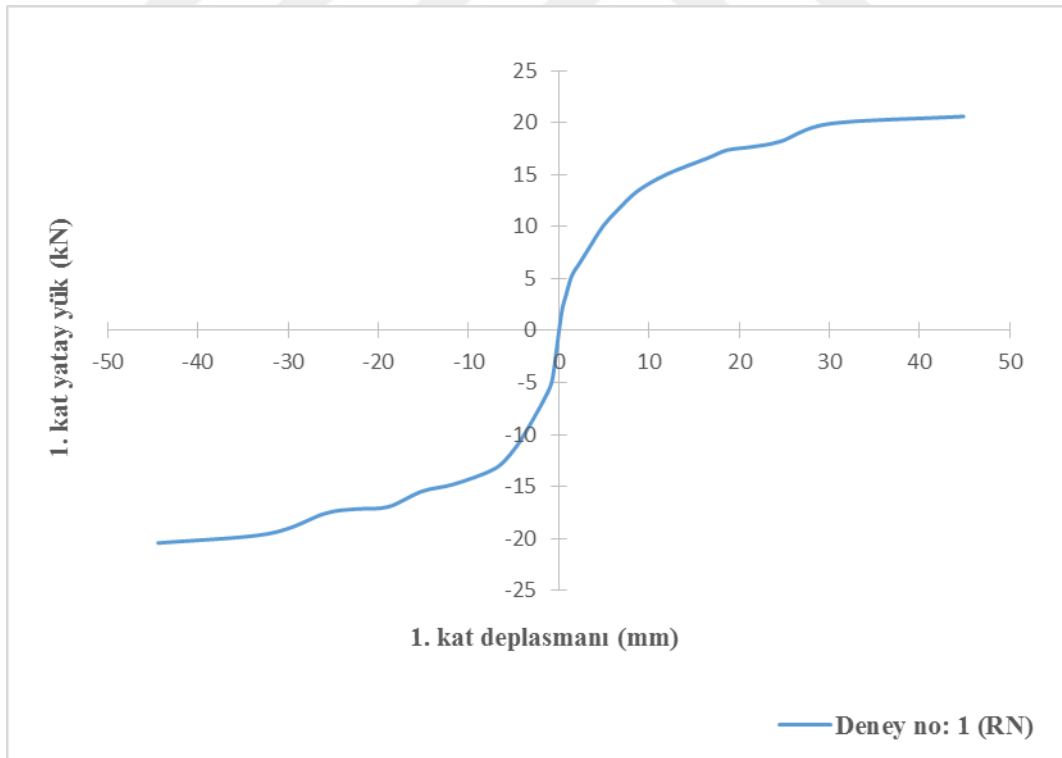
Şekil 4.11. 1 nolu deney numunesinin histerezis eğrisi



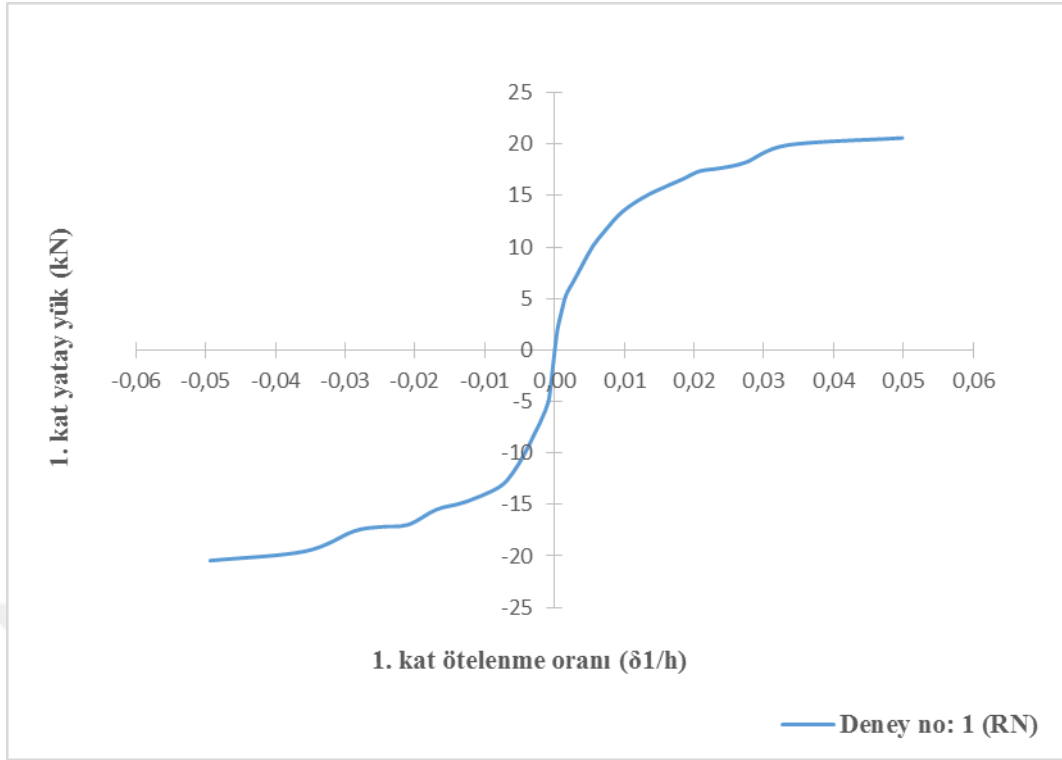
Şekil 4.12. 1 nolu deney numunesinin zarf eğrisi



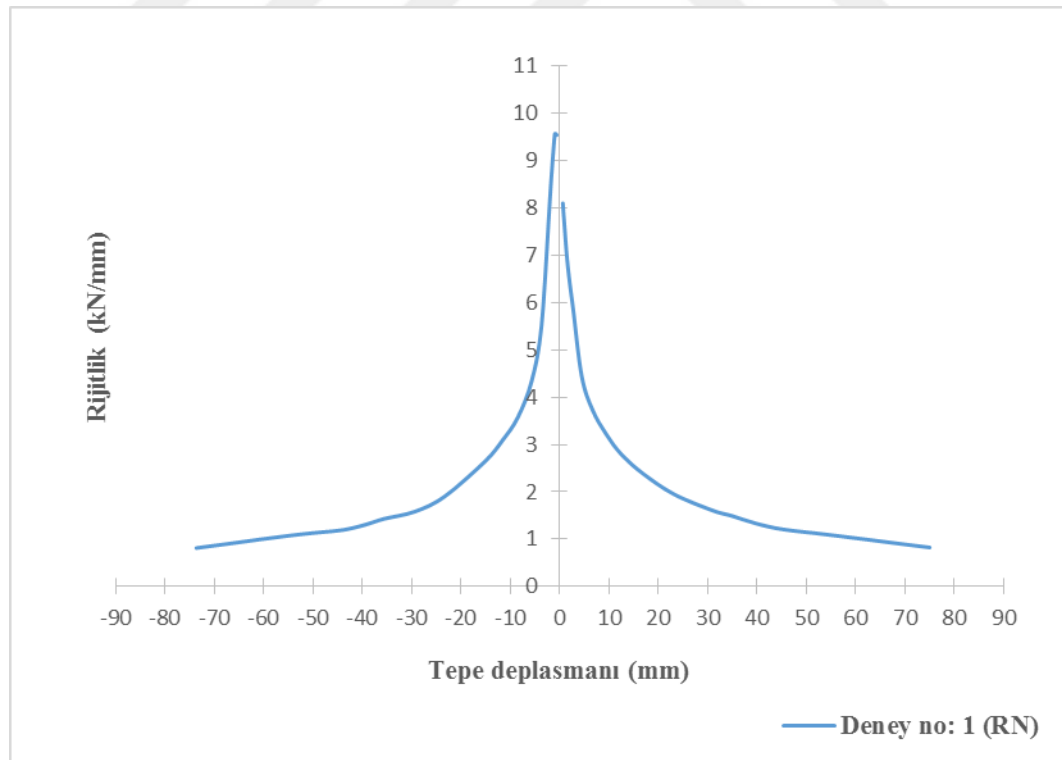
Şekil 4.13. 1 nolu deney numunesinin 1. kat histerezis eğrisi



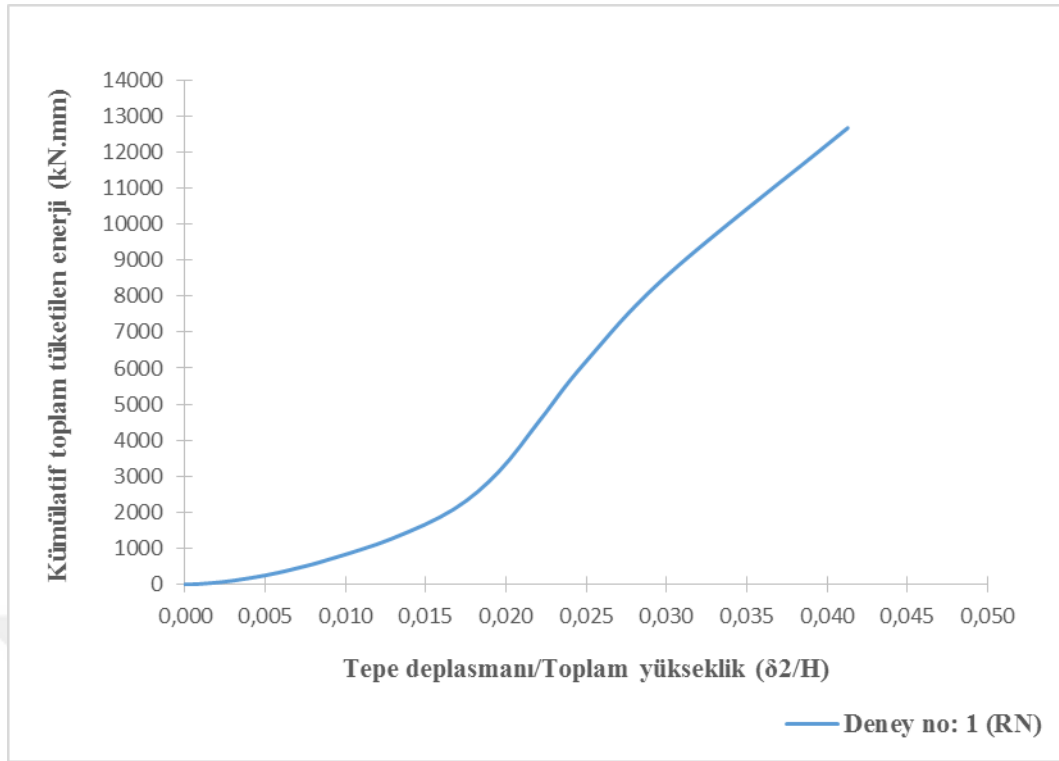
Şekil 4.14. 1 nolu deney numunesinin 1. kat zarf eğrisi



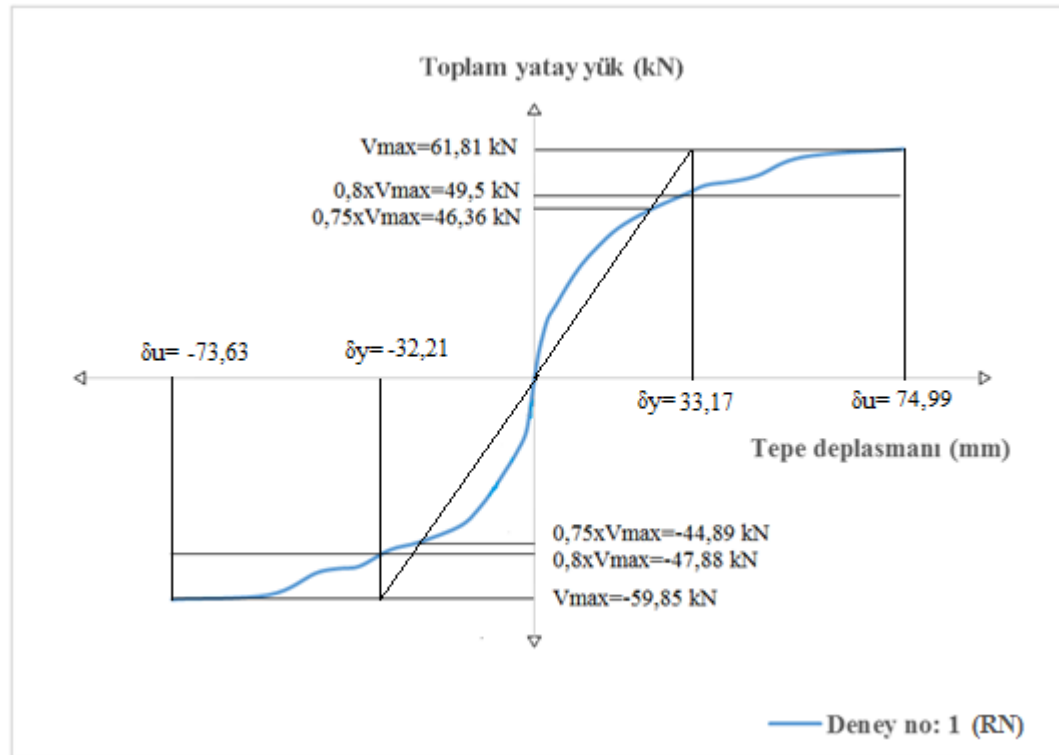
Şekil 4.15. 1 nolu deney numunesinin 1. kat yatay yük-ötelenme oranı grafiği



Şekil 4.16. 1 nolu deney numunesinin rijitlik azalım grafiği



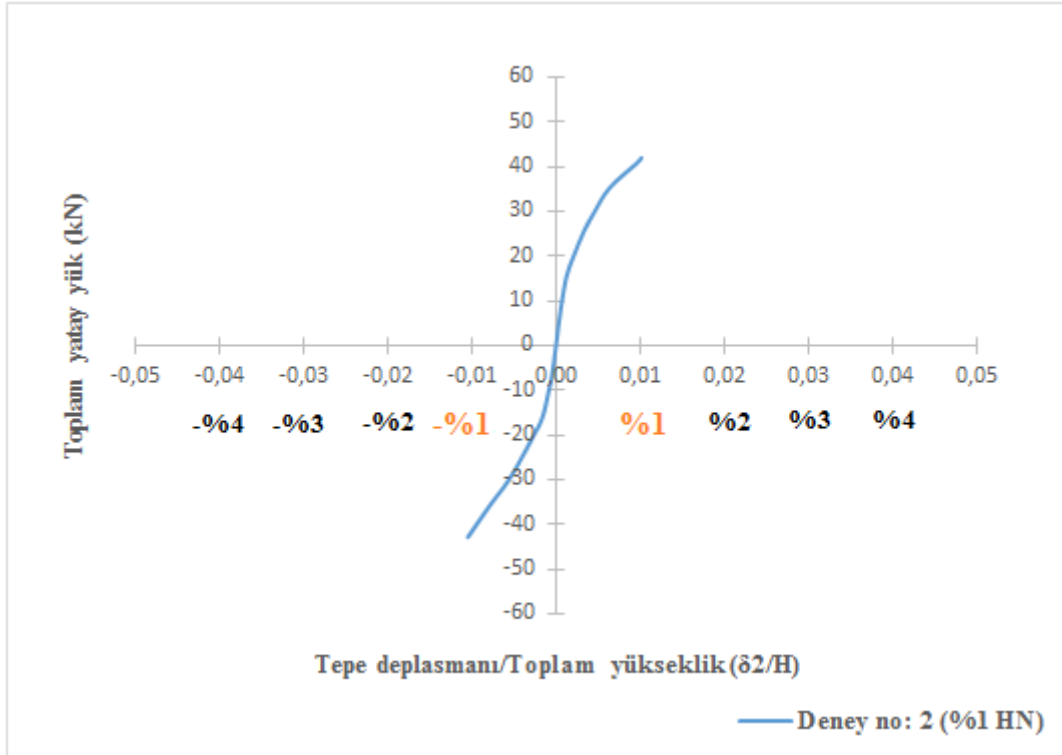
Şekil 4.17. 1 nolu deney numunesinin kümülatif toplam tüketilen enerji-tepe deplasmanı/toplam yükseklik grafiği



Şekil 4.18. 1 nolu deney numunesinin süneklik değerlendirme grafiği

4.2. 2 Nolu Deney (%1 HN)

1 nolu deney kapsamında; referans betonarme çerçeve, depreme benzeştirilmiş tersinir tekrarlanır yatay yükler altında göçme seviyesine kadar test edilmiştir. Yapılan deney sonucunda, numunenin %4 deplasmana karşılık gelen 72 mm değerinde göçme seviyesine ulaştığı görülmüştür. Bu husus dikkate alınarak diğer 3 çerçeveye, sırasıyla %1, %2, %3 deplasmana ulaşınca kadar yük uygulanmış ve bu şekilde geometrik boyutları, donatı detayları ve beton sınıfı aynı olan çerçevelerin farklı hasar düzeylerine sahip olması sağlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda 2 nolu deneyde, Şekil 4.19'da görüldüğü gibi numuneye %1 deplasmana karşılık gelen 18 mm değerine ulaşınca kadar tersinir tekrarlanır yük uygulanmış ve bu düzeyde hasar oluşturulmuştur. 2 nolu deney numunesine hasar oluşturmadaki amaç, hasarlı çerçevenin onarımdan sonra test edilmesi neticesinde elde edilen veriler ile referans numunenin karşılaştırılması, dolayısıyla onarımın bu hasar düzeyindeki çerçevenin performansına etkisini belirlemektir. Ayrıca, 2 nolu deney numunesi ile referans numunenin %2 deplasmana kadar oluşan davranış özelliklerinin ve verilerinin benzerliğinin belirlenmesi, onarımdan sonra test edilen numunenin referans numune ile kıyaslanabilirliğinin doğruluğunu ortaya çıkaracaktır.



Şekil 4.19. 2 nolu deney numunesinin toplam yatay yük-tepe deplasmanı/toplam yükseklik grafiği

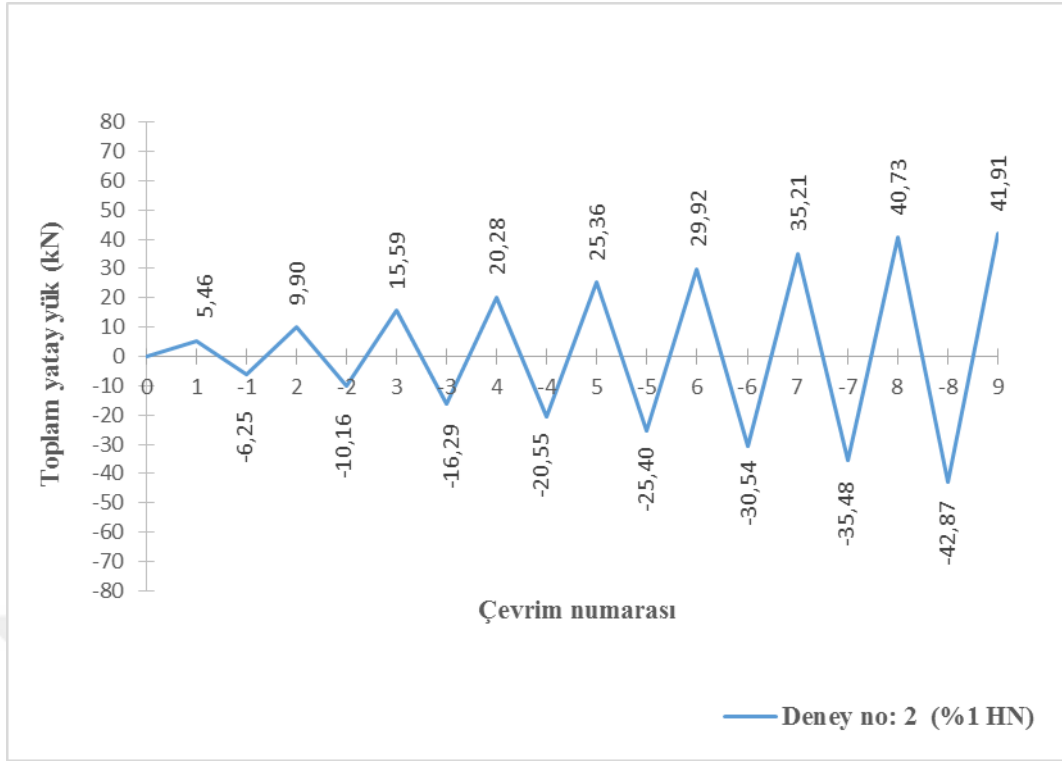
2 nolu deney numunesinin deneyden önceki görünümü Şekil 4.20’de verilmiştir.



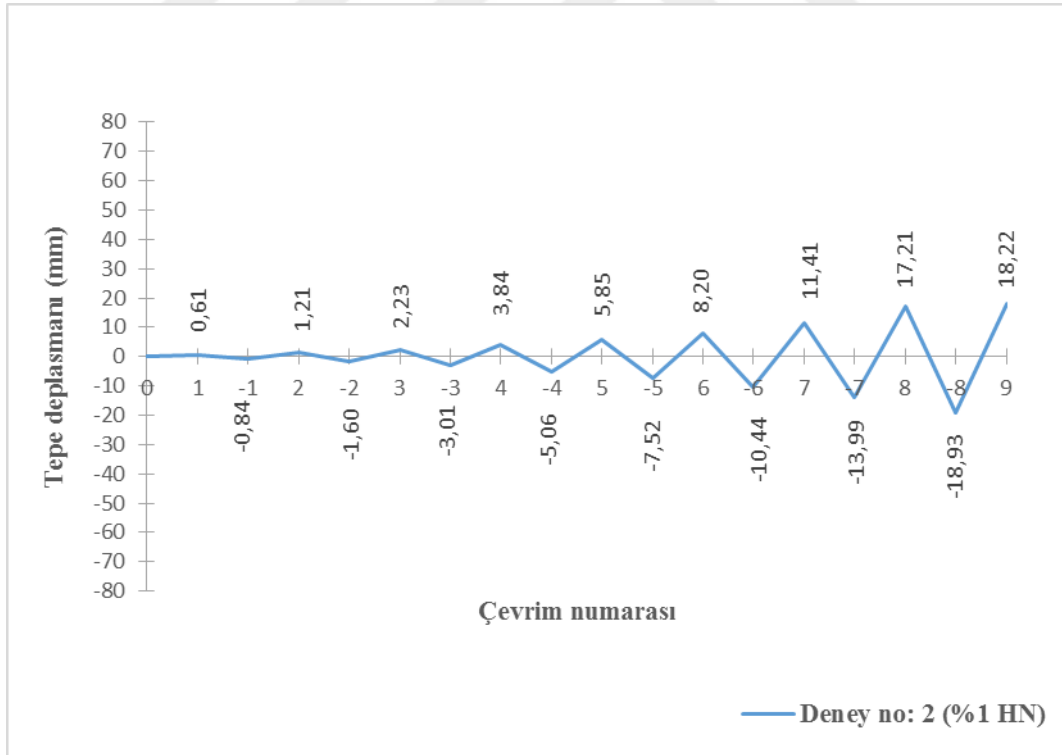
Şekil 4.20. 2 nolu deney numunesinin deneyden önceki görünümü

2 nolu deneye yük kontrollü olarak başlanmış, %1 deplasmana karşılık gelen 18 mm değerinde henüz akma meydana gelmediğinden, deplasman kontrollü yüklemeye geçilmeden deney sonlandırılmıştır. Deney numunesi için yük artışları 5 kN’luk adımlarla yapılmıştır.

Deney numunesine ileri 9 çevrime kadar yük uygulanmıştır. Yükleme geçmiş, Şekil 4.21 ve Şekil 4.22’de toplam yatay yük ve ölçülen tepe deplasmanına göre ayrı ayrı verilmiştir.



Şekil 4.21. 2 nolu deney numunesine ait yük geçmişi



Şekil 4.22. 2 nolu deney numunesine ait deplasman geçmişi

2 nolu deney numunesinde ilk çatlak, S102 kolonu ile K101 kirişi birleşiminde, 2 nolu çatlak S101 kolonunun sağ alt kısmında, temelin üstünden 18 cm yukarıda, 3 nolu çatlak S102 kolonu ile temel birleşiminde, 4 nolu çatlak S101 kolonu ile temel birleşiminde ve 5 nolu çatlak ise S102 kolonunun sağ alt kısmında, temelin üstünden 11 cm yukarıda meydana gelmiştir.

İlk 5 çatlak geri 3. çevrimde meydana gelmiş olup bu andaki yük değeri -16.29 kN ve tepe deplasmanı -3.01 mm olarak ölçülmüştür. Deney sırasında oluşan ilk 5 çatlak Şekil 4.23'de gösterilmiştir.



(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 4.23. 2 nolu deney numunesinde oluşan ilk çatlaklar: (a) S102- K101 (b) S101-temel (c) S102-temel (d) S102-temel

2 nolu deney numunesine %1 deplasman seviyesine kadar yük uygulandığı ve bu şekilde hasar oluşturulduğu bu deneyde, ileri ve geri çevrimler olmak üzere her bir yükleme çevrimi, yatay yük ile ölçülen tepe deplasman değeri ve gözlenen davranışlar Çizelge 4.3’de verilmiştir.

Çizelge 4.3. 2 nolu deney numunesinde her çevrimde gözlenen davranış

Çevrim no	Yatay yük (kN)	Tepe deplasmanı (mm)	Gözlenen davranış
+1	+5.46	+0.61	-
-1	-6.25	-0.84	-
+2	+9.90	+1.21	-
-2	-10.16	-1.60	-
+3	+15.59	+2.23	-
-3	-16.29	-3.01	1 nolu çatlak, S102 kolonu ile K101 kirişi birleşiminde oluştu. 2 nolu çatlak, S101 kolonunun sağ alt kısmında, temelin üstünden 18 cm yukarıda oluştu. 3 nolu çatlak, S102 kolonu ile temel birleşiminde oluştu. 4 nolu çatlak, S101 kolonu ile temel birleşiminde oluştu. 5 nolu çatlak, S102 kolonunun sağ alt kısmında, temelin üstünden 11 cm yukarıda oluştu.
+4	+20.28	+3.84	6 nolu çatlak, S102 kolonu ile temel birleşiminde oluştu.
-4	-20.55	-5.06	7 nolu çatlak, S102 kolonunun sağ alt kısmında, temelin üstünden 28 cm yukarıda oluştu. 8 nolu çatlak, S201 kolonu ile K101 kirişi birleşiminde oluştu. 9 nolu çatlak, K101 kirişinin sol üstünde ve kolon yüzünden 10 cm uzaklıkta oluştu. 10 nolu çatlak, S202 kolonu ile K201 kirişi birleşiminde oluştu. 11 nolu çatlak, S202 kolonunun sol üst kısmında, K101 kirişinin üst yüzünden 65 cm yukarıda oluştu. 12 nolu çatlak, K201 kirişinin sol üst kısmında oluştu. 13 nolu çatlak, S202 kolonunun sağ alt kısmında oluştu. 1, 2, 3 ve 5 nolu çatlaklar ilerledi.
+5	+25.36	+5.85	14 nolu çatlak, S101 kolonunun sol alt kısmında, temelin üstünden 14 cm yukarıda oluştu ve 2 nolu çatlakla birleşti. 15 nolu çatlak, S102 kolonunun sol alt kısmında, temelin üstünden 12 cm yukarıda oluştu ve 5 nolu çatlakla birleşti. 16 nolu çatlak, K101 kirişi ile S202 kolonu

			birleşiminde oluştu ve 1 nolu çatlak ile birleşti. 17 nolu çatlak, K201 kirişi ile S201 kolonu birleşiminde oluştu ve 12 nolu çatlak ile birleşti. 5 ve 6 nolu çatlaklar ilerledi.
-5	-25.40	-7.52	18 nolu çatlak, S102 kolonunun sağ alt kısmında, temelin üstünden 7 cm yukarıda oluştu. 19 nolu çatlak, K101 kirişi sağ altında ve kolon yüzeyinden 17 cm uzaklıkta oluştu. 1 numaralı çatlak genişledi. 8 ve 9 numaralı çatlaklar kiriş arka tarafına doğru ilerledi. 11 nolu çatlak ilerledi. 10 nolu çatlak çatallandı.
+6	+29.92	+8.20	20 nolu çatlak, S101 kolonunun sol alt ucunda temelden ayrılma şeklinde oluştu. 21 nolu çatlak, S101 kolonunun sol alt kısmında, temelin üstünden 22 cm yukarıda oluştu. 22 nolu çatlak, K101 kirişinin sağ üstünde ve kolon yüzünden 7 cm uzaklıkta oluştu. 23 nolu çatlak, K101 kirişinin sağ üstünde ve kolon yüzünden 15 cm uzaklıkta oluştu.
-6	-30.54	-10.44	24 nolu çatlak, K101 kirişinin sol üst kısmında, kolon yüzünden 21 cm uzaklıkta oluştu. 25 nolu çatlak, S102 kolonunun sağ alt kısmında, temelin üstünden 18 cm yukarıda oluştu. 26 nolu çatlak, S202 kolonunun sol üstünde, 11 nolu çatlağın alt kısmında oluştu. 3 nolu çatlak ilerledi ve 6 nolu çatlak ile birleşti. 10 nolu çatlak genişledi ve çatallandı. 11 nolu çatlak kolon arka yüzüne ilerledi. 13 ve 19 nolu çatlaklar ilerledi. 7 nolu çatlak çatallandı.
+7	+35.21	+11.41	27 nolu çatlak, S101 kolonunun dış yüzünde, temelin üstünden 6.5 cm yukarıda oluştu. 28 nolu çatlak, S102 kolonunun sol alt kısmında, temelin üstünden 19 cm yukarıda oluştu. 29 nolu çatlak, S202 kolonunun sağ üstünde 11 nolu çatlağın hizasında oluştu. 30 nolu çatlak, S101 kolonunun sağ üst kısmında, temel üstünden 63 cm yukarıda oluştu. 31 ve 32 nolu çatlaklar K201 kirişinin sağ üst ucunda oluştı. 8 nolu çatlak ilerledi ve kiriş alt ucuna ulaştı. 17 nolu çatlak ilerledi.
-7	-35.48	-13.99	33 nolu çatlak, K101 kirişinin sağ alt kısmında ve kolon yüzünden 6 cm uzaklıkta oluştu ve 22 nolu çatlakla birleşti. 34 nolu çatlak, S202 kolonunun sağ alt kısmında oluştı. 1 nolu çatlak genişledi ve çatallandı. 3 ve 4 nolu çatlaklar temel hizasında genişledi. 7, 18 nolu çatlaklar ilerledi. 8, 10 nolu çatlaklar genişledi. 24 nolu çatlak, kiriş arka yüzüne kadar ilerledi.

+8	+40.73	+17.21	35 nolu çatlak, K101 kirişinin sağ üst kısmında, kolon yüzünden 28 cm uzaklıkta oluştu. 36 nolu çatlak, S201 kolonunun sağ üst kısmında, K101 kirişinin üst yüzünden 63 cm yukarıda oluştu. 37 nolu çatlak, K201 kirişinin sol alt kısmında, kolon yüzünden 12 cm uzaklıkta oluştu. 38 nolu çatlak, K101 kirişinin sağ üst kısmında, kolon yüzünden 18 cm uzaklıkta oluştu. 6 nolu çatlak genişledi. 14, 21 ve 27 nolu çatlaklar kolon arka yüzüne ulaştı. 16, 22 ve 23 nolu çatlaklar kiriş arkasına kadar ilerledi. 19 ve 23 nolu çatlaklar birleşti.
-8	-42.87	-18.93	39 nolu çatlak, S101 kolonunun sol üst kısmında, temelin üstünden 70 cm yukarıda oluştu. 40 nolu çatlak, K101 kirişinin sol üst kısmında, kolon yüzünden 30 cm uzaklıkta oluştu. 41 nolu çatlak, K201 kirişinin sol üst kısmında, kolon yüzünden 19 cm uzaklıkta oluştu. 42 nolu çatlak, S201 kolonunun sol üst kısmında oluştu. 43 nolu çatlak, S201 kolonunun sol üst kısmında, K101 kiriş üst yüzünden 55 cm yukarıda oluştu. 44 nolu çatlak, S201 kolonunun sol üst kısmında oluştu. 1 ve 3 nolu çatlaklar 1 mm genişliğine ulaştı. 9 ve 24 nolu çatlaklar ilerledi. 12 nolu çatlak genişledi.
+9	+41.91	+18.22	45 nolu çatlak, S201 kolonunun sağ üstünde, 36 nolu çatlağın 10 cm aşağısında oluştu. 46 nolu çatlak, S101 kolonunun sol alt kısmında, temelin üstünden 32 cm yukarıda oluştu. 47 nolu çatlak, K101 kirişinin sol düğüm noktasında oluştu ve 8 nolu çatlakla birleşti. 48 nolu çatlak, S201 kolonunun sol altında, K101 kirişinin üst yüzünden 12 cm yukarıda oluştu. 9 ve 24 nolu çatlaklar kiriş alt ucuna kadar ilerledi. 15 nolu çatlak çatallanarak kolon arka yüzüne kadar ilerledi. 16 nolu çatlak çatallandı ve 34 nolu çatlak ile birleşti. 35 nolu çatlak uzadı. 36 nolu çatlak kolon arka yüzüne ilerledi. S101 kolonu temelden ayrılmaya devam etti.

2 nolu deneyde, numuneye % 1 deplasmana ulaşınca kadar depreme benzeştirilmiş tersinir tekrarlanır yük uygulanmış ve hasar oluşturulmuştur.

Numunede ileri çevrimde maksimum tepe deplasman değeri 18,22 mm, maksimum tepe deplasman değerine karşılık gelen yatay yük ise 41,91 kN olarak ölçülmüştür.

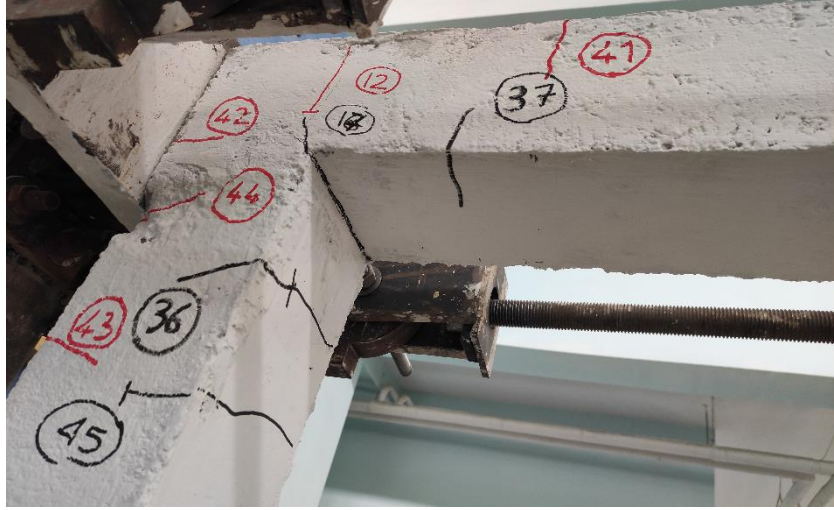
Geri çevrimde ise maksimum tepe deplasman değeri -18,93 mm olup bu deplasman değerine karşılık gelen yatay yük -42.87 kN olarak ölçülmüştür.

Yapılan deney kapsamında ileri çevrimde 18,22 mm, geri çevrimde ise -18,93 mm deplasman değerlerine kadar yükleme yapılmış olup ileri 9. çevrim sonunda numune % 1 deplasman seviyesine ulaştığından deney sonlandırılmıştır.

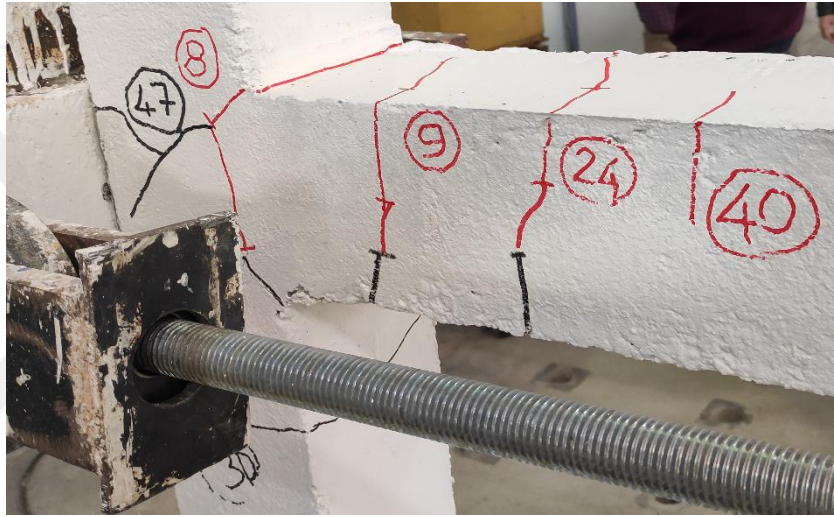
%1 deplasmana kadar tersinir tekrarlanır yük uygulamak suretiyle hasar oluşturulan numunenin deney sonrasındaki görünümü Şekil 4.24’de, oluşan hasarlar ise Şekil 4.25’de verilmiştir.



Şekil 4.24. 2 nolu deney numunesinin deney sonrasındaki görünümü



(a)



(b)



(c)

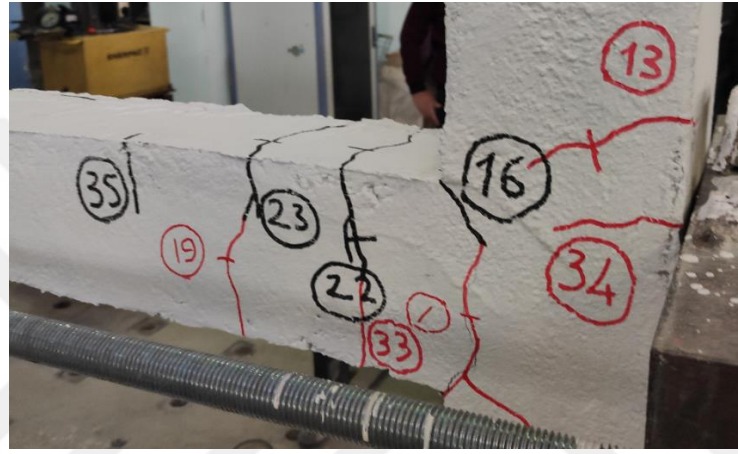


(d)

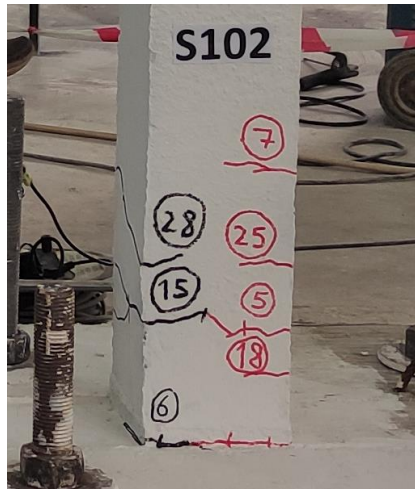
Şekil 4.25. 2 nolu deney numunesinde deney sonrasında oluşan hasarlar: (a) S201- K201 (b) S201- K101 (c) S101-temel (d) S101-temel (e) S202- K201 (f) S202- K101 (g) S102-temel (h) S102-temel



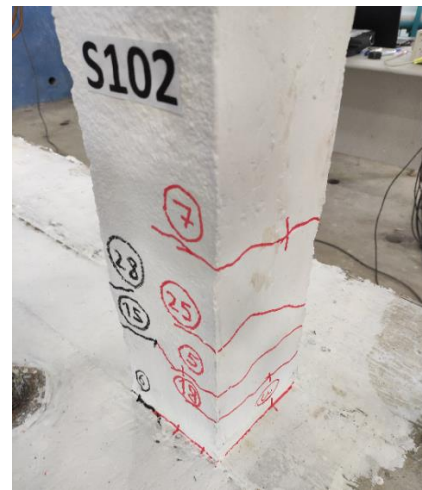
(e)



(f)



(g)

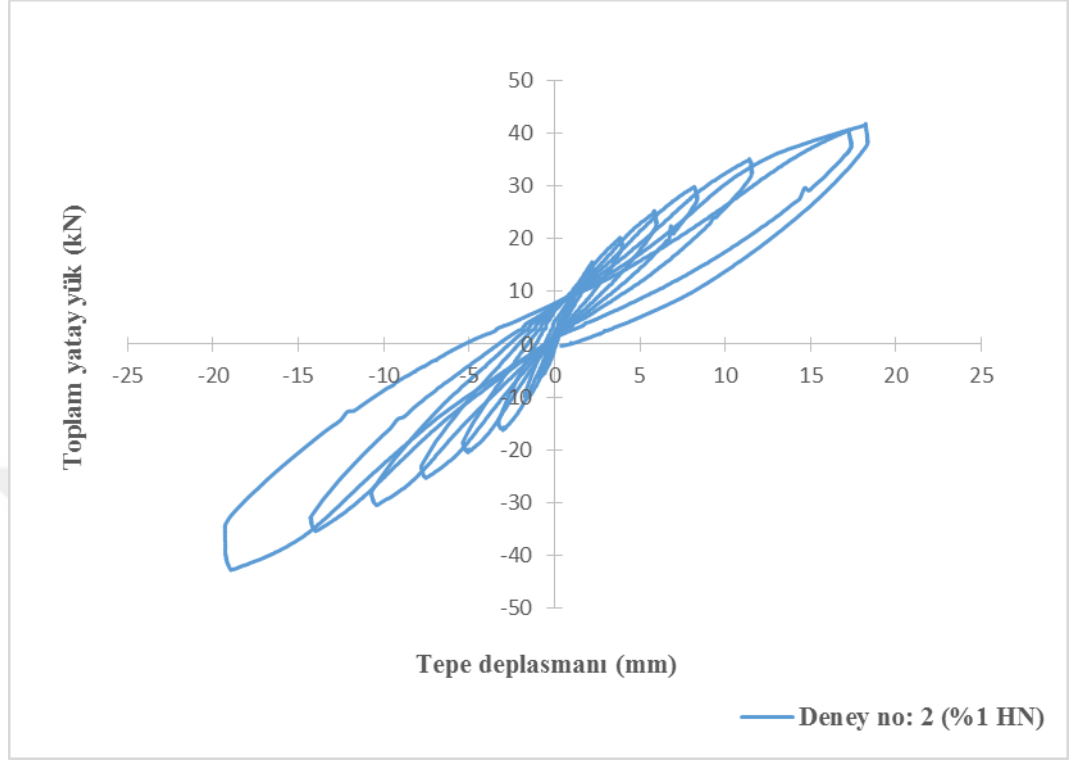


(h)

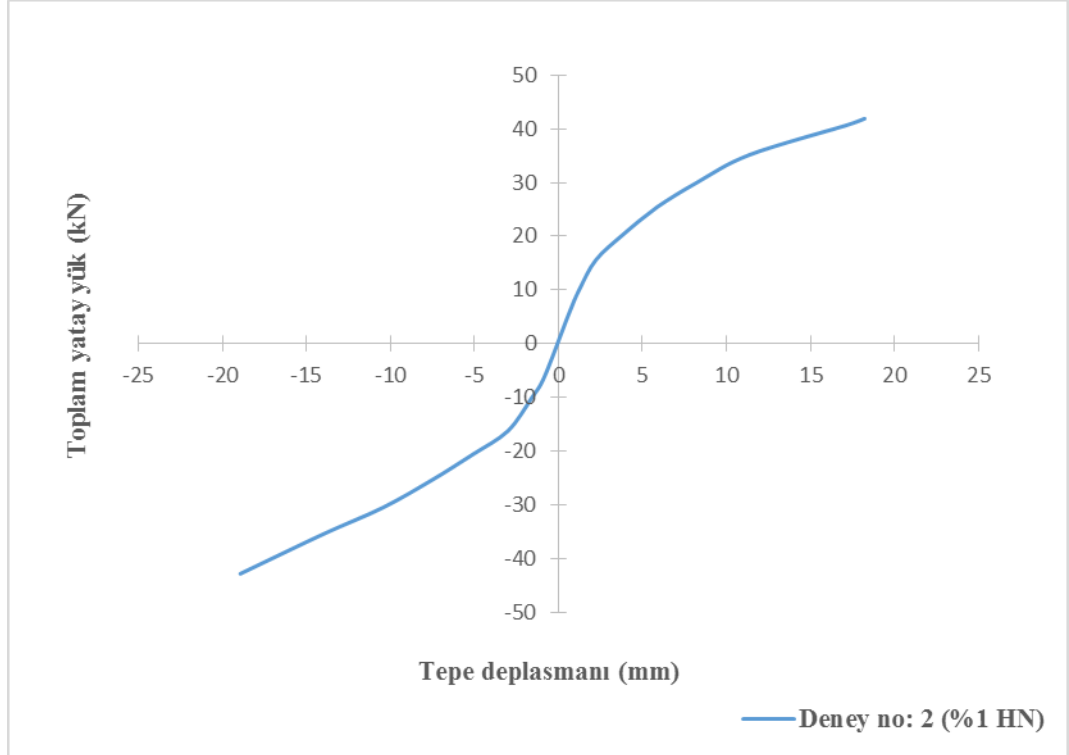
Şekil 4.25. (Devamı)

Toplam yatay yük-tepe deplasmanına göre oluşturulan histerezis eğrisi ile zarf eğrisi Şekil 4.26 ve Şekil 4.27’de, 1. kat yatay yük-1. kat deplasmanına göre oluşturulan histerezis eğrisi ile zarf eğrisi Şekil 4.28 ve Şekil 4.29’da, 1. kata gelen yatay yük-1. kat

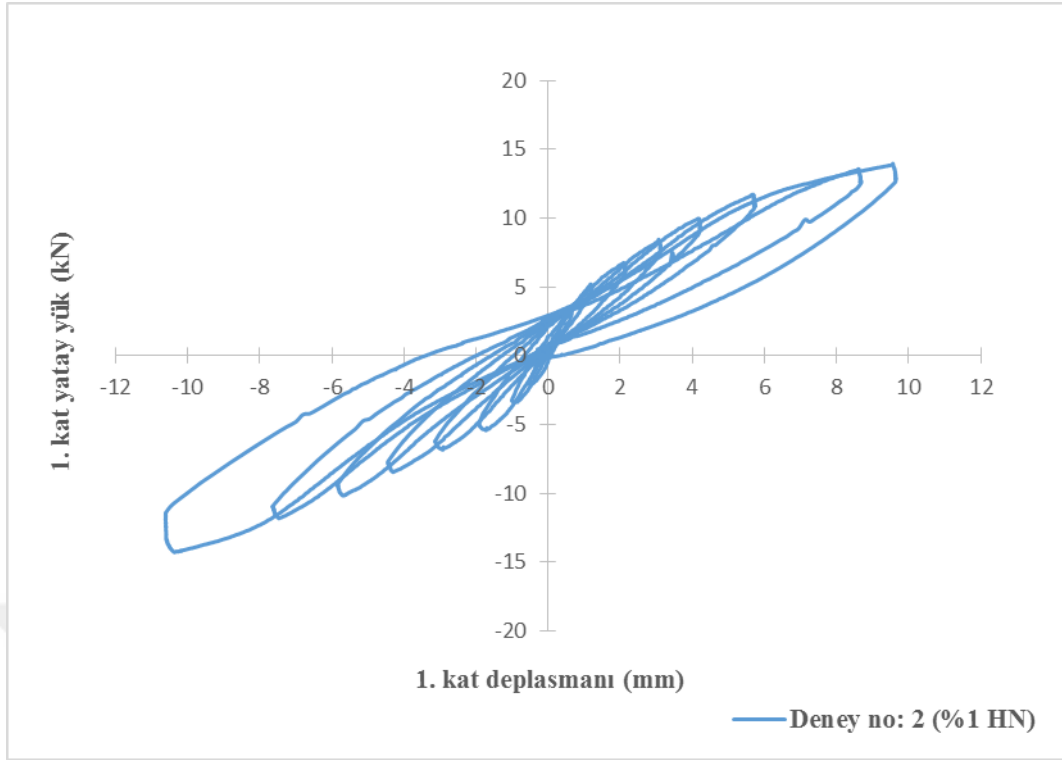
ötelenme oranı grafiği Şekil 4.30’da, sistem rijitlik azalım grafiği Şekil 4.31’de, kümülatif toplam enerji tüketimi grafiği Şekil 4.32’de verilmiştir.



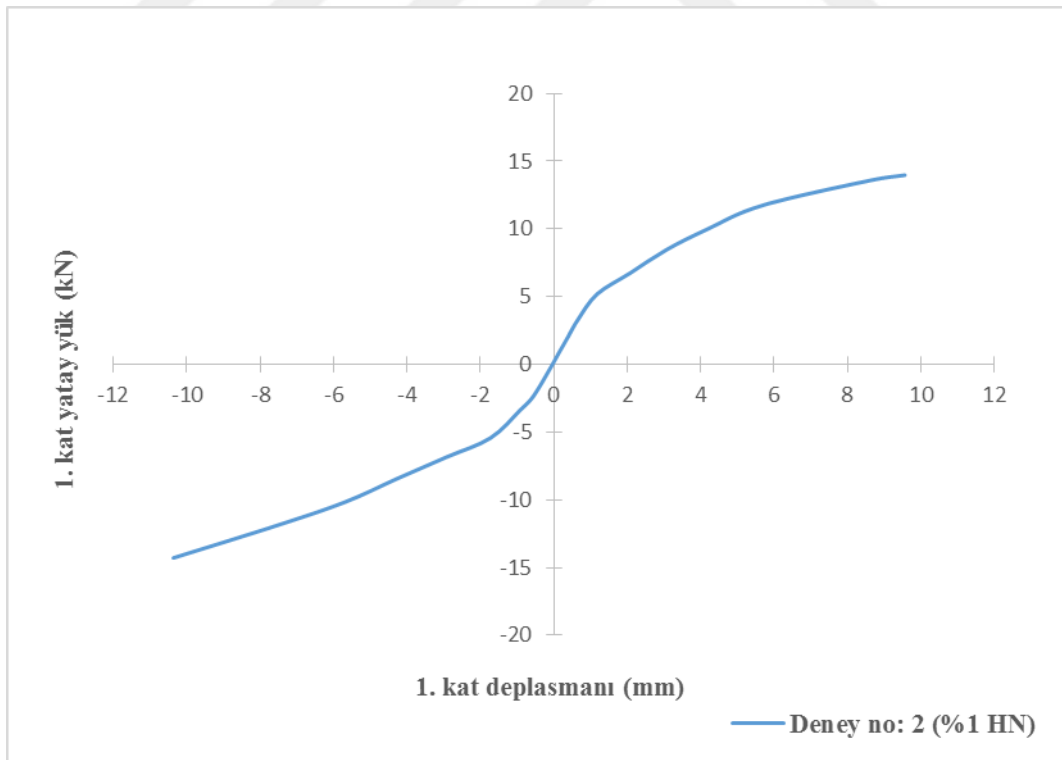
Şekil 4.26. 2 nolu deney numunesinin histerezis eğrisi



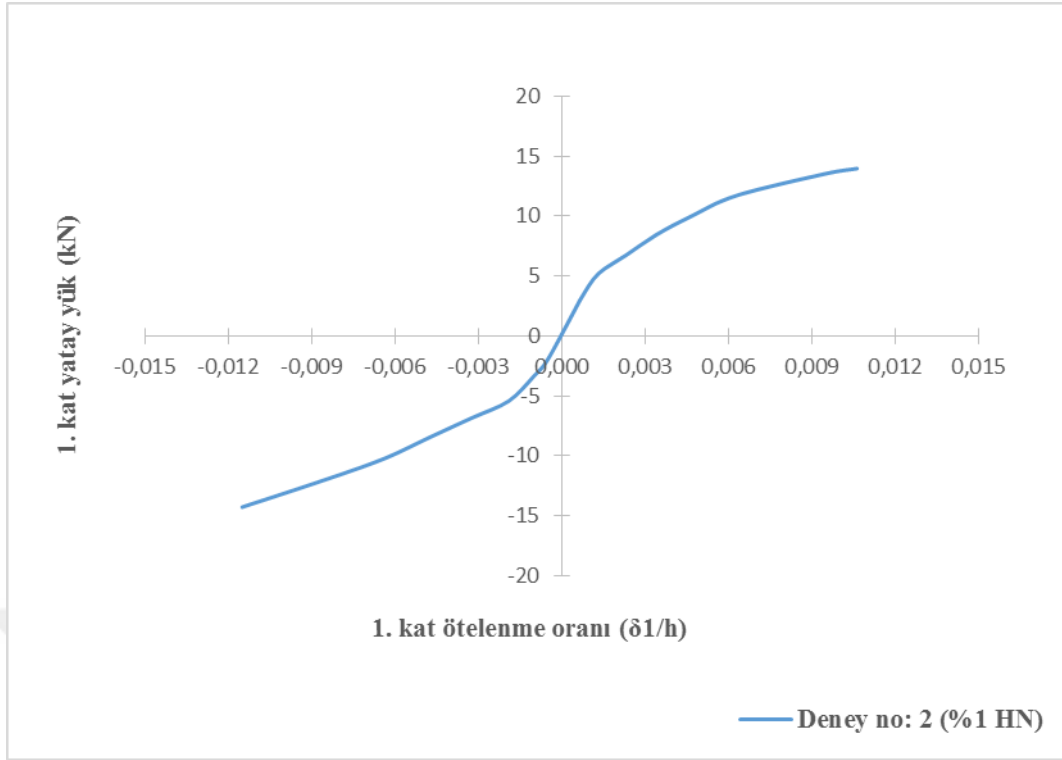
Şekil 4.27. 2 nolu deney numunesinin zarf eğrisi



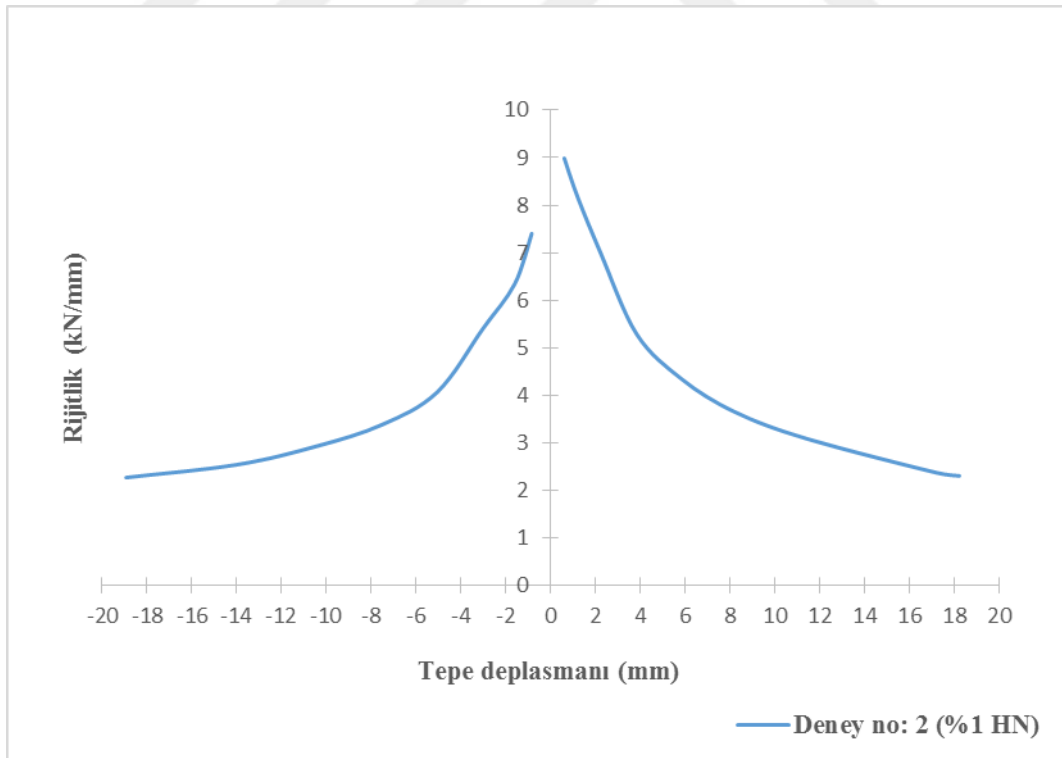
Şekil 4.28. 2 nolu deney numunesinin 1. kat histerezis eğrisi



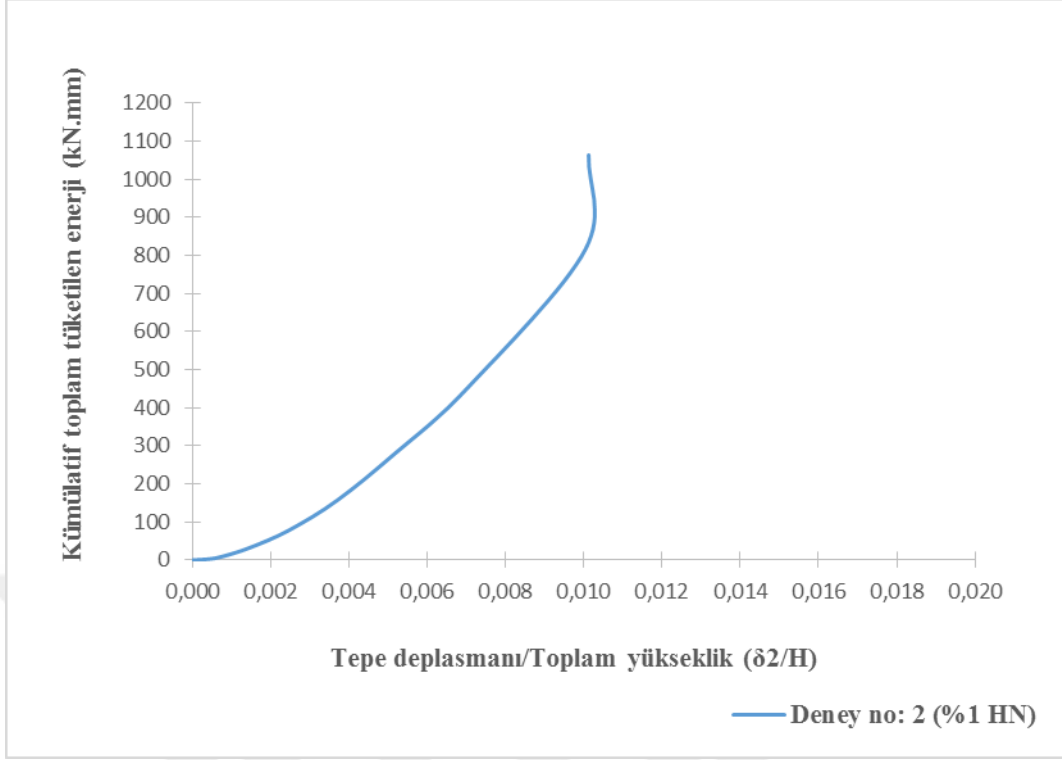
Şekil 4.29. 2 nolu deney numunesinin 1. kat zarf eğrisi



Şekil 4.30. 2 nolu deney numunesinin 1. kat yatay yük-ötelenme oranı grafiği



Şekil 4.31. 2 nolu deney numunesinin rijitlik azalım grafiği



Şekil 4.32. 2 nolu deney numunesinin kümülatif toplam tüketilen enerji-tepe deplasmanı/toplam yükseklik grafiği

2 nolu deney kapsamında, deneydeki her bir çevrimin pozitif ve negatif adımlarındaki maksimum yüklerin, bu yüklere karşılık gelen tepe deplasmanına bölünmesiyle bulunan rijitlik değerleri ile rijitlik azalım grafiği çizilmiştir. Rijitlik azalım grafiği, ileri ve geri çevrimler olmak üzere oluşturulmuş ve tek grafik üzerinde gösterilmiştir.

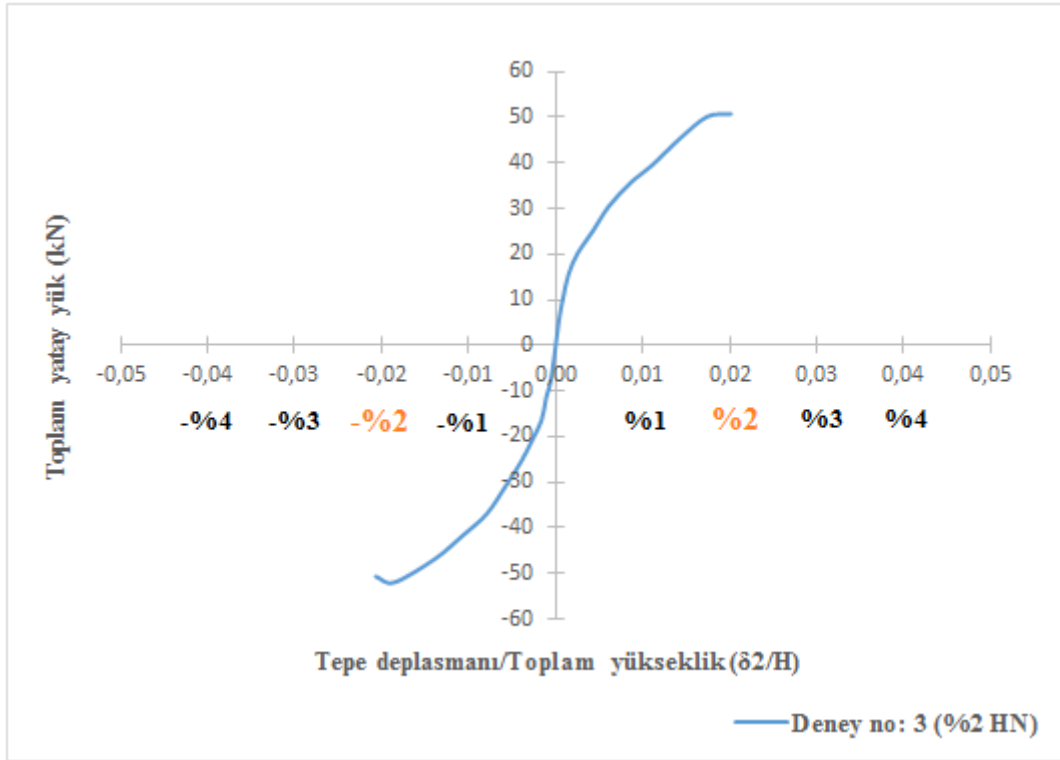
Ayrıca, ileri ve geri çevrimler olmak üzere, toplam yatay yük-tepe deplasmanı değerlerine göre oluşturulan histerezis eğrileri içerisinde kalan alanların toplanmasıyla numunenin kümülatif toplam tüketilen enerji grafiği çizilmiştir.

Ancak numuneye göçme seviyesi olan %4 deplasmana kadar değil de %1 deplasman değerine kadar yükleme yapıldığından, ayrıca 18 mm deplasman düzeyinde akma oluşmadığından süneklik değerlendirmesi grafiği çizilmemiştir.

4.3. 3 Nolu Deney (%2 HN)

Referans numune, depreme benzeştirilmiş tersinir tekrarlanır yatay yükler altında göçme seviyesine kadar test edilmiş ve numunenin %4 deplasmanda göçme seviyesine ulaştığı 1 nolu deneyde görülmüştür. Bu husus dikkate alınarak 2 nolu deneyde, numuneye %1 deplasmana ulaşınca kadar yük uygulanmış ve numunede hasar oluşturulmuştur. Bu deneyde ise, Şekil 4.33'de görüldüğü üzere, numuneye %2 deplasmana karşılık gelen 36 mm değerine ulaşınca kadar depreme benzeştirilmiş tersinir tekrarlanır yük uygulanmış ve bu şekilde hasar oluşturulmuştur.

3 nolu deney numunesine hasar oluşturmadaki amaç, hasarlı çerçevenin onarımdan sonra test edilmesi neticesinde elde edilen veriler ile referans numunenin kıyaslanması ve onarımın bu hasar düzeyindeki çerçevenin performansına etkisini belirlemektir. Ayrıca, 3 nolu deney numunesi ile referans numunenin %2 deplasmana kadar oluşan davranış özelliklerinin ve verilerinin benzerliğini görebilmek, onarımdan sonra test edilen numunenin referans numune ile karşılaştırılabilirliğinin doğruluğunu ortaya çıkaracaktır.



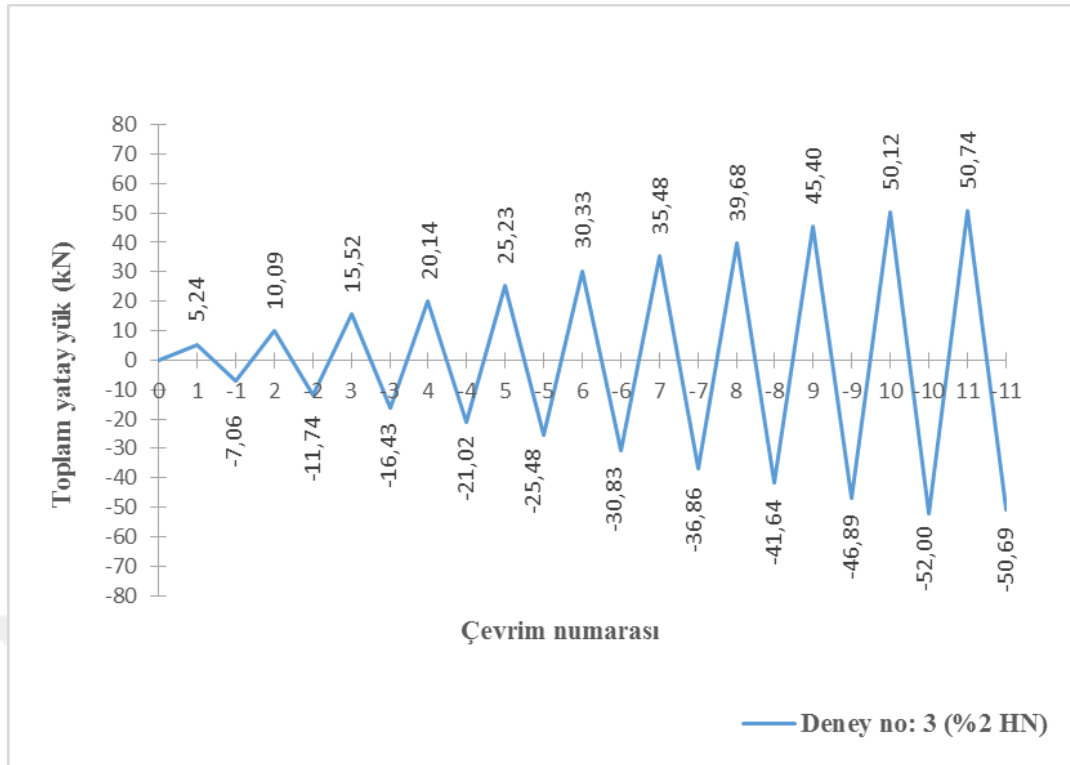
Şekil 4.33. 3 nolu deney numunesinin toplam yatay yük-tepe deplasmanı/toplam yükseklik grafiği

3 nolu deney numunesinin deneyden önceki görünümü Şekil 4.34’de verilmiştir.

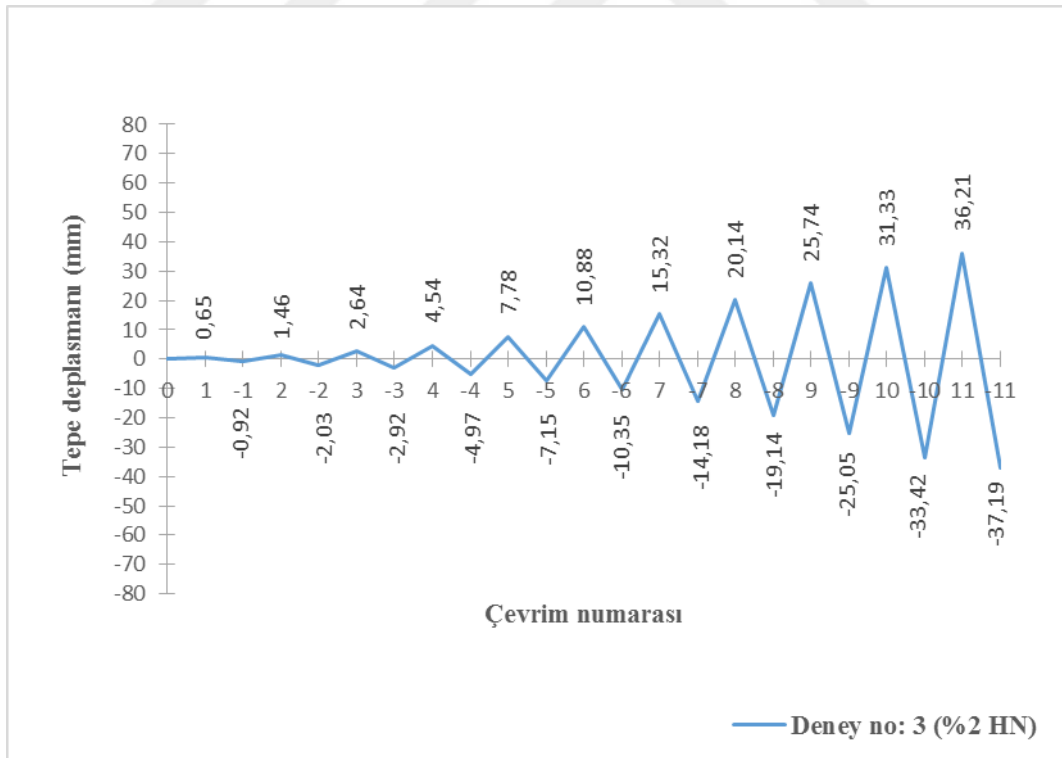


Şekil 4.34. 3 nolu deney numunesinin deneyden önceki görünümü

3 nolu deneye öncelikle yük kontrollü olarak başlanmış, betonarme sistemin akma yükünden sonra deplasman kontrollü olarak %2 deplasmana karşılık gelen 36 mm değerine kadar devam edilmiştir. Akma yükü; deney esnasında, yük-deplasman eğrisinin kayda değer oranda değiştiği an olarak gözlemlenmiştir. Deney numunesi alt kata 1 birim, üst kata ise 2 birim yük gelecek şekilde yüklenmiş olup yük artışları 5 kN’luk adımlarla, deplasman artışları ise 5 mm’lik adımlarla yapılmıştır. Deney numunesine ileri ve geri olmak üzere 11 yük çevrimi uygulanmıştır. Yükleme geçmişi, Şekil 4.35 ve Şekil 4.36’da toplam yatay yük ve ölçülen tepe deplasmanına göre ayrı ayrı verilmiştir.



Şekil 4.35. 3 nolu deney numunesine ait yük geçmişi



Şekil 4.36. 3 nolu deney numunesine ait deplasman geçmişi

3 nolu deney numunesinde ilk çatlak S101 kolonunun dış yüzünde, temelin üstünden 3 cm yukarıda, 2 nolu çatlak S101 kolonunun dış yüzünde temelin üstünden 15 cm yukarıda, 3 nolu çatlak S102 kolonu ile temel birleşiminde, 4 nolu çatlak S102 kolonunun sol alt kısmında, temelin üstünden 11 cm yukarıda ve 5 nolu çatlak ise S202 kolonu ile K101 kirişi birleşiminde meydana gelmiştir.

İlk 6 çatlağın oluştuğu andaki yük değeri 20,14 kN ve tepe deplasmanı 4,54 mm olarak ölçülmüştür. Deney sırasında oluşan ilk çatlaklar Şekil 4.37' de gösterilmiştir.



(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 4.37. 3 nolu deney numunesinde oluşan ilk çatlaklar: (a) S101-temel (b) S102-temel (c) S202- K101 (d) S101- K101

3 nolu deney numunesine %2 deplasman seviyesine kadar yük uygulandığı ve bu şekilde hasar oluşturulduğu bu deneyde, ileri ve geri çevrimler olmak üzere her bir yükleme çevrimi, yatay yük ile ölçülen tepe deplasman değeri ve gözlenen davranışlar Çizelge 4.4’de verilmiştir.

Çizelge 4.4. 3 nolu deney numunesinde her çevrimde gözlenen davranış

Çevrim no	Yatay yük (kN)	Tepe deplasmanı (mm)	Gözlenen davranış
+1	5.24	0.65	-
-1	-7.06	-0.92	-
+2	+10.09	1.46	-
-2	-11.74	-2.03	-
+3	+15.52	2.64	-
-3	-16.43	-2.92	-
+4	+20.14	+4.54	1 nolu çatlak, S101 kolonunun dış yüzünde, temelin üstünden 3 cm yukarıda oluştu. 2 nolu çatlak, S101 kolonunun dış yüzünde, temelin üstünden 15 cm yukarıda oluştu. 3 nolu çatlak, S102 kolonu ile temel birleşiminde oluştu. 4 nolu çatlak, S102 kolonunun sol alt kısmında, temelin üstünden 11 cm yukarıda oluştu. 5 nolu çatlak, S202 kolonu ile K101 kirişi birleşiminde oluştu. 6 nolu çatlak, S101 kolonu ile K101 kirişi birleşiminde oluştu.
-4	-21.02	-4.97	7 nolu çatlak, S101 kolonunun iç yüzünde, kolon ile temel birleşiminde oluştu. 8 nolu çatlak, S101 kolonunun iç yüzünde, temelin üstünden 13 cm yukarıda oluştu. 9 nolu çatlak, S102 kolonunun sağ alt kısmında oluştu. 10 nolu çatlak, S102 kolonunun sağ alt kısmında, temelin üstünden 13 cm yukarıda oluştu. 11 nolu çatlak, S102 kolonu ile K101 kirişi birleşiminde oluştu. 12 nolu çatlak, S201 kolonu ile K101 kirişi birleşiminde oluştu.
+5	+25.23	+7.78	13 nolu çatlak, S102 kolonunun sol alt kısmında, temelin üstünden 19 cm yukarıda oluştu. 14 nolu çatlak, K101 kirişinin sağ üst kısmında, kolon yüzünden 11 cm uzaklıkta oluştu. 15 nolu çatlak, S201 kolonunun sol alt kısmında oluştu. 16 nolu çatlak, S202 kolonunun sağ üst kısmında oluştu. 17 nolu çatlak, S201 kolonu ile K202 kirişi birleşiminde oluştu. 18 nolu çatlak, S101 kolonunun sağ üst kısmında, temelin

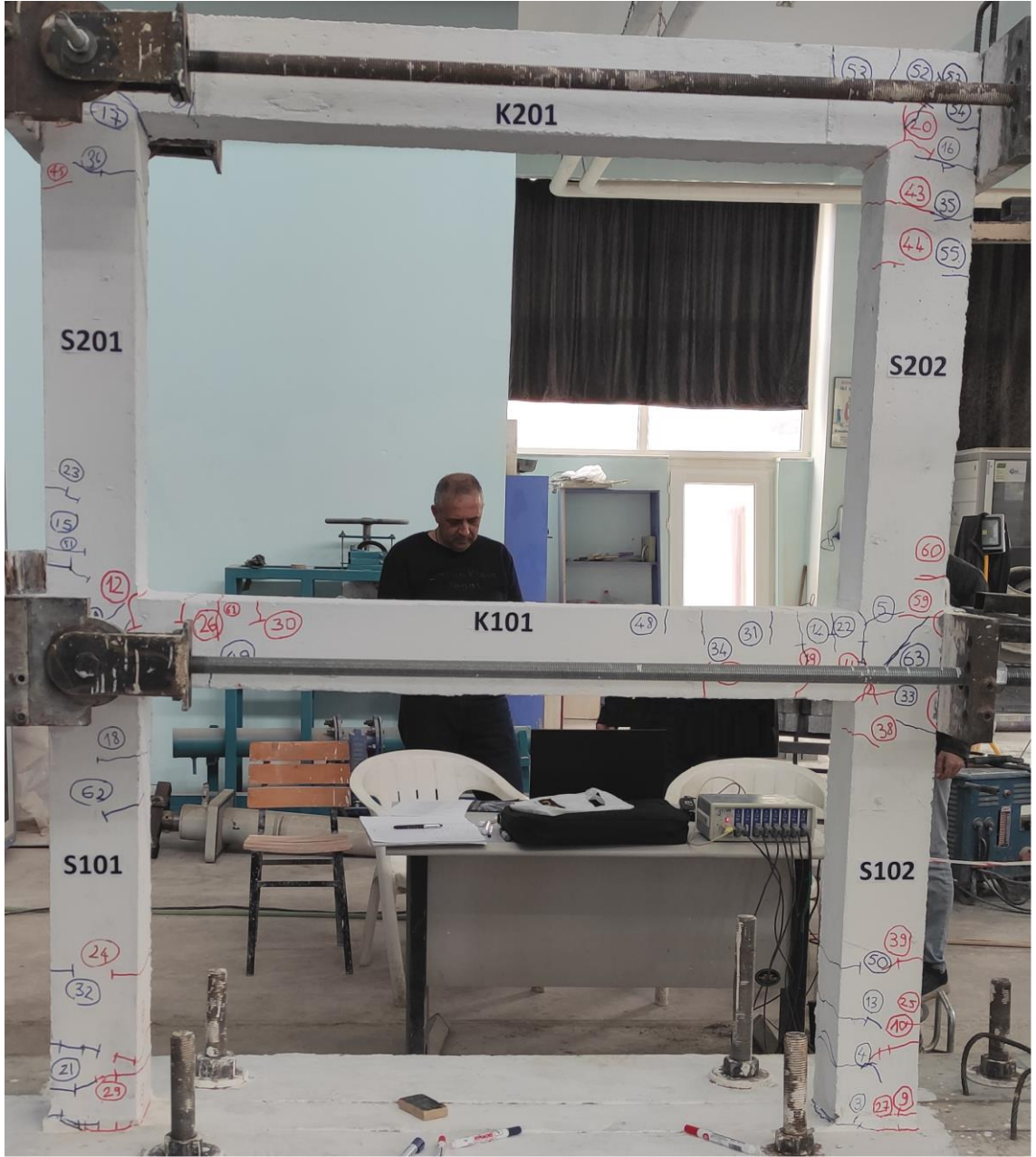
			üstünden 63 cm yukarıda oluştu. 1, 2, 3, 5 ve 6 nolu çatlaklar ilerledi.
-5	-25.48	-7.15	11 nolu çatlak ilerledi ve 5 nolu çatlak ile birleşti. 19 nolu çatlak, K101 kirişinin sağ alt kısmında, kolon yüzünden 10 cm uzaklıkta oluştu. 20 nolu çatlak, S202 kolonu ile K201 kirişi birleşiminde oluştu. 7, 8, 9 ve 10 nolu çatlaklar ilerledi.
+6	+30.33	+10.88	21 nolu çatlak, S101 kolonunun sol alt kısmında, temelin üstünden 7 cm yukarıda oluştu. 22 nolu çatlak, K101 kirişinin sağ üst kısmında, kolon yüzünden 5 cm uzaklıkta oluştu. 23 nolu çatlak, S201 kolonunun sol alt kısmında, K101 kirişi üst yüzünden 16 cm yukarıda oluştu. 4 ve 15 nolu çatlaklar ilerledi. 6 ve 12 nolu çatlaklar birleşti.
-6	-30.83	-10.35	24 nolu çatlak, S101 kolonunun sağ alt kısmında, temelin üstünden 25 cm yukarıda oluştu. 25 nolu çatlak, 10 nolu çatlağın 3 cm yukarısında oluştu. 26 nolu çatlak, K101 kirişinin sol üst kısmında, kolon yüzünden 7.5 cm uzaklıkta oluştu. 27 nolu çatlak, S102 kolonunun sağ alt kısmında, kolon ile temelin birleşiminde oluştu. 28 nolu çatlak, K202 kirişinin sol üst kısmında oluştu. 29 nolu çatlak, 8 nolu çatlağın altında, S101 kolonunun sağ alt kısmında, temelin üstünden 9 cm yukarıda oluştu. 30 nolu çatlak, K101 kirişinin sol üst kısmında, kolon yüzünden 19 cm uzaklıkta oluştu. 11 ve 19 nolu çatlaklar genişledi ve çatallandı. K101 kirişinin sağ ucunda ezilmeler oluştu.
+7	+35.48	+15.32	31 nolu çatlak, K101 kirişinin sağ üst kısmında, kolon yüzünden 15 cm uzaklıkta oluştu. 32 nolu çatlak, S101 kolonunun sol alt kısmında, temelin üstünden 25 cm yukarıda oluştu. 33 nolu çatlak, S102 kolonunun sağ üst kısmında oluştu. 34 nolu çatlak, K101 kirişinin sağ üst kısmında, kolon yüzünden 27 cm uzaklıkta oluştu. 35 nolu çatlak, S202 kolonunun sağ üst kısmında, K101 kirişi üst yüzünden 62 cm yukarıda oluştu. 36 nolu çatlak, S201 kolonunun sağ üst kısmında, K101 kirişi üst yüzünden 65 cm yukarıda oluştu. 6 nolu çatlak çatallandı. 21 nolu çatlak ilerledi.
-7	-36.86	-14.18	37 nolu çatlak, K101 kirişinin sağ alt kısmında, kolon yüzünden 24 cm uzaklıkta oluştu. 38 nolu çatlak, S102 kolonunun sol üst kısmında oluştu. 39 nolu çatlak, S102 kolonunun sağ alt kısmında, temelin üstünden 30 cm yukarıda oluştu. 40 nolu çatlak, S201 kolonunun sol üst kısmında oluştu. 41 ve 42 nolu çatlaklar, K101 kirişi ile kolonların düğüm noktasında oluştu. 43 nolu çatlak, S202 kolonunun sol üst kısmında, 35 nolu çatlakla aynı hizada oluştu. 44 nolu çatlak, 43 nolu çatlağın 10 cm aşağısında oluştu. 45 nolu çatlak, S201 kolonunun sol üst kısmında, K101 kirişi

			üst yüzünden 62 cm yukarıda oluştu. 46 nolu çatlak, S201 kolonunun sol üstünde oluştu. 47 nolu çatlak, S201 kolonu ile K201 kolonu düğüm noktasında oluştu. 11 ve 20 nolu çatlaklar çatallandı. Maksimum çatlak genişlikleri 1 mm'ye ulaştı.
			48 nolu çatlak, K101 kirişinin sağ üst kısmında, kolon yüzünden 32 cm uzaklıkta oluştu. 49 nolu çatlak, K101 kirişinin sol alt kısmında, kolon yüzünden 12 cm uzaklıkta oluştu. 50 nolu çatlak, S102 kolonunun sol alt kısmında, temelin üstünden 28 cm yukarıda oluştu. 51 nolu çatlak, S201 kolonunun sol alt kısmında, K101 kirişi üst yüzünden 7 cm yukarıda oluştu. 52 nolu çatlak, K201 kirişinin sağ üst kısmında oluştu. 53 nolu çatlak, K201 kirişinin sağ üst kısmında, kolon yüzünden 9 cm uzaklıkta oluştu.
+8	+39.68	+20.14	54 nolu çatlak, S202 kolonu ile K202 kolonu düğüm noktasında oluştu. 55 nolu çatlak, 35 nolu çatlağın 9 cm aşağısında oluştu. 56 nolu çatlak, S201 kolonu ile K202 kirişi düğüm noktasında oluştu. 57 nolu çatlak, S202 kolonu ile K202 kolonu düğüm noktasında oluştu. 58 nolu çatlak, K202 kirişinin sol alt kısmında, kolon yüzünden 8 cm uzaklıkta oluştu. 1, 17, 21, 23, 27, 32 nolu çatlaklar ilerledi. 5 ve 6 nolu çatlaklar çatallandı. 14 ve 19 nolu çatlaklar birleşti. Maksimum çatlak genişlikleri 1 mm'ye ulaştı.
-8	-41.64	-19.14	59 nolu çatlak, S202 kolonunun sağ alt kısmında oluştu. 60 nolu çatlak, 59 nolu çatlağın 6 cm yukarısında oluştu. 61 nolu çatlak, 26 nolu çatlağın sağında, K101 kirişinin sol üst kısmında oluştu. 3 nolu çatlak, 27 nolu çatlak ile birleşti. 7 nolu çatlak ilerledi ve 1 nolu çatlak ile birleşti. 9, 10, 26, 29, 39 nolu çatlak ilerledi.
+9	+45.40	+25.74	Akma başladı 62 nolu çatlak, 18 nolu çatlağın 9 cm alt kısmında oluştu. 63 nolu çatlak, S201, S202 kolonları ve K101 kirişi düğüm noktasında oluştu. 64 nolu çatlak, S101, S201 kolonları ile K101 kirişi düğüm noktasında oluştu. 1 nolu çatlak ile 7 nolu çatlak birleşti. 3 nolu çatlak temelden ayrıldı. 4 nolu çatlak çatallandı. 13, 16, 57 nolu çatlaklar ilerledi. 35 nolu çatlak ile 43 nolu çatlak birleşti. Maksimum çatlak genişlikleri 1.5 mm'ye ulaştı.
-9	-46.89	-25.05	65 nolu çatlak, S202 kolonunun sağ alt kısmında, K101 kirişi üst yüzünden 11 cm yukarıda oluştu. 66 nolu çatlak, S102, S202 kolonları ile K101 kirişi düğüm noktasında oluştu. 67 nolu çatlak, S101, S201 kolonları ve K101 kirişi düğüm noktasında oluştu. 68 nolu çatlak, S101 kolonunun sol üst kısmında, temelin

			üstünden 64 cm yukarıda oluştu. 69, 70 ve 71 nolu çatlaklar S202 kolonu ile K202 kirişi düğüm noktasında oluştu. 72 nolu çatlak, S201 kolonu ve K202 kirişi düğüm noktasında oluştu. 73 nolu çatlak, K202 kirişinin sol üst kısmında, kolon yüzünden 22 cm uzaklıkta oluştu. 7, 12 ve 37 nolu çatlaklar çatallandı. 8, 24, 26, 38, 44 nolu çatlaklar ilerledi. 11 nolu çatlak genişledi.
+10	+50.12	+31.33	74 nolu çatlak, S201 kolonunun sağ üst kısmında, K101 kirişi üst yüzünden 54 cm yukarıda oluştu. 75 nolu çatlak, K101 kirişinin sağ üst kısmında, kolon yüzünden 20 cm uzaklıkta oluştu. 76 nolu çatlak, K202 kirişinin sol alt kısmında, kolon yüzünden 20 cm uzaklıkta oluştu. 77 nolu çatlak, S102 kolonunun sağ üst kısmında, temelin üstünden 63 cm yukarıda oluştu. 3, 17, 21, 57, 63 nolu çatlaklar çatallandı. 5 nolu çatlağın genişliği 2 mm'ye ulaştı. 57 nolu çatlak ile 71 nolu çatlak birleşti. 4, 62 nolu çatlaklar ilerledi. 18 nolu çatlak 68 nolu çatlak ile birleşti. S101 kolonunun sol ucunda ezilmeler başladı. Maksimum çatlak genişlikleri 2 mm'ye ulaştı.
-10	-52.00	-33.42	78 nolu çatlak, S101 kolonunun sol alt kısmında oluştu. 79 nolu çatlak, S101 kolonunun sol kısmında, 62 nolu çatlağın simetrisinde oluştu. 80 nolu çatlak, S102 kolonunun sol kısmında oluştu. 81 nolu çatlak, K101 kirişinin sol üst kısmında, kolon yüzünden 30 cm uzaklıkta oluştu. 82 nolu çatlak, K101 kirişinin sol üst kısmında, kolon yüzünden 24 cm uzaklıkta oluştu. 83 nolu çatlak, S201 kolonunun sol kısmında, K101 kirişi üst yüzünden 49 cm yukarıda oluştu. 9 ve 27 nolu çatlaklar genişledi ve çatlak genişlikleri 1 mm'ye ulaştı. 10 nolu çatlak çatallandı. 28, 30 ve 47 nolu çatlaklar ilerledi. 45 nolu çatlak ilerledi ve 36 nolu çatlak ile birleşti. Maksimum çatlak genişlikleri 2.5 mm'ye ulaştı.
+11	+50.74	+36.21	84 nolu çatlak, S102 kolonunu sağ üst kısmında oluştu. 85 nolu çatlak, K101 kirişinin sol alt kısmında oluştu. 2, 17 ve 21 nolu çatlaklar ilerledi. 3 nolu çatlak genişliği 2 mm'ye ulaştı. 5 ve 22 nolu çatlaklar genişledi. 17 nolu çatlak ile 28 nolu çatlak birleşti. 47 nolu çatlak ile 72 nolu çatlak birleşti. 62 nolu çatlak çatallandı. S102 kolonunun sağ ucunda ezilmeler başladı.
-11	-50.69	-37.19	7, 20, 29 nolu çatlakların genişliği 3 mm'ye ulaştı. 9, 11, 12, 27, 28 nolu çatlaklar genişledi. 24 ve 40 nolu çatlaklar ilerledi. 42 nolu çatlak ilerledi ve 6 nolu çatlak ile birleşti. S101 kolonunun altında ezilmeler oluştu.

3 nolu deney numunesinin akmaya başladığı andaki yük değeri 45.40 kN olarak ölçülmüş olup bu yükte tepe deplasmanı 25.74 mm değerine ulaşmıştır. Numunede ileri

çevrimde maksimum tepe deplasman değeri 36.21 mm olup bu tepe deplasman değerine karşılık gelen yatay yük ise 50.74 kN olarak ölçülmüştür. Geri çevrimde ise maksimum tepe deplasman değeri -37.19 mm, bu deplasman değerine karşılık gelen yatay yük ise -50.69 kN olarak ölçülmüştür. Yapılan 3 nolu deney kapsamında ileri çevrimde 36.21 mm, geri çevrimde ise -37.19 mm deplasman değerlerine kadar yükleme yapılmış olup geri 11. çevrim sonunda numune %2 deplasman seviyesine karşılık gelen 36 mm değerini geçtiğinden deney sonlandırılmıştır. Numunenin akma anındaki görünümü Şekil 4.38’de verilmiştir.

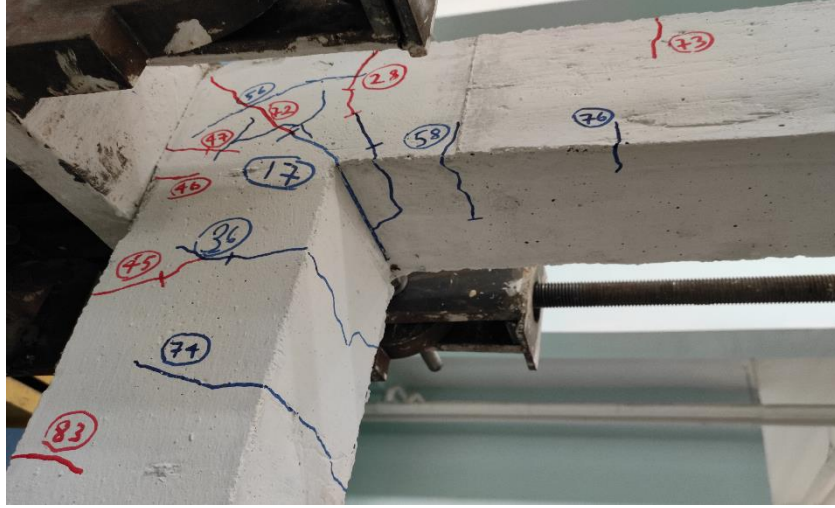


Şekil 4.38. 3 nolu deney numunesinin akma anındaki görünümü

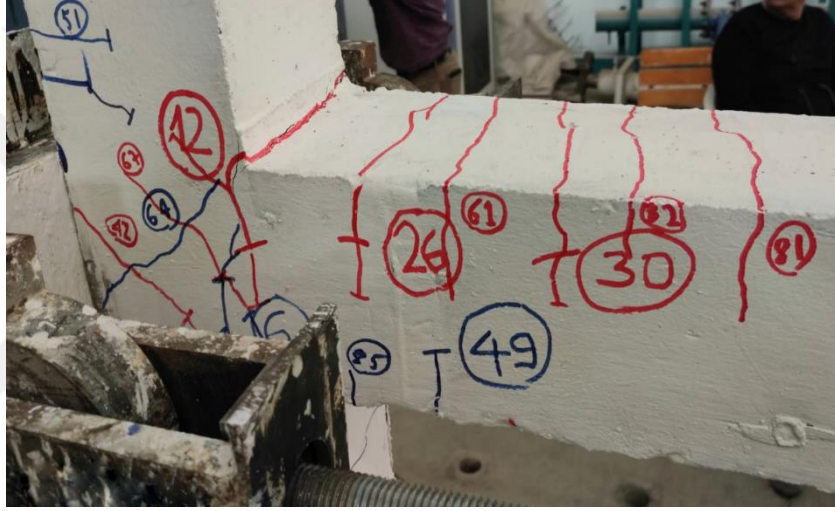
%2 deplasmana karşılık gelen 36 mm deplasmana kadar tersinir tekrarlanır yük uygulamak suretiyle hasar oluşturulan numunenin deney sonrasındaki görünümü Şekil 4.39’da, oluşan hasarlar ise Şekil 4.40’da verilmiştir.



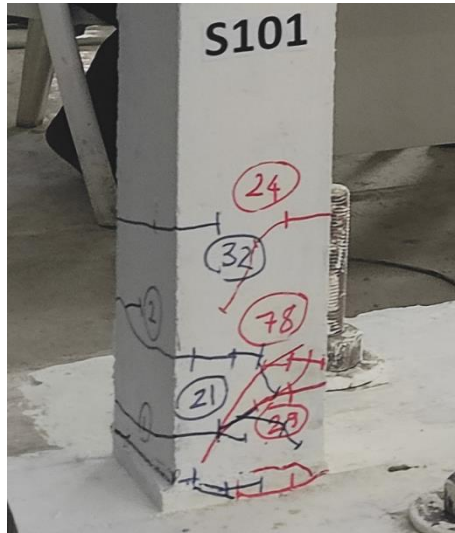
Şekil 4.39. 3 nolu deney numunesinin deney sonrasındaki görünümü



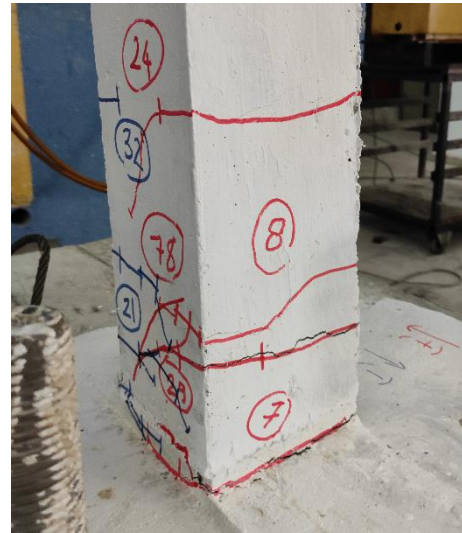
(a)



(b)

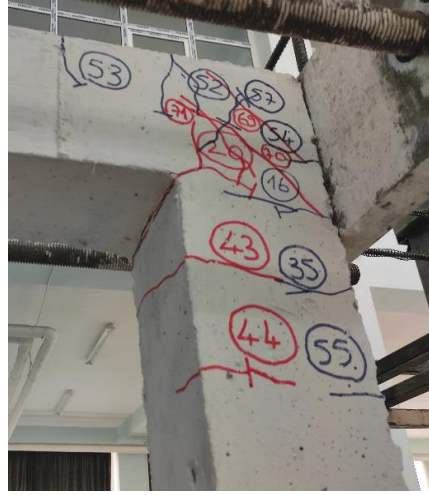


(c)

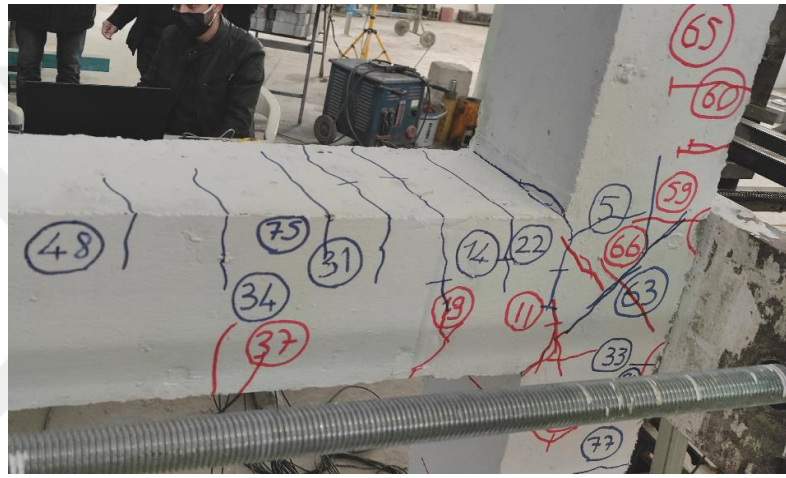


(d)

Şekil 4.40. 3 nolu deney numunesinde deney sonrasında oluşan hasarlar: (a) S201- K201 (b) S201- K101 (c) S101-temel (d) S101-temel (e) S202- K201 (f) S202- K101 (g) S102-temel (h) S102-temel



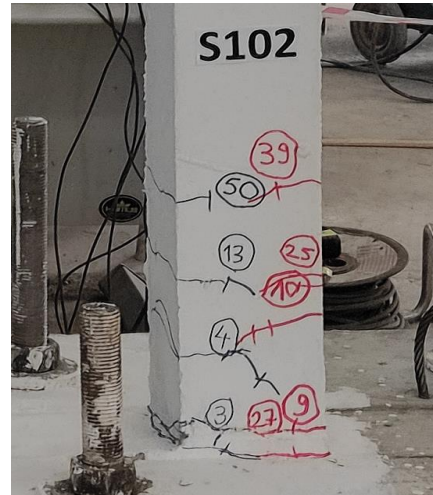
(e)



(f)



(g)

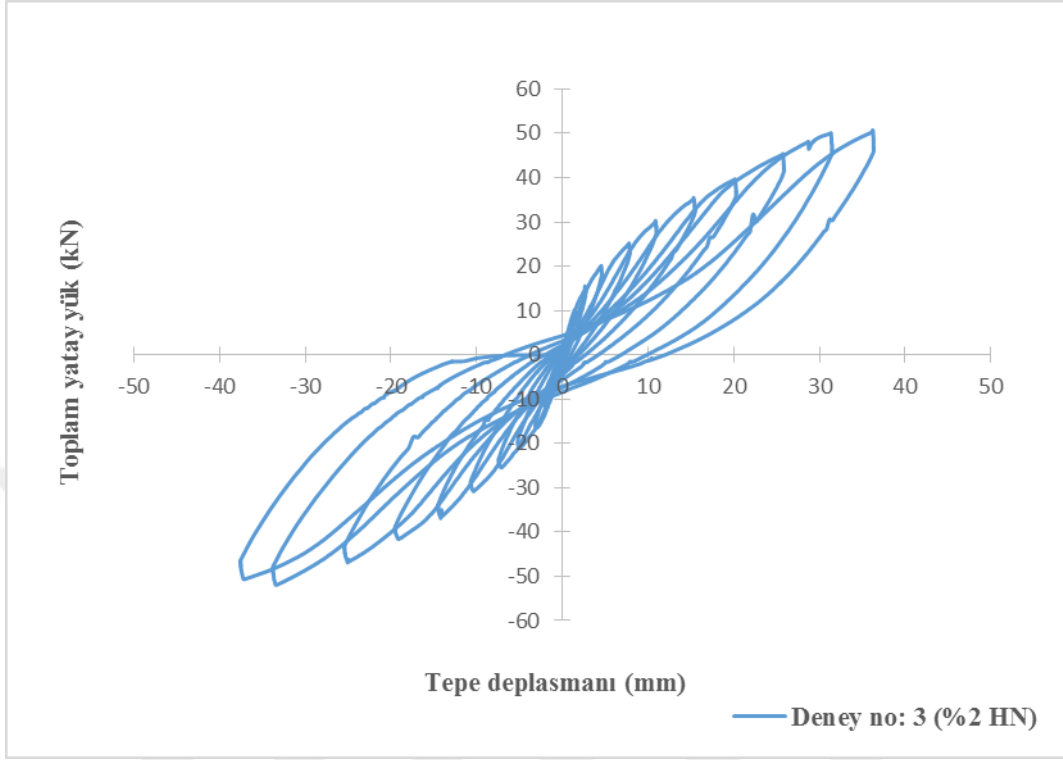


(h)

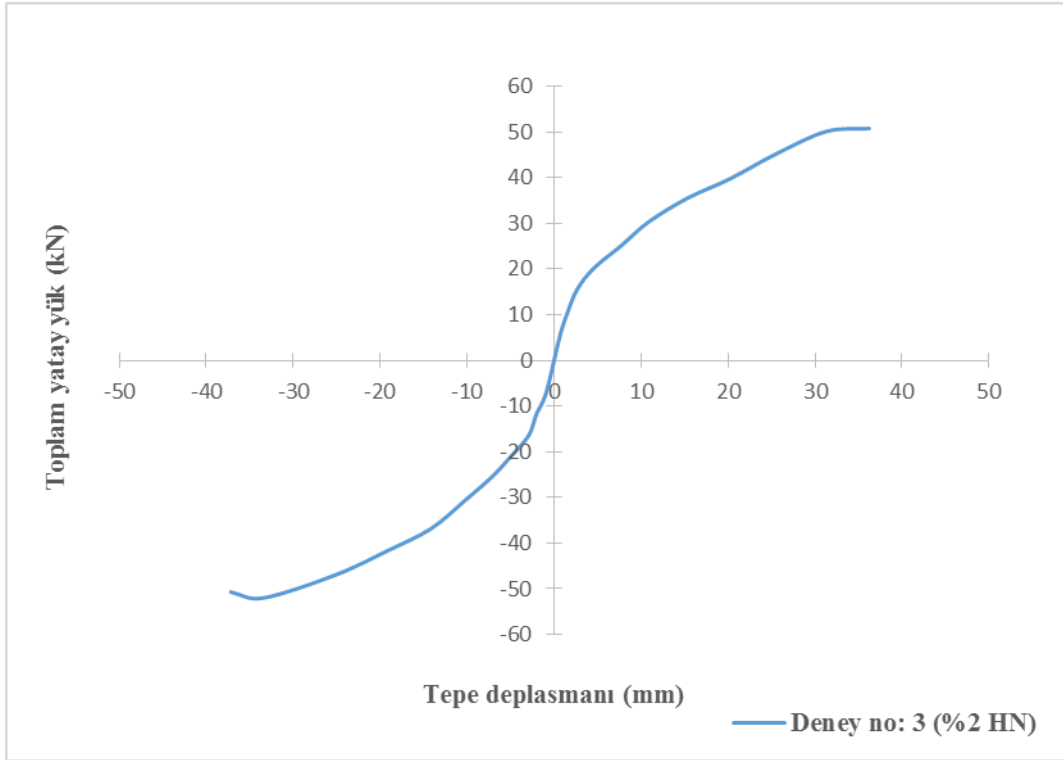
Şekil 4.40. (Devamı)

Toplam yatay yük-tepe deplasmanına göre oluşturulan histerezis eğrisi ile zarf eğrisi Şekil 4.41 ve Şekil 4.42’de, 1. kat yatay yük-1. kat deplasmanına göre oluşturulan histerezis eğrisi ile zarf eğrisi Şekil 4.43 ve Şekil 4.44’de, 1. kata gelen yatay yük-1. kat

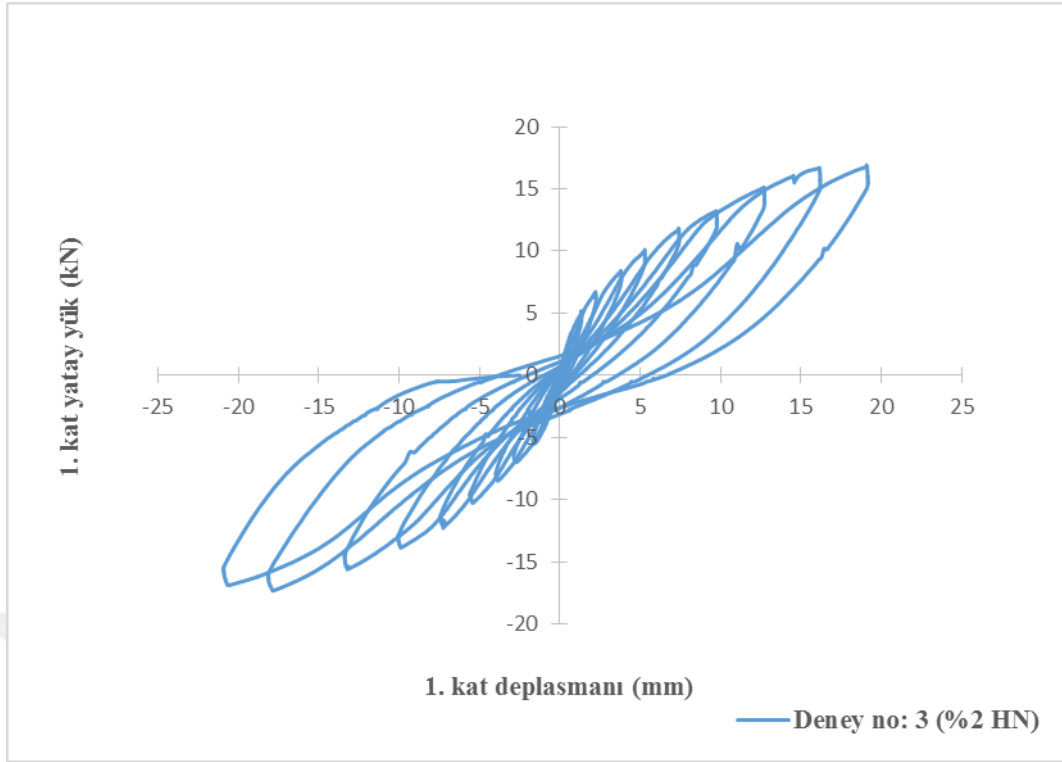
ötelenme oranı grafiği Şekil 4.45’de, sistem rijitlik azalım grafiği Şekil 4.46’da, kümülatif toplam enerji tüketimi grafiği ise Şekil 4.47’de verilmiştir.



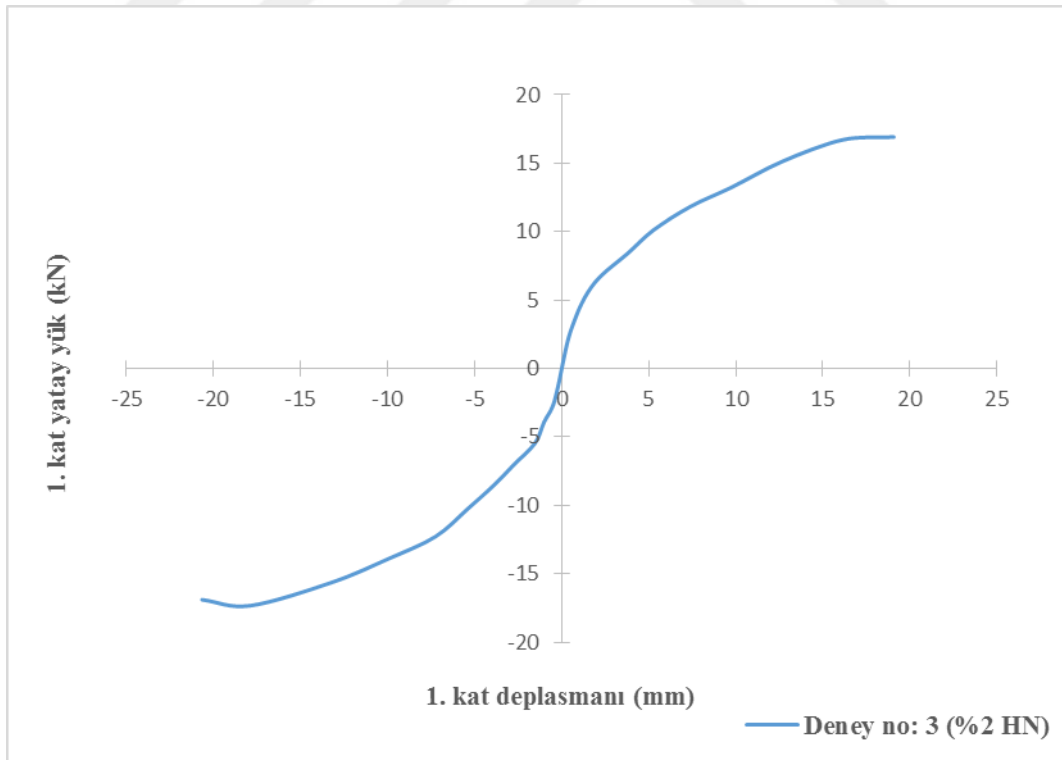
Şekil 4.41. 3 nolu deney numunesinin histerezis eğrisi



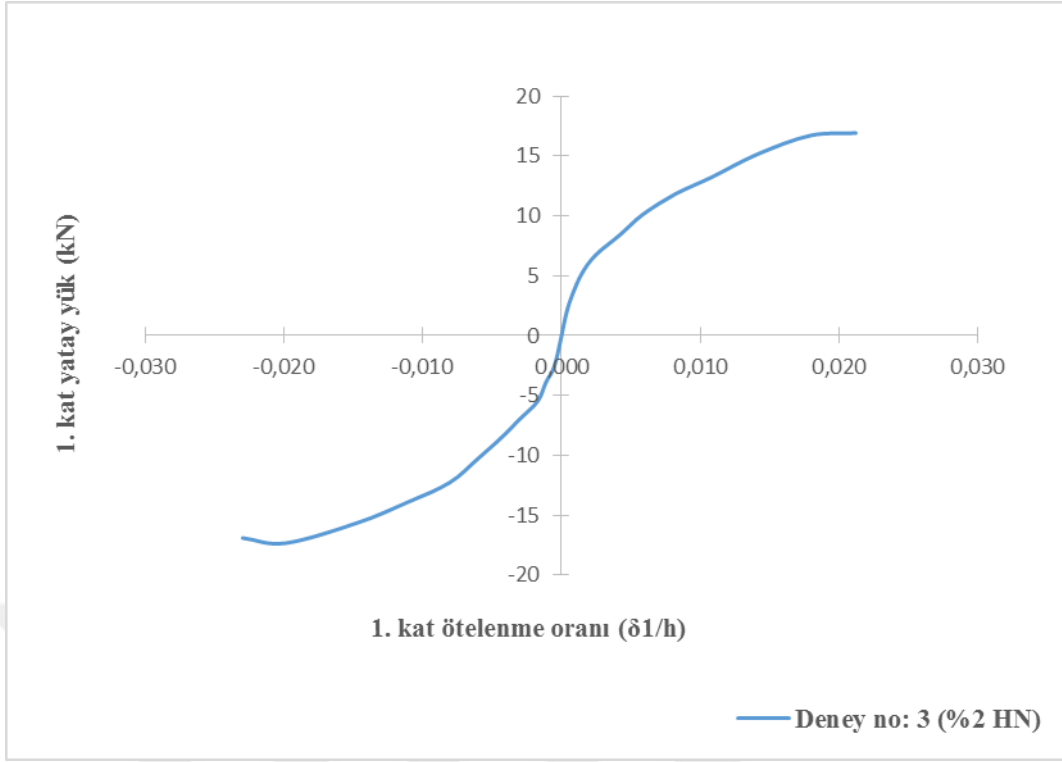
Şekil 4.42. 3 nolu deney numunesinin zarf eğrisi



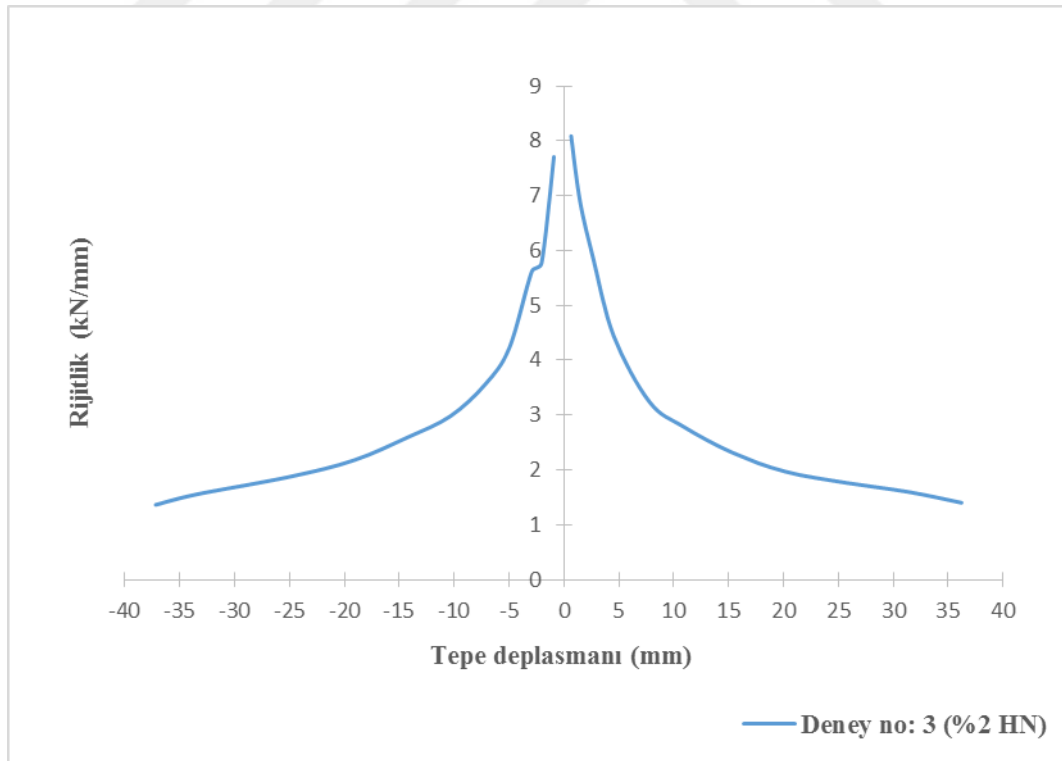
Şekil 4.43. 3 nolu deney numunesinin 1. kat histerezis eğrisi



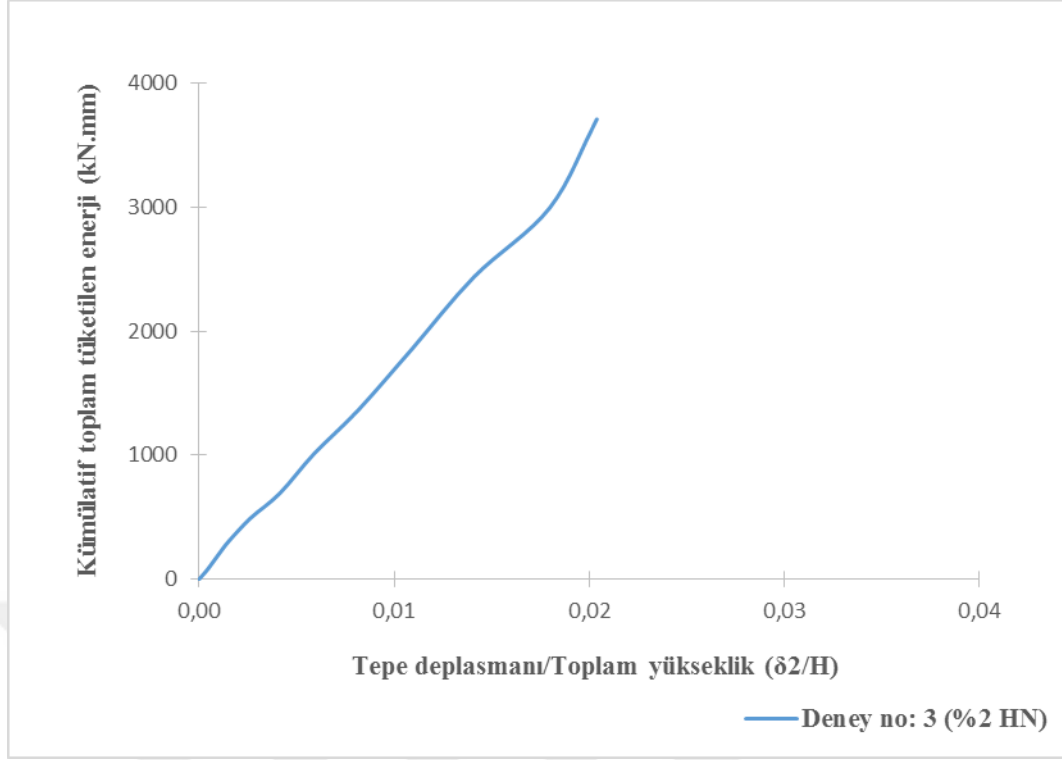
Şekil 4.44. 3 nolu deney numunesinin 1. kat zarf eğrisi



Şekil 4.45. 3 nolu deney numunesinin 1. kat yatay yük-ötelenme oranı grafiği



Şekil 4.46. 3 nolu deney numunesinin rijitlik azalım grafiği



Şekil 4.47. 3 nolu deney numunesinin kümülatif toplam tüketilen enerji-tepe deplasmanı/toplam yükseklik grafiği

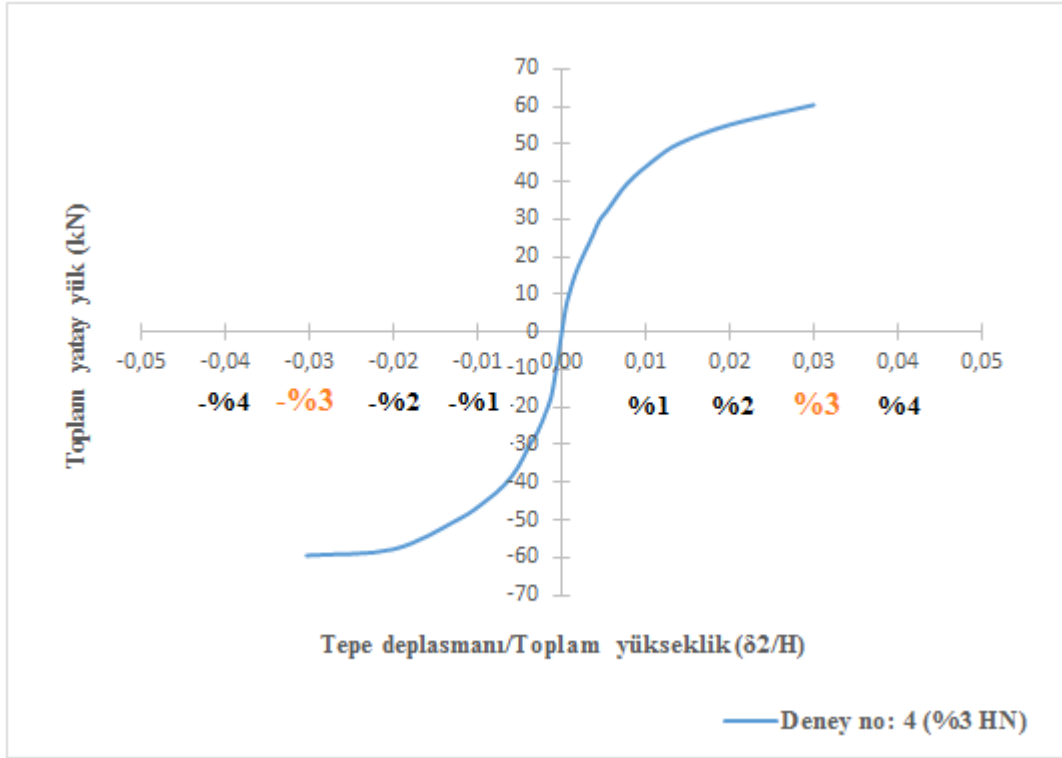
3 nolu deney kapsamında, deneydeki her bir çevrimin pozitif ve negatif adımlarındaki maksimum yüklerin, bu yüklere karşılık gelen tepe deplasmanına bölünmesiyle bulunan rijitlik değerleri ile rijitlik azalım grafiği çizilmiştir. Rijitlik azalım grafiği, ileri ve geri çevrimler olmak üzere oluşturulmuş ve tek grafik üzerinde gösterilmiştir.

Ayrıca, ileri ve geri çevrimler olmak üzere, toplam yatay yük-tepe deplasmanı değerlerine göre oluşturulan histerezis eğrileri içerisinde kalan alanların toplanmasıyla numunenin kümülatif toplam tüketilen enerji grafiği çizilmiştir.

Ancak numuneye göçme seviyesi olan %4 deplasmana kadar değil de %2 deplasman değerine karşılık gelen 36 mm'ye kadar yükleme yapıldığından, süneklik değerlendirmesi grafiği çizilmemiştir.

4.4. 4 Nolu Deney (%3 HN)

Depreme benzeştirilmiş tersinir tekrarlanır yatay yükler altında göçme seviyesine kadar test edilmiş olan referans numunenin %4 deplasmanda göçme seviyesine ulaştığı 1 nolu deneyde görülmüştür. Bu husus dikkate alınarak 2 nolu deneyde numuneye %1, 3 nolu deneyde ise numuneye %2 deplasmana ulaşınca kadar tersinir tekrarlanır yatay yük uygulanmış ve numunelerde hasar oluşturulmuştur. Bu deneyde ise, Şekil 4.48’de görüldüğü üzere, numuneye %3 deplasmana karşılık gelen 54 mm değerine ulaşınca kadar depreme benzeştirilmiş tersinir tekrarlanır yük uygulanmış ve bu şekilde hasar oluşturulmuştur. 4 nolu deney numunesine hasar oluşturmada amaç, hasarlı çerçevenin onarımdan sonra test edilmesi neticesinde elde edilen veriler ile referans numunenin kıyaslanması ve onarımın bu hasar düzeyindeki çerçevenin performansına etkisini belirlemektir. Ayrıca, 4 nolu deney numunesi ile referans numunenin %3 deplasmana kadar oluşan davranış özelliklerinin ve verilerinin benzerliğinin belirlenmesi, onarımdan sonra test edilen numunenin referans numune ile kıyas edilebilirliğinin doğruluğunu ortaya çıkaracaktır.



Şekil 4.48. 4 nolu deney numunesinin toplam yatay yük-tepe deplasmanı/toplam yükseklik grafiği

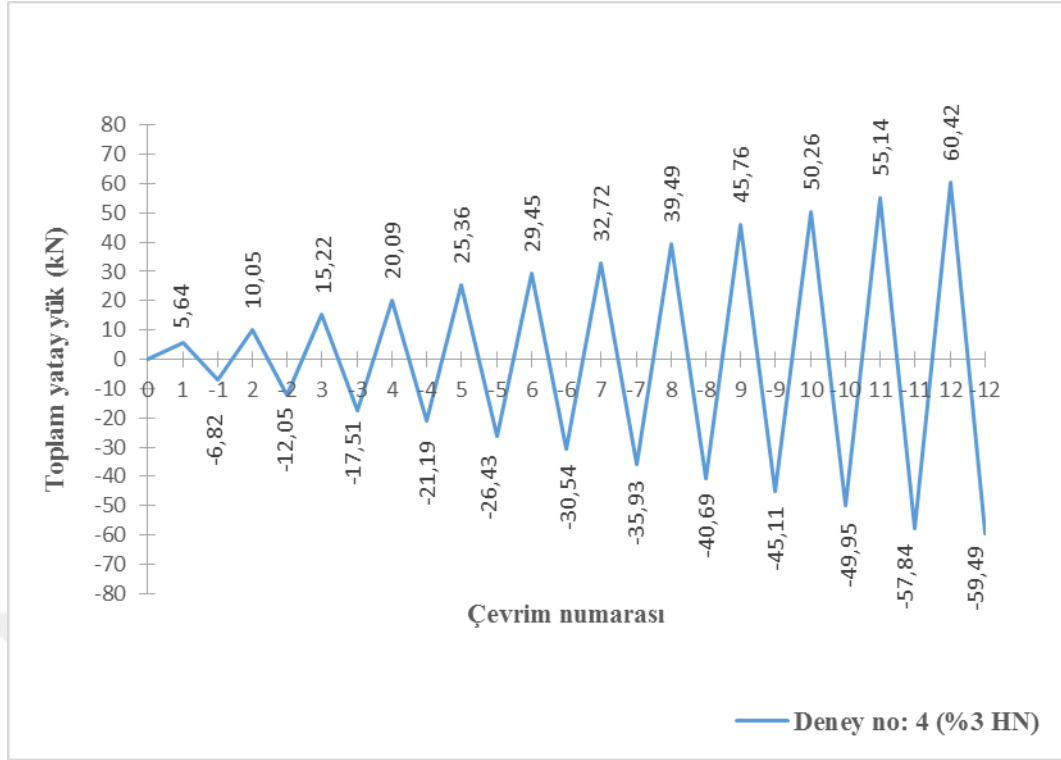
Deney numunesinin deneyden önceki görünümü Şekil 4.49’da verilmiştir.



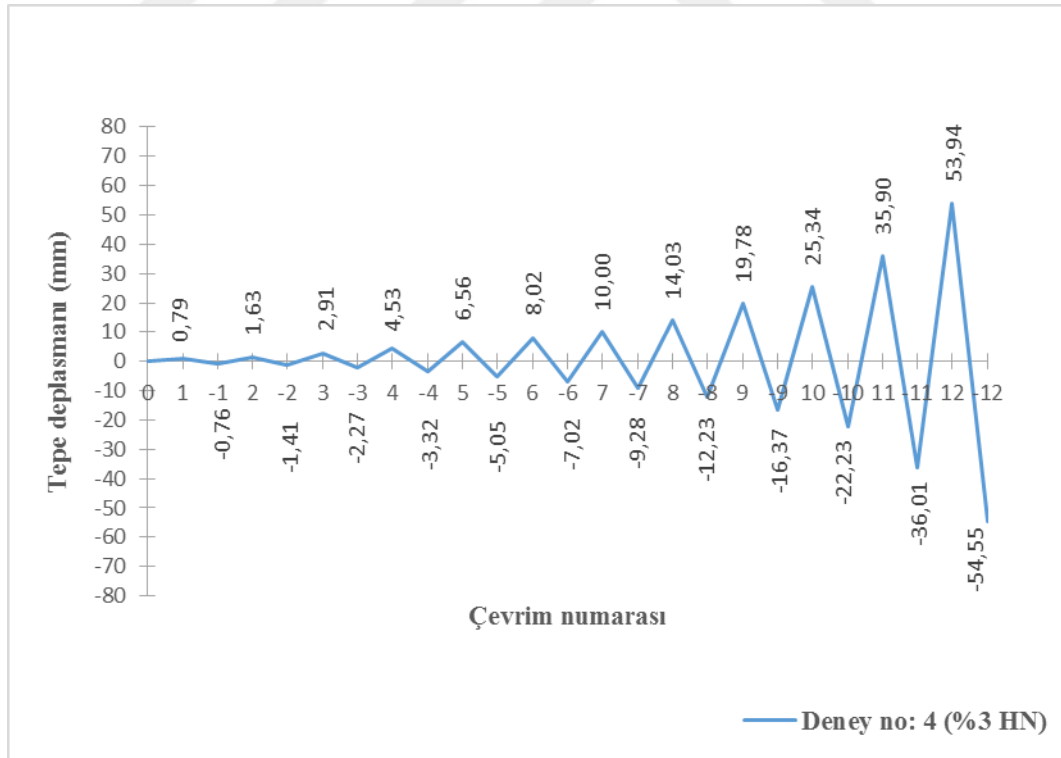
Şekil 4.49. 4 nolu deney numunesinin deneyden önceki görünümü

4 nolu deneye öncelikle yük kontrollü olarak başlanmış, betonarme sistemin akma yükünden sonra deplasman kontrollü olarak %3 deplasmana karşılık gelen 54 mm değerine kadar devam edilmiştir. Akma yükü; deney esnasında, yük-deplasman eğrisinin kayda değer oranda değiştiği an olarak gözlemlenmiştir. Deney numunesi alt kata 1 birim, üst kata ise 2 birim yük gelecek şekilde yüklenmiş olup yük artışları 5 kN’luk adımlarla, deplasman artışları ise 5 mm’lik adımlarla yapılmıştır.

Deney numunesine ileri ve geri olmak üzere 12 yük çevrimi uygulanmıştır. Yükleme geçmişi, Şekil 4.50 ve Şekil 4.51’de toplam yatay yük ve ölçülen tepe deplasmanına göre ayrı ayrı verilmiştir.



Şekil 4.50. 4 nolu deney numunesine ait yük geçmişi



Şekil 4.51. 4 nolu deney numunesine ait deplasman geçmişi

4 nolu deney numunesinde ilk çatlak S101 kolonunun dış yüzü ile temel birleşiminde, 2 nolu çatlak S102 kolonunun iç yüzü ile temel birleşiminde, 3 nolu çatlak S101 kolonu ile K101 kirişi birleşiminde, 4 nolu çatlak S202 kolonu ile K101 kirişi birleşiminde ve 5 nolu çatlak ise S101 kolonunun sol alt kısmında temelin üstünden 9.5 cm yukarıda oluşmuştur.

İlk 5 çatlağın oluştuğu andaki yük değeri 20.09 kN ve tepe deplasmanı 4.53 mm olarak ölçülmüştür. Deney sırasında oluşan ilk çatlaklar Şekil 4.52’de gösterilmiştir.



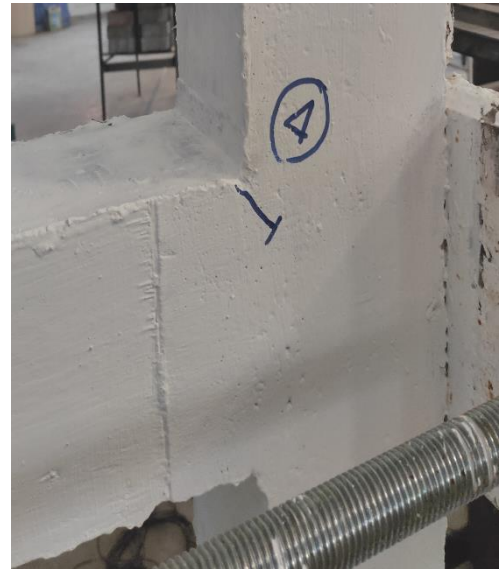
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 4.52. 4 nolu deney numunesinde oluşan ilk çatlaklar: (a) S101-temel (b) S102-temel (c) S101- K101 (d) S202- K101 (e) S201- K101



(e)

Şekil 4.52. (Devamı)

4 nolu deney numunesine %3 deplasman seviyesine kadar yük uygulandığı ve bu şekilde hasar oluşturulduğu bu deneyde, ileri ve geri çevrimler olmak üzere her bir yükleme çevrimi, yatay yük ile ölçülen tepe deplasman değeri ve gözlenen davranışlar Çizelge 4.5’de verilmiştir.

Çizelge 4.5. 4 nolu deney numunesinde her çevrimde gözlenen davranış

Çevrim no	Yatay yük (kN)	Tepe deplasmanı (mm)	Gözlenen davranış
+1	+5.64	+0.79	-
-1	-6.82	-0.76	-
+2	+10.05	+1.63	-
-2	-12.05	-1.41	-
+3	+15.22	+2.91	-
-3	-17.51	-2.27	-

1 nolu çatlak, S101 kolonu ile temel birleşiminde oluştu.
 2 nolu çatlak, S102 kolonu ile temel birleşiminde oluştu.
 3 nolu çatlak, S101 kolonu ile K101 kirişi birleşiminde oluştu.
 4 nolu çatlak, S202 kolonu ile K101 kirişi birleşiminde oluştu.
 5 nolu çatlak, S101 kolonunun sol alt kısmında, temelin üstünden 9.5 cm yukarıda oluştu.
 6 nolu çatlak, S101 kolonunun sol alt kısmında, temelin

			üstünden 19 cm yukarıda oluştu. 7 nolu çatlak, S101 kolonunun sol alt kısmında, temelin üstünden 25 cm yukarıda oluştu. 8 nolu çatlak, S102 kolonunun iç yüzünde, temelin üstünden 9.5 cm yukarıda oluştu. 9 nolu çatlak, 8 nolu çatlağın 11 cm yukarısında oluştu. 10 nolu çatlak, S201 kolonunun sol alt kısmında oluştu.
-4	-21.19	-3.32	11 nolu çatlak, S101 kolonu ile temel birleşiminde oluştu. 12 nolu çatlak, S101 kolonunun sağ alt kısmında, temelin üstünden 12 cm yukarıda oluştu. 13 nolu çatlak, S102 kolonu ile temel birleşiminde oluştu. 14 nolu çatlak, S102 kolonunun dış yüzünde, temelin üstünden 11 cm yukarıda oluştu. 15 nolu çatlak, S102 kolonunun dış yüzünde, temelin üstünden 18 cm yukarıda oluştu. 16 nolu çatlak, S102 kolonu ile K101 kirişi birleşiminde oluştu. 17 nolu çatlak, S102 kolonunun sol üst kısmında, temelin üstünden 70 cm yukarıda oluştu. 18 nolu çatlak, S201 kolonu ile K101 kirişi birleşiminde oluştu.
+5	+25.36	+6.56	19 nolu çatlak, S101 kolonunun sol kısmında oluştu. 20 nolu çatlak, S201 kolonunun sağ üst kısmında oluştu. 21 nolu çatlak, 20 nolu çatlağın 8 cm altında oluştu. 3 nolu çatlak çatallandı. 8 ve 9 nolu çatlaklar ilerledi.
-5	-26.43	-5.05	22 nolu çatlak, K101 kirişinin sol üst kısmında, kolon yüzünden 16 cm uzaklıkta oluştu. 12, 14, 15, 16, 18 nolu çatlaklar ilerledi.
+6	+29.45	+8.02	23 nolu çatlak, K101 kirişinin sol alt kısmında, kolon yüzünden 11 cm uzaklıkta oluştu. 24 nolu çatlak, K101 kirişinin sağ üst kısmında, kolon yüzünden 6 cm uzaklıkta oluştu. 25 nolu çatlak, S201 kolonu ile K202 kirişi birleşiminde oluştu. 26 nolu çatlak, S202 kolonunun sağ üst kısmında, K101 kirişinin üst yüzünden 68 cm yukarıda oluştu.
-6	-30.54	-7.02	27 nolu çatlak, S101 kolonunun iç yüzünde oluştu. 28 nolu çatlak, S202 kolonunun sol üst kısmında, K101 kirişinin üst yüzünden 68 cm yukarıda oluştu. 29 nolu çatlak, S202 kolonunun sol üst kısmında kiriş ile birleşiminde oluştu. 30 nolu çatlak, S101 kolonunun dış yüzünde, temelin üstünden 64 cm yukarıda oluştu. 31 nolu çatlak, S202 kolonunun sol üst kısmında, 28 nolu çatlağın 7.5 cm aşağısında oluştu. 32 nolu çatlak, K101 kirişinin sağ alt kısmında, 24 nolu kirişin altında oluştu. 33 nolu çatlak, S101 kolonunun sol üst kısmında oluştu. 13, 14, 15, 16 ve 22 nolu çatlaklar ilerledi.
+7	+32.72	+10.00	34 nolu çatlak, S101 kolonunun sağ üst kısmında, temel üstünden 68 cm yukarıda oluştu. 35 nolu çatlak, S102 kolonunun sağ üstünde oluştu. 36 nolu çatlak, S201 kolonu ile K101 kirişi düğüm noktasında oluştu.

			37 nolu çatlak, K101 kirişinin sağ üst kısmında, kolon yüzünden 18 cm uzaklıkta oluştu. 38 nolu çatlak, S201 kolonu ile K201 düğüm noktasında oluştu. 39 nolu çatlak, S202 kolonunun sağ üst kısmında, 26 nolu çatlağın 6.5 cm altında oluştu.
-7	-35.93	-9.28	40 nolu çatlak, S202 kolonunun sol üst kısmında, 31 nolu çatlağın 12 cm aşağısında oluştu. 15 nolu çatlak ilerledi. 16 nolu çatlak genişledi.
+8	+39.49	+14.03	41 nolu çatlak, S201 kolonu ile K101 kirişi düğüm noktasında oluştu. 42 nolu çatlak, S201 kolonu sağ üst kısmında, K101 kirişi üst yüzünden 45 cm yukarıda oluştu. 43 nolu çatlak, S201 kolonu sol alt kısmında, K101 kirişi üst yüzünden 12 cm yukarıda oluştu. 44 nolu çatlak, K101 kirişinin sol alt kısmında ve kolon yüzeyinden 19 cm uzaklıkta oluştu. 5 ve 6 nolu çatlaklar ilerledi. 4 nolu çatlak çatallandı.
-8	-40.69	-12.23	45 nolu çatlak, S102 kolonunun sol üst kısmında, 17 nolu çatlağın altında oluştu. 46 nolu çatlak, S201 kolonunun sol üst kısmında 21 nolu çatlağın hizasında oluştu. 47 nolu çatlak, S102 kolonunun sağ dış yüzünde, temelin üstünden 37 cm yukarıda oluştu. 48 nolu çatlak, S202 kolonunun sağ alt kısmında oluştu. 4 ve 16 nolu çatlaklar birleşti. 30 nolu çatlak ilerledi. 40 nolu çatlak, kolon arka yüzüne kadar ilerledi.
+9	+45.76	+19.78	Akma başladı. 49 nolu çatlak, K101 kirişinin sağ üst kısmında oluştu. 50 nolu çatlak, K101 kirişinin sol alt kısmında, kolon yüzünden 5 cm uzaklıkta oluştu.
-9	-45.11	-16.37	51 nolu çatlak, K101 kirişinin sol üst kısmında, kolon yüzünden 9 cm uzaklıkta oluştu. 52 nolu çatlak, K101 kirişinin sağ alt kısmında, kolon yüzünden 20 cm uzaklıkta oluştu. 53 nolu çatlak, S102 kolonu ile K101 kirişi düğüm noktasında oluştu. 3 ve 36 nolu çatlaklar birleşti. 18 nolu çatlak çatallandı.
+10	+50.26	+25.34	54 nolu çatlak, S101 kolonu ile K101 kirişi düğüm noktasında oluştu. 55 nolu çatlak, K101 kirişinin sol alt kısmında, kolon yüzünden 24 cm uzaklıkta oluştu. 56 nolu çatlak, K101 kirişinin sağ üst kısmında, 37 nolu çatlağın sol kısmında oluştu. 57 nolu çatlak, S202 kolonunun sağ üst kısmında oluştu. 58 nolu çatlak, S201 kolonunun sağ üst kısmında, K101 kirişinin üst yüzünden 53 cm yukarıda oluştu. 59 nolu çatlak, S201 kolonu sağ üst kısmında, K101 kirişinin üst yüzünden 48 cm yukarıda oluştu.
-10	-49.95	-22.23	60 nolu çatlak, K101 kirişinin sol üst kısmında, 22 nolu çatlağın sağında oluştu. 61 nolu çatlak, S202 kolonu ile K201 kirişi düğüm noktasında oluştu. 12 ve 52 nolu çatlaklar çatallandı.

+11	+55.14	+35.90	62 nolu çatlak, K101 kirişinin sağ üst kısmında, kolon yüzünden 3 cm uzaklıkta oluştu. 63 nolu çatlak, S101 kolonunun orta kısmında oluştu. 64 nolu çatlak, S201 kolonu ile K201 kirişi düğüm noktasında oluştu. 65 nolu çatlak, K101 kirişinin sağ üst kısmında, kolon yüzünden 32 cm uzaklıkta oluştu. 66 nolu çatlak, S102 kolonunun üst kısmında oluştu. 67 nolu çatlak, S102 kolonunun sol alt kısmında, temelin üstünden 7 cm yukarıda oluştu. 68 nolu çatlak, S102 kolonunda, temelin üstünden 14 cm yukarıda oluştu. 69 nolu çatlak, K201 kirişinin sağ üst kısmında oluştu. 70 nolu çatlak, S202 kolonunun dış yüzünde, K101 kirişinin üst yüzünden 37 cm yukarıda oluştu. 1 ve 11 nolu çatlaklar birleşti. 3 nolu çatlak genişliği 2 mm'ye ulaştı. 25, 42, 46 ve 49 nolu çatlaklar ilerledi. 43 nolu çatlak çatallandı.
-11	-57.84	-36.01	71 nolu çatlak, K101 kirişinin sol üst kısmında, kolon yüzünden 33 cm uzaklıkta oluştu. 72 nolu çatlak, S101 kolonu ile K101 kirişi düğüm noktasında oluştu. 73 nolu çatlak, S101 kolonunun orta kısmında oluştu. 74 nolu çatlak, S102 kolonunun sol kısmında, temelin üstünden 44 cm yukarıda oluştu. 75 nolu çatlak, S202 kolonunun sol kısmında, K101 kirişinin üst yüzünden 38 cm yukarıda oluştu. S101 kolonu ile temel birleşimi çatlak genişliği 2.5 cm oldu. 42 nolu çatlak ilerledi. 46 nolu çatlak çatallandı.
+12	+60.42	+53.94	76 nolu çatlak, S202 kolonu ile K201 kirişi düğüm noktasında oluştu. 77 nolu çatlak, S101 kolonunun dış yüzünde, temelin üstünden 10 cm yukarıda oluştu. 78 nolu çatlak, S101 kolonunun dış yüzünde, temelin üstünden 3 cm yukarıda oluştu. 79 nolu çatlak, S102 kolonunda, temelin üstünden 15 cm yukarıda oluştu ve 67 nolu çatlakla birleşti. 80 nolu çatlak, S202 kolonu ile K101 kirişi düğüm noktasında oluştu. 56 nolu çatlak ilerledi. 70 ile 75 nolu çatlaklar birleşti.
-12	-59.49	-54.55	81 nolu çatlak, S101 kolonunda oluştu ve 78 nolu çatlak ile birleşti. S101 kolonu ile temel arasında 4 mm ayrılma oluştu. Çatlak genişliği 2 mm'ye ulaştı. 82 ve 83 nolu çatlaklar, S201 kolonu ile K202 kirişi düğüm noktasında oluştu. 84 nolu çatlak, S101 kolonunun üst kısmında, temelin üstünden 68 cm yukarıda oluştu. 85 nolu çatlak, S102 kolonunda, kolon temel birleşiminde oluştu.

4 nolu deneyde, numuneye %3 deplasmana ulaşınca kadar depreme benzeştirilmiş tersinir tekrarlanır yük uygulanmış ve hasar oluşturulmuştur. Numunede

ileri çevrimde maksimum tepe deplasman değeri 53.94 mm olup maksimum tepe deplasmanına karşılık gelen yatay yük ise 60.42 kN olarak ölçülmüştür.

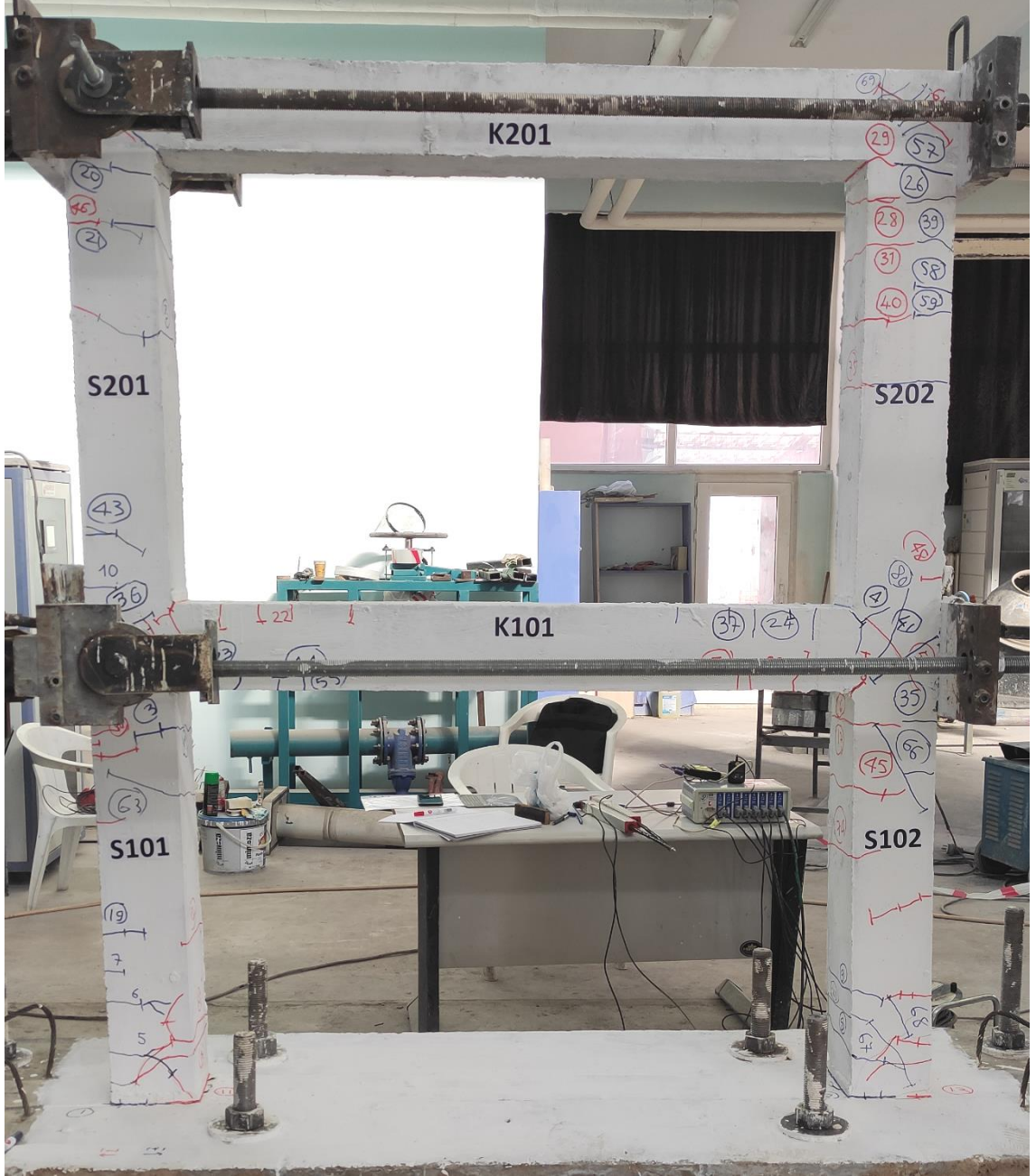
Geri çevrimde ise maksimum tepe deplasman değeri -54.55 mm, bu deplasman değerine karşılık gelen yatay yük -59.49 kN olarak ölçülmüştür. Yapılan 3 nolu deney kapsamında ileri çevrimde 53.94 mm, geri çevrimde ise -54.55 mm deplasman değerlerine kadar yükleme yapılmış olup geri 12. çevrim sonunda numune % 3 deplasman seviyesine karşılık gelen 54 mm değerini geçtiğinden deney sonlandırılmıştır.

4 nolu deney numunesinin akma anındaki görünümü Şekil 4.53’de verilmiştir.

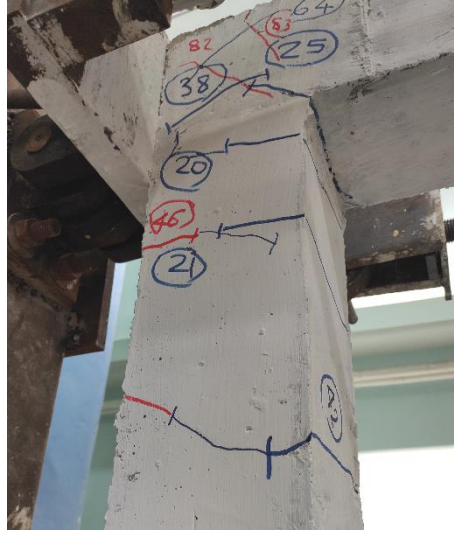


Şekil 4.53. 4 nolu deney numunesinin akma anındaki görünümü

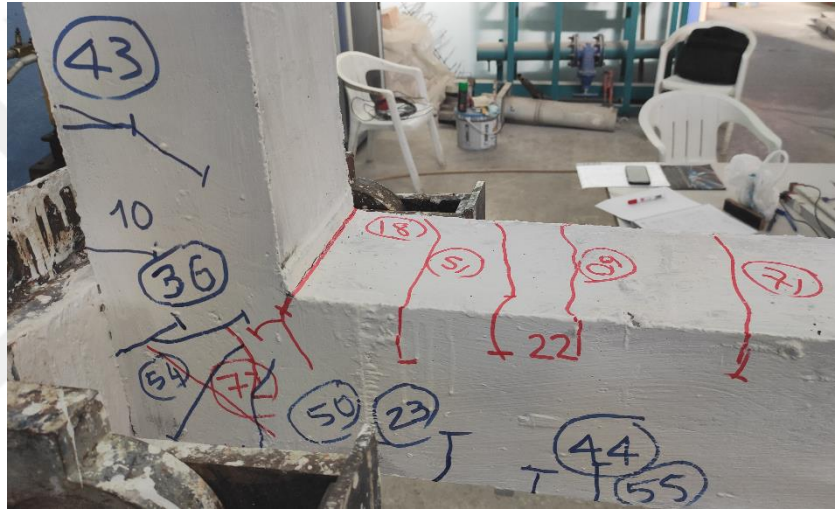
%3 deplasmana karşılık gelen 54 mm deplasmana kadar depreme benzeştirilmiş tersinir tekrarlanır yük uygulamak suretiyle hasar oluşturulan numunenin deney sonrasındaki görünümü Şekil 4.54’de, oluşan hasarlar ise Şekil 4.55’de verilmiştir.



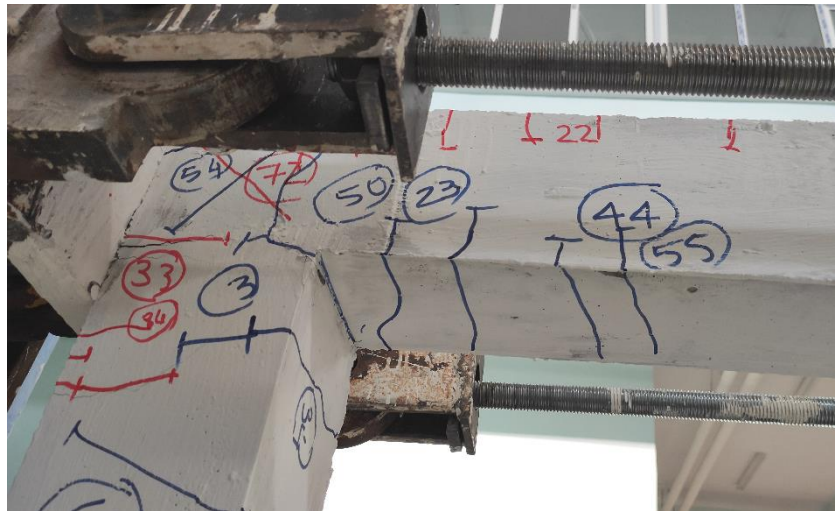
Şekil 4.54. 4 nolu deney numunesinin deney sonrasındaki görünümü



(a)



(b)

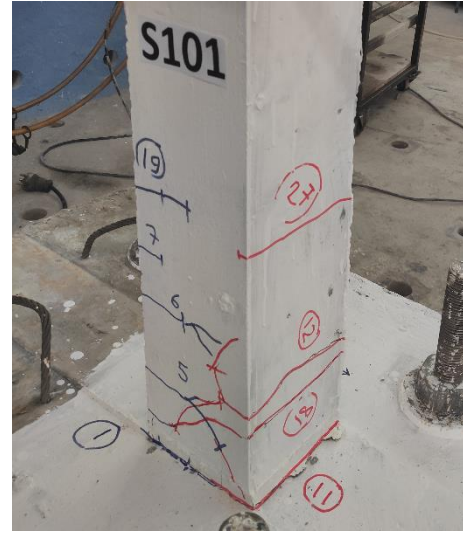


(c)

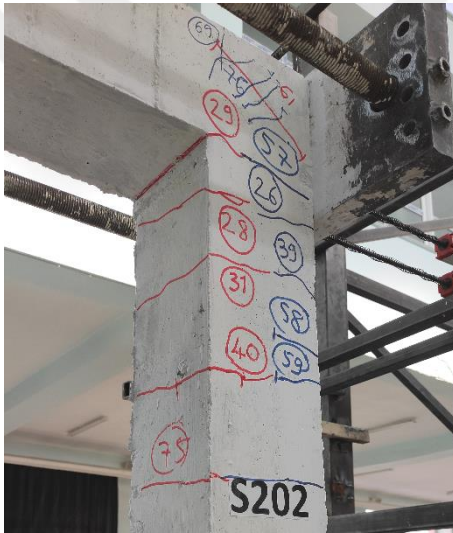
Şekil 4.55. 4 nolu deney numunesinde deney sonrasında oluşan hasarlar: (a) S201- K201 (b) S201- K101
 (c) S101- K101 (d) S101-temel (e) S101-temel (f) S202- K201 (g) S202- K201 (h) S202- K101
 (i) S102- K101 (i) S102-temel (j) S102-temel



(d)



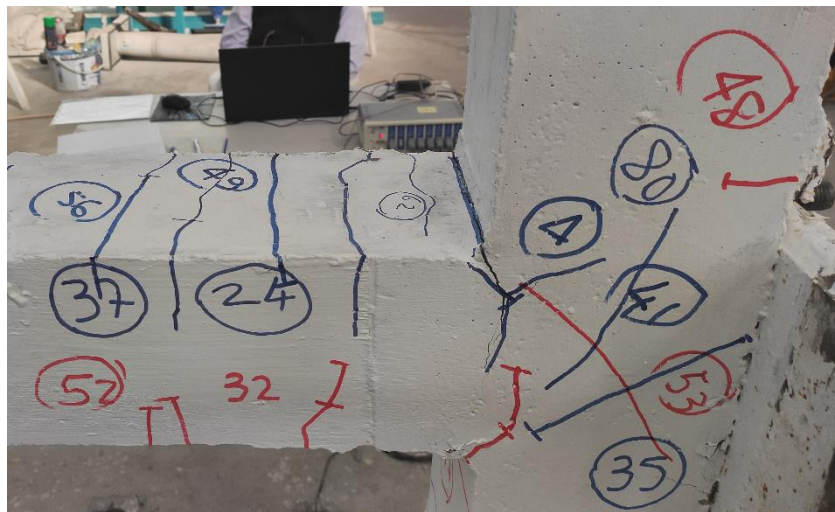
(e)



(f)

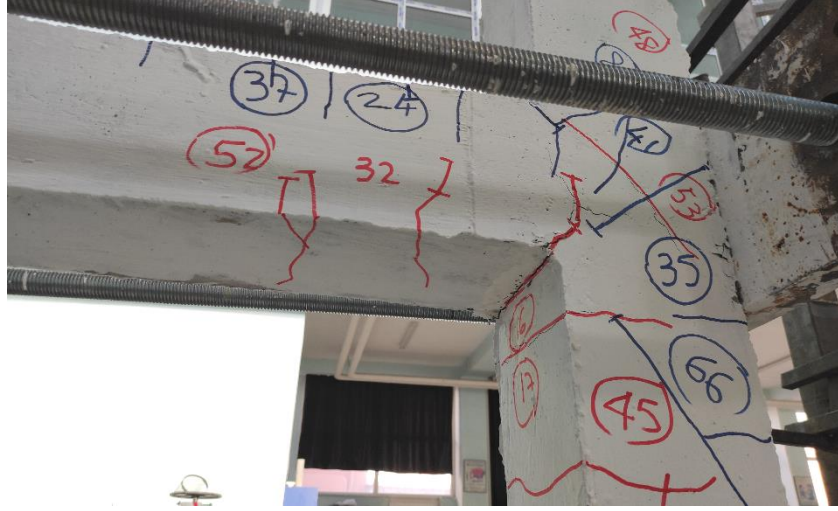


(g)

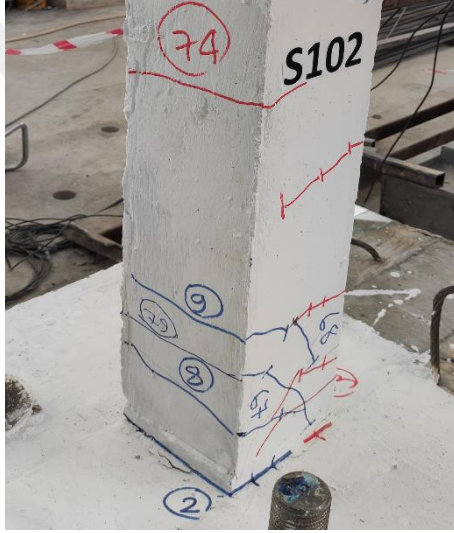


(h)

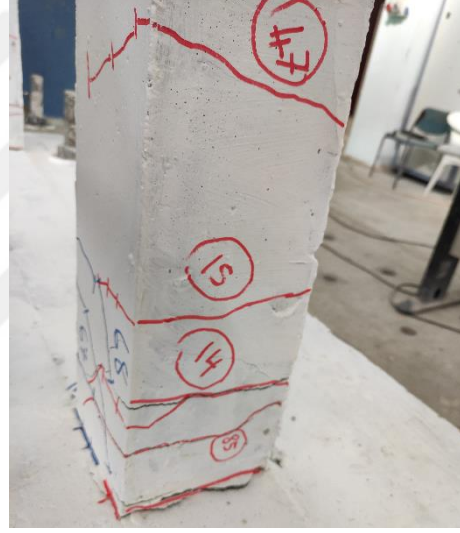
Şekil 4.55. (Devamı)



(i)



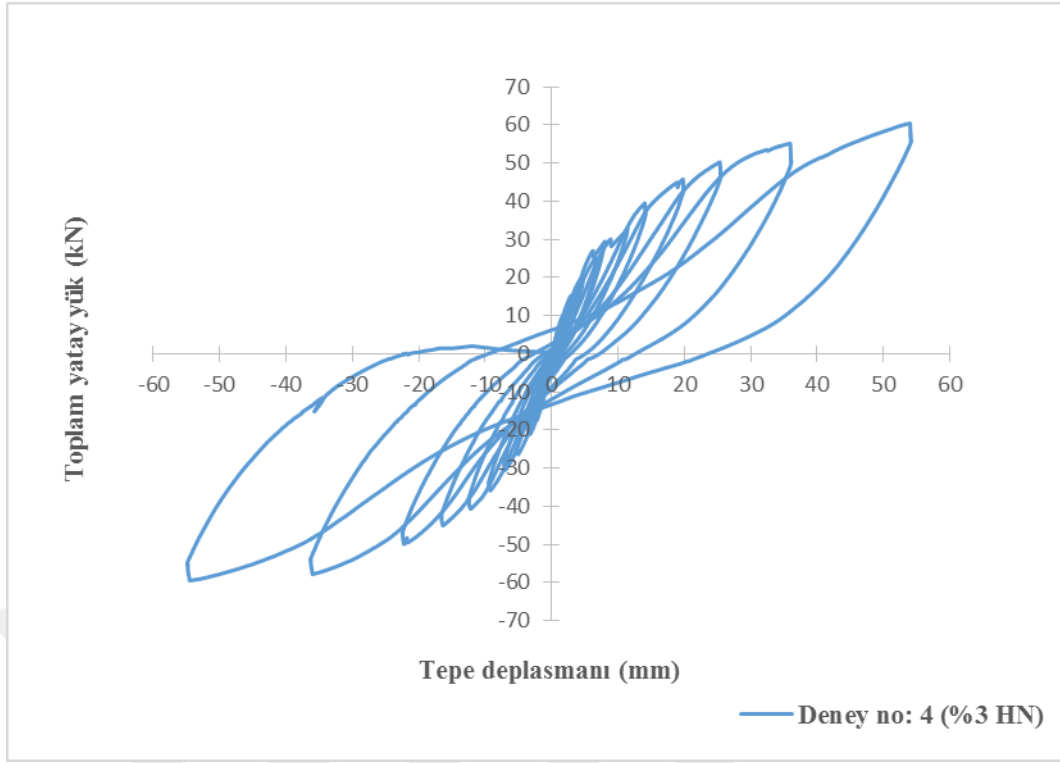
(i)



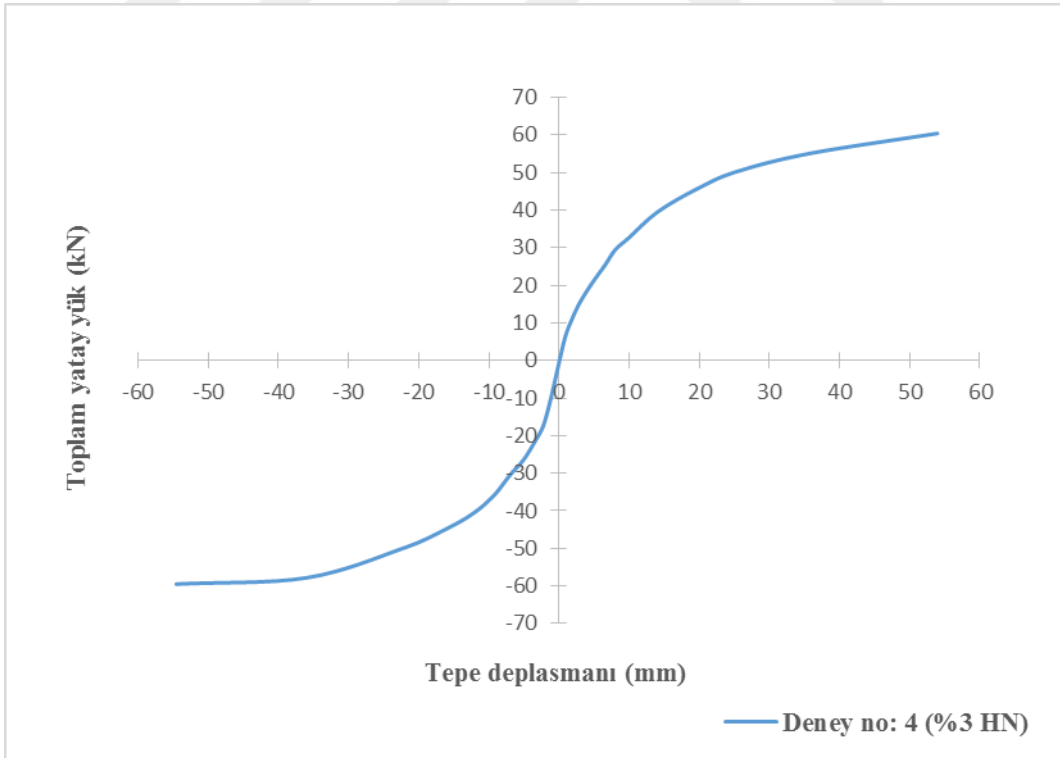
(i)

Şekil 4.55. (Devamı)

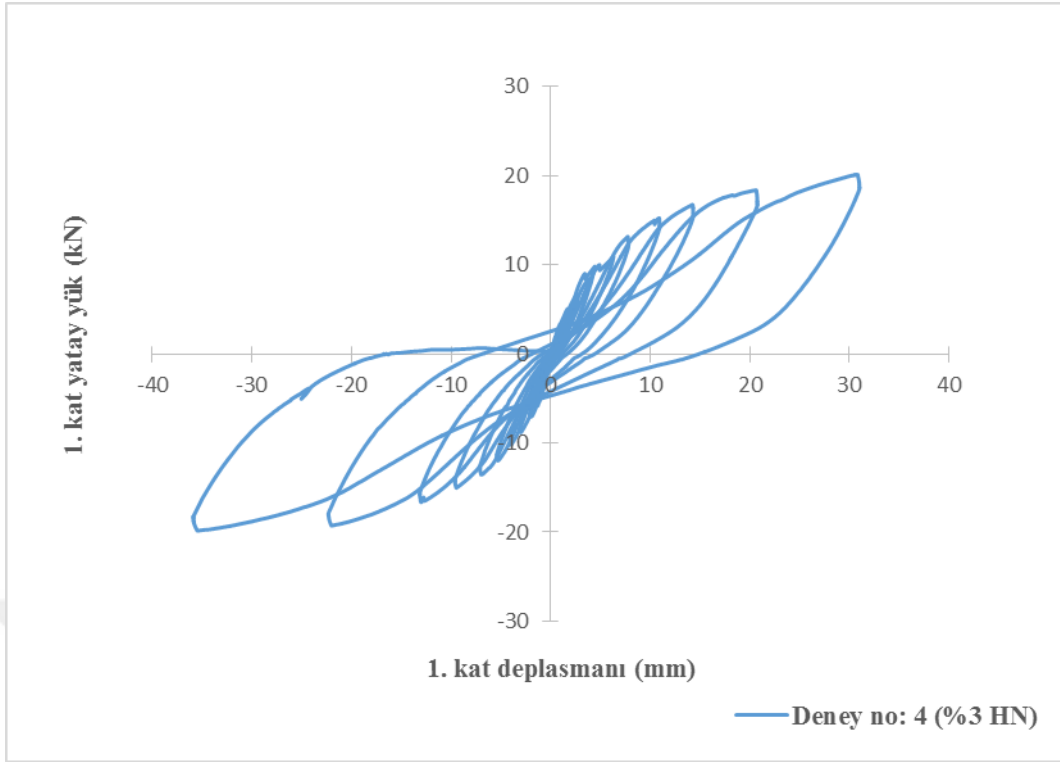
Deney sonrasındaki verilere göre oluşturulan toplam yatay yük-tepe deplasmanı grafiği (Histerezis eğrisi) Şekil 4.56'da, toplam yatay yük-tepe deplasmanı grafiği (Zarf eğrisi) Şekil 4.57'de, 1. kat yatay yük-1. kat deplasmanı grafiği (Histerezis eğrisi) Şekil 4.58'de, 1. kat yatay yük-1. kat deplasmanı grafiği (Zarf eğrisi) Şekil 4.59'da, 1. kata gelen yatay yük-1. kat ötelenme oranı grafiği Şekil 4.60'da, sistem rijitlik azalım grafiği Şekil 4.61'de, kümülatif toplam enerji tüketimi grafiği Şekil 4.62'de verilmiştir.



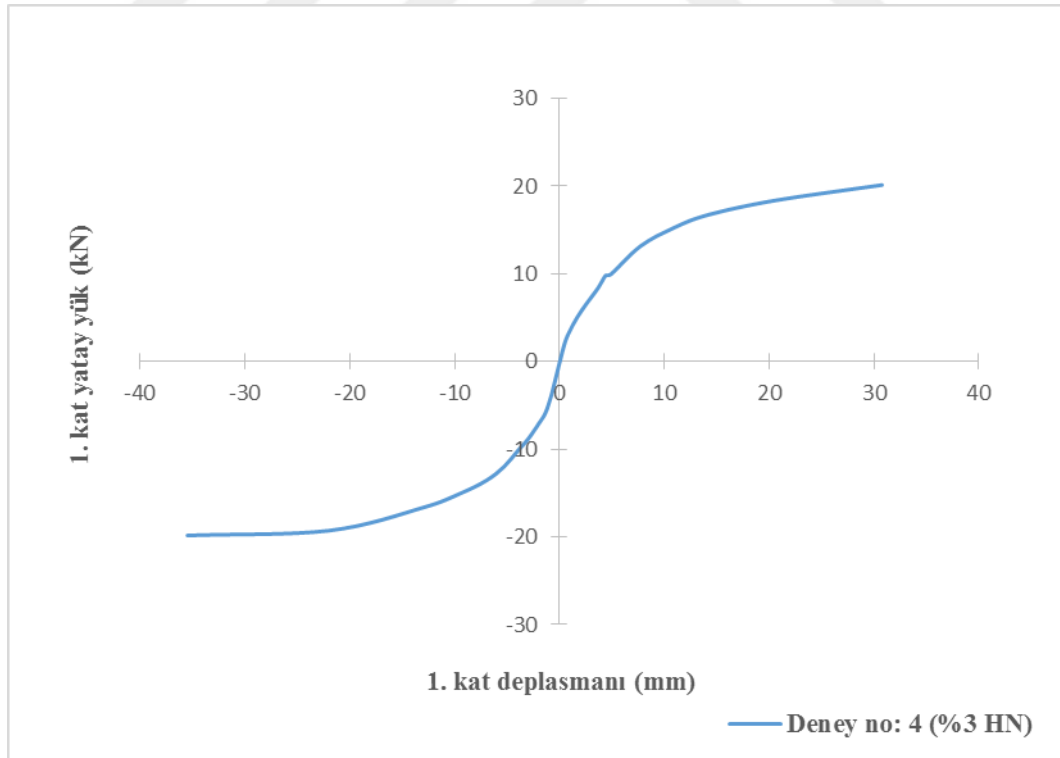
Şekil 4.56. 4 nolu deney numunesinin histerezis eğrisi



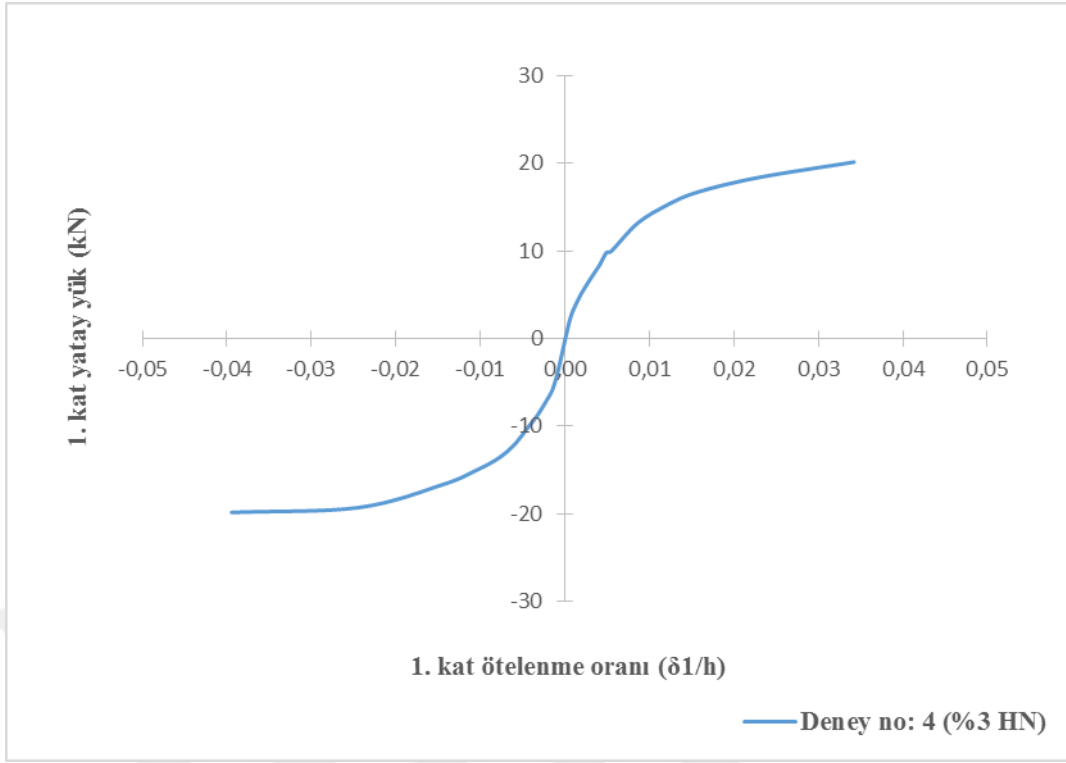
Şekil 4.57. 4 nolu deney numunesinin zarf eğrisi



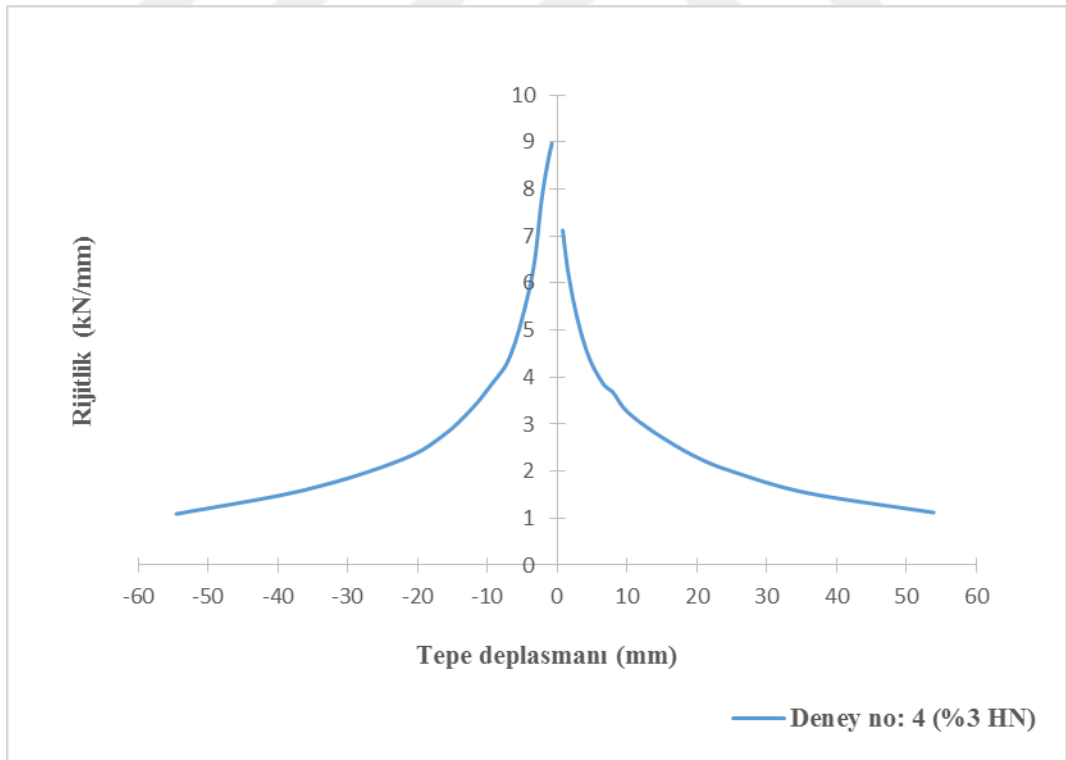
Şekil 4.58. 4 nolu deney numunesinin 1. kat histerezis eğrisi



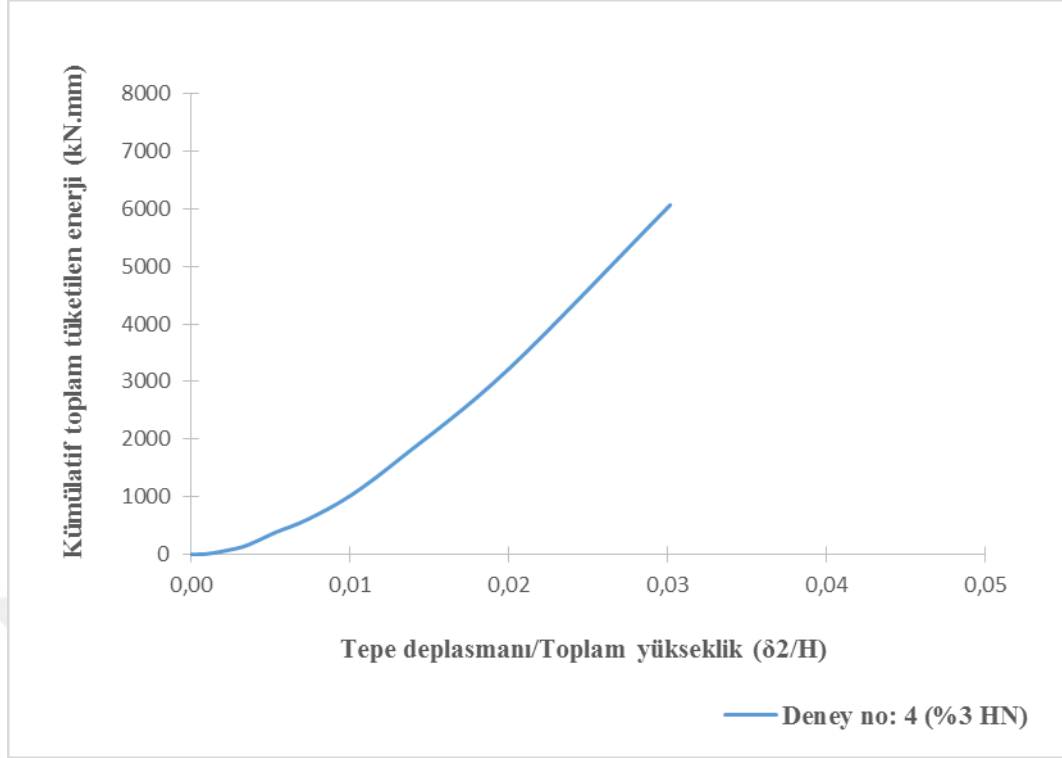
Şekil 4.59. 4 nolu deney numunesinin 1. kat zarf eğrisi



Şekil 4.60. 4 nolu deney numunesinin 1. kat yatay yük-ötelenme oranı grafiği



Şekil 4.61. 4 nolu deney numunesinin rijitlik azalım grafiği



Şekil 4.62. 4 nolu deney numunesinin kümülatif toplam tüketilen enerji-tepe deplasmanı/toplam yükseklik grafiği

4 nolu deney kapsamında, deneydeki her bir çevrimin pozitif ve negatif adımlarındaki maksimum yüklerin, bu yüklere karşılık gelen tepe deplasmanına bölünmesiyle bulunan rijitlik değerleri ile rijitlik azalım grafiği çizilmiştir. Rijitlik azalım grafiği, ileri ve geri çevrimler olmak üzere oluşturulmuş ve tek grafik üzerinde gösterilmiştir.

Ayrıca, ileri ve geri çevrimler olmak üzere, toplam yatay yük-tepe deplasmanı değerlerine göre oluşturulan histerezis eğrileri içerisinde kalan alanların toplanmasıyla numunenin kümülatif toplam tüketilen enerji grafiği çizilmiştir.

Ancak numuneye göçme seviyesi olan %4 deplasmana kadar değil de %3 deplasman değerine karşılık gelen 54 mm'ye kadar yükleme yapıldığından, süneklik değerlendirmesi grafiği çizilmemiştir.

4.5. 5 Nolu Deney (%1 ON)

1 nolu deney kapsamında; referans betonarme çerçeve, tersinir tekrarlanır yatay yükler altında göçme seviyesine kadar test edilmiş, 2, 3 ve 4 nolu deneylerde ise numunelere sırasıyla %1, %2 ve %3 deplasmana ulaşınca kadar tersinir tekrarlanır yatay yük uygulanmış ve bu şekilde geometrik boyutları, donatı detayları ve beton sınıfı aynı olan çerçevelerin farklı hasar düzeylerine sahip olması sağlanmıştır. Bu deneyde ise %1 deplasmana kadar depreme benzeştirilmiş tersinir tekrarlanır yük uygulanıp hasar oluşturulan 2 nolu deney numunesi, üretilen 1 cm kalınlığındaki ECC panellerin yapıştırılması ile onarılmış ve sonrasında göçme seviyesine kadar test edilmiştir. Üretilen paneller ile onarılmış olan 5 nolu deney numunesinin deneyden önceki görünümü Şekil 4.63’de verilmiştir.



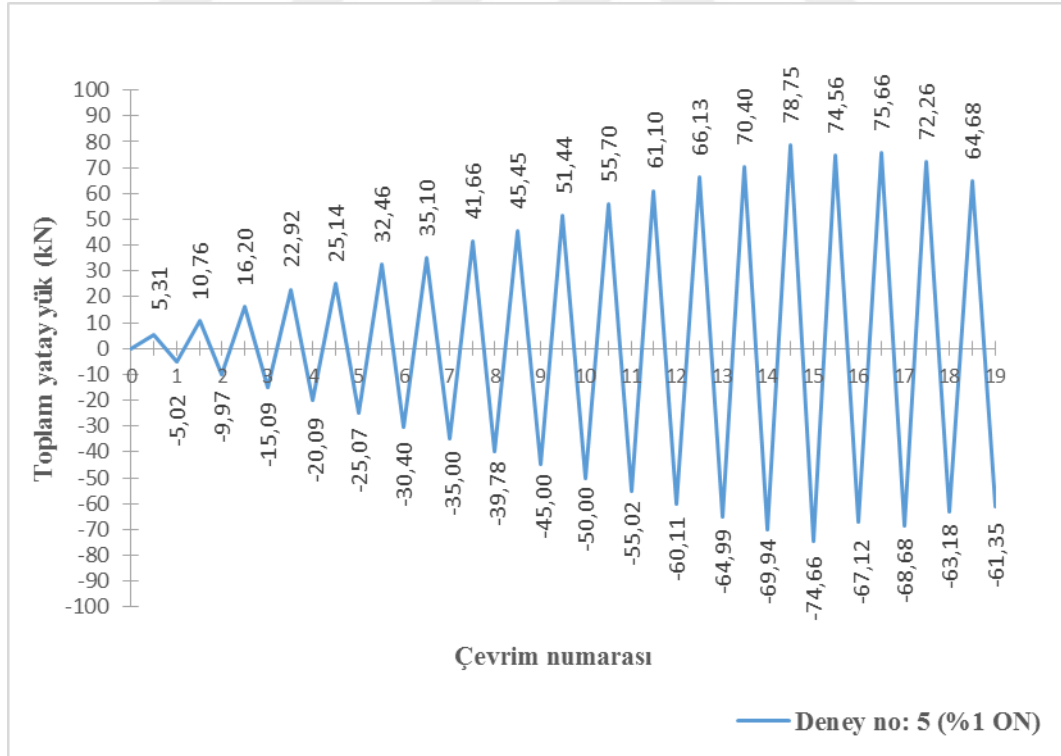
Şekil 4.63. 5 nolu deney numunesinin deneyden önceki görünümü

Deneye öncelikle yük kontrollü olarak başlanmış, betonarme sistemin akma yükünden sonra deplasman kontrollü olarak göçme seviyesine kadar devam edilmiştir. Akma yükü; deney esnasında, yük-deplasman eğrisinin hatırı sayılır oranda değiştiği an olarak gözlemlenmiştir.

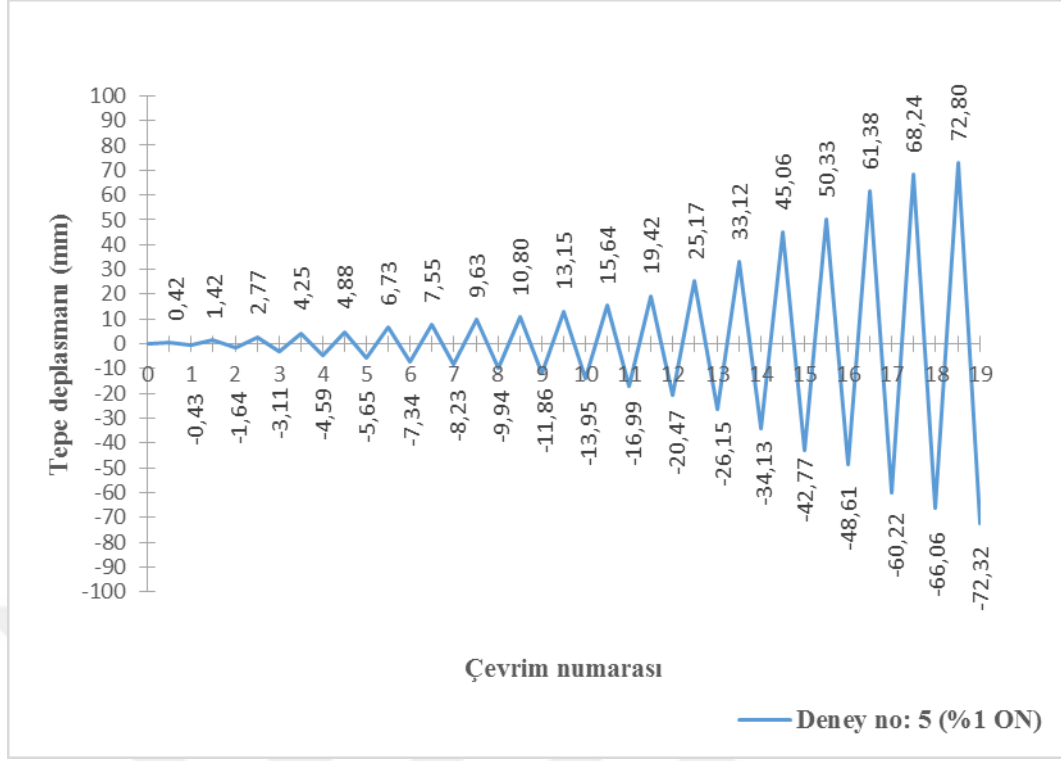
Deney numunesi alt kata 1 birim, üst kata ise 2 birim yük gelecek şekilde yüklenmiş olup yük artışları 5 kN'luk adımlarla, deplasman artışları ise 5 mm'lik adımlarla yapılmıştır. Deney numunesine ileri ve geri olmak üzere 19 yük çevrimi uygulanmıştır.

5 nolu deney numunesinin test edilmesinin amacı, onarılan hasarlı betonarme çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesinin, sünekliğinin, rijitliğinin, enerji tüketme kapasitesinin ve deprem davranışının tespit edilmesi olup ayrıca, referans numune ile kıyaslanarak onarımın betonarme çerçevenin performansına etkisinin belirlenmesini sağlamaktır.

5 nolu deney numunesinin yükleme geçmişi, toplam yatay yük ve ölçülen tepe deplasmanına göre Şekil 4.64 ve Şekil 4.65'de verilmiştir.



Şekil 4.64. 5 nolu deney numunesine ait yük geçmişi



Şekil 4.65. 5 nolu deney numunesine ait deplasman geçmişi

5 nolu deney numunesinde ilk çatlak S201 kolonu ile K101 kirişi birleşiminde, 2 nolu çatlak S102 kolonu ile K101 kirişi birleşiminde, 3 nolu çatlak S202 kolonu ile K201 kirişi birleşiminde, 4 nolu çatlak K101 kirişinin sol üst kısmında ve kolon yüzünden 24 cm uzaklıkta, 5 nolu çatlak S202 kolonu ile K101 kirişi birleşiminde ve 6 nolu çatlak ise S201 kolonu ile K201 kirişi birleşiminde oluşmuştur.

Kirişte meydana gelen 4 nolu çatlağın dışındaki ilk 6 çatlak; kolon kiriş birleşimlerinde, panelleri yapıştırmada kullanılan yapıştırma harcının üzerinde oluşmuş olup paneller üzerinde herhangi bir hasar oluşmamıştır. K101 kirişinin sol üst kısmında ve kolon yüzünden 24 cm uzaklıkta oluşan 4 nolu çatlağın genişliği ise 0.03 mm olarak ölçülmüştür.

İlk 4 çatlak, geri 8. çevrimde meydana gelmiş olup bu çevrimdeki yük değeri 39,78 kN ve tepe deplasmanı ise 9,94 mm olarak ölçülmüştür. 5 ve 6 nolu çatlaklar ise ileri 9. çevrimde meydana gelmiş olup bu çevrimdeki yük değeri 45,45 kN ve tepe deplasmanı ise 10,80 mm'dir.

Deney sırasında 8. ve 9. çevrimde oluşan ilk çatlaklar Şekil 4.66'da gösterilmiştir.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Şekil 4.66. 5 nolu deney numunesinde oluşan ilk çatlaklar: (a) S201- K101 (b) S102- K101 (c) S202- K201 (d) K101 (e) S202- K101 (f) S201- K201

%1 deplasman seviyesine kadar yük uygulanarak hasar oluşturulan çerçevenin onarılıp test edildiği 5 nolu deneyde, ileri ve geri çevrimler olmak üzere her bir yükleme çevrimi, yatay yük ile ölçülen tepe deplasman değeri ve gözlenen davranışlar Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6. 5 nolu deney numunesinde her çevrimde gözlenen davranış

Çevrim no	Yatay yük (kN)	Tepe deplasmanı (mm)	Gözlenen davranış
+1	5.31	+0.42	-
-1	-5.02	-0.43	-
+2	10.76	+1.42	-
-2	-9.97	-1.64	-
+3	+16.20	+2.77	-
-3	-15.09	-3.11	-
+4	+22.92	+4.25	-
-4	-20.09	-4.59	-
+5	+25.14	+4.88	-
-5	-25.07	-5.65	-
+6	+32.46	+6.73	-
-6	-30.40	-7.34	-
+7	+35.10	+7.55	-
-7	-35.00	-8.23	-
+8	+41.66	+9.63	-
-8	-39.78	-9.94	1 nolu çatlak, S201 kolonu ile K101 kirişi birleşiminde yapıştırma harcında oluştu. 2 nolu çatlak, S102 kolonu ile K101 kirişi birleşiminde yapıştırma harcında oluştu. 3 nolu çatlak, S202 kolonu ile K201 kirişi birleşiminde yapıştırma harcında oluştu. 4 nolu çatlak, K101 kirişinin sol üst kısmında ve kolon yüzünden 24 cm uzaklıkta oluştu.
+9	+45.45	+10.80	5 nolu çatlak, S202 kolonu ile K101 kirişi birleşiminde yapıştırma harcında oluştu. 6 nolu çatlak, S201 kolonu ile K202 kirişi birleşiminde yapıştırma harcında oluştu. 7 nolu çatlak, S101 kolonu ile K101 kirişi birleşiminde yapıştırma harcında oluştu.
-9	-45.00	-11.86	8 nolu çatlak, S102 kolonu ile temel birleşiminde yapıştırma harcında oluştu. 9 nolu çatlak, S101 kolonu iç yüzü ile temel

birleşiminde yapıştırma harcında oluştu.			
+10	+51.44	+13.15	-
-10	-50.00	-13.95	-
+11	+55.70	+15.64	-
-11	-55.02	-16.99	-
+12	+61.10	+19.42	Akma başladı. 10 nolu çatlak, S201 kolonunun alt kısmında oluştu. 11 nolu çatlak, K101 kirişinin sağ üst kısmında, kolon yüzünden 14 cm uzaklıkta oluştu. 12 nolu çatlak, K101 kirişinin sağ üst kısmında, kolon yüzünden 7.5 cm uzaklıkta oluştu. 13 nolu çatlak, K101 kirişinin sağ üst kısmında, kolon yüzünden 30.5 cm uzaklıkta oluştu. 14 nolu çatlak, K101 kirişinin sağ üst kısmında, kolon yüzünden 24 cm uzaklıkta oluştu. 15 nolu çatlak, K101 kirişinin sağ üst kısmında, kolon yüzünden 17.5 cm uzaklıkta oluştu. 5, 6 ve 7 nolu çatlaklar uzadı.
-12	-60.11	-20.47	16 nolu çatlak, S102 kolonunun üst kısmında oluştu. 17 nolu çatlak, K201 kirişinin sağ alt kısmında, kolon yüzünden 7.5 cm uzaklıkta oluştu. 18 nolu çatlak, K101 kirişinin sol üst kısmında, kirişin üst yüzünde, kolon yüzünden 14 cm uzaklıkta oluştu. 19 nolu çatlak, S101 kolonunun sol yüzünde temel ile birleşiminde oluştu. 20 nolu çatlak, S102 kolonunun sol alt kısmı ile temel birleşiminde oluştu. 2 nolu çatlak ilerledi.
+13	+66.13	+25.17	21 nolu çatlak, S101 kolonu ile K101 kirişi birleşiminde, kirişin alt yüzünde oluştu. 22 nolu çatlak, S101 kolonunun iç yüzünde, temelin üstünden 62 cm yukarıda oluştu. 23 nolu çatlak, S102 kolonunun iç yüzünde, temelin üstünden 20 cm yukarıda oluştu. 24 nolu çatlak, S102 kolonunun iç yüzünde, temelin üstünden 40 cm yukarıda oluştu. 25 nolu çatlak, S101 kolonunun iç yüzünde, 22 nolu çatlağın sağ üst kısmında oluştu. 5 nolu çatlak uzadı.
-13	-64.99	-26.15	26 nolu çatlak, S202 kolonunun sol üst kısmında oluştu. 27 nolu çatlak, S101 kolonunun sol üst kısmında, temelin üstünden 71 cm yukarıda oluştu. 28 nolu çatlak, K201 kirişinin sol kısmında, kolon yüzünden 6 cm uzaklıkta oluştu. 1, 2 ve 9 nolu çatlaklar ilerledi. 8 nolu çatlak ilerledi ve çatallandı. S101 kolonu ile temel birleşiminde çatlak genişliği arttı.
+14	+70.40	+33.12	19 ve 20 nolu çatlaklar genişledi. 21 ve 27 nolu çatlaklar ilerledi.

-14	-69.94	-34.13	29 nolu çatlak, S101 kolonunun iç yüzünde, temel üstünden 17 cm yukarıda oluştu. 30 nolu çatlak, S201 kolonunun iç kısmında, K101 kirişinin üst yüzünden 19 cm yukarıda oluştu. 31 nolu çatlak, K101 kirişinin sol üst kısmında oluştu. 32 nolu çatlak, K101 kirişinin alt yüzünün, orta kısmında oluştu. 33 nolu çatlak, S102 kolonu iç yüzü ile K101 kirişi iç yüzü birleşiminde oluştu. 16 nolu çatlak ilerledi.
+15	+78.75	+45.06	34 nolu çatlak, S101 kolonunun sol üst kısmında, temel üstünden 62 cm yukarıda oluştu. 35 nolu çatlak, S101 kolonunun dış yüzünde, temel üstünden 19 cm yukarıda oluştu. 36 nolu çatlak, S102 kolonunun sağ üst kısmında, temel üstünden 68 cm yukarıda oluştu. 19 ve 20 nolu çatlak genişlikleri arttı.
-15	-74.66	-42.77	37 nolu çatlak, S201 kolonu iç yüzü ile K101 kirişi üst yüzü birleşiminde oluştu 26 ve 27 nolu çatlaklar ilerledi.
+16	+74.56	+50.33	38 nolu çatlak, S201 kolonunun üst kısmında oluştu. Kolon tabanları temelden ayrılmaya başladı. Kolon kiriş birleşim bölgelerinde hasar meydana geldi.
-16	-67.12	-48.61	Kolon tabanları temelden ayrılmaya başladı. 1, 10 ve 37 nolu çatlaklar ilerledi. 2, 16 ve 27 nolu çatlaklar genişledi.
+17	+75.66	+61.38	39 nolu çatlak, S201 kolonunun iç kısmında, K101 kirişinin üst yüzünden 49 cm yukarıda oluştu. 40 nolu çatlak S202 kolonunun sağ üst kısmında oluştu. 6 ve 16 nolu çatlaklar ilerledi. 19 ve 20 nolu çatlaklar genişledi. 7 ve 31 nolu çatlaklar birleşti.
-17	-68.68	-60.22	-
+18	+72.26	+68.24	-
-18	-63.18	-66.06	-
+19	+64.68	+72.80	Çatlak genişlikleri arttı.
-19	-61.35	-72.32	Çatlak genişlikleri arttı.

5 nolu deneyde, ileri çevrimde maksimum tepe deplasman değeri 72.80 mm olup bu tepe deplasman değerine karşılık gelen yatay yük ise 64.68 kN olarak ölçülmüştür. Geri çevrimde ise maksimum tepe deplasman değeri -72.32 mm, maksimum tepe deplasman değerine karşılık gelen yatay yük -61.35 kN olarak ölçülmüştür.

Yapılan 5 nolu deney kapsamında ileri çevrimde 72.80 mm, geri çevrimde ise -72.32 mm deplasman değerlerine kadar yükleme yapılmış olup -19. çevrim sonunda numune %4 deplasman seviyesine karşılık gelen 72 mm değerini geçtiğinden deney sonlandırılmıştır.

5 nolu deney numunesinin akma anındaki görünümü Şekil 4.67’de verilmiştir.



Şekil 4.67. 5 nolu deney numunesinin akma anındaki görünümü

%1 deplasmana karşılık gelen 18 mm deplasmana kadar tersinir tekrarlanır yük uygulamak suretiyle hasar oluşturulup sonrasında ECC panel ile onarılan numunenin deney sonrasındaki görünümü Şekil 4.68’de, oluşan hasarlar ise Şekil 4.69’da verilmiştir.



Şekil 4.68. 5 nolu deney numunesinin deney sonrasındaki görünümü



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

Şekil 4.69. 5 nolu deney numunesinde deney sonrasında oluşan hasarlar: (a) S201- K201 (b) S201- K101 (c) S101- K101 (d) S101-temel (e) S101-temel (f) S202- K201 (g) S202- K101 (h) S102-temel (i) S102-temel



(f)



(g)



(h)

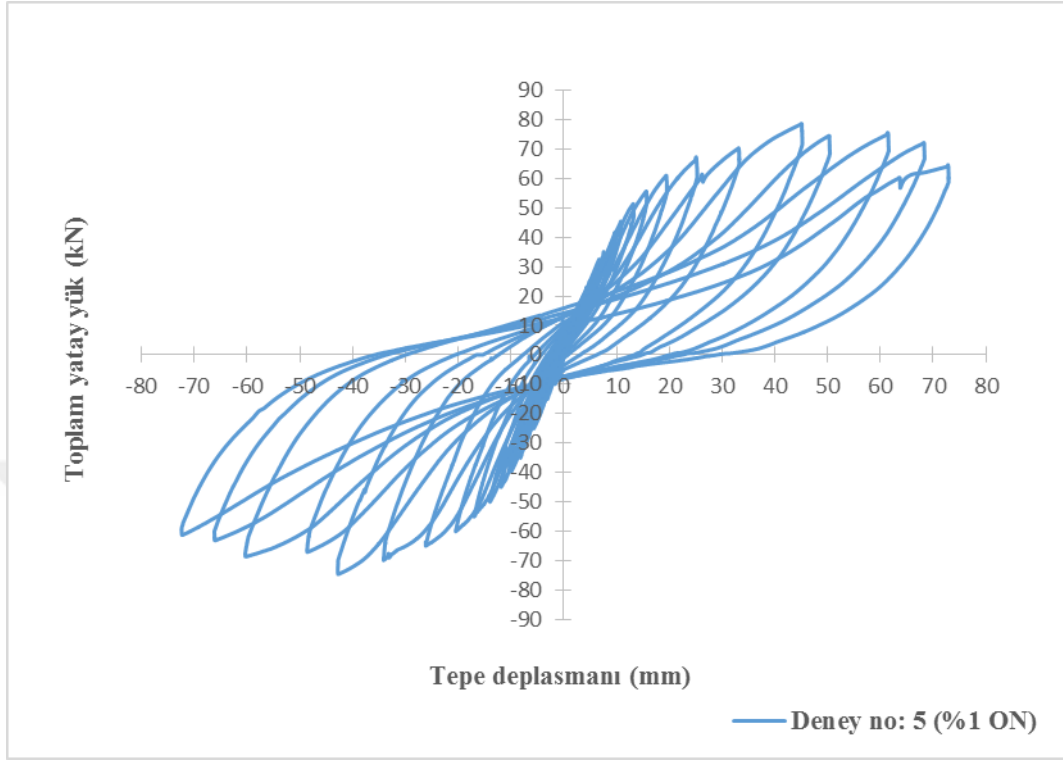


(i)

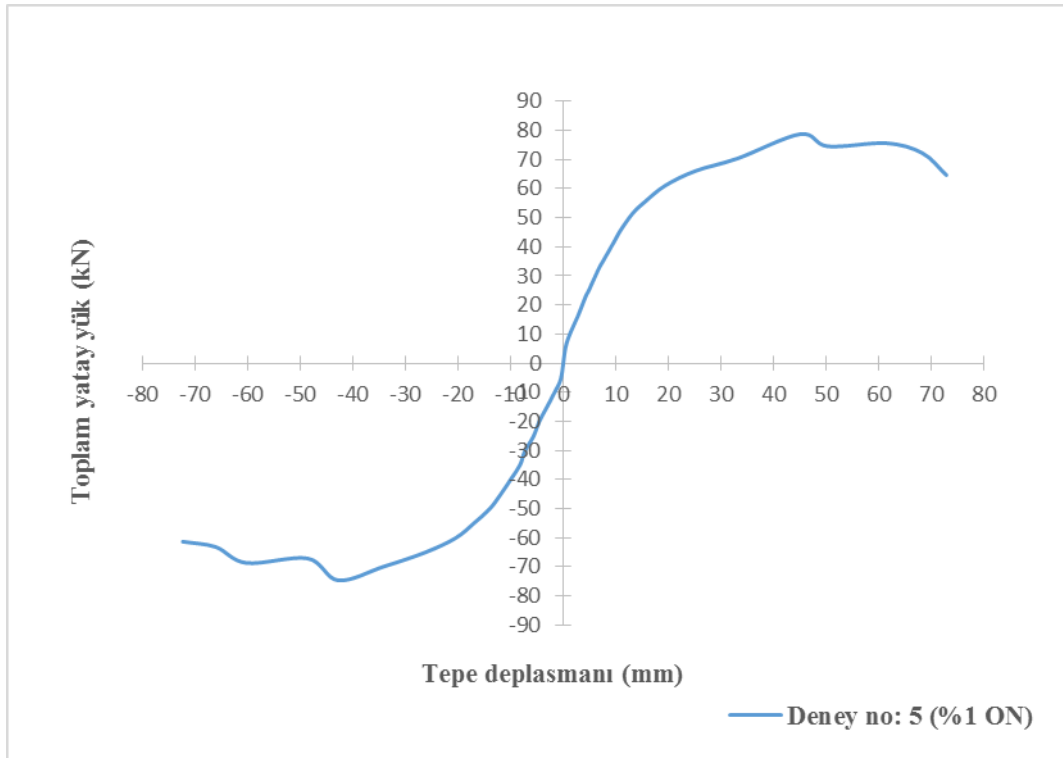
Şekil 4.69. (Devamı)

Toplam yatay yük-tepe deplasmanına göre oluşturulan histerezis eğrisi ile zarf eğrisi Şekil 4.70 ve Şekil 4.71’de, 1. kat yatay yük-1. kat deplasmanına göre oluşturulan histerezis eğrisi ile zarf eğrisi Şekil 4.72 ve Şekil 4.73’de, 1. kata gelen yatay yük-1. kat ötelenme oranı grafiği Şekil 4.74’de, sistem rijitlik azalım grafiği Şekil 4.75’de,

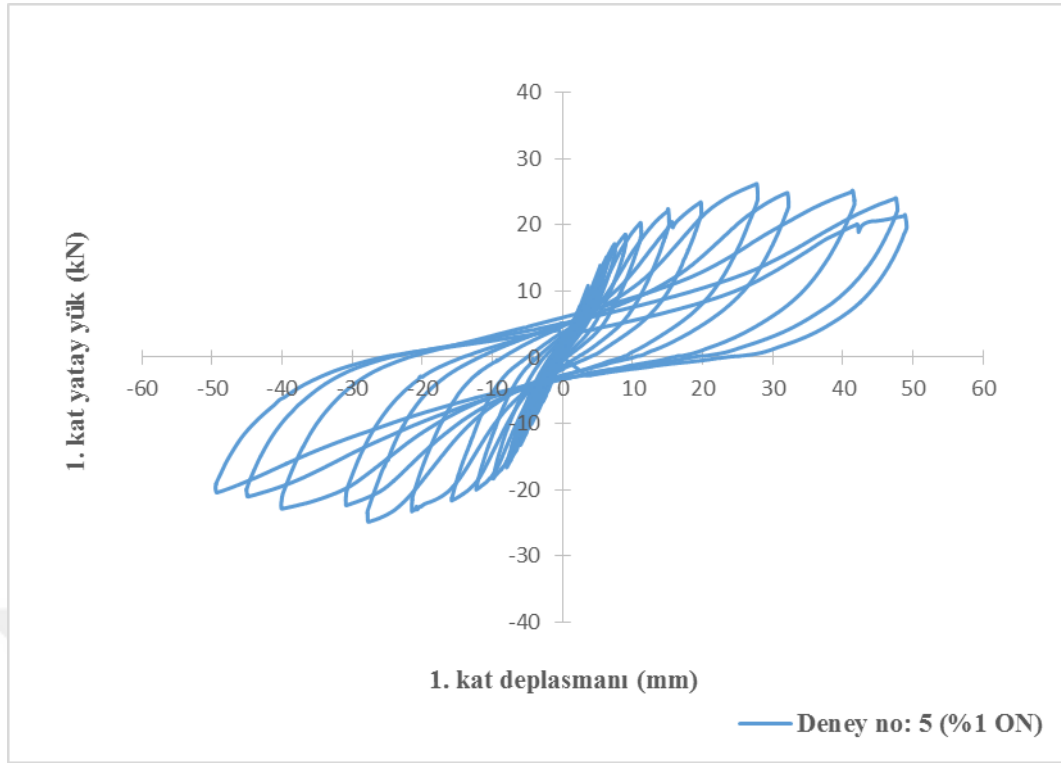
kümülatif toplam enerji tüketimi grafiği Şekil 4.76’da ve sistem süneklik değerlendirme grafiği Şekil 4.77’de verilmiştir.



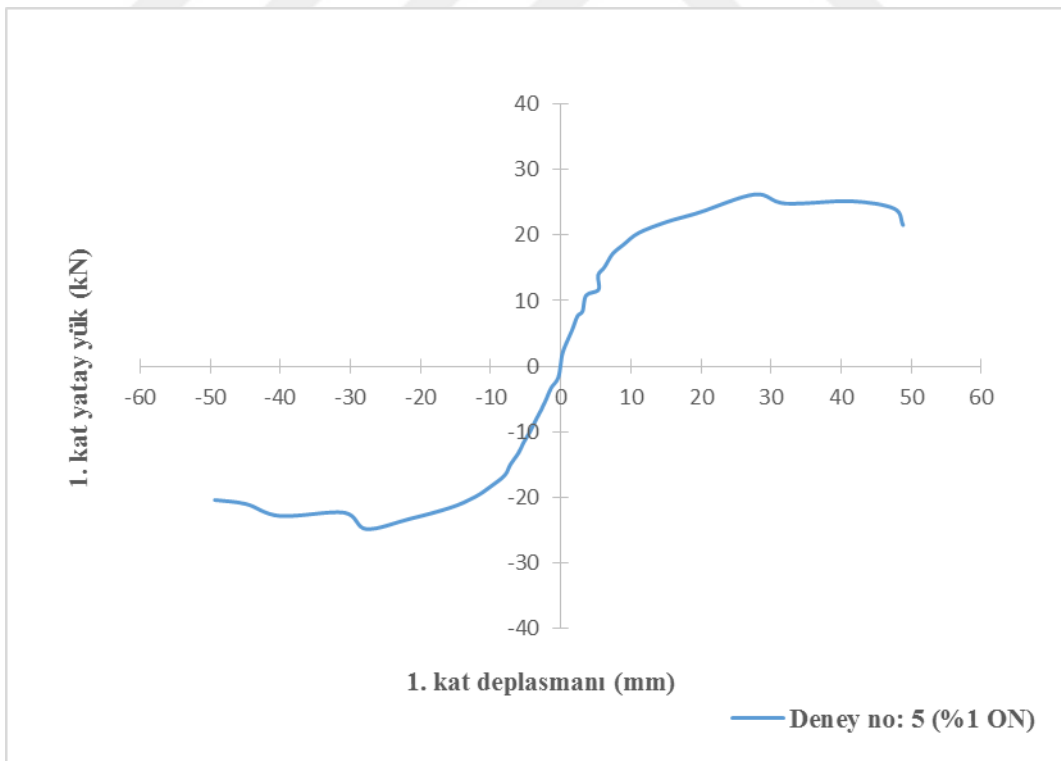
Şekil 4.70. 5 nolu deney numunesinin histerezis eğrisi



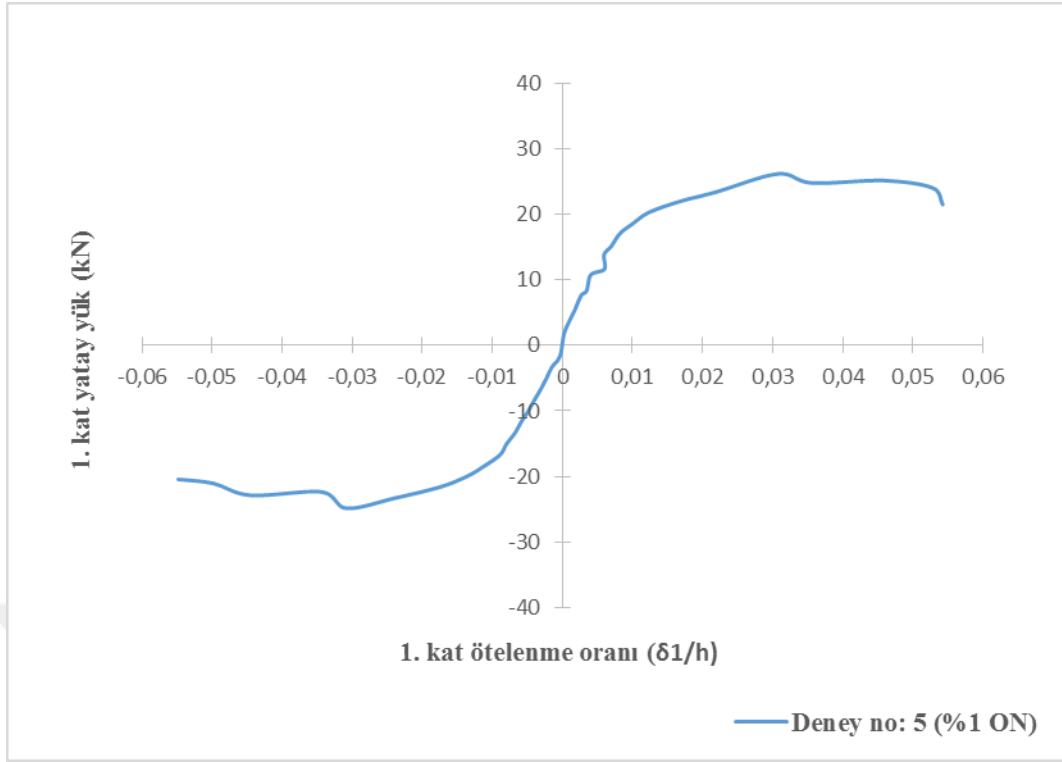
Şekil 4.71. 5 nolu deney numunesinin zarf eğrisi



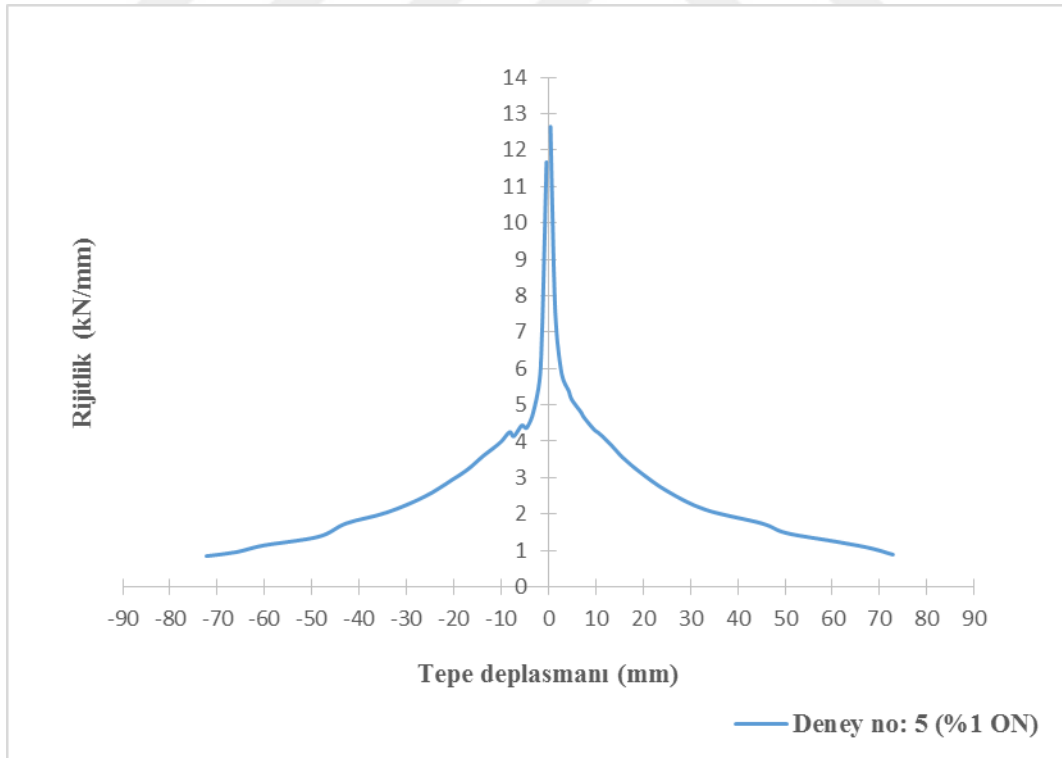
Şekil 4.72. 5 nolu deney numunesinin 1. kat histerezis eğrisi



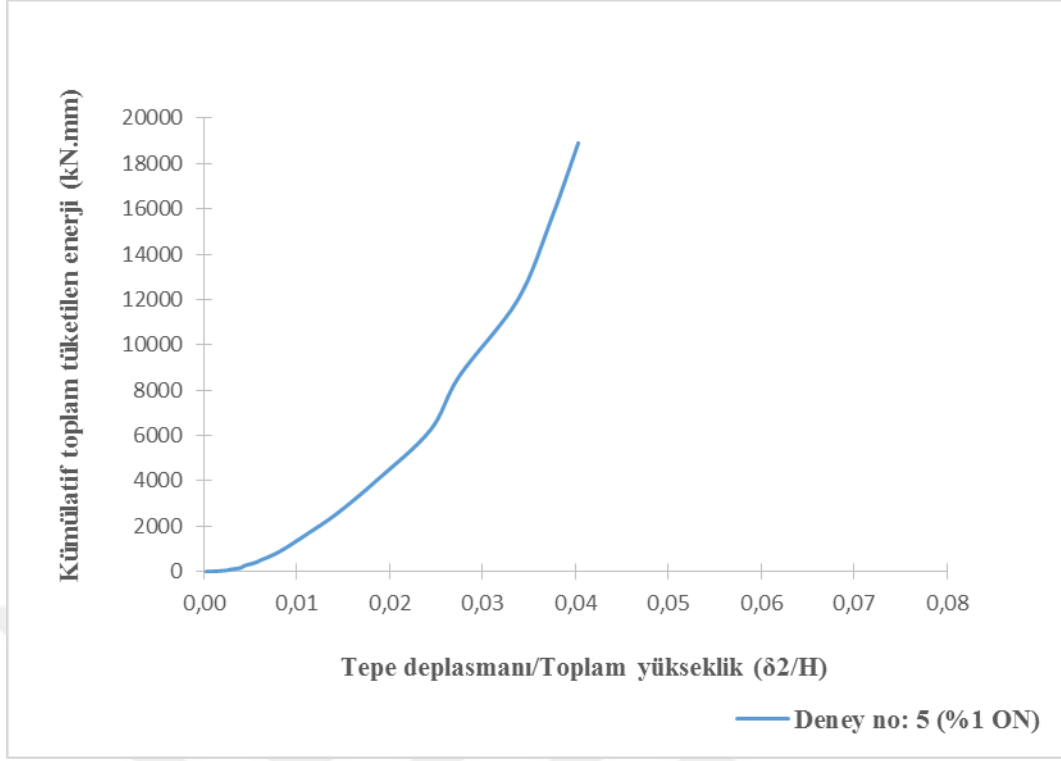
Şekil 4.73. 5 nolu deney numunesinin 1. kat zarf eğrisi



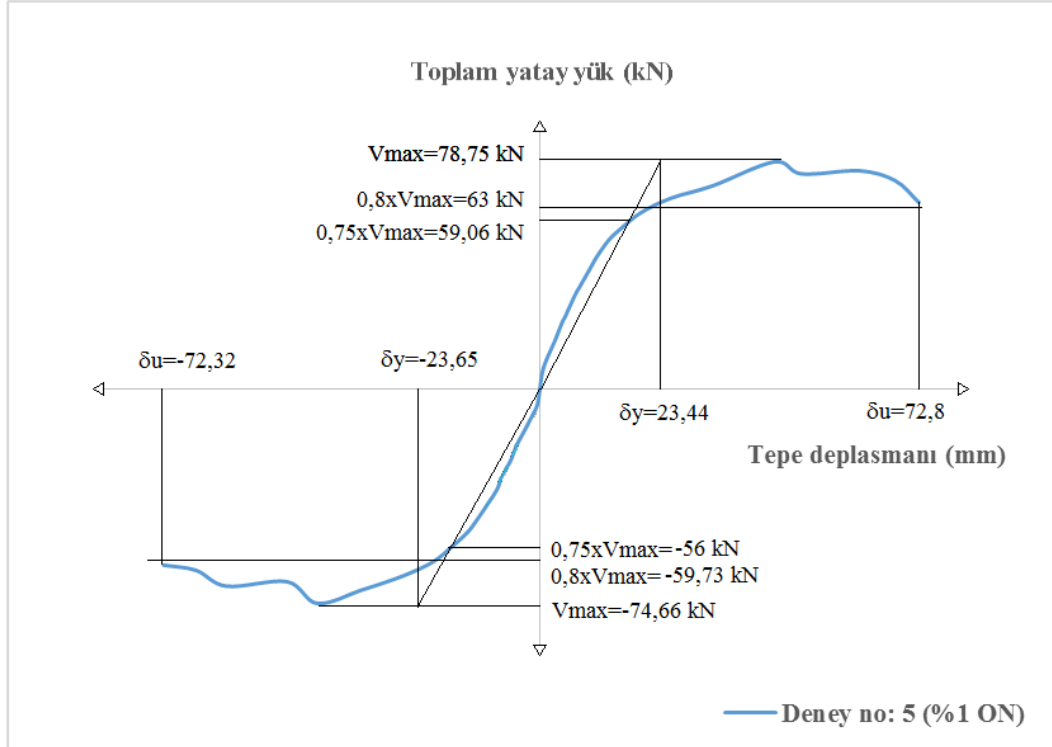
Şekil 4.74. 5 nolu deney numunesinin 1. kat yatay yük-ötelenme oranı grafiği



Şekil 4.75. 5 nolu deney numunesinin rijitlik azalım grafiği



Şekil 4.76. 5 nolu deney numunesinin kümülatif toplam tüketilen enerji-tepe deplasmanı/toplam yükseklik grafiği



Şekil 4.77. 5 nolu deney numunesinin süneklik değerlendirme grafiği

4.6. 6 Nolu Deney (%2 ON)

6 nolu deneyde, %2 deplasmana kadar depreme benzeştirilmiş tersinir tekrarlanır yük uygulanıp hasar oluşturulan 3 nolu deney numunesi, üretilen 1 cm kalınlığındaki ECC panellerin yapıştırılması ile onarılmış ve sonrasında göçme seviyesine kadar test edilmiştir.

Üretilen paneller ile onarılmış olan 6 nolu deney numunesinin deneyden önceki görünümü Şekil 4.78’de verilmiştir.



Şekil 4.78. 6 nolu deney numunesinin deneyden önceki görünümü

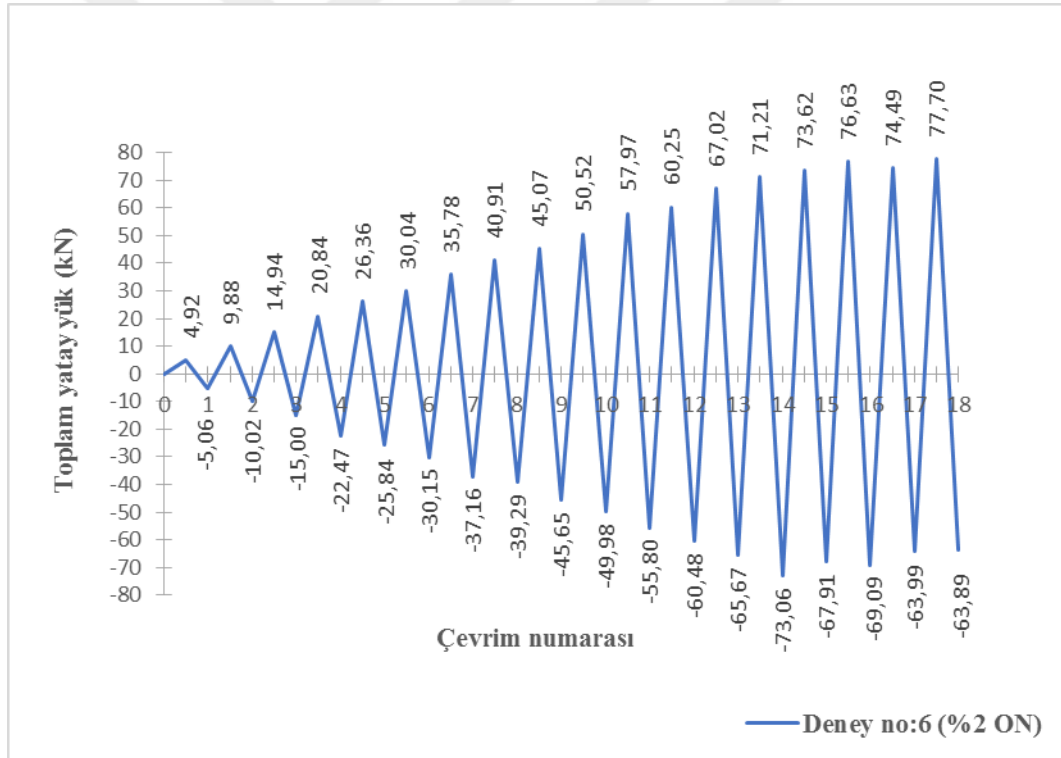
6 nolu deney numunesinin test edilmesinin amacı, onarılan hasarlı betonarme çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesinin, sünekliğinin, rijitliğinin, enerji tüketme kapasitesinin ve deprem davranışının tespit edilmesi olup ayrıca, referans numune ile

kıyaslanarak onarımın betonarme çerçevenin performansına etkisinin belirlenmesini sağlamaktır.

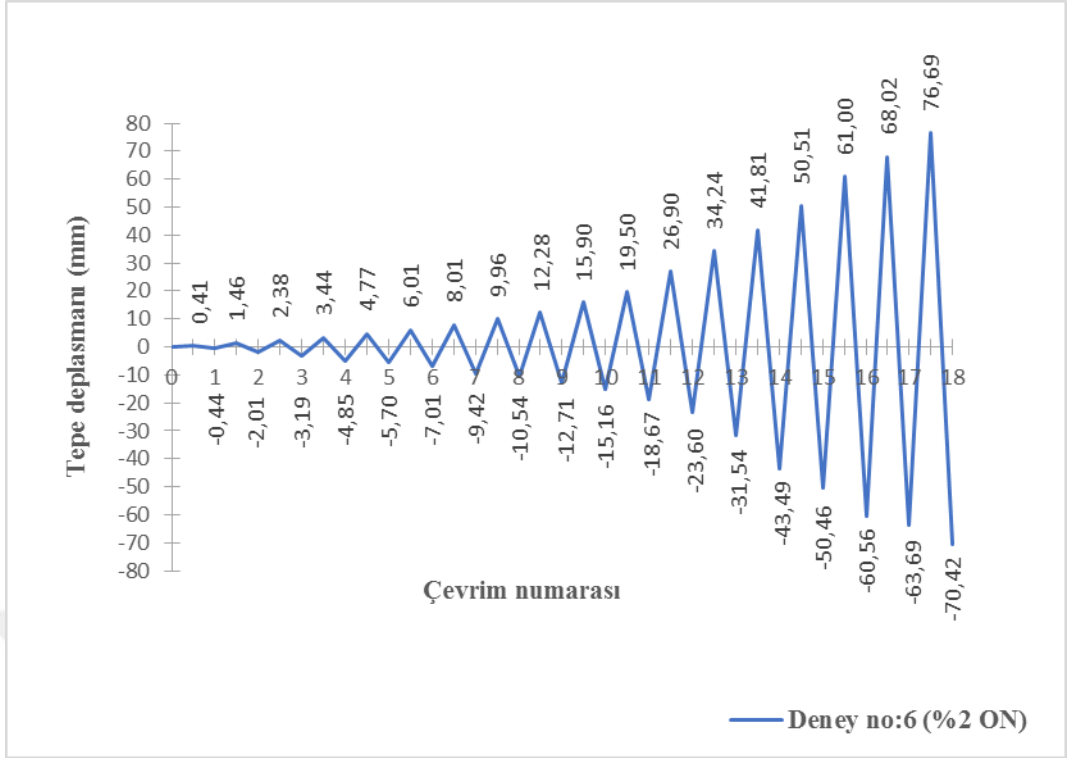
Deneye öncelikle yük kontrollü olarak başlanmış, betonarme sistemin akma yükünden sonra deplasman kontrollü olarak göçme seviyesine kadar devam edilmiştir. Akma yükü; deney esnasında, yük-deplasman eğrisinin hatırı sayılır oranda değiştiği an olarak gözlemlenmiştir.

Deney numunesi alt kata 1 birim, üst kata ise 2 birim yük gelecek şekilde yüklenmiş olup yük artışları 5 kN'luk adımlarla, deplasman artışları ise 5 mm'lik adımlarla yapılmıştır. Deney numunesine ileri ve geri olmak üzere 18 yük çevrimi uygulanmıştır.

6 nolu deney numunesinin yükleme geçmişi, toplam yatay yük ve ölçülen tepe deplasmanına göre Şekil 4.79 ve Şekil 4.80'de verilmiştir.



Şekil 4.79. 6 nolu deney numunesine ait yük geçmişi



Şekil 4.80. 6 nolu deney numunesine ait deplasman geçmişi

Deney numunesinde ilk çatlak S102 kolonu ile K101 kirişi birleşiminde, 2 nolu çatlak S202 kolonu ile K201 kirişi birleşiminde, 3 nolu çatlak S202 kolonu ile K101 kirişi birleşiminde, 4 nolu çatlak S201 kolonu ile K101 kirişi birleşiminde, 5 nolu çatlak ise S101 kolonu ile K101 kirişi birleşiminde oluşmuştur. Deney sırasında oluşan ilk çatlaklar Şekil 4.81’ de gösterilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 4.81. 6 nolu deney numunesinde oluşan ilk çatlaklar: (a) S102- K101 (b) S202- K201 (c) S202- K101 (d) S201- K101 (e) S101- K101



(c)



(d)



(e)

Şekil 4.81. (Devamı)

6 nolu deney numunesindeki ilk 5 çatlak; kolon kiriş birleşimlerinde, panelleri yapıştırırmada kullanılan yapıştırma harcının üzerinde oluşmuş, paneller üzerinde herhangi bir hasar meydana gelmemiştir. İlk çatlak geri 7. çevrimde meydana gelmiş olup bu çevrimdeki yük değeri -37.16 kN ve tepe deplasmanı ise -9.42 mm olarak ölçülmüştür.

%2 deplasman seviyesine kadar yük uygulanarak hasar oluşturulan çerçevenin onarılıp test edildiği bu deneyde, ileri ve geri çevrimler olmak üzere her bir yükleme çevrimi, yatay yük ile ölçülen tepe deplasman değeri ve gözlenen davranış Çizelge 4.7’de verilmiştir.

Çizelge 4.7. 6 nolu deney numunesinde her çevrimde gözlenen davranış

Çevrim no	Yatay yük (kN)	Tepe deplasman (mm)	Gözlenen davranış
+1	+4.92	+0.41	-
-1	-5.06	-0.44	-
+2	+9.88	+1.46	-
-2	-10.02	-2.01	-
+3	+14.94	+2.38	-
-3	-15.00	-3.19	-
+4	+20.84	+3.44	-
-4	-22.47	-4.85	-
+5	+26.36	+4.77	-
-5	-25.84	-5.70	-
+6	+30.04	+6.01	-
-6	-30.15	-7.01	-
+7	+35.78	+8.01	-
-7	-37.16	-9.42	1 nolu çatlak, S102 kolonu ile K101 kirişi birleşiminde yapıştırma harcında oluştu. 2 nolu çatlak, S202 kolonu ile K201 kirişi birleşiminde yapıştırma harcında oluştu.
+8	+40.91	+9.96	3 nolu çatlak, S202 kolonu ile K101 kirişi birleşiminde yapıştırma harcında oluştu.
-8	-39.29	-10.54	4 nolu çatlak, S201 kolonu ile K101 kirişi birleşiminde yapıştırma harcında oluştu.
+9	+45.07	+12.28	5 nolu çatlak, S101 kolonu ile K101 kirişi birleşiminde yapıştırma harcında oluştu. 6 nolu çatlak, S201 kolonu ile K202 kirişi birleşiminde yapıştırma harcında oluştu
-9	-45.65	-12.71	1 ve 2 nolu çatlaklar ilerledi.
+10	+50.52	+15.90	7 nolu çatlak, S102 kolonunun iç yüzünde, temelin üstünden 20 cm yukarıda oluştu. 3 nolu çatlak ilerledi.
-10	-49.98	-15.16	8 nolu çatlak, S102 kolonunun üst kısmında oluştu. 9 nolu çatlak, S101 kolonu iç yüzü ile temel birleşiminde oluştu. 10 nolu çatlak, S102 kolonu dış yüzü ile temel birleşiminde oluştu. 2 nolu çatlak panel üzerinde ilerledi. 1 ve 3 nolu çatlaklar birleşti.
+11	+57.97	+19.50	11 nolu çatlak, K201 kolonunun sağ üst kısmında oluştu. 12 nolu çatlak, S202 kolonunun sağ üst kısmında

			oluşt.
			13 nolu çatlak, S101 kolonunun dış yüzünde, temel üstünden 29 cm yukarıda oluştu.
-11	-55.80	-18.67	14 nolu çatlak, S102 kolonu dış yüzünde, temel üstünden 19 cm yukarıda oluştu.
			Akma başladı.
			15 nolu çatlak, K101 kirişinin orta üst yüzünde oluştu.
+12	+60.25	+26.90	16 nolu çatlak, K101 kirişinin sağ üst yüzünde, kolon yüzünden 39 cm uzaklıkta oluştu.
			17 nolu çatlak, S102 kolonunun iç yüzünde, kolon ile temel birleşiminde oluştu.
			18 nolu çatlak, S101 kolonunun dış yüzünde, kolon ile temel birleşiminde oluştu.
			19 nolu çatlak, S102 kolonunun iç yüzünde, temel üstünden 53 cm yukarıda oluştu.
-12	-60.48	-23.60	20 nolu çatlak, S101 kolonunun dış yüzünde, temel üstünden 62 cm yukarıda oluştu.
			21 nolu çatlak, K101 kirişinin sol üst yüzünde, kolon yüzünden 12 cm uzaklıkta oluştu.
			11 nolu çatlak ilerledi.
			22 nolu çatlak, S102 kolonunun dış yüzünde, kolonun sol üstünde oluştu.
			23 nolu çatlak, S102 kolonunun dış yüzünde, kolonun sol üstünde oluştu.
			24 nolu çatlak, S202 kolonunun üst dış yüzünde oluştu.
			25 nolu çatlak, K101 kirişinin sağ üst yüzünde, kolon yüzünden 24 cm uzaklıkta oluştu.
+13	+67.02	+34.24	26 nolu çatlak, K101 kirişinin sağ üst yüzünde, kolon yüzünden 18 cm uzaklıkta oluştu.
			27 nolu çatlak, K101 kirişinin sağ üst yüzünde, kolon yüzünden 14 cm uzaklıkta oluştu.
			28 nolu çatlak, K101 kirişinin sol alt kısmında oluştu.
			29 nolu çatlak, 4 nolu çatlağın sol alt kısmında oluştu.
			6 nolu çatlak ilerledi.
			30 nolu çatlak, K101 kirişinin üst yüzünde, kolon yüzünden 27 cm uzaklıkta oluştu.
			31 nolu çatlak, K101 kirişinin sol üst yüzünde, kolon yüzünden 21 cm uzaklıkta oluştu.
-13	-65.67	-31.54	32 nolu çatlak, K101 kirişinin üst yüzünde, kolon yüzünden 18 cm uzaklıkta oluştu.
			33 nolu çatlak, K101 kirişinin orta kısmında, kirişin üst yüzünde oluştu.
			34 nolu çatlak, K101 kirişinin üst yüzünde, kolon ile kiriş birleşiminde oluştu.
			35 nolu çatlak, S101 kolonunun dış yüzünde, temel üstünden 74 cm yukarıda oluştu.
			36 nolu çatlak, S101 kolonunun sağ üst kısmında, temel üstünden 73 cm yukarıda oluştu.
+14	+71.21	+41.81	37 nolu çatlak, S102 kolonunun sol alt kısmı ile temel birleşiminde oluştu.

			38 nolu çatlak, S202 kolonunun alt kısmında oluştu. 39 nolu çatlak, S202 kolonunun sağ alt kısmında, K101 kirişinin üst yüzünden 16 cm yukarıda oluştu.
-14	-73.06	-43.49	40 nolu çatlak, S102 kolonunun sağ alt kısmı ile temel birleşiminde oluştu. 41 nolu çatlak, S102 kolonunun sol üst kısmında oluştu. 42 nolu çatlak, S101 kolonunun sağ alt kısmı ile temel birleşiminde oluştu. 43 nolu çatlak, S101 kolonunun iç yüzünde, kolonun sol alt kısmında oluştu. 44 nolu çatlak, K101 kirişinin alt yüzünde, kolon yüzünden 20 cm uzaklıkta oluştu.
+15	+73.62	+50.51	45 nolu çatlak, S102 kolonunun iç yüzünde, temel üstünden 12 cm yukarıda oluştu. 46 nolu çatlak, S202 kolonunun sağ üst kısmında oluştu. 47 nolu çatlak, 46 nolu çatlağın yukarısında, S202 kolonunun sağ üst kısmında oluştu. 48 nolu çatlak, S201 kolonunun üst kısmında, K101 kirişinin üst yüzünden 65 cm yukarıda oluştu. 49 nolu çatlak, S101 kolonunun sol alt kısmı ile temel birleşiminde oluştu.
-15	-67.91	-50.46	50 nolu çatlak, S201 kolonu ile K101 kirişi düğüm noktasında oluştu. 51 nolu çatlak, S101 kolonunun sol üst kısmında oluştu. 52 nolu çatlak, 51 nolu çatlağın sol üst kısmında oluştu.
+16	+76.63	+61.00	53 nolu çatlak, S202 kolonu ile K101 kirişi birleşiminde kiriş üst yüzü kısmında oluştu. 54 nolu çatlak, S201 kolonunun iç kısmında, K101 kirişinin üst yüzünden 55 cm yukarıda oluştu. 55 nolu çatlak, S201 kolonunun iç kısmında, K101 kirişinin üst yüzünden 65 cm yukarıda oluştu.
-16	-69.09	-60.56	56 nolu çatlak, S101 kolonunun sol üst kısmında oluştu. 57 nolu çatlak, 43 nolu çatlağın üstüne oluştu. 40 ve 42 nolu çatlaklar ilerledi.
+17	+74.49	+68.02	58 nolu çatlak, S101 kolonunun iç yüzünde, üst kısımda oluştu. 8 nolu çatlak ilerledi.
-17	-63.99	-63.69	50 ve 57 nolu çatlaklar ilerledi.
+18	+77.70	+76.69	Çatlak genişlikleri arttı
-18	-63.89	-70.42	Çatlak genişlikleri arttı

6 nolu deneyde, ileri çevrimde maksimum tepe deplasman değeri 76.69 mm olup bu deplasman değerine karşılık gelen yatay yük ise 77.70 kN olarak ölçülmüştür. Geri çevrimde ise maksimum tepe deplasman değeri -70.42 mm, bu deplasman değerine karşılık gelen yatay yük ise -63.89 kN olarak ölçülmüştür. Yapılan 6 nolu deney kapsamında ileri çevrimde 76.69 mm deplasman değerlerine kadar yükleme yapılmış olup geri 18. çevrim sonunda numune %4 deplasman seviyesine karşılık gelen 72 mm değerini geçtiğinden deney sonlandırılmıştır.

7 nolu deney numunesinin akma anındaki görünümü Şekil 4.82’de verilmiştir.



Şekil 4.82. 6 nolu deney numunesinin akma anındaki görünümü

%2 deplasmana karşılık gelen 36 mm deplasmana kadar tersinir tekrarlanır yük uygulamak suretiyle hasar oluşturulup sonrasında ECC panel ile onarılan numunenin deney sonrasındaki görünümü Şekil 4.83’de, oluşan hasarlar ise Şekil 4.84’de verilmiştir.



Şekil 4.83. 6 nolu deney numunesinin deney sonrasındaki görünümü



(a)



(b)



(c)

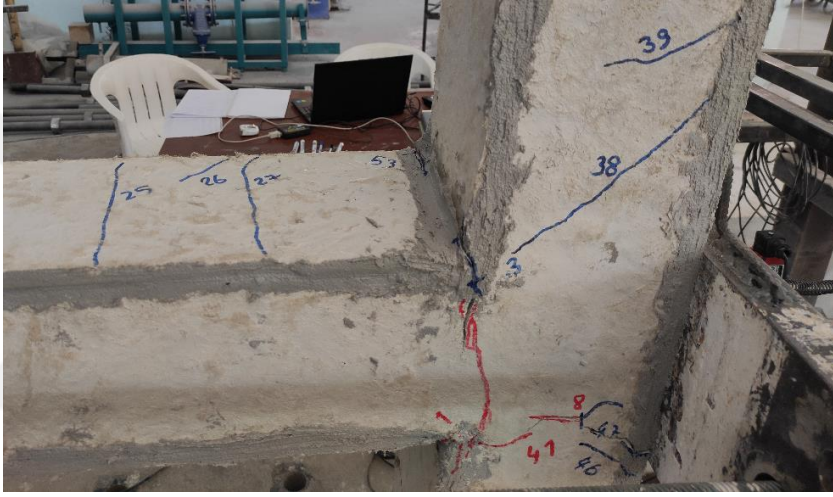


(d)

Şekil 4.84. 6 nolu deney numunesinde deney sonrasında oluşan hasarlar: (a) S201- K201 (b) S201- K101 (c) S101-temel (d) S101-temel (e) S202- K201 (f) S202- K101 (g) S102-temel (h) S102-temel (i) K101 (j) S201- K101 (j) S202- K101



(e)



(f)

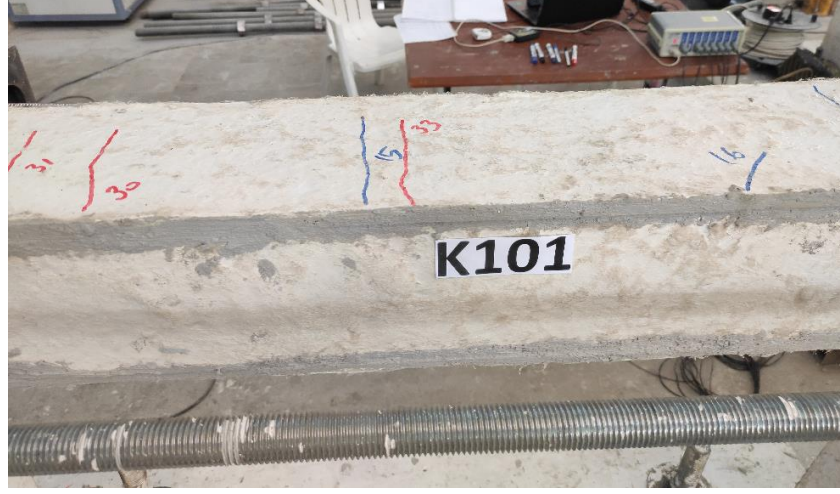


(g)

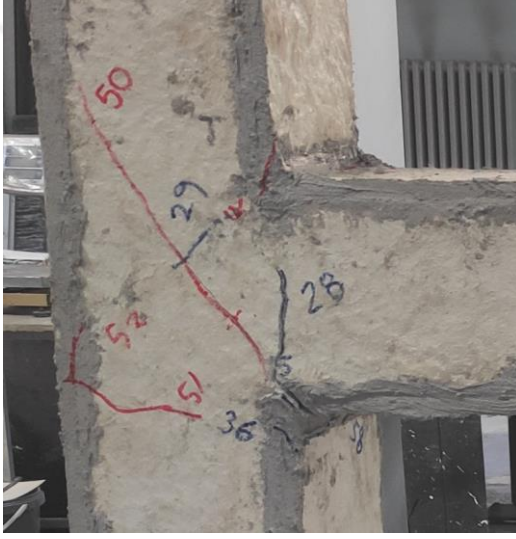


(h)

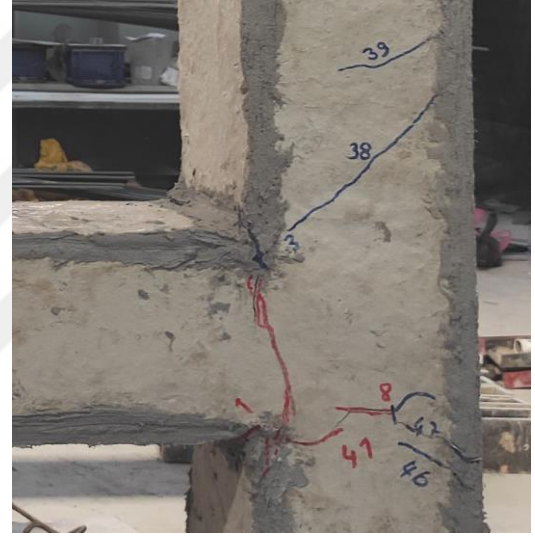
Şekil 4.84. (Devamı)



(i)



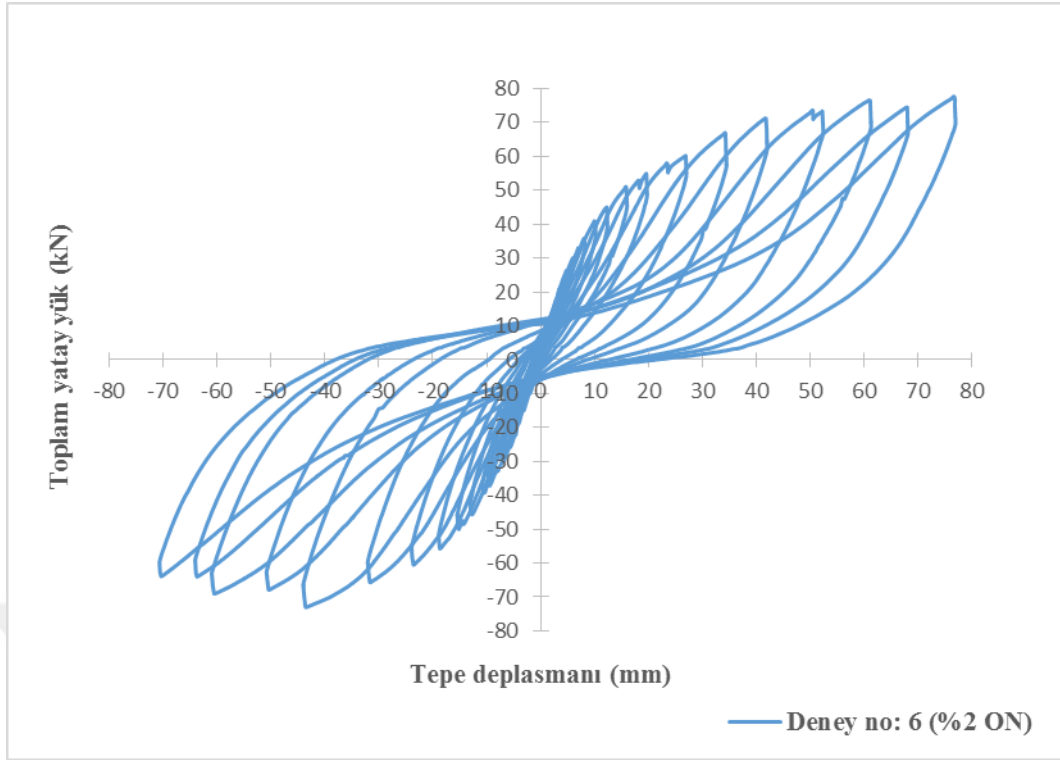
(i)



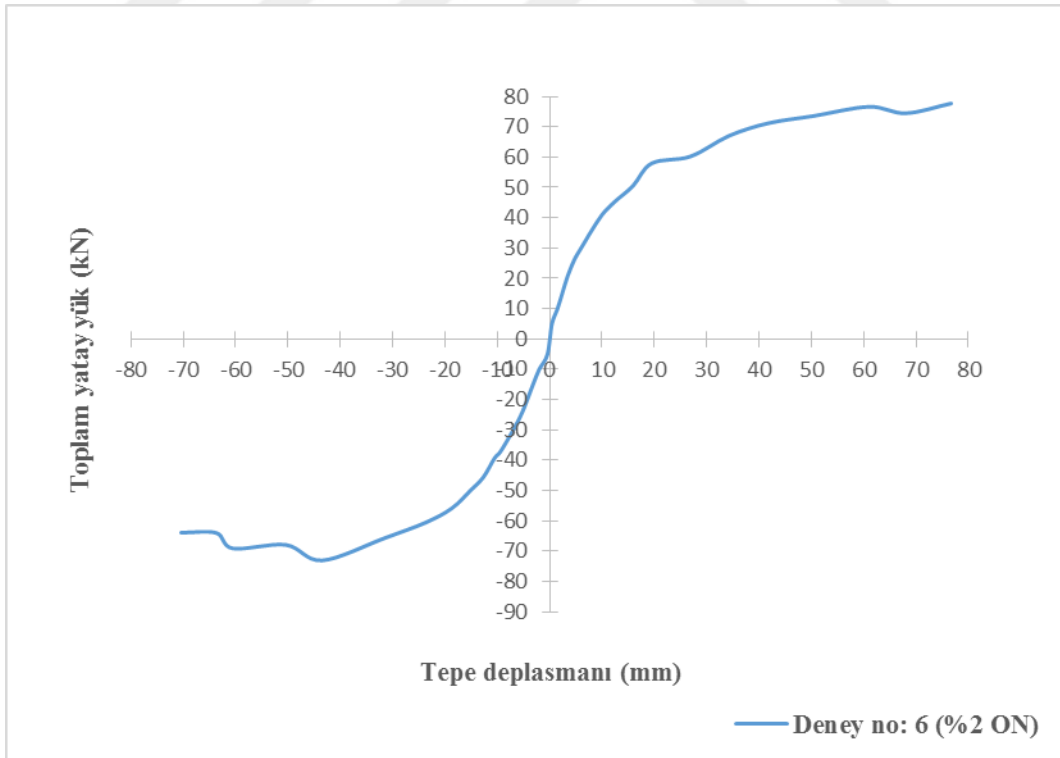
(j)

Şekil 4.84. (Devamı)

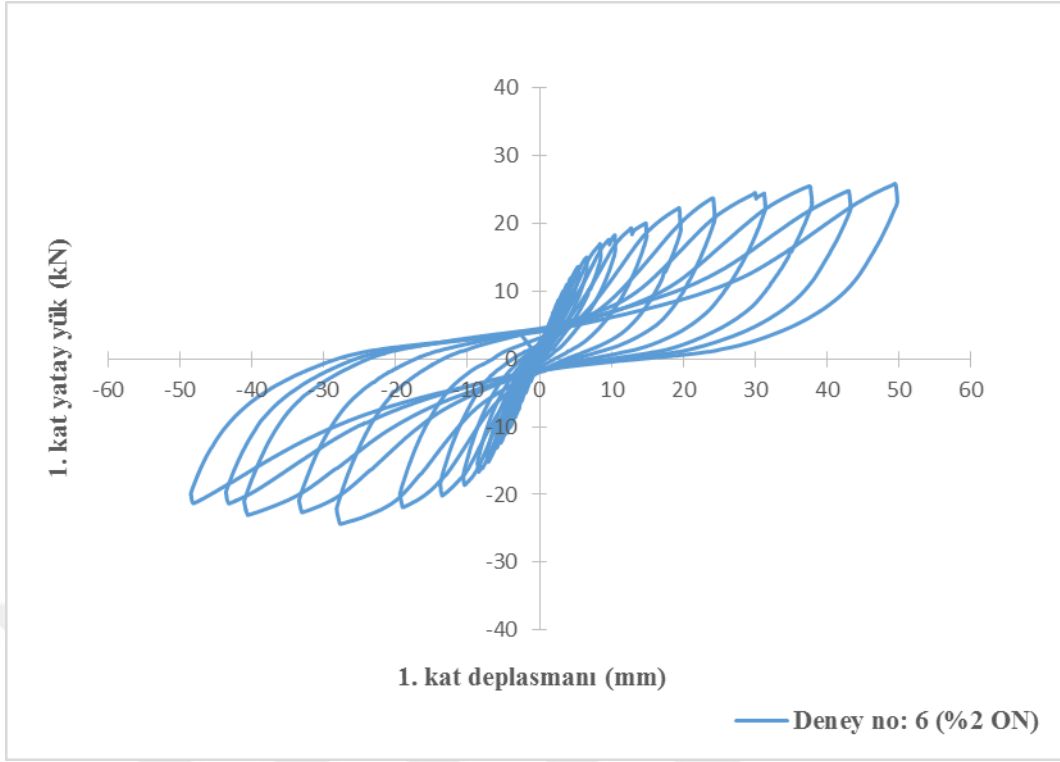
Deney sonrasındaki verilere göre oluşturulan toplam yatay yük-tepe deplasmanı grafiği (Histerezis eğrisi) Şekil 4.85’de, toplam yatay yük-tepe deplasmanı grafiği (Zarf eğrisi) Şekil 4.86’da, 1. kat yatay yük-1. kat deplasmanı grafiği (Histerezis eğrisi) Şekil 4.87’de, 1. kat yatay yük-1. kat deplasmanı grafiği (Zarf eğrisi) Şekil 4.88’de, 1. kata gelen yatay yük-1. kat ötelenme oranı grafiği Şekil 4.89’da, sistem rijitlik azalım grafiği Şekil 4.90’da, kümülatif toplam enerji tüketimi grafiği Şekil 4.91’de ve sistem süneklik değerlendirme grafiği Şekil 4.92’de verilmiştir.



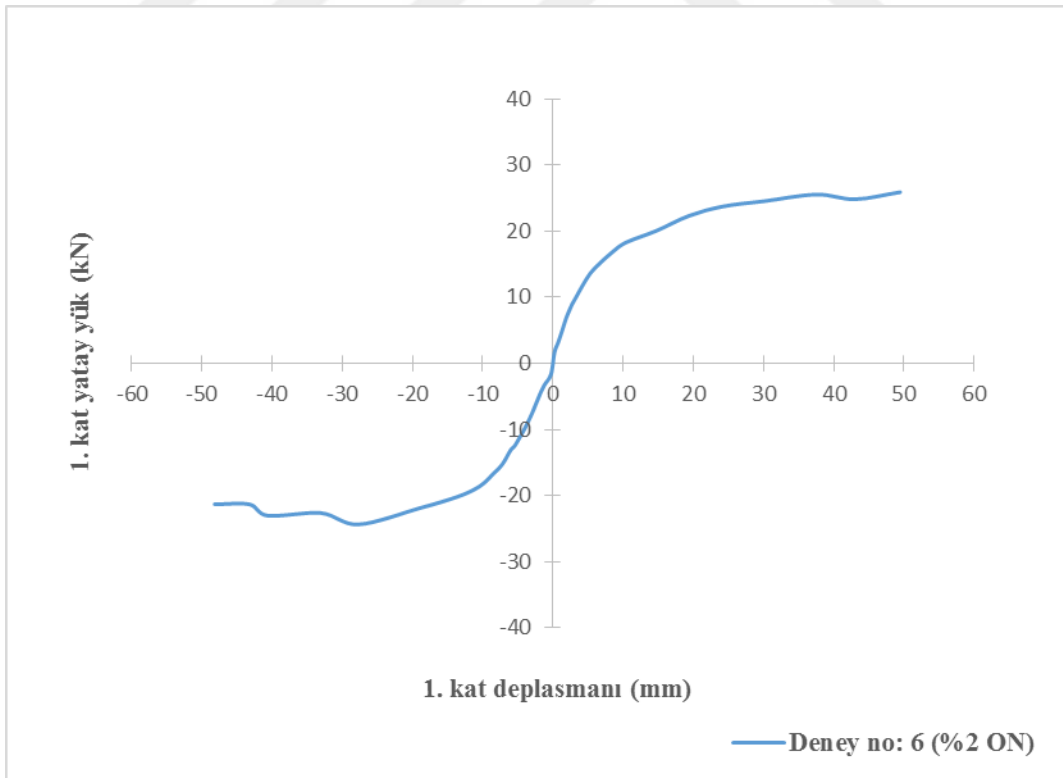
Şekil 4.85. 6 nolu deney numunesinin histerezis eğrisi



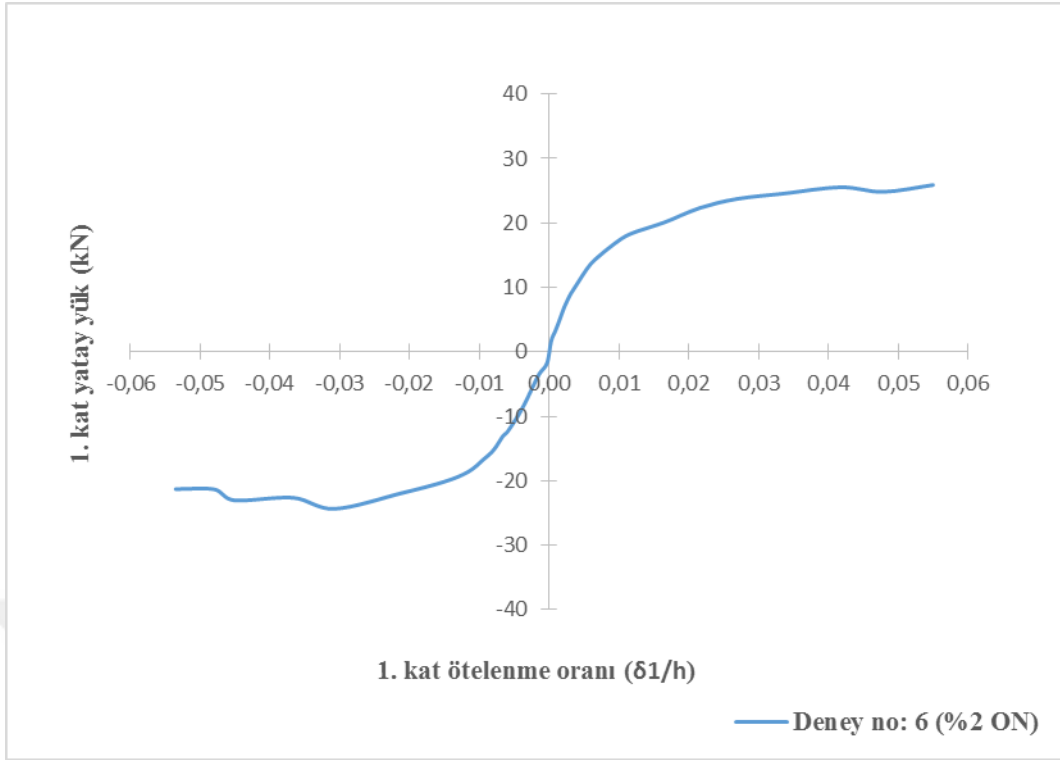
Şekil 4.86. 6 nolu deney numunesinin zarf eğrisi



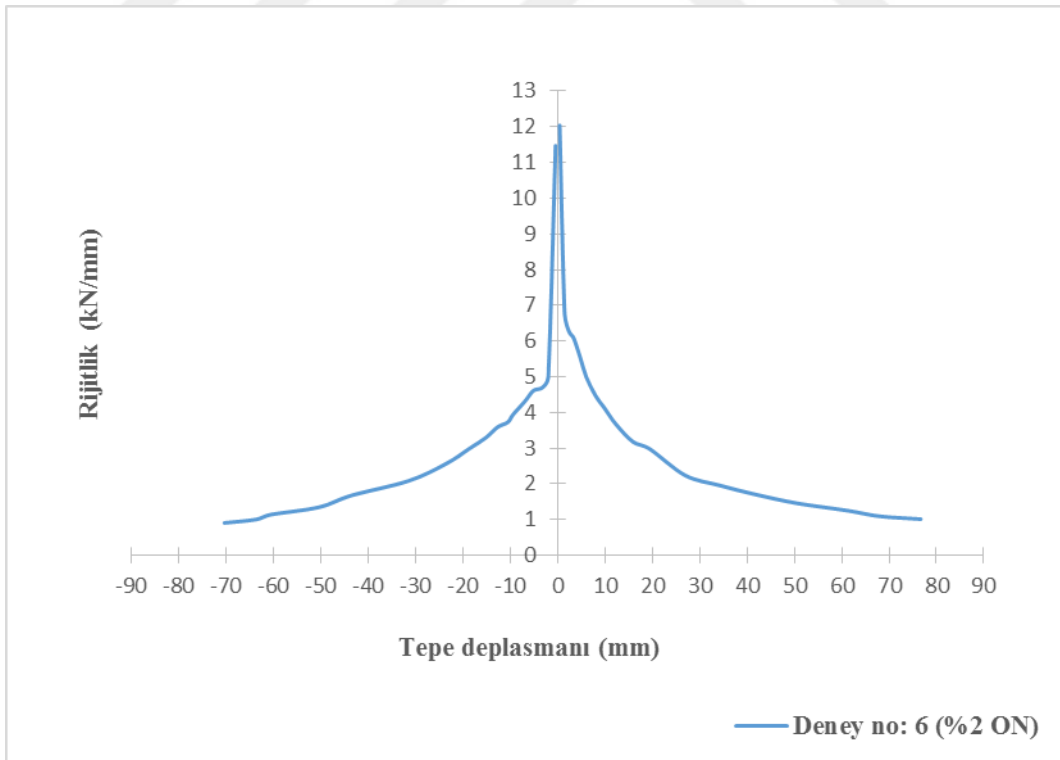
Şekil 4.87. 6 nolu deney numunesinin 1. kat histerezis eğrisi



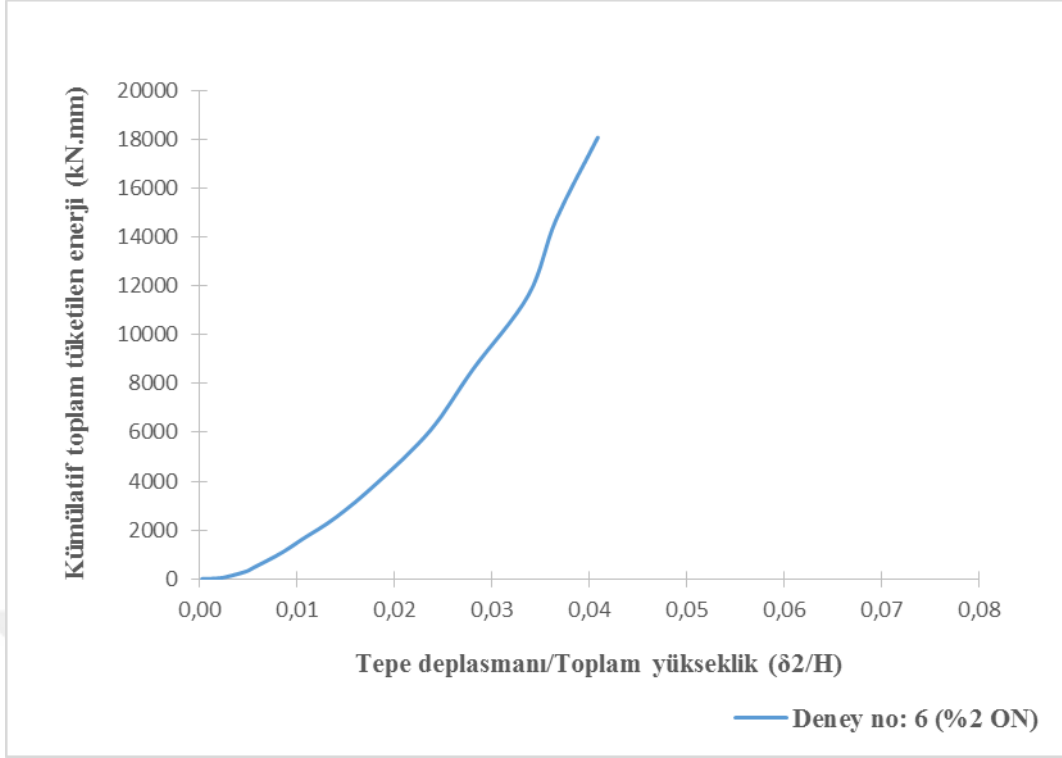
Şekil 4.88. 6 nolu deney numunesinin 1. kat zarf eğrisi



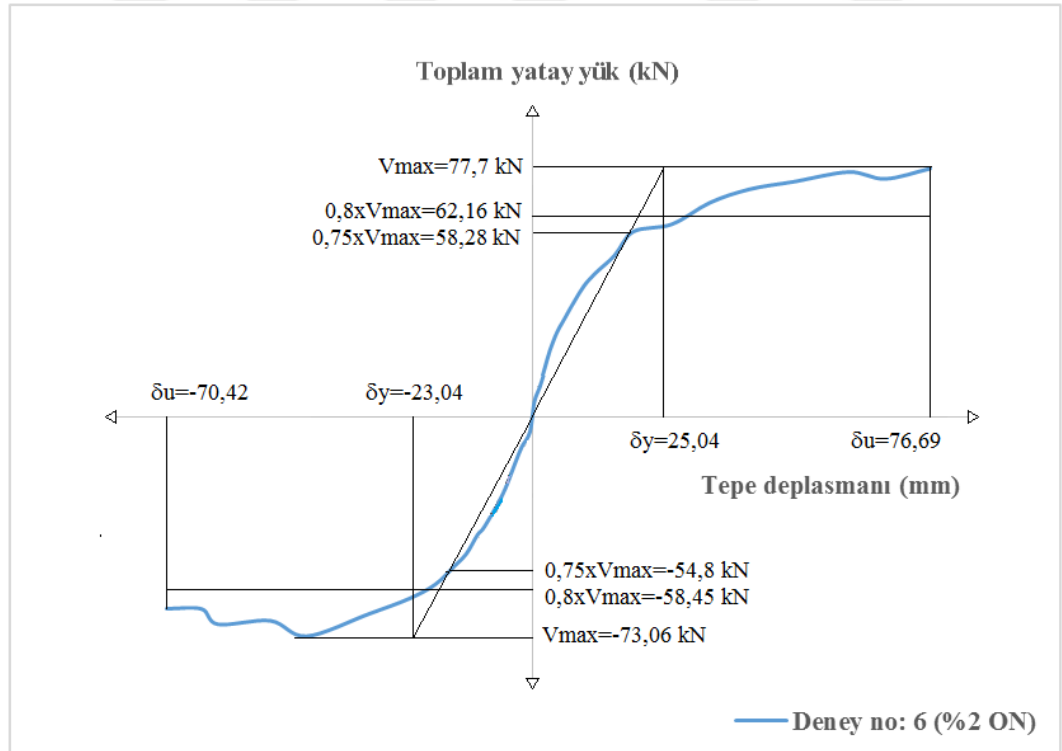
Şekil 4.89. 6 nolu deney numunesinin 1. kat yatay yük-ötelenme oranı grafiği



Şekil 4.90. 6 nolu deney numunesinin rijitlik azalım grafiği



Şekil 4.91. 6 nolu deney numunesinin kümülatif toplam tüketilen enerji-tepe deplasmanı/toplam yükseklik grafiği



Şekil 4.92. 6 nolu deney numunesinin süneklik değerlendirme grafiği

4.7. 7 Nolu Deney (%3 ON)

7 nolu deneyde, %3 deplasmana kadar depreme benzeştirilmiş tersinir tekrarlanır yük uygulanıp hasar oluşturulan 4 nolu deney numunesi, üretilen 1 cm kalınlığındaki ECC panellerin yapıştırılması ile onarılmış ve sonrasında göçme seviyesine kadar test edilmiştir.

Üretilen paneller ile onarılmış olan 7 nolu deney numunesinin deneyden önceki görünümü Şekil 4.93'de verilmiştir.



Şekil 4.93. 7 nolu deney numunesinin deneyden önceki görünümü

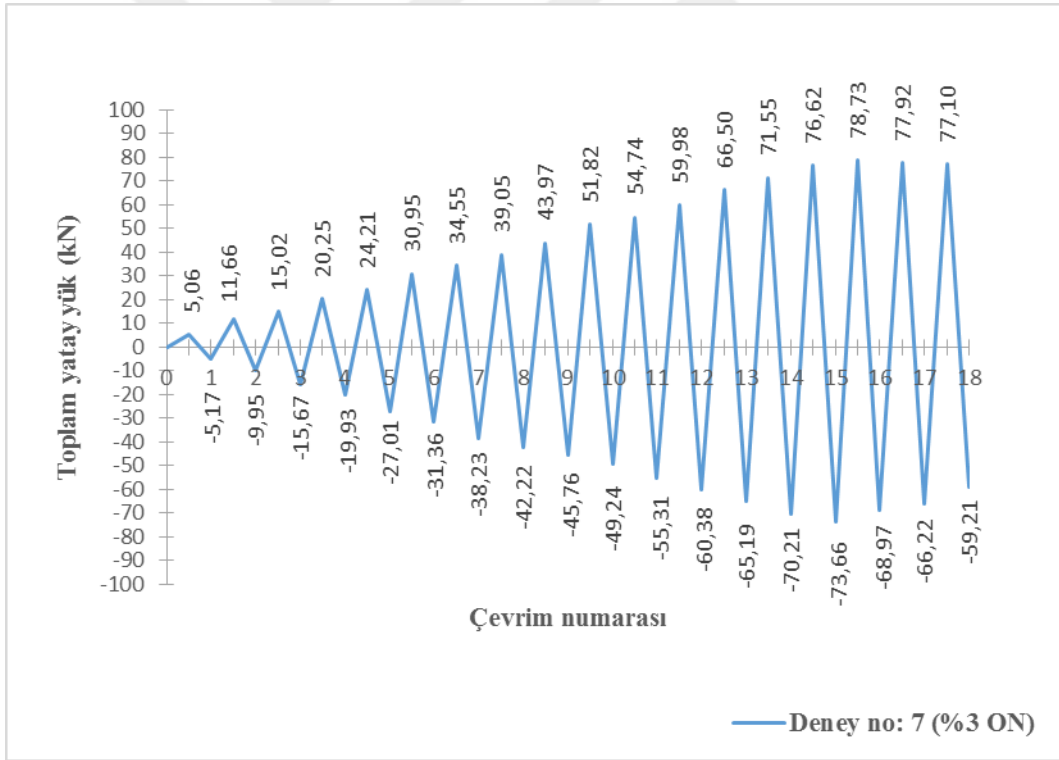
Deneye öncelikle yük kontrollü olarak başlanmış, betonarme sistemin akma yükünden sonra deplasman kontrollü olarak göçme seviyesine kadar devam edilmiştir.

Akma yükü; deney esnasında, yük-deplasman eğrisinin hatırı sayılır oranda değiştiği an olarak gözlemlenmiştir.

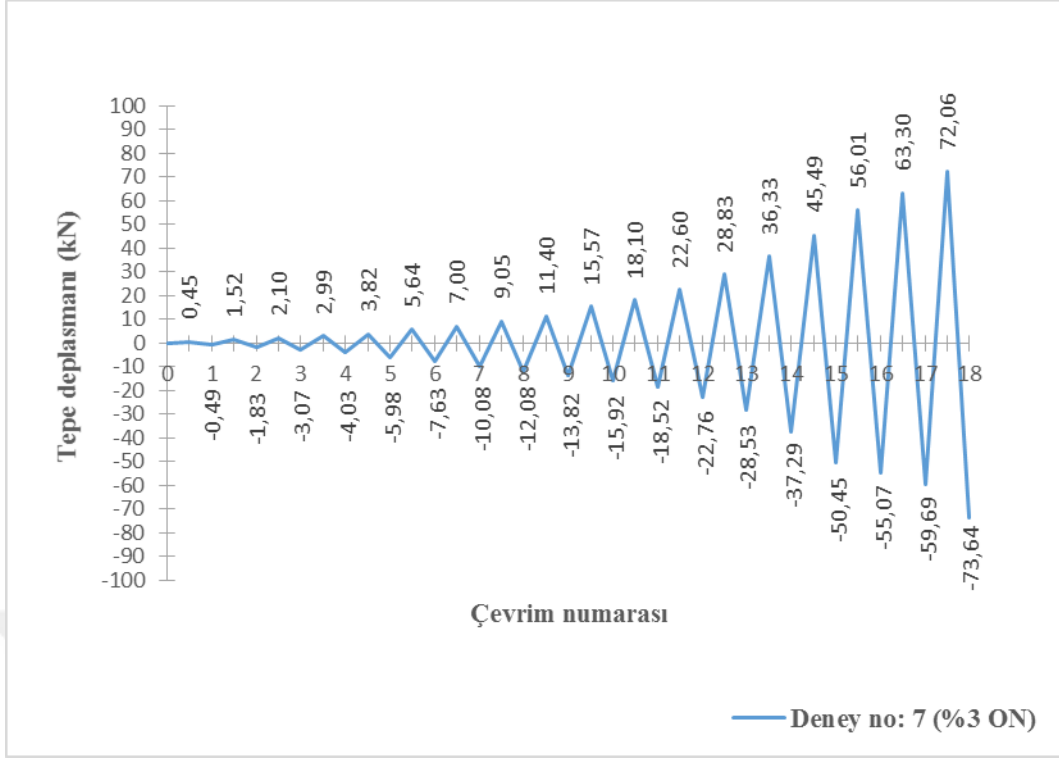
Deney numunesi alt kata 1 birim, üst kata ise 2 birim yük gelecek şekilde yüklenmiş olup yük artışları 5 kN'luk adımlarla, deplasman artışları ise 5 mm'lik adımlarla yapılmıştır. Deney numunesine ileri ve geri olmak üzere 18 yük çevrimi uygulanmıştır.

7 nolu deney numunesinin test edilmesinin amacı, onarılan hasarlı betonarme çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesinin, sünekliğinin, rijitliğinin, enerji tüketme kapasitesinin ve deprem davranışının tespit edilmesi olup ayrıca, referans numune ile kıyaslanarak onarımın betonarme çerçevenin performansına etkisinin belirlenmesini sağlamaktır.

7 nolu deney numunesinin yükleme geçmişi, toplam yatay yük ve ölçülen tepe deplasmanına göre Şekil 4.94 ve Şekil 4.95'de verilmiştir.

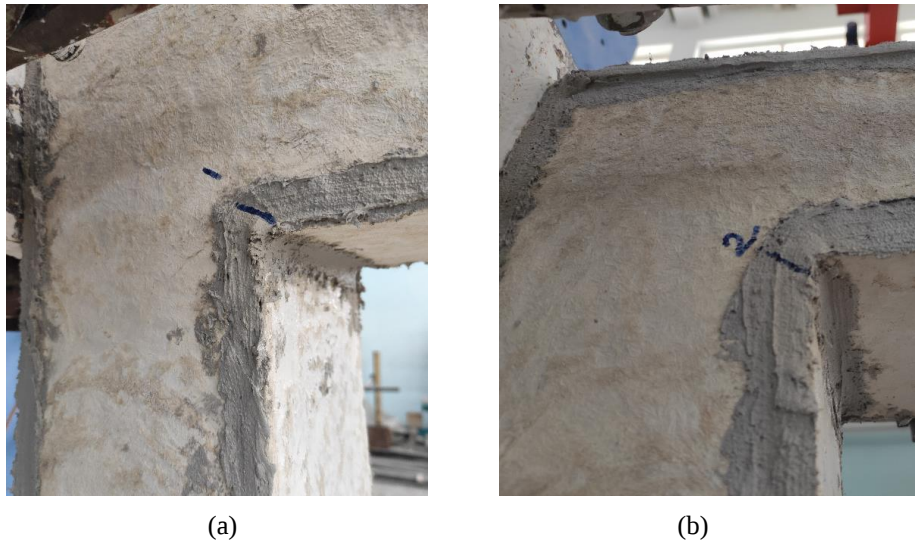


Şekil 4.94. 7 nolu deney numunesine ait yük geçmişi



Şekil 4.95. 7 nolu deney numunesine ait deplasman geçmişi

Deney numunesinde ilk çatlak çatlak, S101 kolonu ile K101 kirişi birleşiminde, 2 nolu çatlak S201 kolonu ile K202 kirişi birleşiminde, 3 nolu çatlak K101 kirişinin sağ alt kısmında kolon yüzünden 1 cm uzaklıkta, 4 nolu çatlak S202 kolonu ile K202 kirişi birleşiminde ve 5 nolu çatlak ise S201 kolonu ile K101 kirişi birleşiminde oluşmuştur. Deney sırasında oluşan ilk çatlaklar Şekil 4.96’da gösterilmiştir.



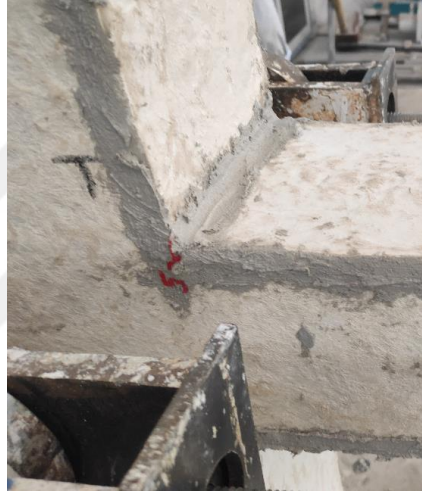
Şekil 4.96. 7 nolu deney numunesinde oluşan ilk çatlaklar: (a) S101- K101 (b) S201- K201
(c) S102- K101 (d) S202- K201 (e) S201- K101



(c)



(d)



(e)

Şekil 4.96. (Devamı)

7 nolu deney numunesindeki ilk 5 çatlak; kolon kiriş birleşimlerinde, panelleri yapıştırırmada kullanılan yapıştırma harcının üzerinde oluşmuş, paneller üzerinde herhangi bir hasar meydana gelmemiştir. İlk çatlak, ileri 7. çevrimde meydana gelmiş olup bu çevrimdeki yük değeri 34.55 kN ve tepe deplasmanı 7.01 mm olarak ölçülmüştür.

%3 deplasman seviyesine kadar yük uygulanarak hasar oluşturulan çerçevenin onarılıp test edildiği bu deneyde, ileri ve geri çevrimler olmak üzere her bir yükleme çevrimi, yatay yük ile ölçülen tepe deplasman değeri ve gözlenen davranış Çizelge 4.8’de verilmiştir.

Çizelge 4.8. 7 nolu deney numunesinde her çevrimde gözlenen davranış

Çevrim no	Yatay yük (kN)	Tepe deplasmanı (mm)	Gözlenen davranış
+1	+5.06	+0.45	-
-1	-5.17	-0.49	-
+2	+11.66	+1.52	-
-2	-9.95	-1.83	-
+3	+15.02	+2.10	-
-3	-15.67	-3.07	-
+4	+20.25	+2.99	-
-4	-19.93	-4.03	-
+5	+24.21	+3.82	-
-5	-27.01	-5.98	-
+6	+30.95	+5.64	-
-6	-31.36	-7.63	-
+7	+34.55	+7.01	1 nolu çatlak, S101 kolonu ile K101 kirişi birleşiminde yapıştırma harcında oluştu. 2 nolu çatlak, S201 kolonu ile K202 kirişi birleşiminde yapıştırma harcında oluştu.
-7	-38.23	-10.08	3 nolu çatlak, K101 kirişinin sağ alt kısmında, kolon yüzünden 1 cm uzaklıkta yapıştırma harcında oluştu. 4 nolu çatlak, S202 kolonu ile K202 kirişi birleşiminde yapıştırma harcında oluştu. 5 nolu çatlak, S201 kolonu ile K101 kirişi birleşiminde yapıştırma harcında oluştu. 6 nolu çatlak, S101 kolonunun iç yüzü ile temel birleşiminde oluştu.
+8	+39.05	+9.05	7 nolu çatlak, S202 kolonu ile K101 kirişi birleşiminde yapıştırma harcında oluştu. 8 nolu çatlak, S101 kolonunun dış yüzü ile temel birleşiminde oluştu. 9 nolu çatlak, S102 kolonunun iç yüzü ile temel birleşiminde oluştu.
-8	-42.22	-12.08	10 nolu çatlak, S102 kolonu dış yüzü ile temel birleşiminde oluştu. 3 nolu çatlak ilerledi.
+9	+43.97	+11.40	11 nolu çatlak, S102 kolonunun dış yüzünde, temelin üstünden 71 cm yukarıda oluştu. 12 nolu çatlak, S202 kolonunun dış yüzünde, K101 kirişinin üst yüzünden 71 cm yukarıda oluştu. 13 nolu çatlak, K101 kirişinin sağ kısmında oluştu.
-9	-45.76	-13.82	14 nolu çatlak, S102 kolonunun iç yüzünde, temelin üstünden 52 cm yukarıda oluştu. 15 nolu çatlak, K101 kirişinin sağ üst yüzünde, kolon yüzünden 26 cm uzaklıkta oluştu.

			16 nolu çatlak, S101 kolonunun dış yüzünde, temel üstünden 73 cm yukarıda oluştu. 17 nolu çatlak, S101 kolonunun dış yüzünde, temel üstünden 66 cm yukarıda oluştu.
+10	+51.82	+15.57	1, 7 ve 13 nolu çatlaklar ilerledi.
-10	-49.24	-15.92	18 nolu çatlak, S202 kolonunun üst kısmında oluştu. 19 nolu çatlak, K101 kirişinin sol üst yüzünde, kolon yüzünden 18 cm uzaklıkta oluştu. 4 nolu çatlak ilerledi.
+11	+54.74	+18.10	20 nolu çatlak, 5 nolu çatlağın sol alt kısmında oluştu. 6 ve 8 nolu çatlaklar genişledi.
-11	-55.31	-18.52	21 nolu çatlak, S102 kolonunun dış yüzünde, temel üstünden 36 cm yukarıda oluştu. 22 nolu çatlak, S102 kolonu ile K101 kirişi birleşiminde oluştu.
+12	+59.98	+22.60	Akma başladı. 23 nolu çatlak, S202 kolonunun dış yüzünde, K101 kirişinin üst yüzünden 62 cm yukarıda oluştu. 24 nolu çatlak, S201 kolonu iç yüzü ile K202 kirişi alt yüzü birleşiminde yapıştırma harcının altında oluştu. 25 nolu çatlak, S201 kolonu iç yüzü ile K202 kirişi alt yüzü birleşiminde yapıştırma harcının üst kısmında oluştu. 2 nolu çatlak ilerledi.
-12	-60.38	-22.76	26 nolu çatlak, S102 kolonunun sağ alt kısmı ile temel birleşiminde yapıştırma harcında oluştu. 27 nolu çatlak, S202 kolonunun iç yüzünde, K101 kirişinin üst yüzünden 62 cm yukarıda oluştu. 28 nolu çatlak, S202 kolonu iç yüzü ile K201 kirişi alt yüzü birleşiminde yapıştırma harcının alt kısmında oluştu. 29 nolu çatlak, S102 kolonu iç yüzü ile K101 kirişi alt yüzü birleşiminde yapıştırma harcının üst kısmında oluştu. 30 nolu çatlak, S201 kolonunun dış yüzünde, K101 kirişinin üst yüzünden 72 cm yukarıda oluştu. 31 nolu çatlak, S201 kolonunun dış yüzünde, K101 kirişinin üst yüzünden 62 cm yukarıda oluştu. 6 ve 10 nolu çatlaklar ilerledi.
+13	+66.50	+28.83	11 nolu çatlak ilerledi. 32 nolu çatlak, S101 kolonunun sol alt kısmı ile temel birleşiminde yapıştırma harcında ayrılma şeklinde oluştu. 33 nolu çatlak, S102 kolonunun dış yüzünde, temel üstünden 20 cm yukarıda oluştu. 34 nolu çatlak, S101 kolonu iç yüzü ile K101 kirişi alt yüzü birleşiminde yapıştırma harcının üst kısmında oluştu. 35 nolu çatlak, K201 kirişinin sağ üst kısmında oluştu.
-13	-65.19	-28.53	36 nolu çatlak, S101 kolonunun sağ alt kısmında yapıştırma harcında oluştu. 5, 6, 16 ve 22 nolu çatlaklar ilerledi.
+14	+71.55	+36.33	37 nolu çatlak, S201 kolonunun dış yüzünde, K101 kirişinin üst yüzünden 55 cm yukarıda oluştu.

			38 nolu çatlak, S202 kolonunun sağ üst kısmında oluştu. 2 ve 7 nolu çatlaklar ilerledi.
-14	-70.21	-37.29	39 nolu çatlak, S102 kolonunun iç yüzünde, temelin üstünden 59 cm yukarıda oluştu. 40 nolu çatlak, K101 kirişinin sol üst yüzünde, kolon yüzünden 35 cm uzaklıkta oluştu. 41 nolu çatlak, K101 kirişinin sol üst yüzünde, kolon yüzünden 13 cm uzaklıkta oluştu. 42 nolu çatlak, K101 kirişinin sol üst yüzünde, kolon yüzünden 8 cm uzaklıkta oluştu. 43 nolu çatlak, S101 kolonunun sağ üst kısmında, temelin üstünden 70 cm yukarıda oluştu. 44 nolu çatlak, S101 kolonunun dış yüzünde, temelin üstünden 55 cm yukarıda oluştu. 45 nolu çatlak, S201 kolonunun dış yüzünde, K101 kirişinin üst yüzünden 68 cm yukarıda oluştu. 4 ile 18 nolu çatlaklar birleşti. 16 ve 17 nolu çatlaklar ilerledi.
+15	+76.62	+45.49	46 nolu çatlak, S102 kolonunun sol alt kısmında dikey olarak yapıştırma harcında oluştu. 47 nolu çatlak, S102 kolonunun alt kısmında oluştu. 48 nolu çatlak, S102 kolonunun sağ üst kısmında, temelin üstünden 74 cm yukarıda ve dikey olarak meydana geldi. 49 nolu çatlak, S102 kolonunun sağ üst kısmında, temelin üstünden 71 cm yukarıda oluştu. 50 nolu çatlak, K101 kirişinin sağ üst yüzünde, kolon yüzünden 20 cm uzaklıkta oluştu. 51 nolu çatlak, K101 kirişinin sağ üst yüzünde, kolon yüzünden 23 cm uzaklıkta oluştu. 52 nolu çatlak, S201 kolonunun iç yüzünde, K101 kirişinin üst yüzünden 62 cm yukarıda oluştu. 1 nolu çatlak ilerledi.
-15	-73.66	-50.45	53 nolu çatlak, K101 kirişinin sağ alt kısmında oluştu. 1 ve 36 nolu çatlaklar ilerledi.
+16	+78.73	+56.01	54 nolu çatlak, S101 kolonunun sol alt kısmında panelin ayrılması şeklinde oluştu. 2 ve 46 nolu çatlaklar ilerledi.
-16	-68.97	-55.07	55 nolu çatlak, K202 kirişinin sol kısmında oluştu. 56 nolu çatlak, S101 kolonunun alt kısmında oluştu.
+17	+77.92	+63.30	57 nolu çatlak, S101 kolonunun sağ üst kısmında, temelin üstünden 74 cm yukarıda oluştu.
-17	-66.22	-59.69	26 ve 56 nolu çatlaklar ilerledi.
+18	+77.10	+72.06	58 nolu çatlak, S101 kolonunun alt kısmında oluştu. 3, 46 ve 47 nolu çatlaklar ilerledi.
-18	-59.21	-73.64	56 nolu çatlak ilerledi.

7 nolu deneyde, ileri çevrimde maksimum tepe deplasman değeri 72.06 mm olarak ölçülmüş olup bu tepe deplasman değerine karşılık gelen yatay yük 77.10 kN'dur. Geri çevrimde ise maksimum tepe deplasman değeri -73.64 mm, bu deplasman değerine karşılık gelen yatay yük ise -59.21 kN olarak ölçülmüştür.

Yapılan 7 nolu deney kapsamında ileri çevrimde 72.06 mm, geri çevrime ise 73.64 mm deplasman değerlerine kadar yükleme yapılmış olup -18. çevrim sonunda numune %4 deplasman seviyesine karşılık gelen 72 mm değerini geçtiğinden deney sonlandırılmıştır.

7 nolu deney numunesinin akma anındaki görünümü Şekil 4.97’de verilmiştir.



Şekil 4.97. 7 nolu deney numunesinin akma anındaki görünümü

7 nolu deney numunesinin, deney sonrasındaki görünümü Şekil 4.98’de, oluşan hasarlar ise Şekil 4.99’da verilmiştir.



Şekil 4.98. 7 nolu deney numunesinin deney sonrasındaki görünümü



(a)



(b)



(c)

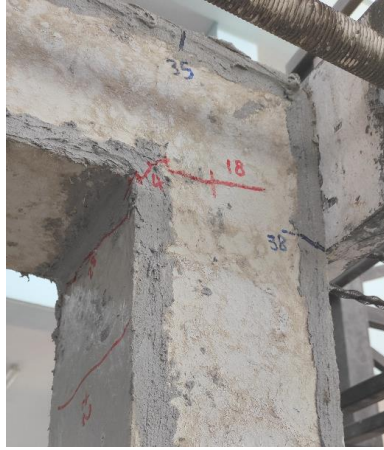


(d)



(e)

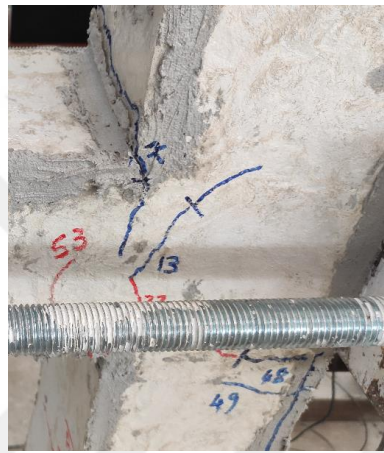
Şekil 4.99. 7 nolu deney numunesinde deney sonrasında oluşan hasarlar: (a) S201- K201 (b) S201- K101 (c) S101- K101 (d) S101-temel (e) S101-temel (f) S202- K201 (g) S202- K201 (h) S202- K101 (i) S102- K101 (j) S102-temel



(f)



(g)



(h)



(i)



(i)

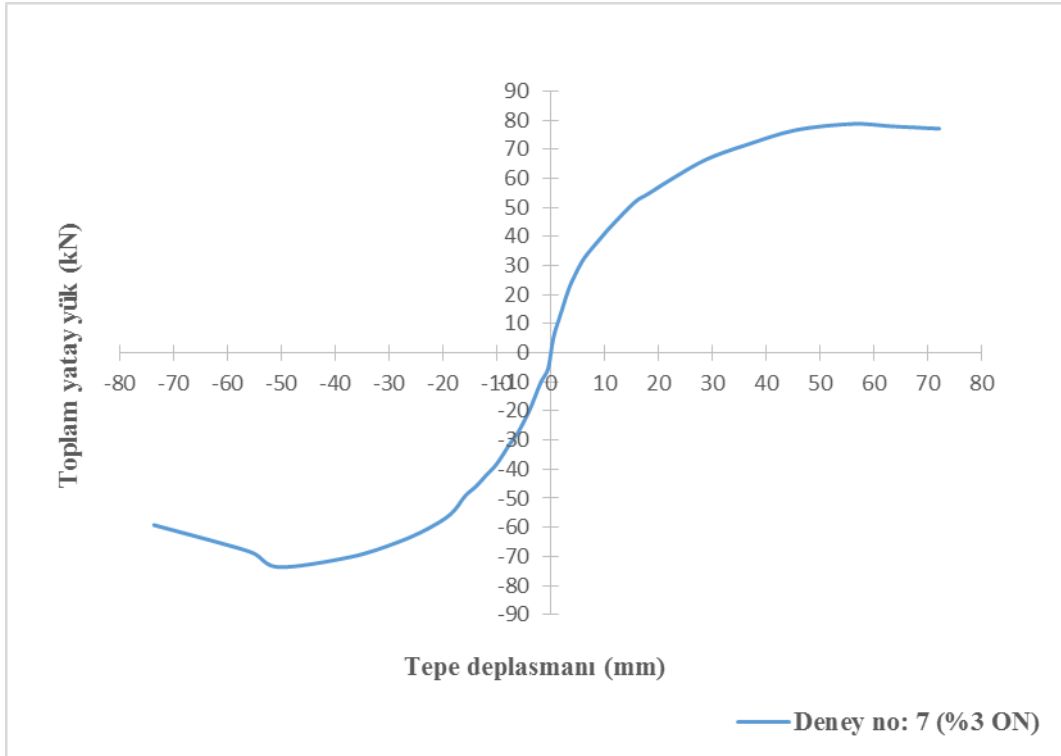
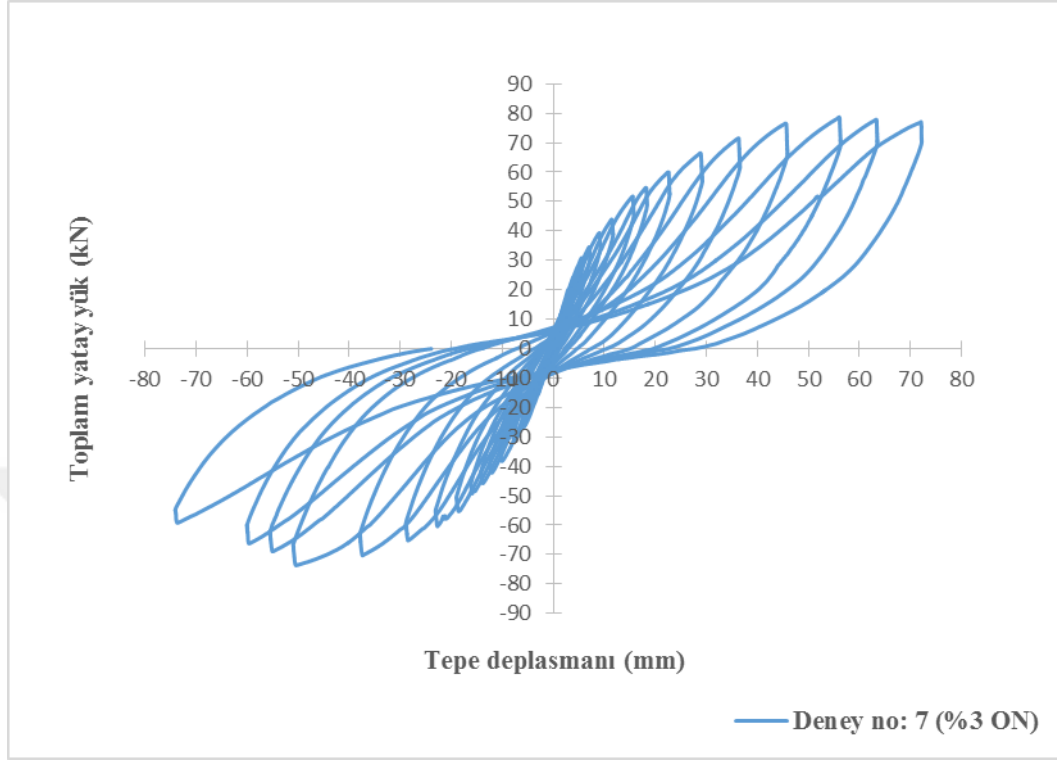


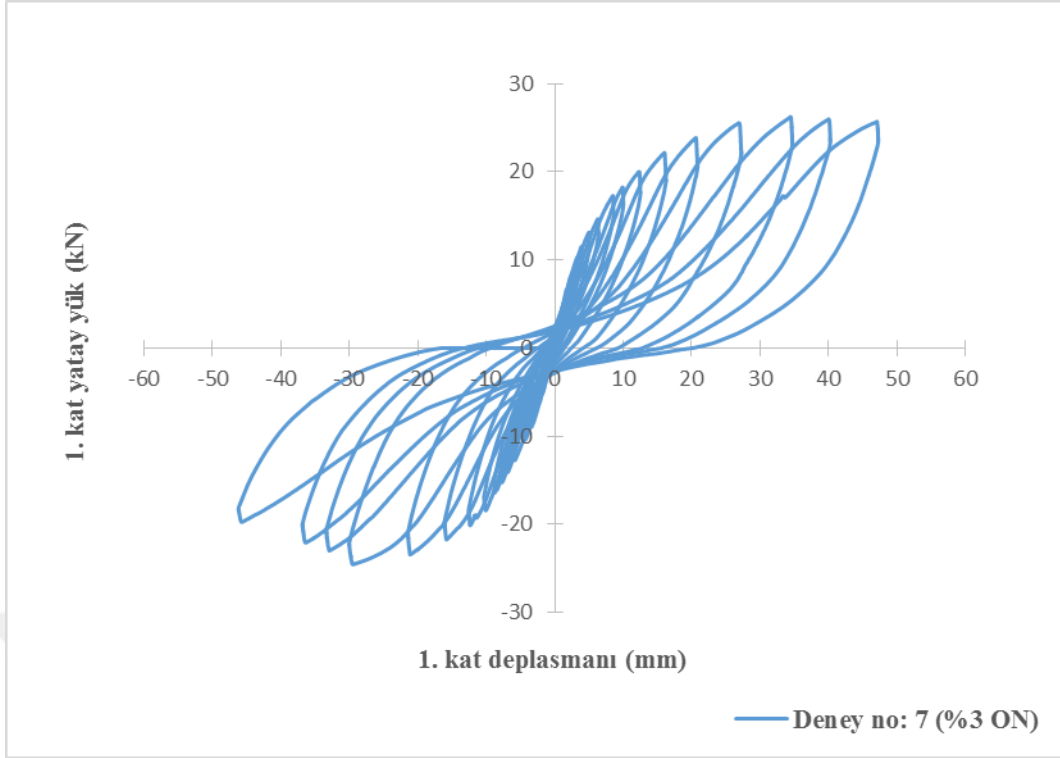
(j)

Şekil 4.99. (Devamı)

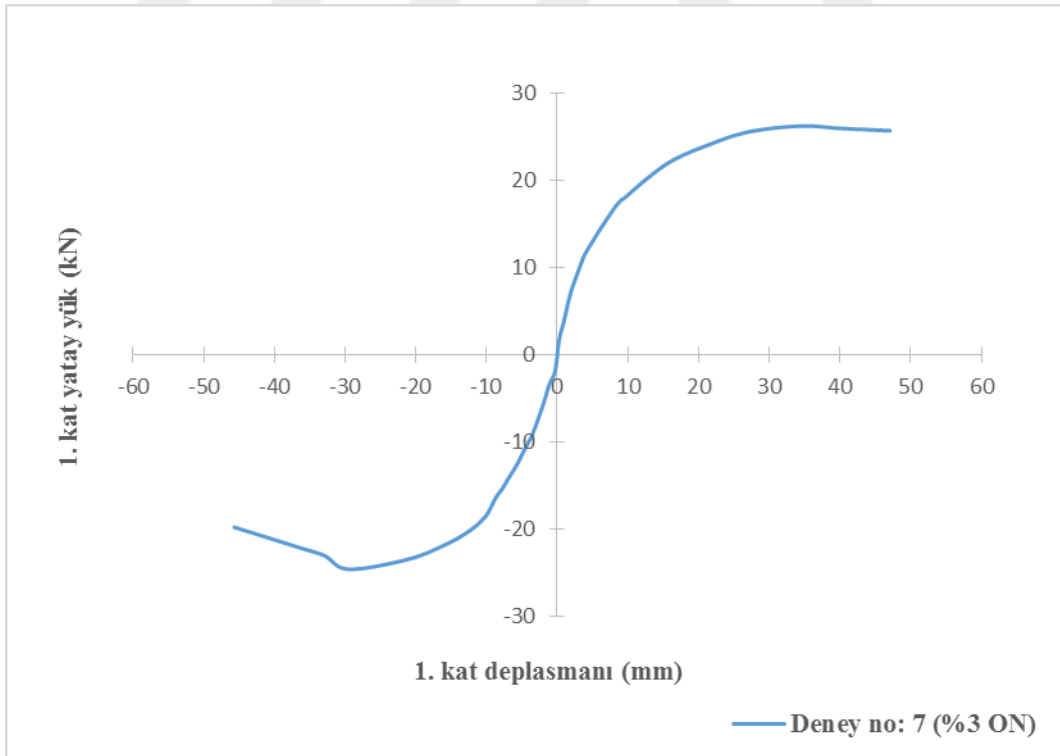
Toplam yatay yük-tepe deplasmanına göre oluşturulan histerezis eğrisi ile zarf eğrisi Şekil 4.100 ve Şekil 4.101’de, 1. kat yatay yük-1. kat deplasmanına göre oluşturulan histerezis eğrisi ile zarf eğrisi Şekil 4.102 ve Şekil 4.103’de, 1. kata gelen yatay yük-1. kat ötelenme oranı grafiği Şekil 4.104’de, sistem rijitlik azalım grafiği

Şekil 4.105’de, kümülatif toplam enerji tüketimi grafiği Şekil 4.106’da ve sistem süneklik değerlendirme grafiği Şekil 4.107’de verilmiştir.

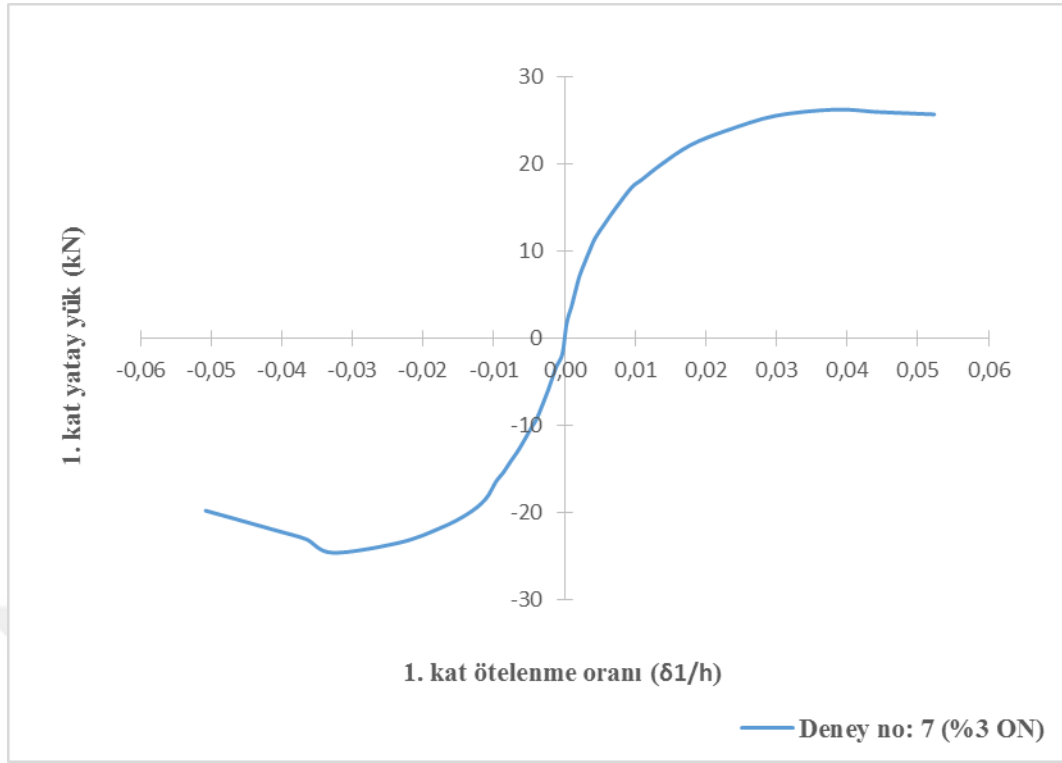




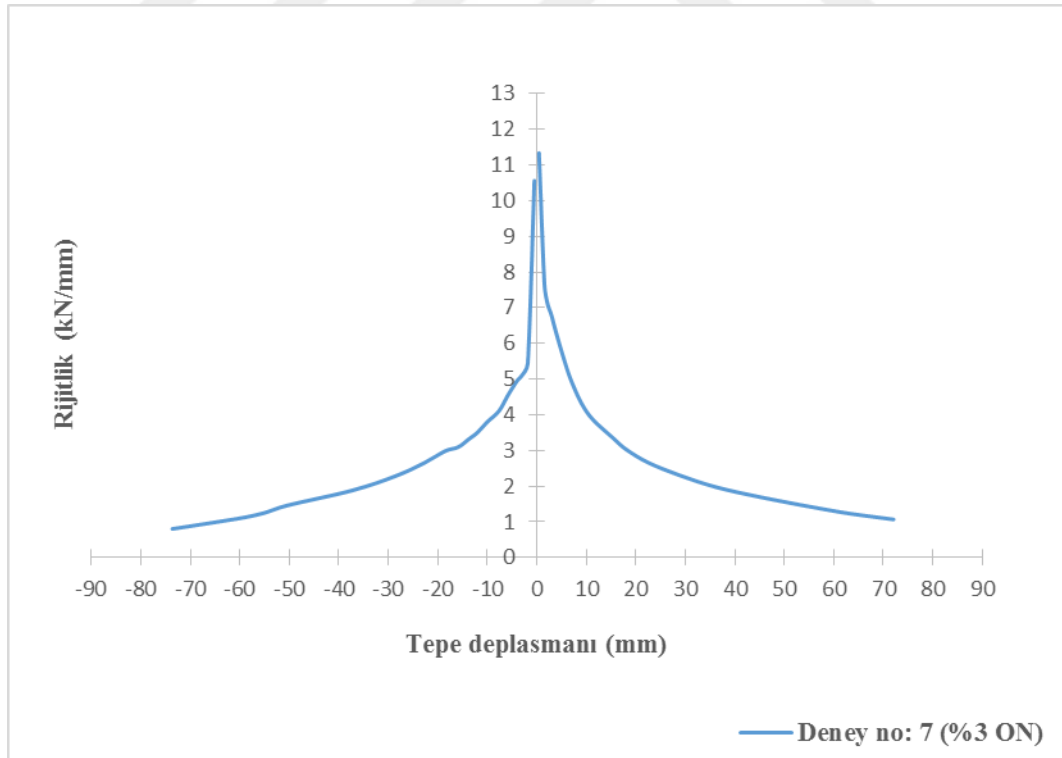
Şekil 4.102. 7 nolu deney numunesinin 1. kat histerezis eğrisi



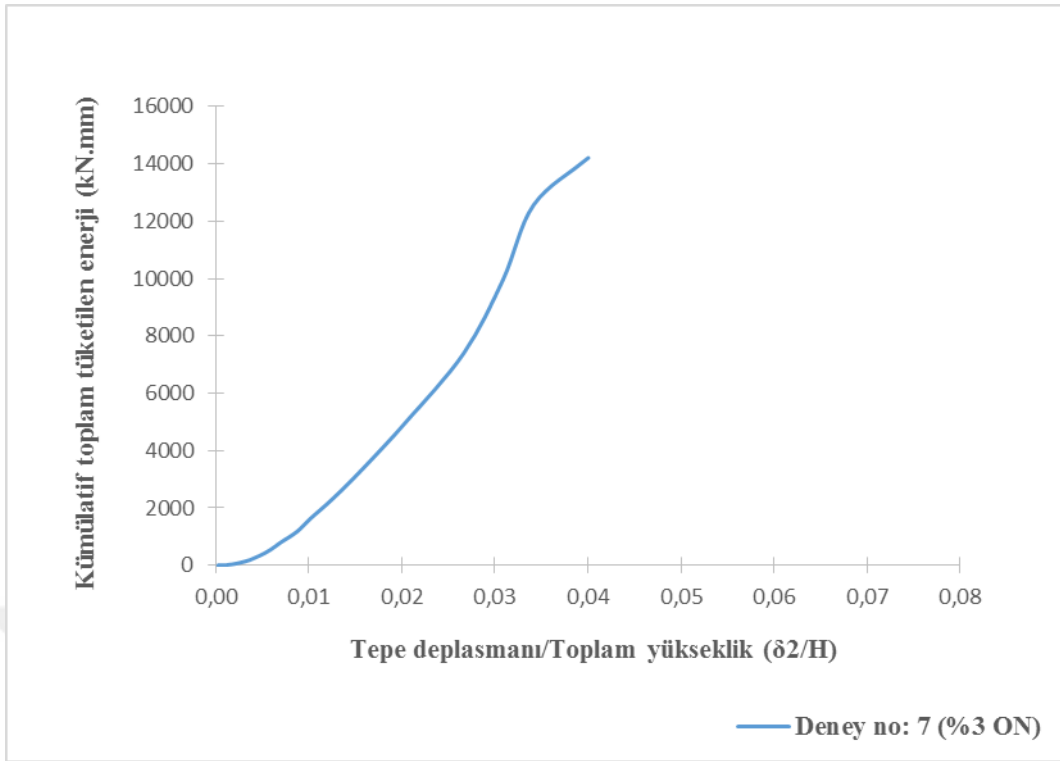
Şekil 4.103. 7 nolu deney numunesinin 1. kat zarf eğrisi



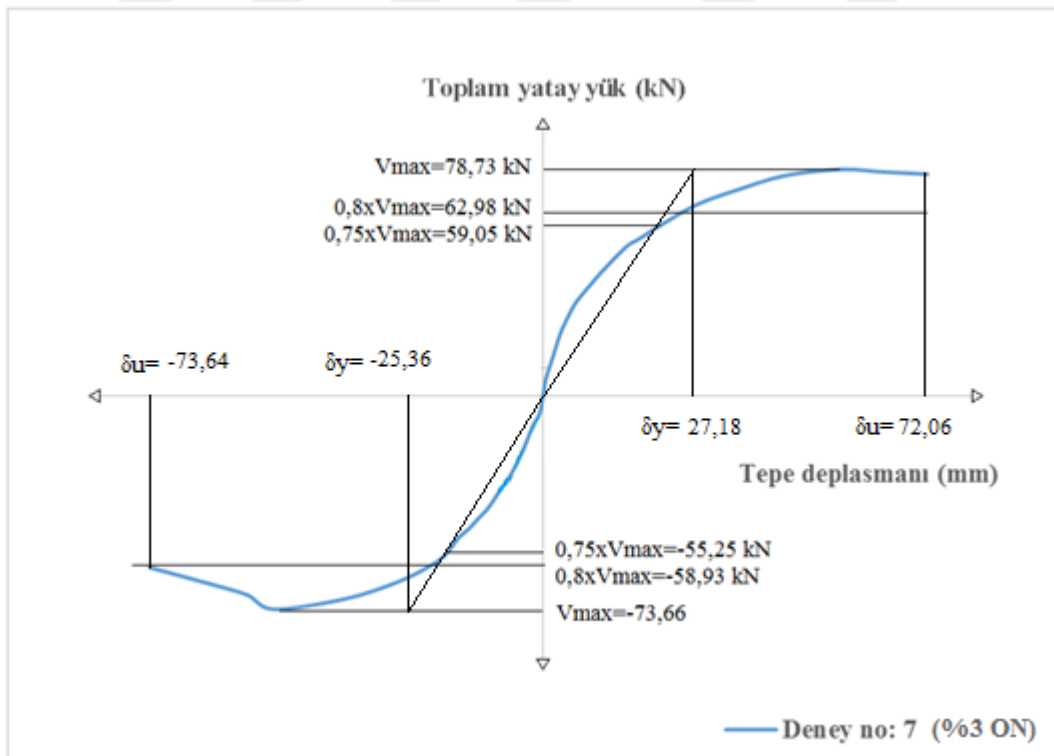
Şekil 4.104. 7 nolu deney numunesinin 1. kat yatay yük-ötelenme oranı grafiği



Şekil 4.105. 7 nolu deney numunesinin rijitlik azalım grafiği



Şekil 4.106. 7 nolu deney numunesinin kümülatif toplam tüketilen enerji-tepe deplasmanı/toplam yükseklik grafiği



Şekil 4.107. 7 nolu deney numunesinin süneklik değerlendirme grafiği

5. DENEY SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Bu bölümde, çalışma kapsamında deneyleri yapılan ve detayları ile sonuçları belirtilen, verilerin grafikler halinde sunulduğu numunelerin karşılaştırılması yapılmıştır. Yapılan çalışmanın amacı farklı hasar düzeyindeki betonarme çerçevelerin onarım sonrasındaki performanslarını belirlemek olduğundan, referans numune onarılmış numuneler ile karşılaştırılmıştır. Bu amaç doğrultusunda öncelikle, tüm numunelerin yani referans numune ve %1, %2 ve %3 deplasmana kadar depreme benzeştirilmiş tersinir tekrarlanır yük uygulanarak hasar oluşturulan numunelerin aynı özellikte ve özdeş olduğunun görülmesi için hasar oluşturulan numuneler hem referans numune ile hem de toplu olarak karşılaştırılmıştır. Her ne kadar üretilen tüm çerçevelerin boyutları, donatıları ve beton sınıfı aynı olsa da referans numune ile farklı hasar düzeylerine sahip numunelerin kıyaslanması, tüm numunelerin aynı davranışa ve özelliklere sahip olduğunu ortaya çıkarmaktadır. Daha sonra onarılmış numuneler, referans numune ile ayrı ayrı ve birlikte karşılaştırılmış olup onarımın farklı hasar düzeyindeki çerçevelerin performansına etkisi belirlenmiştir.

Numunelerin karşılaştırılması amacıyla oluşturulan gruplar aşağıda verilmiştir.

- a) Referans numune ile %1 deplasmana kadar yük uygulanıp hasar oluşturulan numunenin karşılaştırılması (RN-%1 HN)
- b) Referans numune ile %2 deplasmana kadar yük uygulanıp hasar oluşturulan numunenin karşılaştırılması (RN-%2 HN)
- c) Referans numune ile %3 deplasmana kadar yük uygulanıp hasar oluşturulan numunenin karşılaştırılması (RN-%3 HN)
- d) Referans numune ile %1, %2 ve %3 deplasmana kadar yük uygulanıp hasar oluşturulan numunelerin birlikte karşılaştırılması (RN-%1 HN-%2 HN-%3 HN)
- e) Referans numune ile %1 deplasmana kadar yük uygulanarak hasar oluşturulup onarılan numunenin karşılaştırılması (RN-%1 ON)
- f) Referans numune ile %2 deplasmana kadar yük uygulanarak hasar oluşturulup onarılan numunenin karşılaştırılması (RN-%2 ON)
- g) Referans numune ile %3 deplasmana kadar yük uygulanarak hasar oluşturulup onarılan numunenin karşılaştırılması (RN-%3 ON)
- h) Referans numune ile %1, %2 ve %3 deplasmana kadar yük uygulanarak hasar oluşturulup onarılan numunelerin karşılaştırılması (RN-%1 ON-%2 ON-%3 ON)

Numunelerin karşılaştırılması amacıyla oluşturulan grafikler aşağıda verilmiştir.

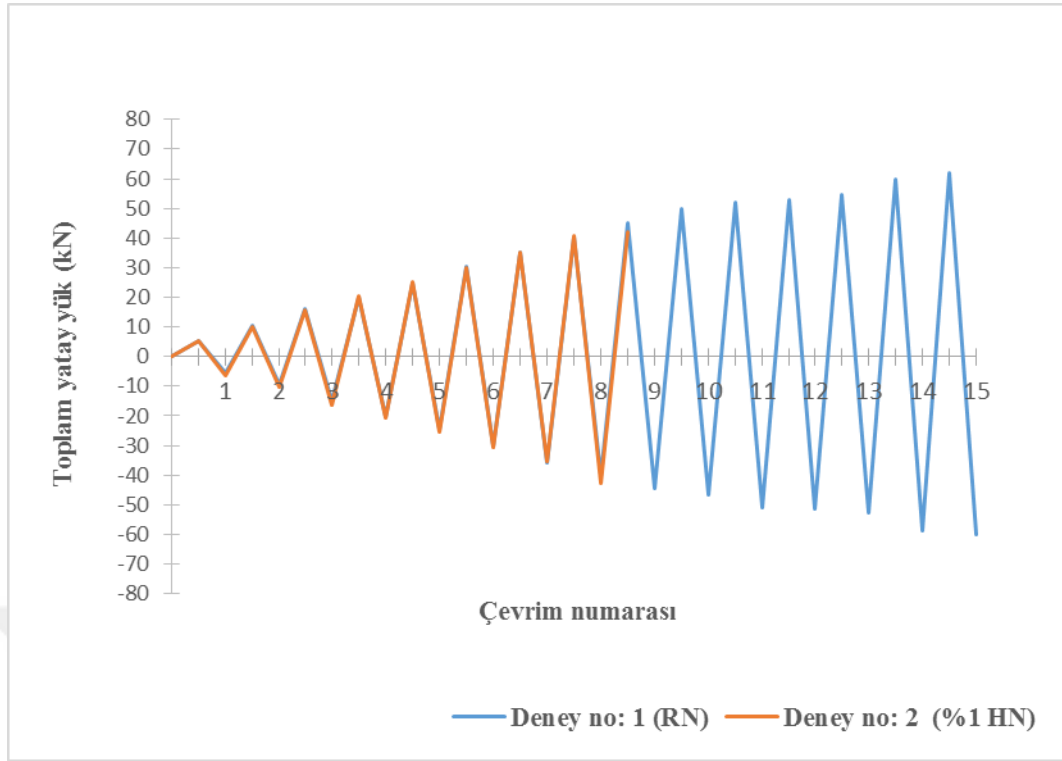
- a) Deney numunelerine uygulanan yük geçmişi
- b) Deney numunelerine uygulanan deplasman geçmişi
- c) Toplam yatay yük-tepe deplasmanı dayanım zarfı
- d) 1. kat yatay yük-1. kat deplasmanı dayanım zarfı
- e) Toplam yatay yük-tepe deplasmanına bağlı rijitlik değişim grafiği
- f) Kümülatif toplam tüketilen enerji-ötelenme oranı grafiği

5.1. Referans Numune ile %1 Deplasmana Kadar Yük Uygulanıp Hasar Oluşturulan Numunenin Karşılaştırılması (Deney no: 1 ve Deney no: 2)

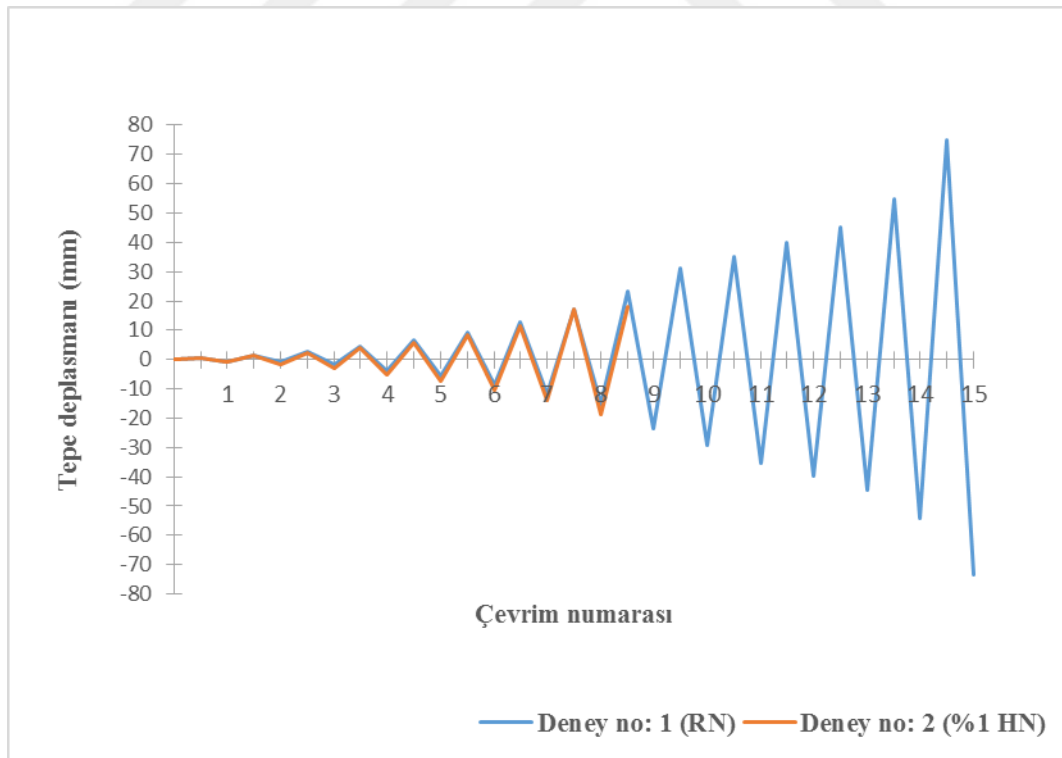
Bu bölümde, referans numune ile %1 deplasmana kadar yük uygulanıp hasar oluşturulan numunenin deney sonuçlarının ve bu değerlere göre oluşturulan grafiklerin karşılaştırılması yapılmıştır. Bu karşılaştırmadaki amaç, 2 numunenin aynı davranışa ve özelliklere sahip olduğunu belirlemektir. Böylece onarılan numune referans numune ile kıyaslandığında onarımın numune üzerindeki gerçek performansı ortaya çıkacaktır.

1 nolu deney numunesine yani referans numuneye %4 deplasmana karşılık gelen 72 mm tepe deplasmanına ulaşınca kadar yük uygulanmış, göçme seviyesine gelen numunede ağır hasarlar olduğundan deney sonlandırılmıştır. 2 nolu deney numunesine ise %1 deplasmana karşılık gelen 18 mm tepe deplasmanına kadar yük uygulanmış ve bu düzeyde hasar oluşturularak deney tamamlanmıştır.

1 nolu deney numunesinde, deney başlangıcından akma değerine kadar ileri ve geri çevrimler olmak üzere 5 kN'luk yük artışı uygulanmıştır. Akma değerinden sonra ise, yük kontrollü yüklemeye geçilerek ileri ve geri çevrimlerde 5 mm artış ile %4'lük tepe deplasmanına kadar yüklemelere devam edilmiştir. 2 nolu deney numunesine ise deney başlangıcından %1 deplasman seviyesine kadar ileri ve geri çevrimler olmak üzere 5 kN'luk yük artışı uygulanmıştır. %1 deplasman seviyesine kadar yük uygulanan 2 nolu deney numunesinde henüz akma meydana gelmediğinden, deplasman kontrollü yüklemeye geçilmeden deney sonlandırılmıştır. 1 ve 2 nolu deney numunelerinin karşılaştırmalı yük geçmişleri Şekil 5.1 ve Şekil 5.2'de, yük ve deplasman değerlerine göre ayrı ayrı verilmiş olup şekillerde numunelere %1 deplasmana ulaşınca kadar uygulanan toplam yatay yükün, tepe deplasmanlarının ve çevrim sayılarının birbirleriyle benzer değerlere sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 5.1. 1 ve 2 nolu deney numunelerinin yük geçmişi

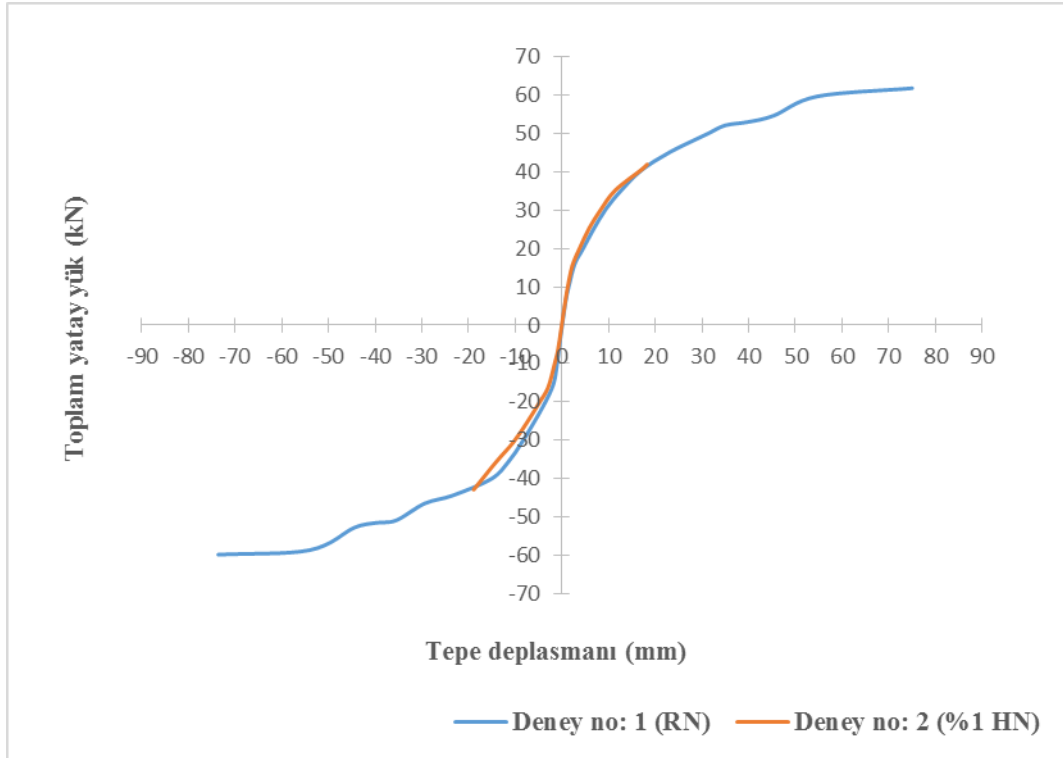


Şekil 5.2. 1 ve 2 nolu deney numunelerinin deplasman geçmişi

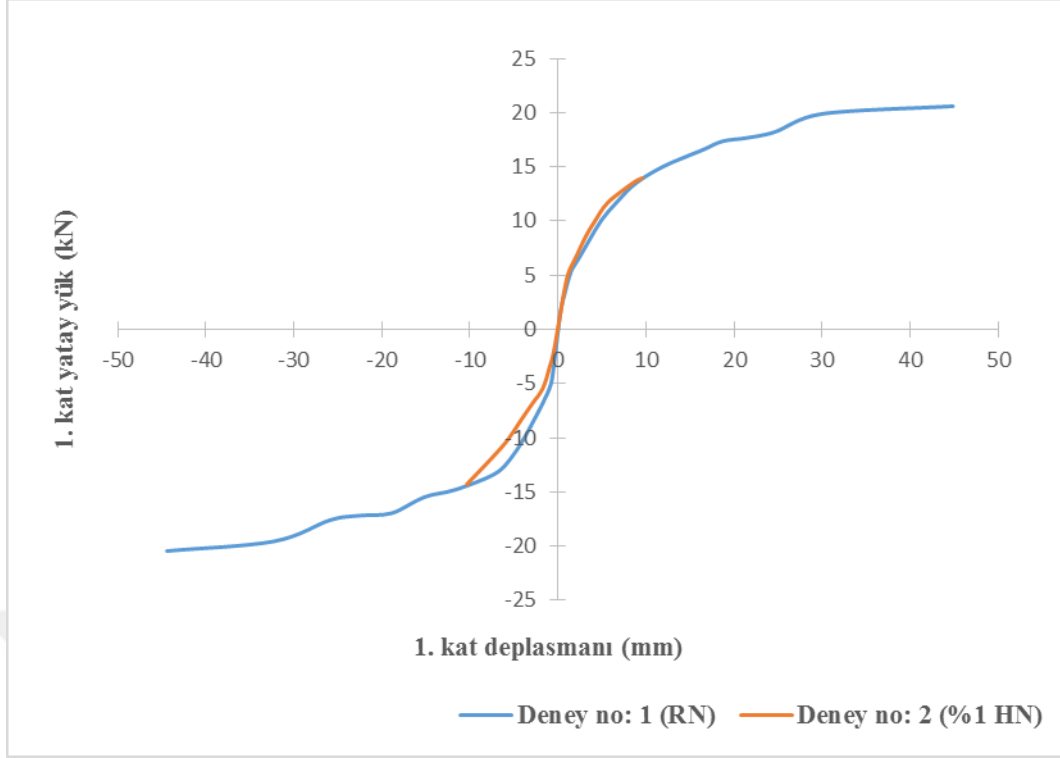
1 ve 2 nolu deney numunelerinin, toplam yatay yük-tepe deplasmanı zarf eğrisi ile 1. kat yatay yük-1. kat deplasmanı zarf eğrisi karşılaştırma grafiği Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'de verilmiştir. 2 nolu deney numunesinin, toplam yatay yük-tepe deplasmanı zarf eğrisi dikkate alındığında; numunenin ileri çevrimde yaklaşık %1 deplasman seviyesine karşılık gelen 18.22 mm değerine 41.91 kN toplam yatay yükte ulaştığı, geri çevrimde ise 18.93 mm deplasmana karşılık gelen toplam yatay yük değerinin 42.87 kN olduğu görülmektedir.

2 nolu deney numunesinin, 1. kat yatay yük-1. kat deplasmanı zarf eğrisi dikkate alındığında; numunenin ileri çevrimde yaklaşık %1 deplasman seviyesine karşılık gelen 9.56 mm değerine 13.97 kN yatay yükte ulaştığı, geri çevrimde ise 10.36 mm deplasmana karşılık gelen toplam yatay yük değerinin 14.29 kN olduğu görülmektedir. 1. kat yüksekliği 900 mm olduğundan 1. kat için %1 deplasmana karşılık gelen değer 9 mm'dir.

1 ve 2 nolu deney numunelerinin, toplam yatay yük-tepe deplasmanı zarf eğrisi ile 1. kat yatay yük-1. kat deplasmanı zarf eğrisi karşılaştırma grafiği dikkate alındığında numunelerin benzer değerlere sahip olduğu görülmektedir. Dolayısıyla dayanım zarfları açısından 2 numunenin genel olarak aynı özellik ve davranışa sahip olduğu anlaşılmaktadır.



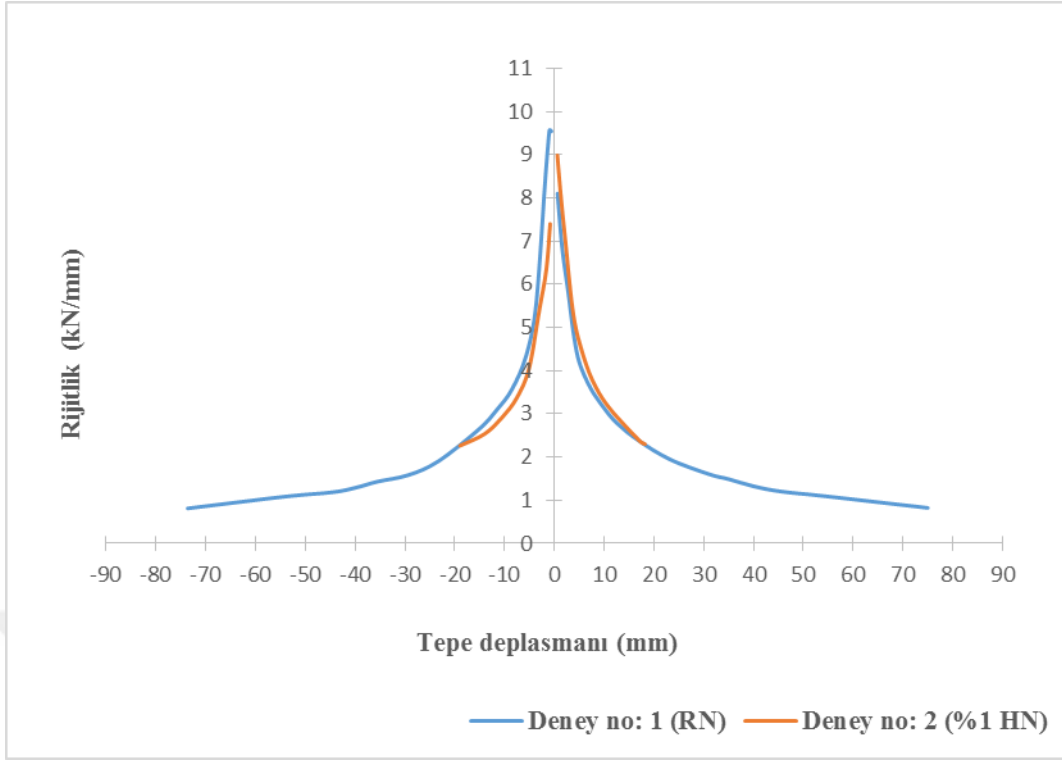
Şekil 5.3. 1 ve 2 nolu deney numunelerinin zarf eğrisi



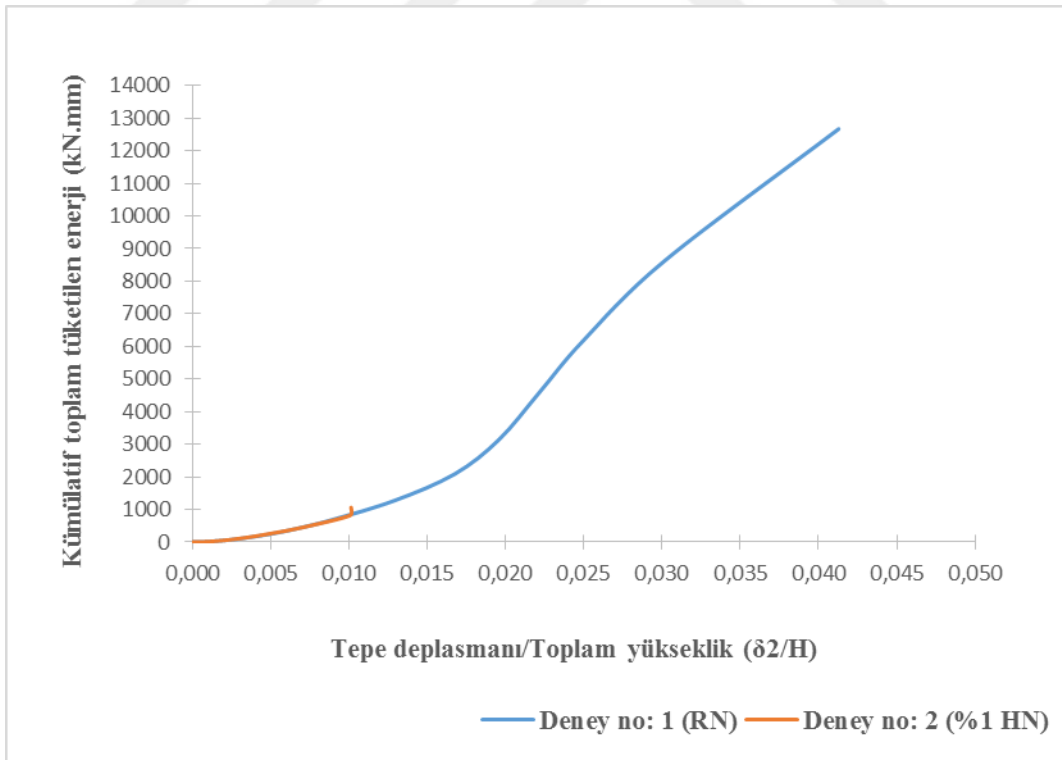
Şekil 5.4. 1 ve 2 nolu deney numunelerinin 1. kat zarf eğrisi

1 ve 2 nolu deney numuneleri ile ilgili toplam yatay yük-tepe deplasmanına göre oluşturulan rijitlik değişimi grafikleri karşılaştırması Şekil 5.5’de verilmiştir. Rijitlik değişimi karşılaştırma grafiğinden görüldüğü gibi, 1 nolu deney numunesi için başlangıç rijitliği ileri çevrim yönünde 8.11 kN/mm, geri çevrim yönünde 9.55 kN/mm iken, 2 nolu deney numunesinde başlangıç rijitliği ileri çevrim yönünde 8.99 kN/mm, geri çevrim yönünde 7.40 kN/mm’dir. İlerleyen çevrimlerde 2 numunede rijitliklerin düştüğü görülmektedir. Dolayısıyla rijitlik değişimi açısından, 2 numunenin genel olarak aynı özellik ve davranışa sahip olduğu anlaşılmaktadır.

1 ve 2 nolu deney numuneleri ile ilgili kümülatif toplam tüketilen enerji-tepe deplasmanı/toplam yükseklik grafikleri karşılaştırması Şekil 5.6’da verilmiştir. Kümülatif toplam tüketilen enerji-tepe deplasmanı/toplam yükseklik grafiğinden görüldüğü gibi, 2 nolu deney numunesi yaklaşık %1 deplasman değerinde 1063.35 kN.mm enerji tüketmiş iken 1 nolu deney numunesinin aynı deplasman oranında 937 kN.mm enerji tükettiği görülmektedir. Dolayısıyla kümülatif toplam tüketilen enerji açısından, 2 numunenin genel olarak aynı özellik ve davranışa sahip olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 5.5. 1 ve 2 nolu deney numunelerinin rijitlik azalım grafiği



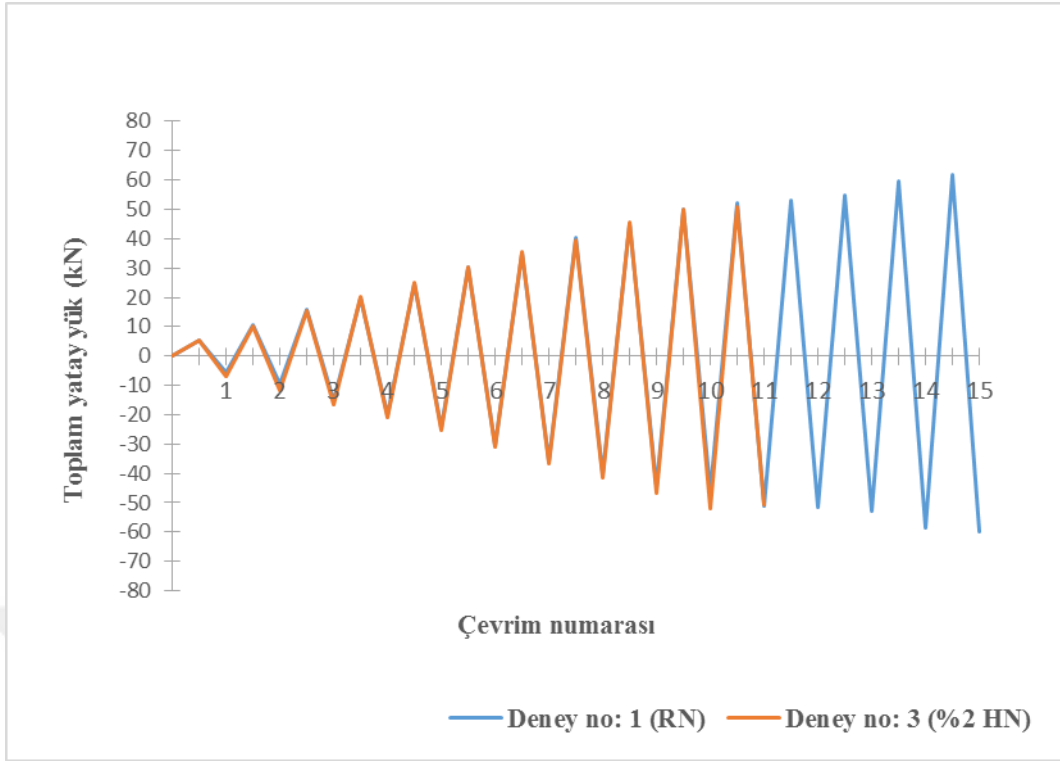
Şekil 5.6. 1 ve 2 nolu deney numunelerinin kümülatif toplam tüketilen enerji-tepe deplasmanı/toplam yükseklik grafiği

5.2. Referans Numune ile %2 Deplasmana Kadar Yük Uygulanıp Hasar Oluşturulan Numunenin Karşılaştırılması (Deney no: 1 ve Deney no: 3)

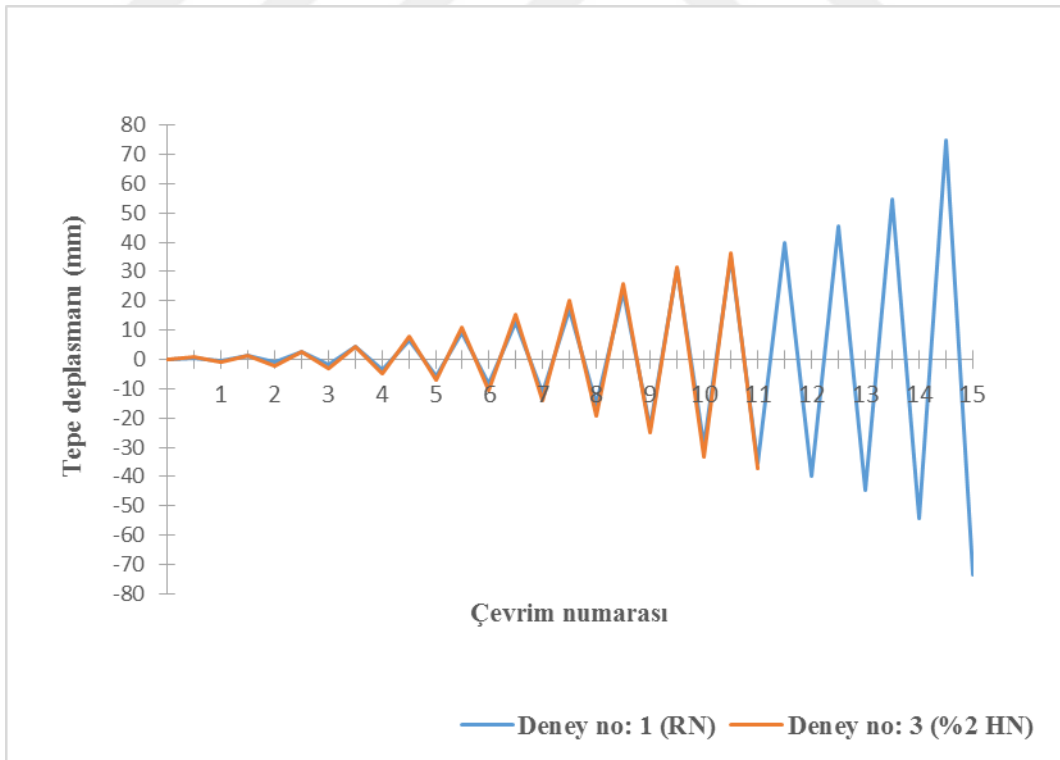
Bu bölümde, referans numune ile %2 deplasmana kadar yük uygulanıp hasar oluşturulan numunenin deney sonuçlarının ve bu değerlere göre oluşturulan grafiklerin karşılaştırılması yapılmıştır. Bu kıyaslamadaki amaç, 2 numunenin aynı davranışa ve özelliklere sahip olduğunu belirlemektir. Dolayısıyla onarılan numune referans numune ile karşılaştırıldığında, onarımın numune üzerindeki gerçek performansı ortaya çıkacaktır. 1 nolu deney numunesine yani referans numuneye %4 deplasmana karşılık gelen 72 mm tepe deplasmanına ulaşıncaya kadar yük uygulanmış ve deney sonlandırılmıştır. 3 nolu deney numunesine ise %2 deplasmana karşılık gelen 36 mm tepe deplasmanına kadar yük uygulamış ve bu düzeyde hasar oluşturularak deney tamamlanmıştır. 1 nolu deney numunesinde, deney başlangıcından akma değerine kadar ileri ve geri çevrimler olmak üzere 5 kN'luk yük artışı uygulanmıştır. Akma değerinden sonra ise, yük kontrollü yüklemeden deplasman kontrollü yüklemeye geçilerek ileri ve geri çevrimlerde 5 mm artış ile 72 mm'lik tepe deplasmanına kadar yüklemelere devam edilmiştir. 3 nolu deney numunesine ise benzer şekilde deney başlangıcından akma değerine kadar, ileri ve geri çevrimler olmak üzere 5 kN'luk yük artışı uygulanmış, akma değerinden sonra ise, yük kontrollü yüklemeden deplasman kontrollü yüklemeye geçilerek ileri ve geri olmak üzere 5 mm artış ile % 2'lik tepe deplasmanına karşılık gelen 36 mm deplasmana kadar yükleme devam edilmiş ve deney sonlandırılmıştır.

1 ve 3 nolu deney numunelerinin karşılaştırmalı yük geçmişleri Şekil 5.7 ve Şekil 5.8'de yük ve deplasman değerlerine göre ayrı ayrı verilmiş olup şekillerde numunelere %2 deplasmana ulaşıncaya kadar uygulanan toplam yatay yükün, tepe deplasmanlarının ve çevrim sayılarının birbirleriyle benzer değerlere sahip olduğu görülmektedir.

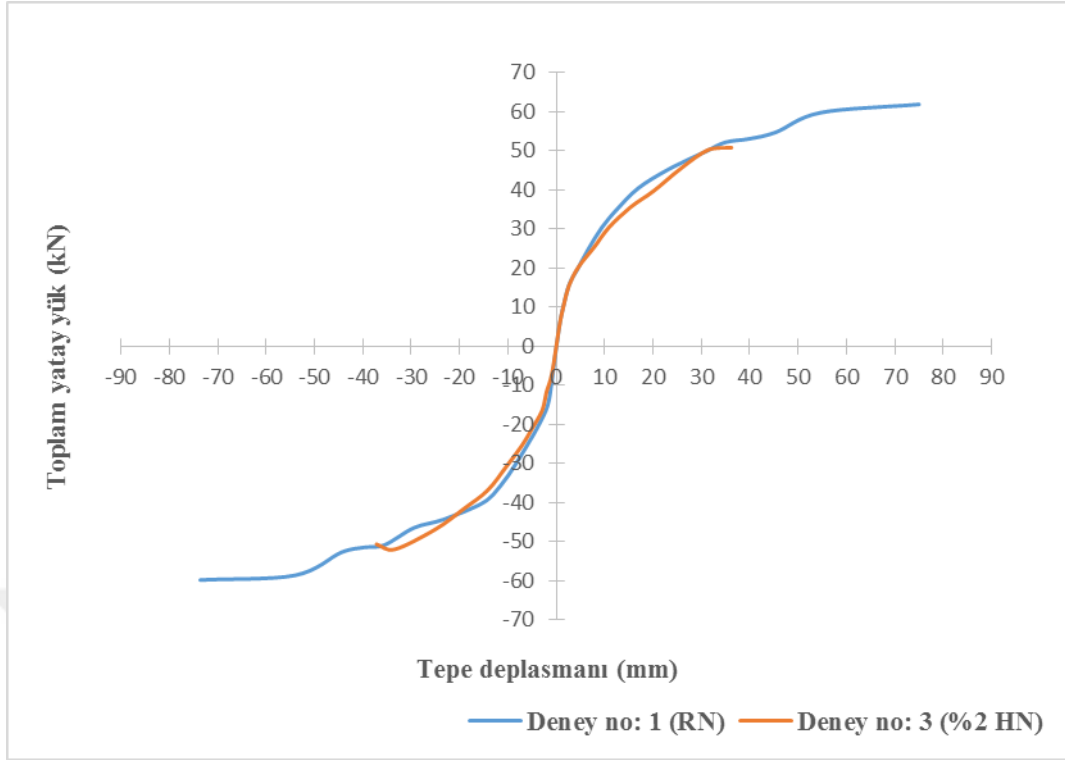
1 ve 3 nolu deney numunelerinin, toplam yatay yük-tepe deplasmanı zarf eğrisi ile 1. kat yatay yük-1. kat deplasmanı zarf eğrisi karşılaştırma grafiği Şekil 5.9 ve Şekil 5.10'da verilmiştir. 3 nolu deney numunesinin toplam yatay yük-tepe deplasmanı zarf eğrisi dikkate alındığında; numunenin ileri çevrimde yaklaşık %2 deplasman seviyesine karşılık gelen 36.21 mm değerine 50.74 kN toplam yatay yükte ulaştığı, geri çevrimde ise 37.19 mm deplasmana karşılık gelen toplam yatay yük değerinin 50.69 kN olduğu görülmektedir.



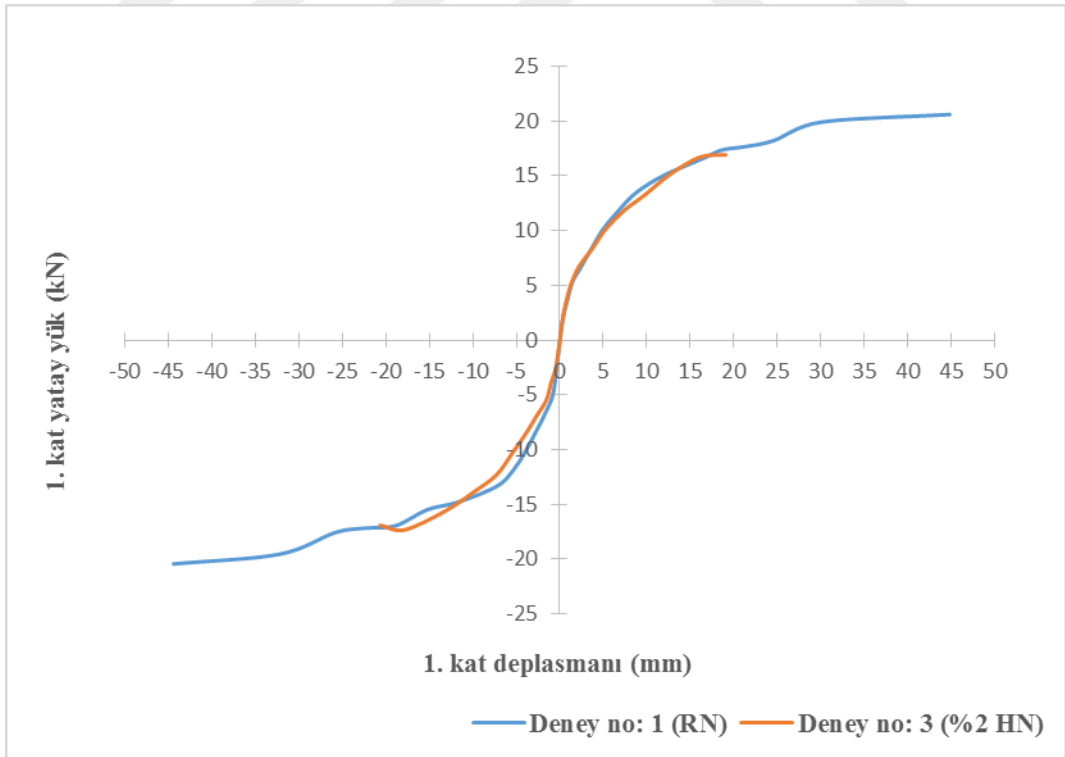
Şekil 5.7. 1 ve 3 nolu deney numunelerinin yük geçmişi



Şekil 5.8. 1 ve 3 nolu deney numunelerinin deplasman geçmişi



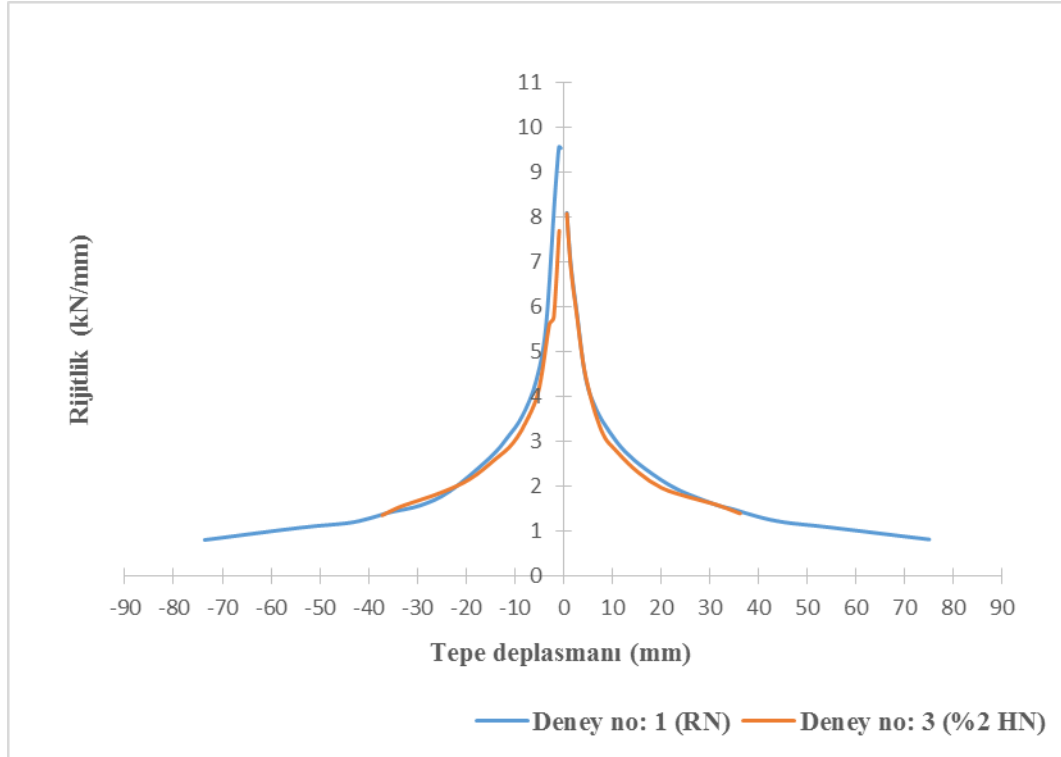
Şekil 5.9. 1 ve 3 nolu deney numunelerinin zarf eğrisi



Şekil 5.10. 1 ve 3 nolu deney numunelerinin 1. kat zarf eğrisi

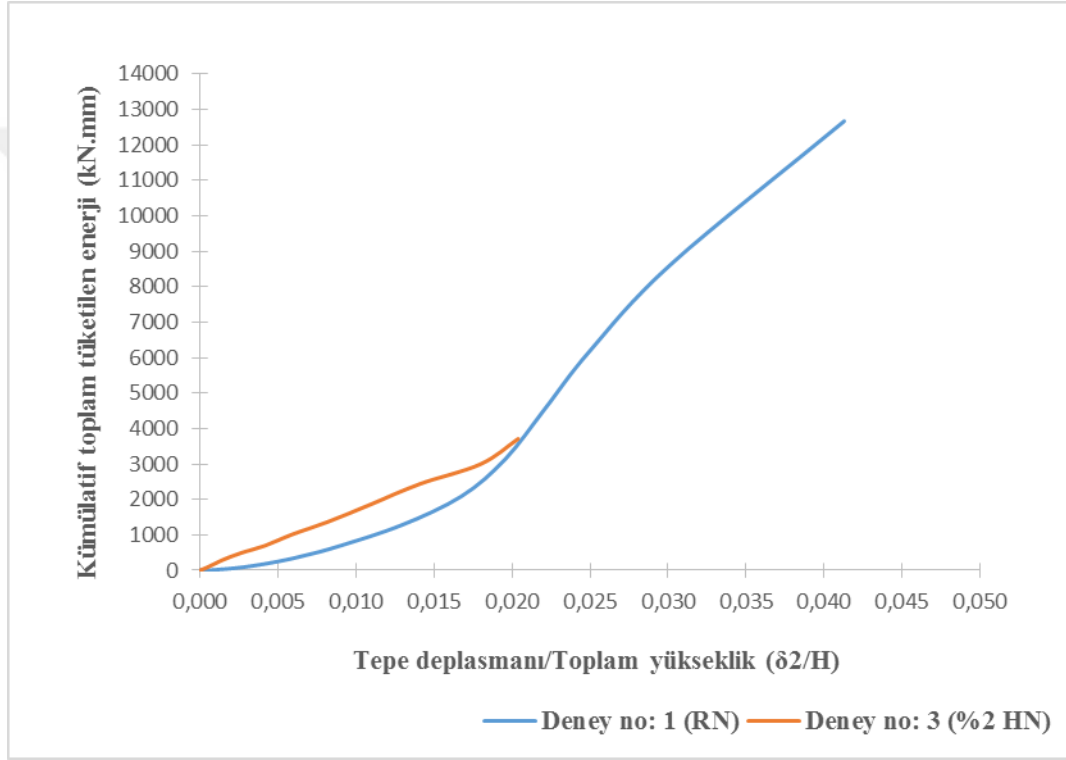
3 nolu deney numunesinin 1. kat yatay yük-1. kat deplasmanı zarf eğrisi dikkate alındığında; numunenin ileri çevrimde yaklaşık %2 deplasman seviyesine karşılık gelen 19.08 mm değerine 16.91 kN yatay yükte ulaştığı, geri çevrimde ise 20.66 mm deplasmana karşılık gelen toplam yatay yük değerinin 16.90 kN olduğu görülmektedir. 1. kat yüksekliği 900 mm olduğundan 1. kat için %2 deplasmana karşılık gelen değer 18 mm'dir. 1 ve 3 nolu deney numunelerinin toplam yatay yük-tepe deplasmanı zarf eğrisi ile 1. kat yatay yük-1. kat deplasmanı zarf eğrisi karşılaştırma grafiği dikkate alındığında, numunelerin benzer değerlere sahip olduğu görülmektedir. Dolayısıyla dayanım zarfları açısından, 2 numunenin genel olarak aynı özellik ve davranışa sahip olduğu anlaşılmaktadır.

1 ve 3 nolu deney numuneleri ile ilgili toplam yatay yük-tepe deplasmanına göre oluşturulan rijitlik değişimi grafikleri karşılaştırması Şekil 5.11'de verilmiştir. Rijitlik değişimi karşılaştırma grafiğinden görüldüğü gibi, 1 nolu deney numunesi için başlangıç rijitliği ileri çevrim yönünde 8.11 kN/mm, geri çevrim yönünde 9.55 kN/mm iken, 3 nolu deney numunesinde başlangıç rijitliği ileri çevrim yönünde 8.09 kN/mm, geri çevrim yönünde 7.71 kN/mm'dir. İlerleyen çevrimlerde 2 numunede rijitliklerin düştüğü görülmektedir. Dolayısıyla rijitlik değişimi açısından, 2 numunenin genel olarak aynı özellik ve davranışa sahip olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 5.11. 1 ve 3 nolu deney numunelerinin rijitlik azalım grafiği

1 ve 3 nolu deney numuneleri ile ilgili kümülatif toplam tüketilen enerji-tepe deplasmanı/toplam yükseklik grafikleri karşılaştırması Şekil 5.12’de verilmiştir. Kümülatif toplam tüketilen enerji-tepe deplasmanı/toplam yükseklik grafiğinden görüldüğü gibi, 3 nolu deney numunesi yaklaşık %2 deplasman değerinde 3710.31 kN.mm enerji tüketmiş iken 1 nolu deney numunesinin aynı deplasman oranında 3600.20 kN.mm enerji tükettiği görülmektedir. Dolayısıyla genel olarak kümülatif toplam tüketilen enerji açısından, 2 numunenin benzer özellik ve davranışa sahip olduğu anlaşılmaktadır.

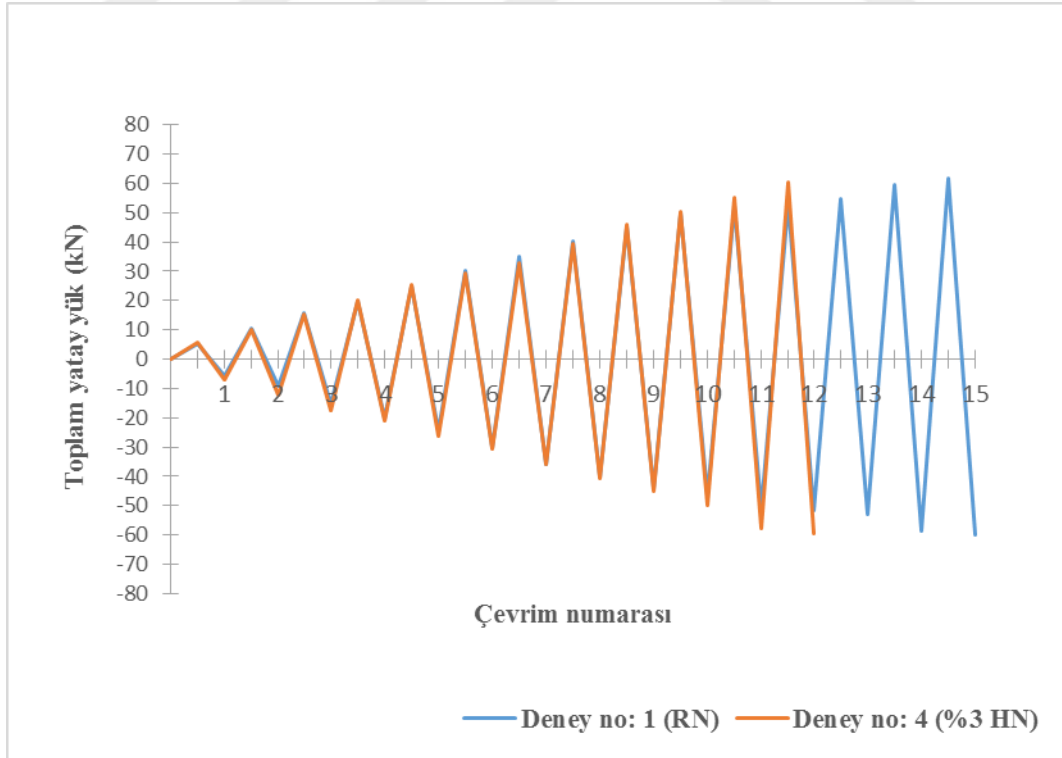


Şekil 5.12. 1 ve 3 nolu deney numunelerinin kümülatif toplam tüketilen enerji-tepe deplasmanı/toplam yükseklik grafiği

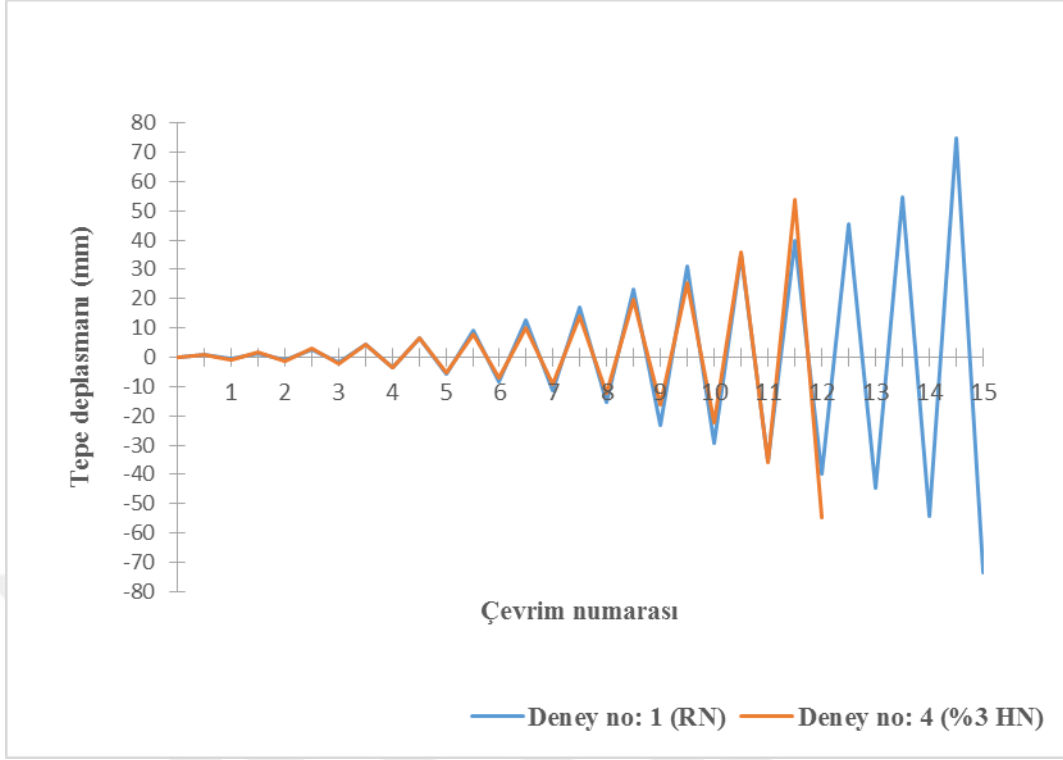
5.3. Referans Numune ile %3 Deplasmana Kadar Yük Uygulanıp Hasar Oluşturulan Numunenin Karşılaştırılması (Deney no: 1 ve Deney no: 4)

Bu bölümde, referans numune ile %3 deplasmana kadar yük uygulanıp hasar oluşturulan numunenin deney sonuçlarının ve bu değerlere göre oluşturulan grafiklerin karşılaştırılması yapılmıştır. Bu kıyaslamadaki amaç, daha önce de belirtildiği gibi 2 numunenin aynı özellik ve davranışa sahip olduğunu belirlemektir. Bu şekilde onarılan numune, referans numune ile karşılaştırıldığında onarımın numune üzerindeki gerçek performansı ortaya çıkacaktır.

1 nolu deney numunesine yani referans numuneye %4 deplasmana ulaşıncaya kadar, 4 nolu deney numunesine ise %3 deplasmana karşılık gelen 54 mm tepe deplasmanına kadar yük uygulamış ve bu düzeyde hasar oluşturularak deney tamamlanmıştır. 1 nolu deney numunesinde deney başlangıcından akma değerine kadar ileri ve geri çevrimler olmak üzere 5 kN'luk yük artışı uygulanmıştır. Akma değerinden sonra ise, yük kontrollü yüklemekten deplasman kontrollü yüklemeye geçilerek, ileri ve geri çevrimlerde 5 mm artış ile 72 mm'lik tepe deplasmanına kadar yüklemelere devam edilmiştir. 4 nolu deney numunesine ise benzer şekilde deney başlangıcından akma değerine kadar, ileri ve geri çevrimler olmak üzere 5 kN'luk yük artışı uygulanmış, akma değerinden sonra ise, yük kontrollü yüklemekten deplasman kontrollü yüklemeye geçilerek, ileri ve geri olmak üzere 5 mm artış ile %3'lük tepe deplasmanına karşılık gelen 54 mm deplasmana kadar yükleme devam edilmiş ve deney sonlandırılmıştır. 1 ve 4 nolu deney numunelerinin karşılaştırmalı yük geçmişleri şekil 5.13 ve şekil 5.14'de yük ve deplasman değerlerine göre ayrı ayrı verilmiş olup şekillerde numunelere %3 deplasmana ulaşıncaya kadar uygulanan toplam yatay yükün, tepe deplasmanlarının ve çevrim sayılarının birbirleriyle benzer değerlere sahip olduğu görölmektedir.



şekil 5.13. 1 ve 4 nolu deney numunelerinin yük geçmişi

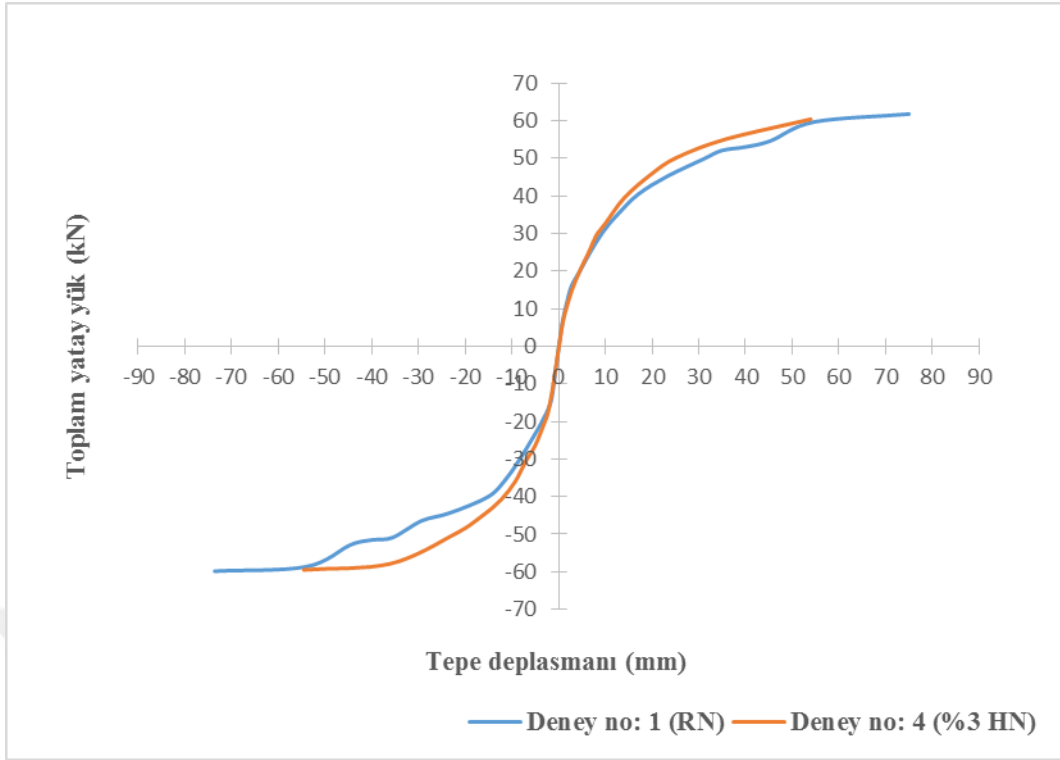


Şekil 5.14. 1 ve 4 nolu deney numunelerinin deplasman geçmişi

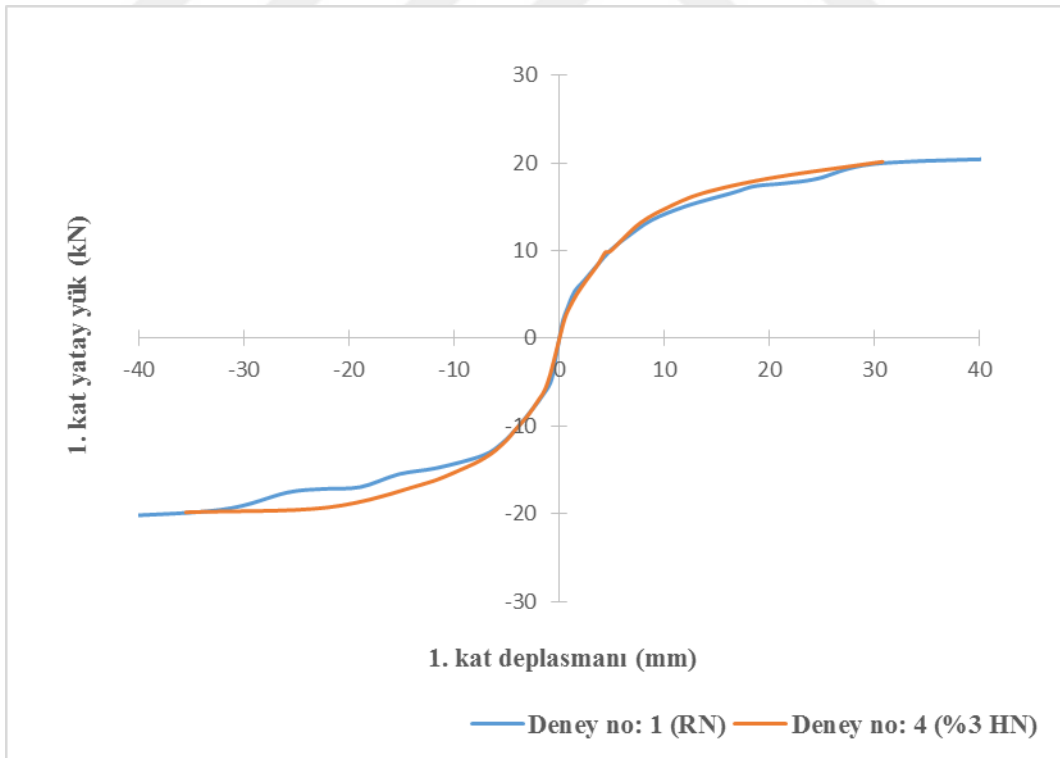
1 ve 4 nolu deney numunelerinin, toplam yatay yük-tepe deplasmanı zarf eğrisi ile 1. kat yatay yük-1. kat deplasmanı zarf eğrisi karşılaştırma grafiği Şekil 5.15 ve Şekil 5.16’da verilmiştir. 4 nolu deney numunesinin toplam yatay yük-tepe deplasmanı zarf eğrisi dikkate alındığında; numunenin ileri çevrimde yaklaşık %3 deplasman seviyesine karşılık gelen 53.94 mm değerine 60.42 kN toplam yatay yükte ulaştığı, geri çevrimde ise 54.55 mm deplasmana karşılık gelen toplam yatay yük değerinin 59.49 kN olduğu görülmektedir.

4 nolu deney numunesinin, 1. kat yatay yük-1. kat deplasmanı zarf eğrisi dikkate alındığında; numunenin ileri çevrimde yaklaşık %3 deplasman seviyesine karşılık gelen 30.78 mm değerine 20.14 kN yatay yükte ulaştığı, geri çevrimde ise 35.49 mm deplasmana karşılık gelen toplam yatay yük değerinin 19.83 kN olduğu görülmektedir.

1 ve 4 nolu deney numunelerinin toplam yatay yük-tepe deplasmanı zarf eğrisi ile 1. kat yatay yük-1. kat deplasmanı zarf eğrisi karşılaştırma grafiği dikkate alındığında, numunelerin benzer değerlere sahip olduğu görülmektedir. Dolayısıyla dayanım zarfları açısından, 2 numunenin genel olarak aynı özellik ve davranışa sahip olduğu anlaşılmaktadır.

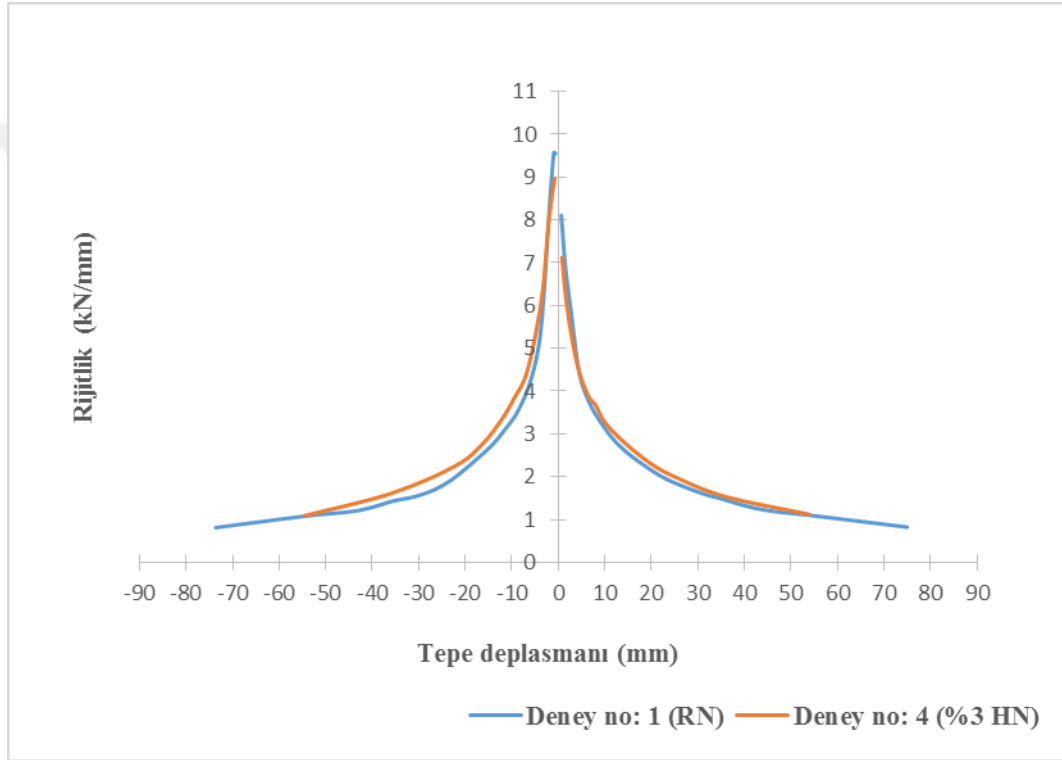


Şekil 5.15. 1 ve 4 nolu deney numunelerinin zarf eğrisi



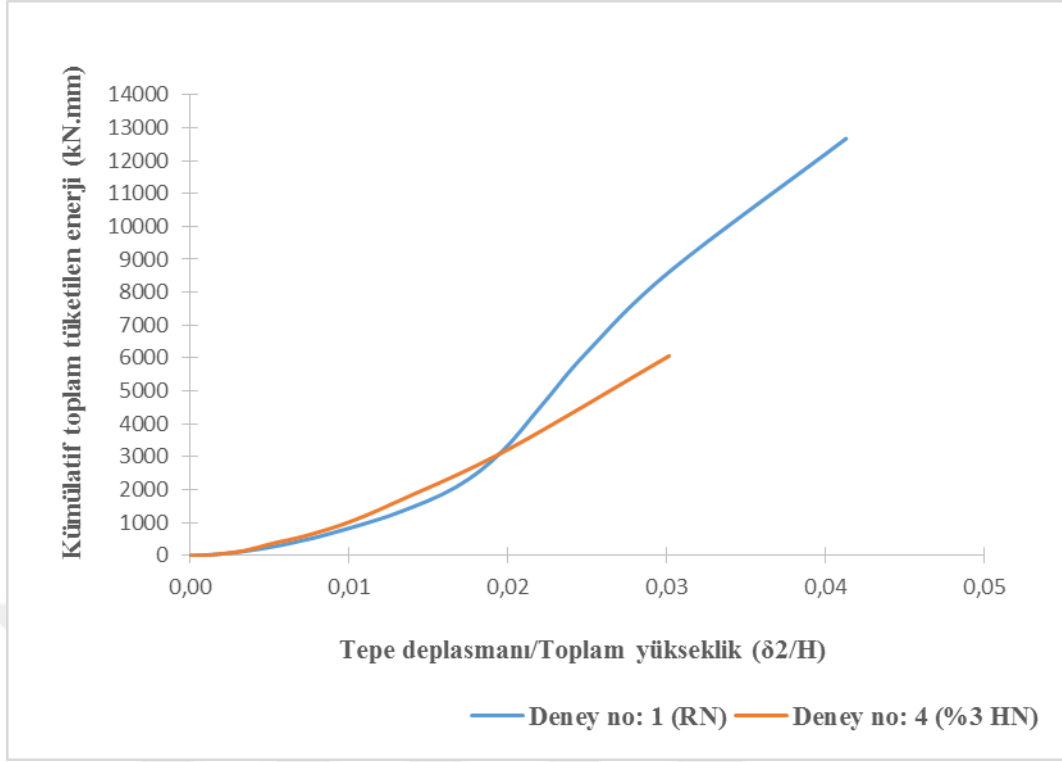
Şekil 5.16. 1 ve 4 nolu deney numunelerinin 1. kat zarf eğrisi

1 ve 4 nolu deney numuneleri ile ilgili toplam yatay yük-tepe deplasmanına göre oluşturulan rijitlik değişimi grafikleri karşılaştırması Şekil 5.17’de verilmiştir. Rijitlik değişimi karşılaştırma grafiğinden görüldüğü gibi, 1 nolu deney numunesi için başlangıç rijitliği ileri çevrim yönünde 8.11 kN/mm, geri çevrim yönünde 9.55 kN/mm iken, 4 nolu deney numunesinde başlangıç rijitliği ileri çevrim yönünde 7.12 kN/mm, geri çevrim yönünde ise 8.97 kN/mm’dir. İlerleyen çevrimlerde 2 numunede rijitliklerin düştüğü görülmektedir. Dolayısıyla rijitlik değişimi açısından, 2 numunenin genel olarak aynı özellik ve davranışa sahip olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 5.17. 1 ve 4 nolu deney numunelerinin rijitlik azalım grafiği

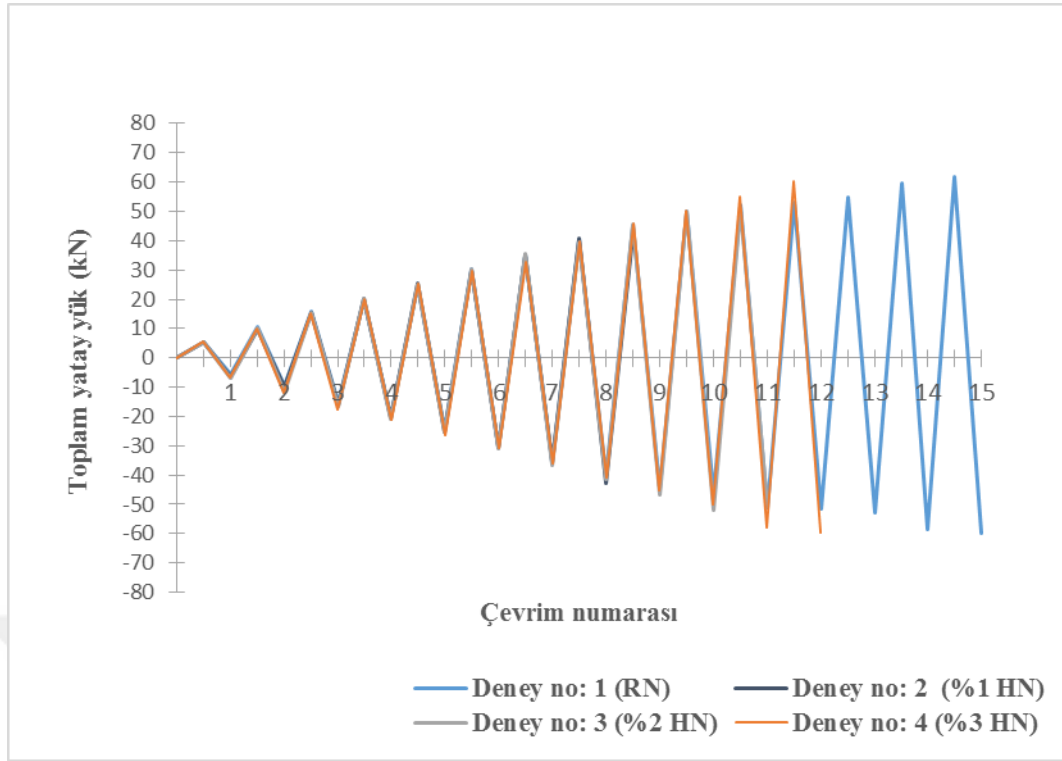
1 ve 4 nolu deney numuneleri ile ilgili kümülatif toplam tüketilen enerji-tepe deplasmanı/toplam yükseklik grafikleri karşılaştırması Şekil 5.18’de verilmiştir. Kümülatif toplam tüketilen enerji-tepe deplasmanı/toplam yükseklik grafiğinden görüldüğü gibi, 4 nolu deney numunesi yaklaşık %3 deplasman değerinde 6064.92 kN.mm enerji tüketmiş iken 1 nolu deney numunesinin aynı deplasman oranında 8581 kN.mm enerji tükettiği görülmektedir.



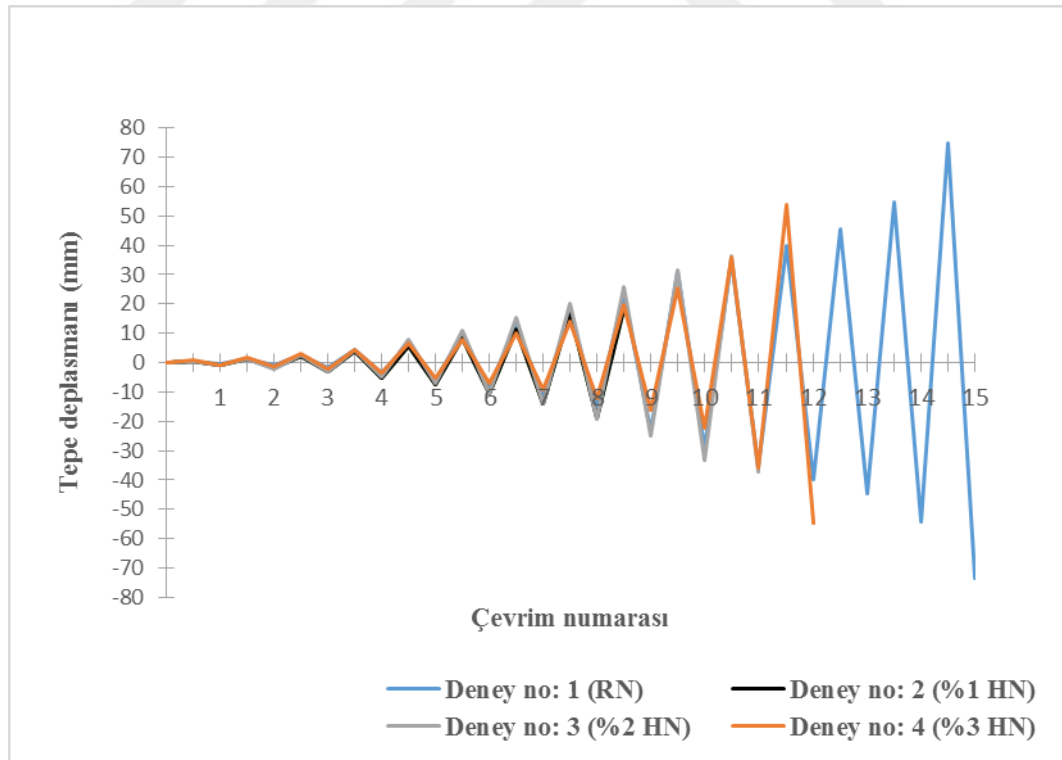
Şekil 5.18. 1 ve 4 nolu deney numunelerinin kümülatif toplam tüketilen enerji-tepe deplasmanı/toplam yükseklik grafiği

5.4. Referans Numune ile %1, %2 ve %3 Deplasmana Kadar Yük Uygulanıp Hasar Oluşturulan Numunelerin Karşılaştırılması (Deney no: 1, Deney no: 2, Deney no: 3 ve Deney no: 4)

Bu bölümde, referans numune ile %1, %2 ve %3 deplasmana kadar yük uygulanıp hasar oluşturulan numunelerin deney sonuçlarının ve bu değerlere göre oluşturulan grafiklerin karşılaştırılması yapılmıştır. Bu karşılaştırmadaki amaç, daha önce de belirtildiği gibi tüm numunelerin aynı davranışa ve özelliklere sahip olduğunu belirlemektir. Böylece onarılan numuneler referans numune ile kıyaslandığında onarımın numuneler üzerindeki gerçek performansı ortaya çıkacaktır. 1, 2, 3 ve 4 nolu deney numunelerinin karşılaştırmalı yük geçmişleri Şekil 5.19 ve Şekil 5.20’de, yük ve deplasman değerlerine göre ayrı ayrı verilmiş olup şekillerde farklı deplasman oranlarında, numunelere uygulanan toplam yatay yükün, tepe deplasmanlarının ve çevrim sayılarının birbirleriyle benzer değerlere sahip olduğu görülmektedir.



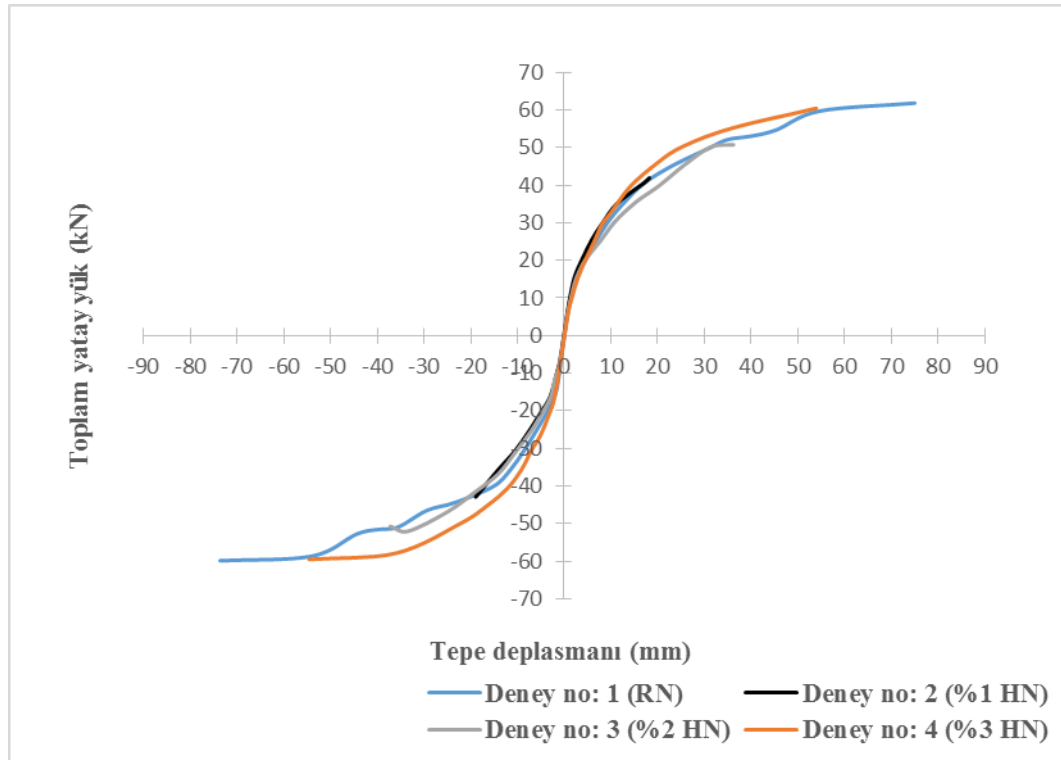
Şekil 5.19. 1, 2, 3 ve 4 nolu deney numunelerinin yük geçmişi



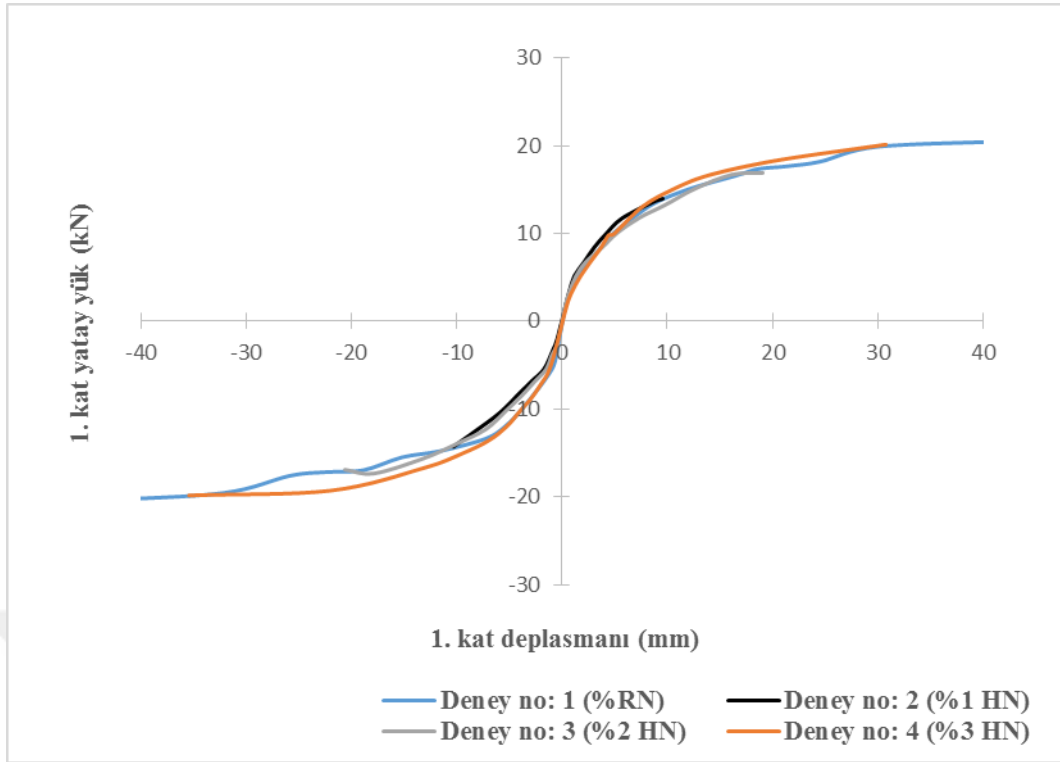
Şekil 5.20. 1, 2, 3 ve 4 nolu deney numunelerinin deplasman geçmişi

1, 2, 3 ve 4 nolu deney numunelerinin, toplam yatay yük-tepe deplasmanı zarf eğrisi ile 1. kat yatay yük-1. kat deplasmanı zarf eğrisi karşılaştırma grafiği Şekil 5.21 ve Şekil 5.22’de verilmiştir. Tüm deney numunelerinin, toplam yatay yük-tepe deplasmanı zarf eğrisi ile 1. kat yatay yük-1. kat deplasmanı zarf eğrisi karşılaştırma grafiği dikkate alındığında, numunelerin farklı deplasman oranlarında birbirleriyle benzer değerlere sahip olduğu görülmektedir. Dolayısıyla dayanım zarfları açısından tüm numunelerin, genel olarak aynı özellik ve davranışa sahip olduğu anlaşılmaktadır.

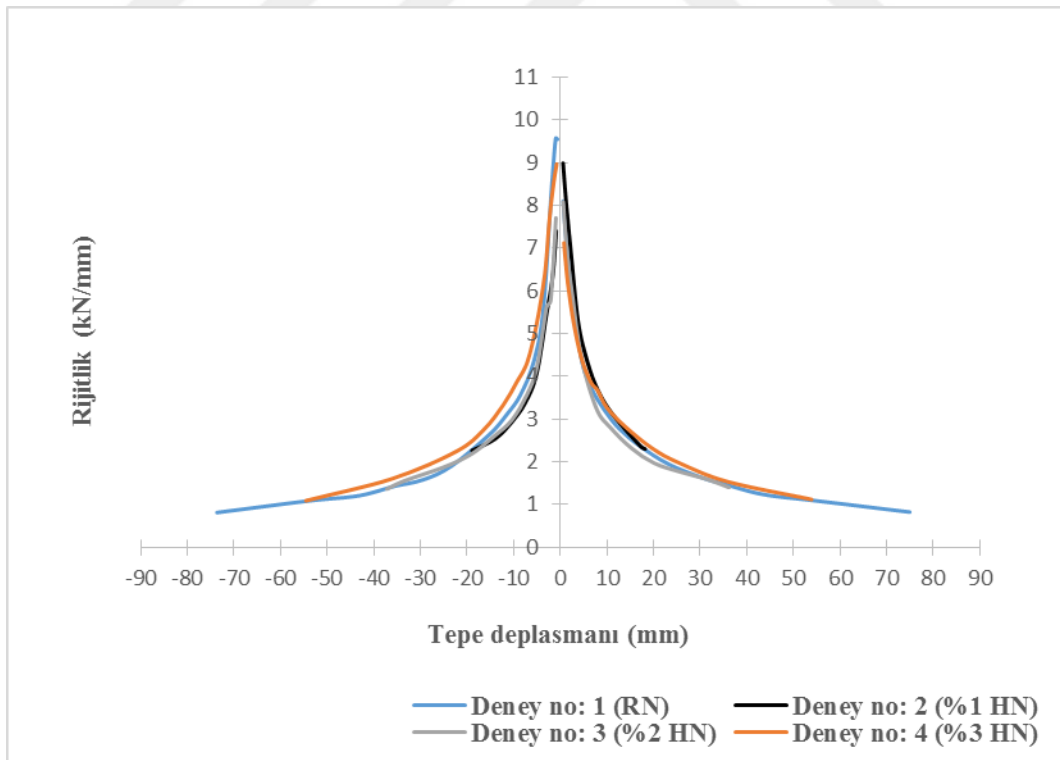
1, 2, 3 ve 4 nolu deney numuneleri ile ilgili toplam yatay yük-tepe deplasmanına göre oluşturulan rijitlik değişimi karşılaştırma grafiği Şekil 5.23’de verilmiştir. Numunelerin toplam yatay yük-tepe deplasmanına göre oluşturulan rijitlik değişimi karşılaştırma grafiği dikkate alındığında, numunelerin farklı deplasman oranlarında birbirleriyle benzer değerlere sahip olduğu görülmektedir. Dolayısıyla rijitlik değişimi açısından, tüm numunenin genel olarak aynı özellik ve davranışa sahip olduğu anlaşılmaktadır. 1, 2, 3 ve 4 nolu deney numuneleri ile ilgili kümülatif toplam tüketilen enerji-tepe deplasmanı/toplam yükseklik grafikleri karşılaştırması Şekil 5.24’de verilmiştir. Numunelerin kümülatif toplam tüketilen enerji-tepe deplasmanı/toplam yükseklik grafiği dikkate alındığında, numunelerin farklı deplasman oranlarında birbirleriyle genel anlamda benzer değerlere sahip olduğu görülmektedir.



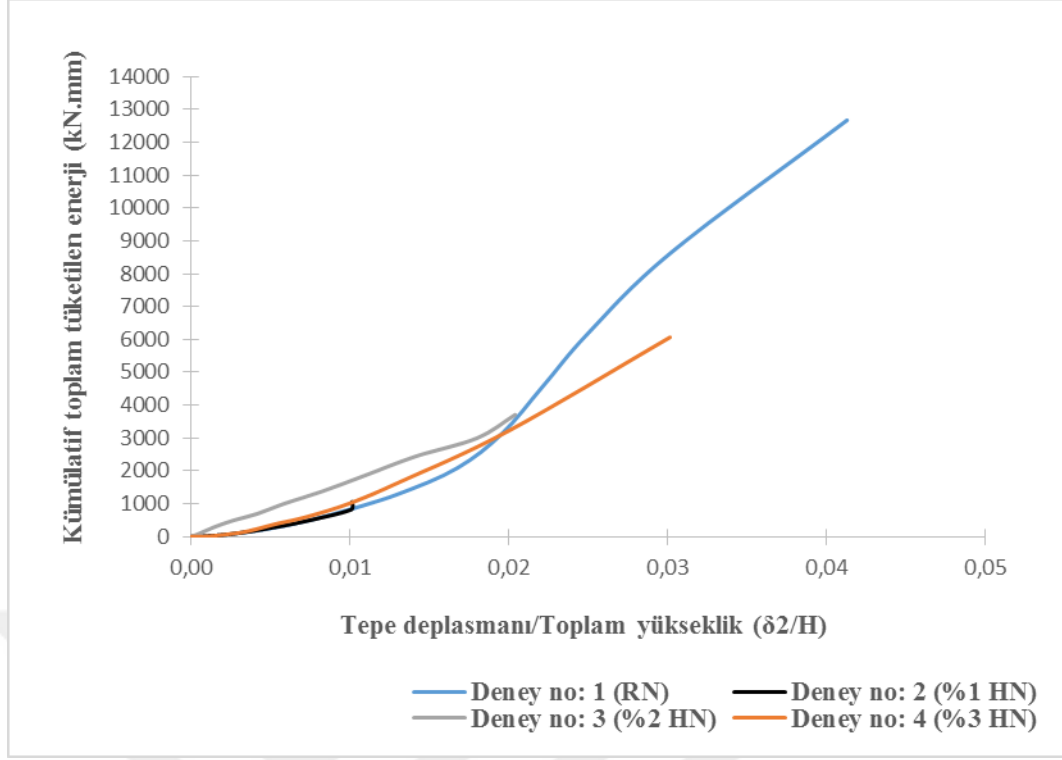
Şekil 5.21. 1, 2, 3 ve 4 nolu deney numunelerinin zarf eğrisi



Şekil 5.22. 1, 2, 3 ve 4 nolu deney numunelerinin 1. kat zarf eğrisi



Şekil 5.23. 1, 2, 3 ve 4 nolu deney numunelerinin rijitlik azalım grafiği



Şekil 5.24. 1, 2, 3 ve 4 nolu deney numunelerinin kümülatif toplam tüketilen enerji-tepe deplasmanı/toplam yükseklik grafiği

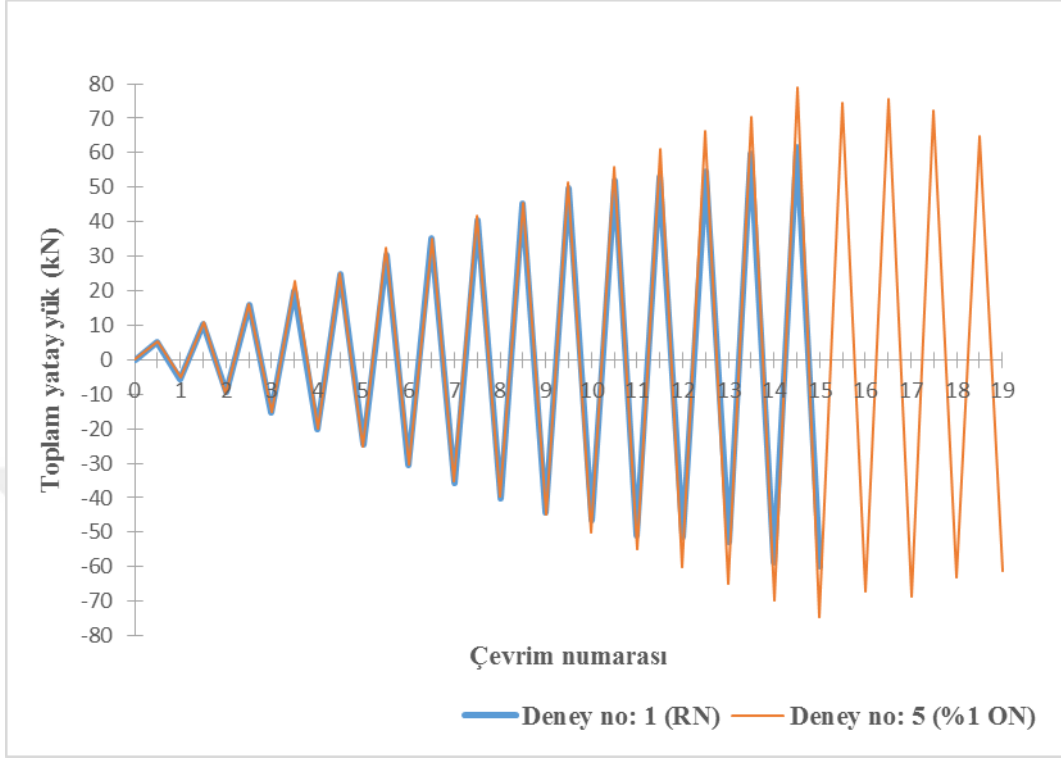
5.5. Referans Numune ile %1 Deplasmana Kadar Yük Uygulanarak Hasar Oluşturulup Onarılan Numunenin Karşılaştırılması (Deney no: 1 ve Deney no: 5)

Bu bölümde, referans numune ile %1 deplasmana kadar yük uygulanarak hasar oluşturulup onarılan numunenin deney sonuçlarının ve bu değerlere göre oluşturulan grafiklerin karşılaştırılması yapılmıştır. Bu karşılaştırmadaki amaç, onarımın hasarlı numune üzerindeki performans değişimini belirlemektir.

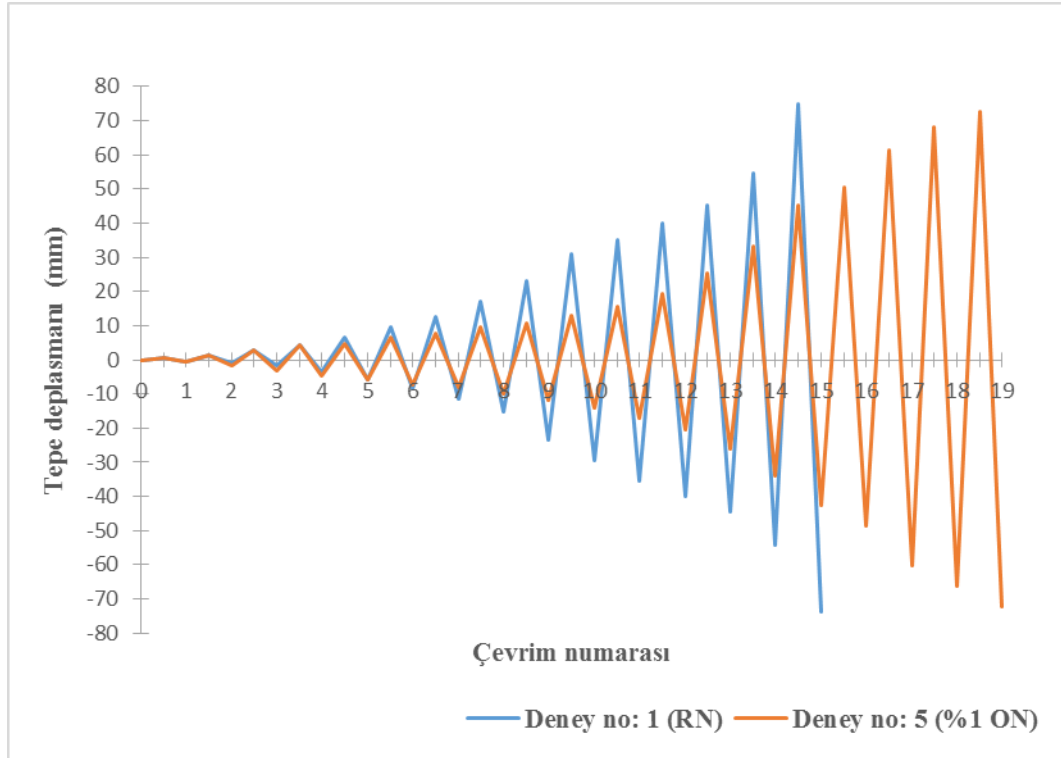
1 ve 5 nolu deney numunesinde, deney başlangıcından akma değerine kadar yük kontrollü yükleme uygulanmıştır. Yük kontrollü yükleme, ileri ve geri çevrimler olmak üzere 5 kN'luk yük artışı ile gerçekleştirilmiştir. Akma değerinden sonra ise deplasman kontrollü yüklemeyle geçilerek, ileri ve geri çevrimlerde 5 mm artış ile %4'lük tepe deplasmanına karşılık gelen 72 mm tepe deplasmanına ulaşıncaya kadar yük uygulanmasına devam edilmiş ve deney sonlandırılmıştır.

1 ve 5 nolu deney numunelerinin karşılaştırmalı yük geçmişleri Şekil 5.25 ve Şekil 5.26'da, yük ve deplasman değerlerine göre ayrı ayrı verilmiş olup şekillerde 5 nolu deney numunesinde çevrim sayısının referans numuneye göre arttığı

görülmektedir. Ayrıca genel olarak, ileri ve geri çevrimlerde 5 nolu deney numunesinde referans numuneye kıyasla deplasmanların azaldığı, yüklerin ise arttığı görülmektedir.



Şekil 5.25. 1 ve 5 nolu deney numunelerinin yük geçmişi



Şekil 5.26. 1 ve 5 nolu deney numunelerinin deplasman geçmişi

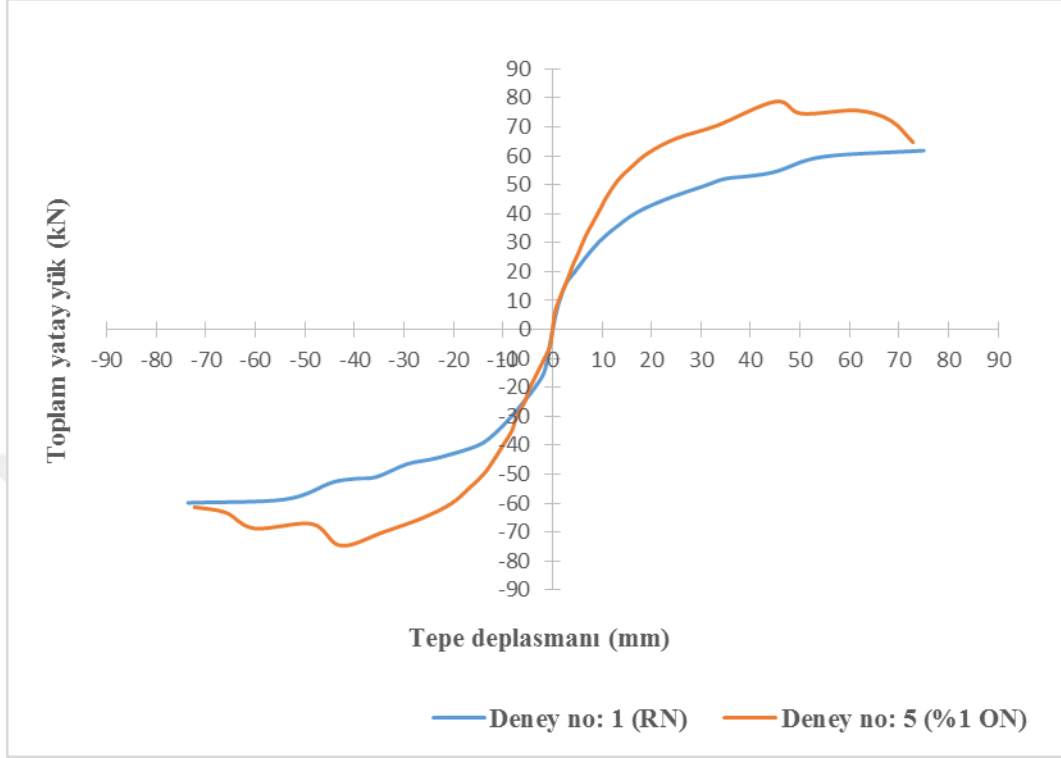
1 ve 5 nolu deney numunelerinin, toplam yatay yük-tepe deplasmanı zarf eğrisi ile 1. kat yatay yük-1. kat deplasmanı zarf eğrisi karşılaştırma grafiği Şekil 5.27 ve Şekil 5.28’de verilmiştir. 1 ve 5 nolu deney numunelerinin toplam yatay yük-tepe deplasmanı zarf eğrisi dikkate alındığında; 1 nolu numunenin ileri çevrimdeki en büyük yatay yük taşıma değerinin 61.81 kN olduğu, 5 nolu deney numunesinde ise bu değer 78.75 kN’a ulaştığı görülmektedir. Dolayısıyla ileri çevrimlerde 5 nolu deney numunesi, referans numuneye göre yatay yük taşıma kapasitesinde %27 artış kazanmıştır. Geri çevrimler dikkate alındığında ise 1 nolu numunede en büyük yatay yük taşıma değerinin 59.85 kN olduğu, 5 nolu deney numunesinde bu değer 74,66 kN’a ulaştığı görülmektedir. Dolayısıyla geri çevrimlerde 5 nolu deney numunesi, referans numuneye göre yatay yük taşıma kapasitesinde %25 artış kazanmıştır.

1 ve 5 nolu deney numunelerinin, 1. kat yatay yük-1. kat deplasmanı zarf eğrisi dikkate alındığında; 1 nolu numunenin ileri çevrimdeki en büyük yatay yük taşıma değerinin 20.60 kN olduğu, 5 nolu deney numunesinde ise bu değer 26.25 kN’a ulaştığı görülmektedir. Dolayısıyla ileri çevrimlerde 5 nolu deney numunesi referans numuneye göre yatay yük taşıma kapasitesinde %27 artış kazanmıştır. Geri çevrimler dikkate alındığında ise 1 nolu numunede en büyük yatay yük taşıma değerinin 20.44 kN olduğu, 5 nolu deney numunesinde bu değer 24.89 kN’a ulaştığı görülmektedir. Dolayısıyla geri çevrimlerde 5 nolu deney numunesi referans numuneye göre yatay yük taşıma kapasitesinde %22 dayanım artışı kazanmıştır.

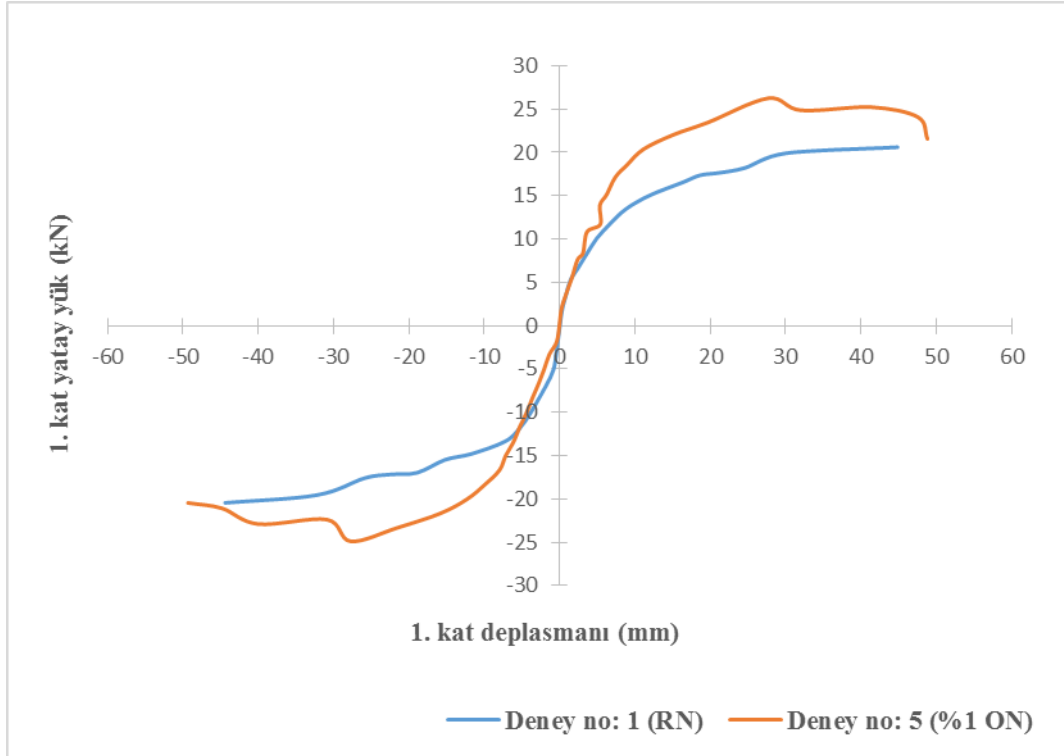
1 ve 5 nolu deney numuneleri ile ilgili toplam yatay yük-tepe deplasmanına göre oluşturulan rijitlik değişimi grafikleri karşılaştırması Şekil 5.29’da verilmiştir. Rijitlik değişimi karşılaştırma grafiğinden görüldüğü gibi, 1 nolu deney numunesi için başlangıç rijitliği ileri çevrim yönünde 8.11 kN/mm, geri çevrim yönünde 9.55 kN/mm iken, 5 nolu deney numunesinde başlangıç rijitliği ileri çevrim yönünde 12.64 kN/mm, geri çevrim yönünde 11.67 kN/mm’dir. Dolayısıyla rijitlik değişimi açısından 5 nolu numune referans numuneye göre ileri çevrimde %56, geri çevrimde ise %22 artış göstermiştir. Ayrıca, ilerleyen çevrimlerde 2 numunede rijitliklerin düştüğü görülmektedir.

1 ve 5 nolu deney numuneleri ile ilgili kümülatif toplam tüketilen enerji-tepe deplasmanı/toplam yükseklik grafikleri karşılaştırması Şekil 5.30’da verilmiştir. Kümülatif toplam tüketilen enerji-tepe deplasmanı/toplam yükseklik grafiğinden görüldüğü gibi, 1 nolu deney numunesinin 0.041 deplasman oranında 12670,90 kN.mm, 5 nolu numunenin ise 0.04 deplasman oranında 18912.30 kN.mm enerji tükettiği

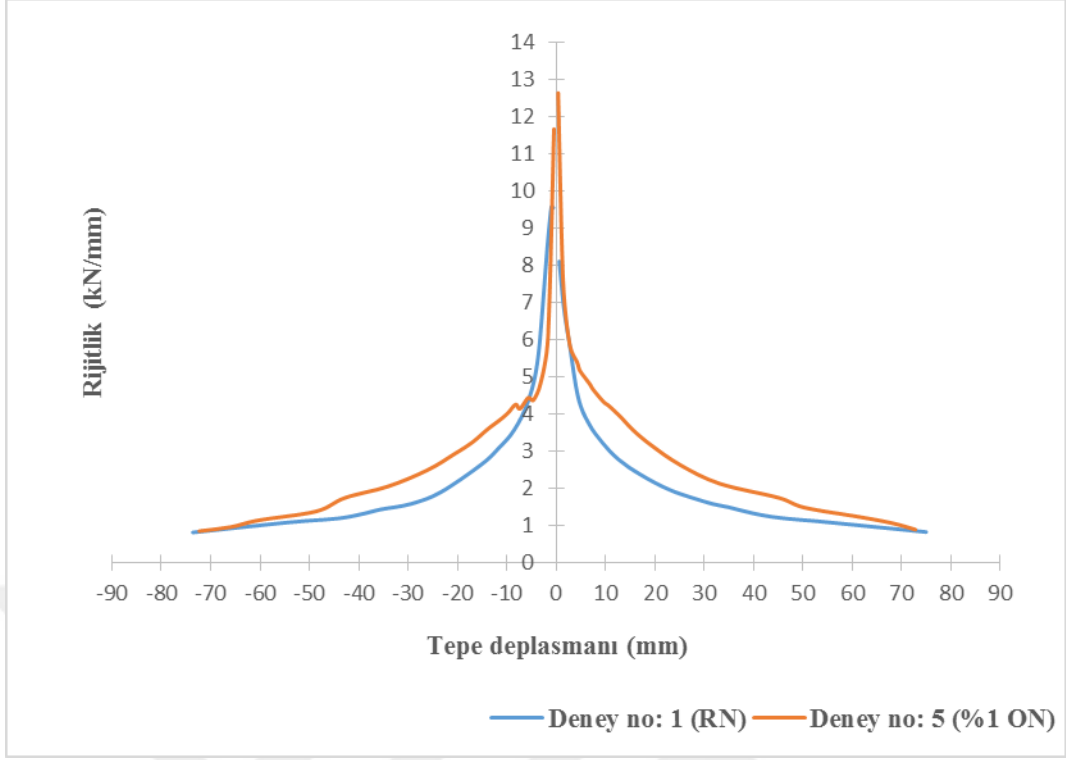
görülmektedir. Dolayısıyla kümülatif toplam tüketilen enerji açısından, 5 nolu numunenin 1 nolu numuneye göre %49 daha fazla enerji tükettiği görülmüştür.



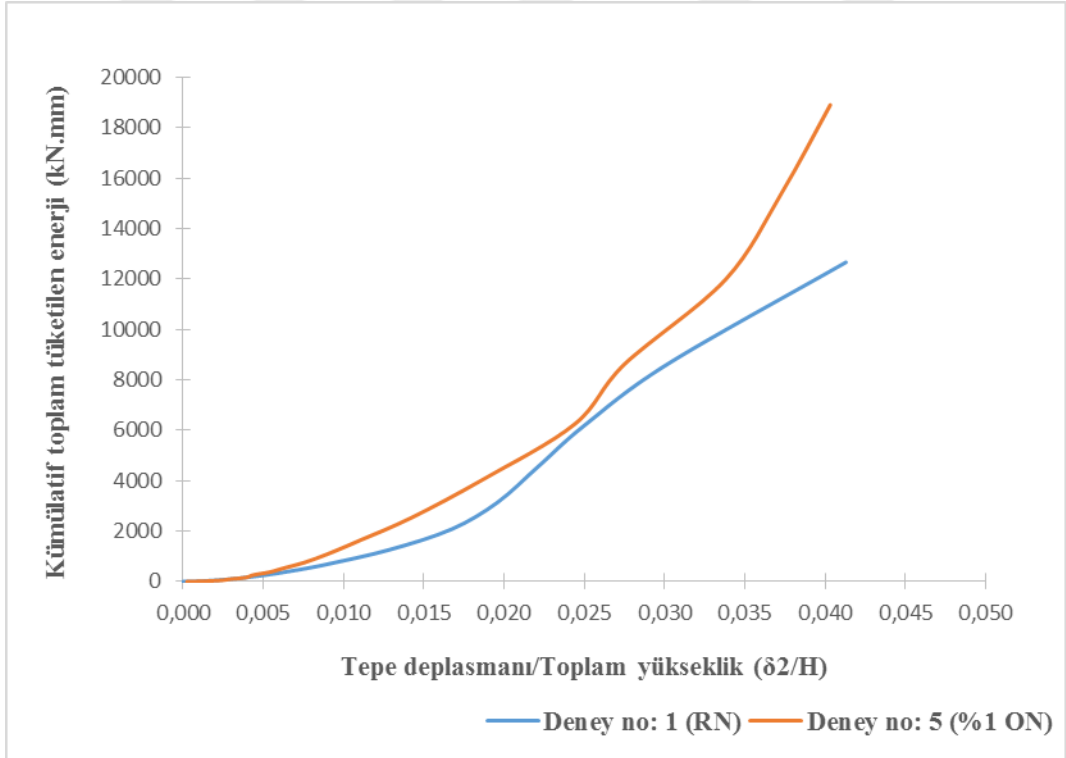
Şekil 5.27. 1 ve 5 nolu deney numunelerinin zarf eğrisi



Şekil 5.28. 1 ve 5 nolu deney numunelerinin 1. kat zarf eğrisi



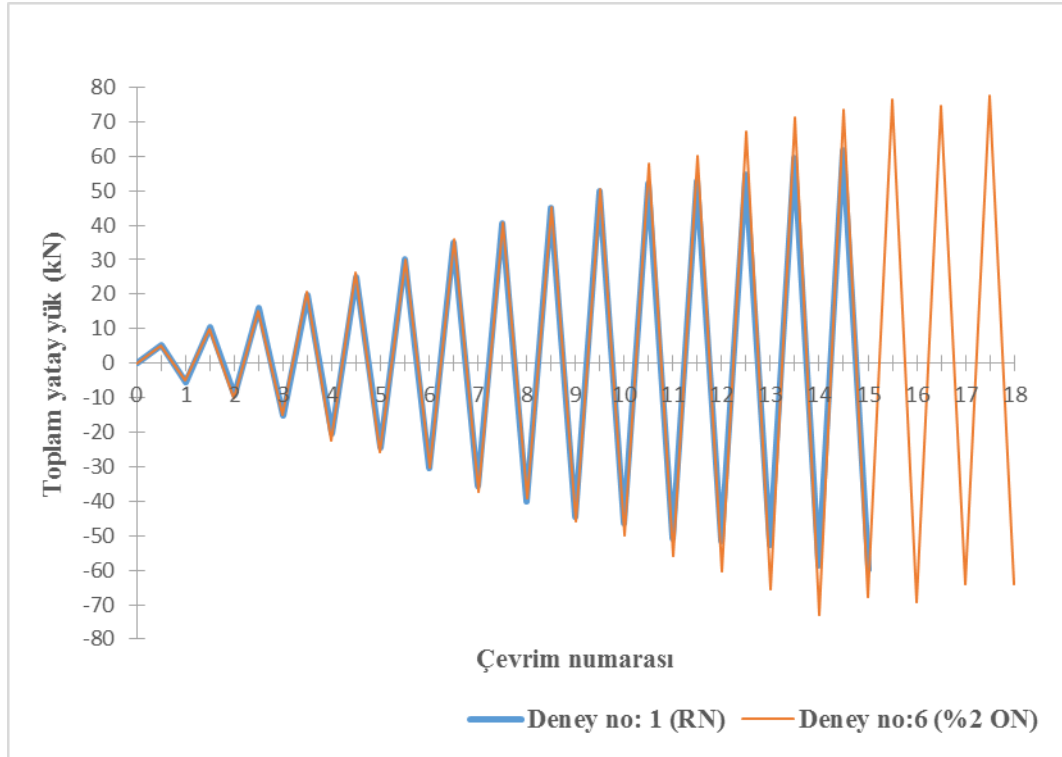
Şekil 5.29. 1 ve 5 nolu deney numunelerinin rijitlik azalım grafiği



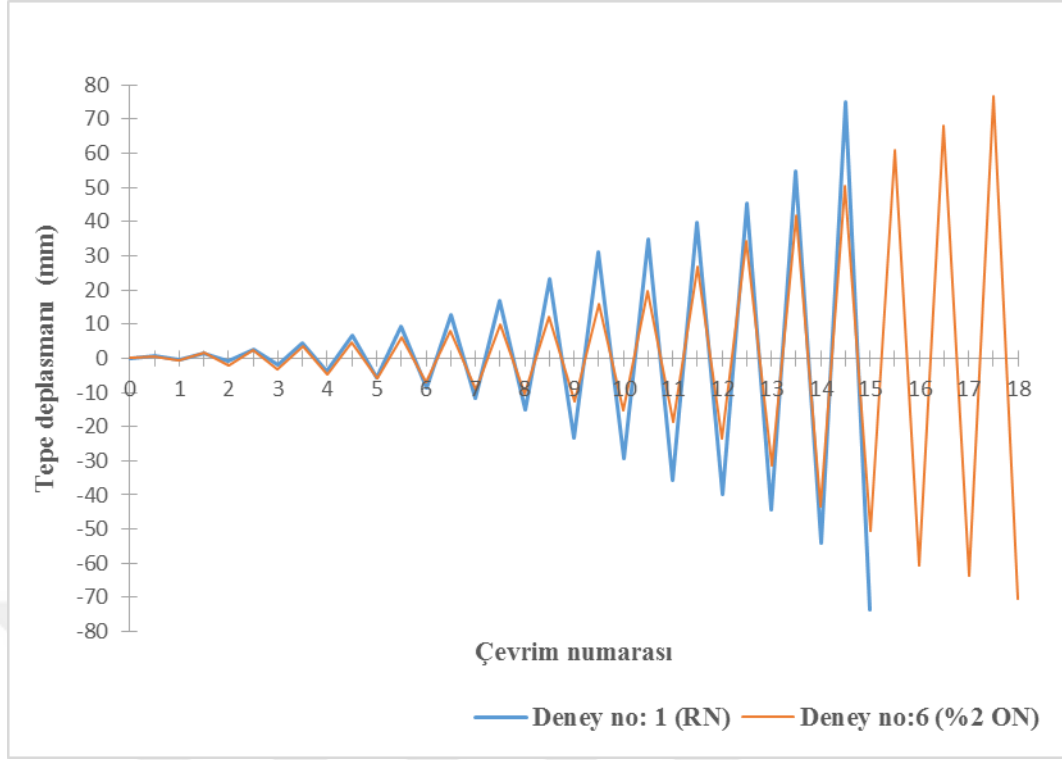
Şekil 5.30. 1 ve 5 nolu deney numunelerinin kümülatif toplam tüketilen enerji-tepe deplasmanı/toplam yükseklik grafiği

5.6. Referans Numune ile %2 Deplasmana Kadar Yük Uygulanarak Hasar Oluşturulup Onarılan Numunenin Karşılaştırılması (Deney no: 1 ve Deney no: 6)

Bu bölümde, referans numune ile %2 deplasmana kadar yük uygulanarak hasar oluşturulup onarılan numunenin deney sonuçlarının ve bu değerlere göre oluşturulan grafiklerin karşılaştırılması yapılmıştır. Bu karşılaştırmadaki amaç, onarımın hasarlı numune üzerindeki performans değişimini belirlemektir. 1 ve 6 nolu deney numunesinde, deney başlangıcından akma değerine kadar yük kontrollü yükleme uygulanmıştır. Yük kontrollü yükleme, ileri ve geri çevrimler olmak üzere 5 kN'luk yük artışı ile gerçekleştirilmiştir. Akma değerinden sonra ise deplasman kontrollü yüklemeyle geçilerek, ileri ve geri çevrimlerde 5 mm artış ile %4'lük tepe deplasmanına karşılık gelen 72 mm tepe deplasmanına ulaşıncaya kadar yük uygulanmasına devam edilmiş ve deney sonlandırılmıştır. 1 ve 6 nolu deney numunelerinin karşılaştırmalı yük geçmişleri Şekil 5.31 ve Şekil 5.32'de, yük ve deplasman değerlerine göre ayrı ayrı verilmiş olup şekillerde 6 nolu deney numunesinde çevrim sayısının referans numuneye göre arttığı görülmektedir. Ayrıca genel olarak, ileri ve geri çevrimlerde 6 nolu deney numunesinde, referans numuneye kıyasla deplasmanların azaldığı, yüklerin ise arttığı görülmektedir.



Şekil 5.31. 1 ve 6 nolu deney numunelerinin yük geçmişi

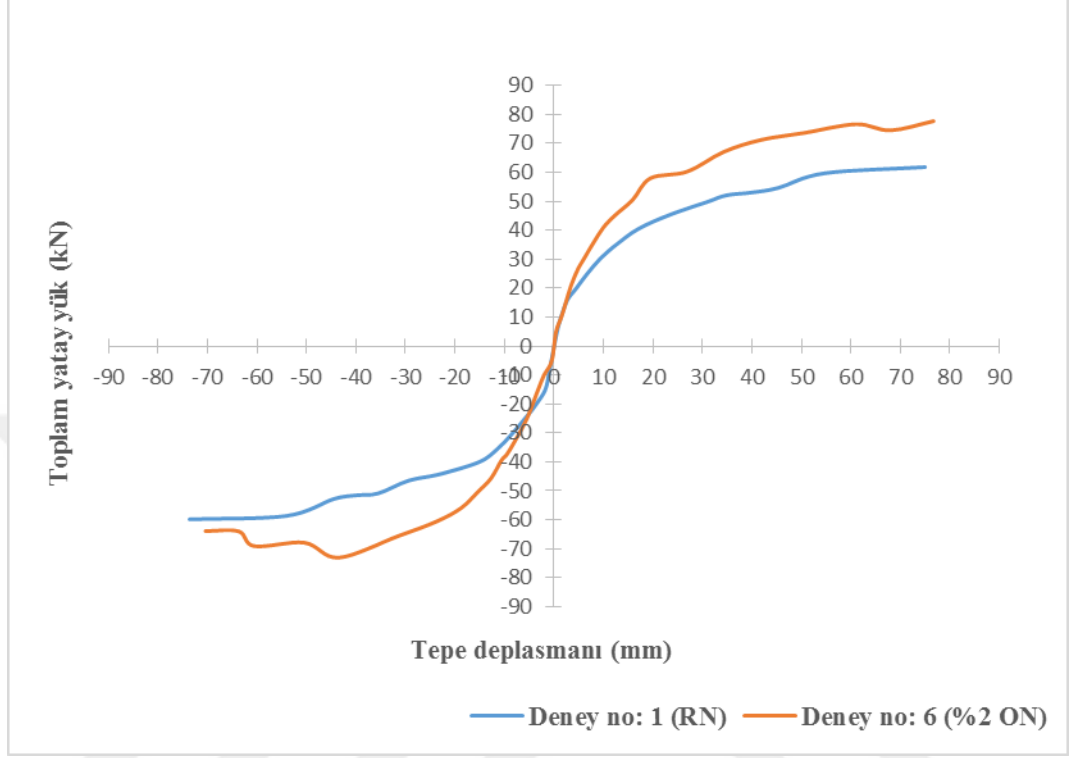


Şekil 5.32. 1 ve 6 nolu deney numunelerinin deplasman geçmişi

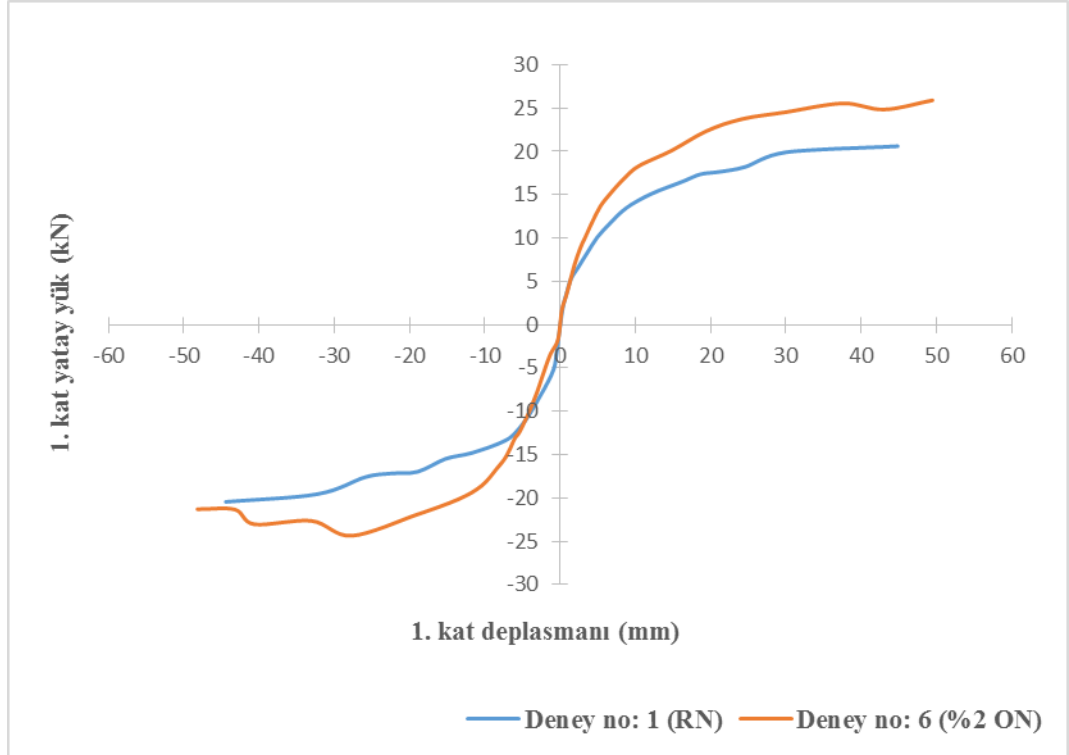
1 ve 6 nolu deney numunelerinin, toplam yatay yük-tepe deplasmanı zarf eğrisi ile 1. kat yatay yük-1. kat deplasmanı zarf eğrisi karşılaştırma grafiği Şekil 5.33 ve Şekil 5.34’de verilmiştir. 1 ve 6 nolu deney numunelerinin, toplam yatay yük-tepe deplasmanı zarf eğrisi dikkate alındığında; 1 nolu numunenin ileri çevrimdeki en büyük yatay yük taşıma değerinin 61.81 kN olduğu, 6 nolu deney numunesinde ise bu değer 77.70 kN’a ulaştığı görülmektedir. Dolayısıyla ileri çevrimlerde 6 nolu deney numunesi referans numuneye göre yatay yük taşıma kapasitesinde %26 artış kazanmıştır. Geri çevrimler dikkate alındığında ise 1 nolu numunede en büyük yatay yük taşıma değerinin 59.85 kN olduğu, 6 nolu deney numunesinde bu değer 73.06 kN’a ulaştığı görülmektedir. Dolayısıyla geri çevrimlerde 6 nolu deney numunesi referans numuneye göre yatay yük taşıma kapasitesinde %22 artış kazanmıştır.

1 ve 6 nolu deney numunelerinin, 1. kat yatay yük-1. kat deplasmanı zarf eğrisi dikkate alındığında; 1 nolu numunenin ileri çevrimdeki en büyük yatay yük taşıma değerinin 20.60 kN olduğu, 6 nolu deney numunesinde ise bu değer 25.90 kN’a ulaştığı görülmektedir. Dolayısıyla ileri çevrimlerde 6 nolu deney numunesi referans numuneye göre yatay yük taşıma kapasitesinde %26 artış kazanmıştır. Geri çevrimler dikkate alındığında ise 1 nolu numunede en büyük yatay yük taşıma değerinin 20.44 kN

olduğu, 6 nolu deney numunesinde bu değerin 24.35 kN'a ulaştığı görülmektedir. Dolayısıyla geri çevrimlerde 5 nolu deney numunesi referans numuneye göre yatay yük taşıma kapasitesinde %19 dayanım artışı kazanmıştır.

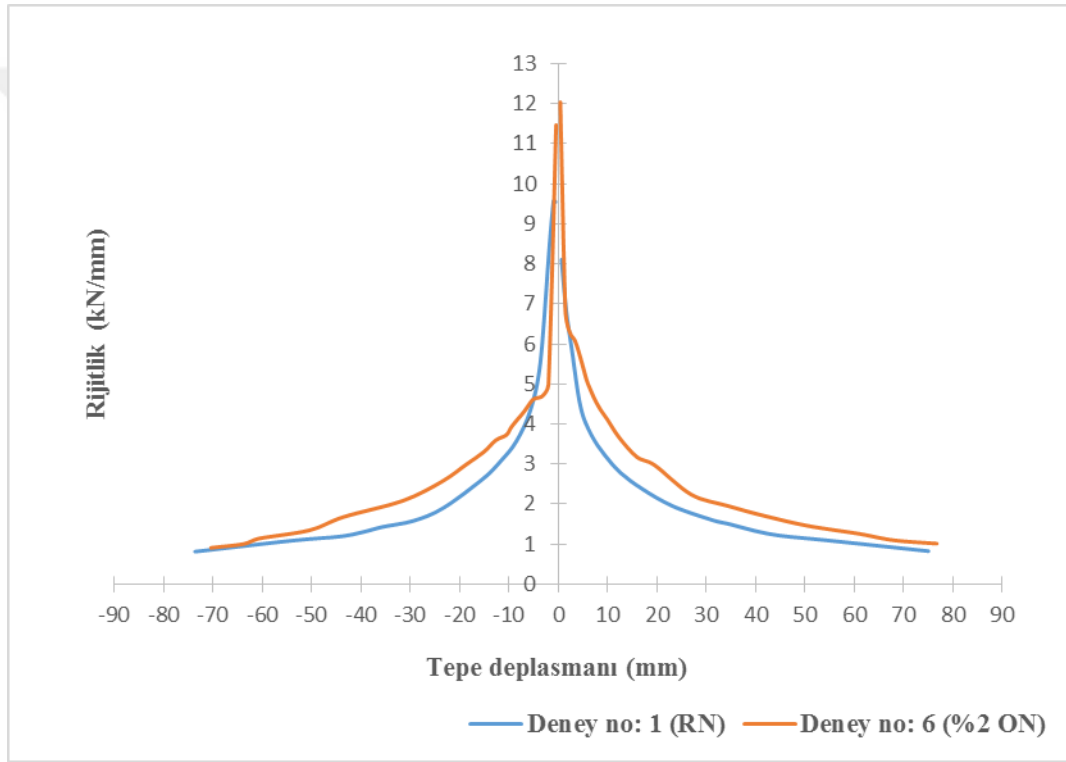


Şekil 5.33. 1 ve 6 nolu deney numunelerinin zarf eğrisi



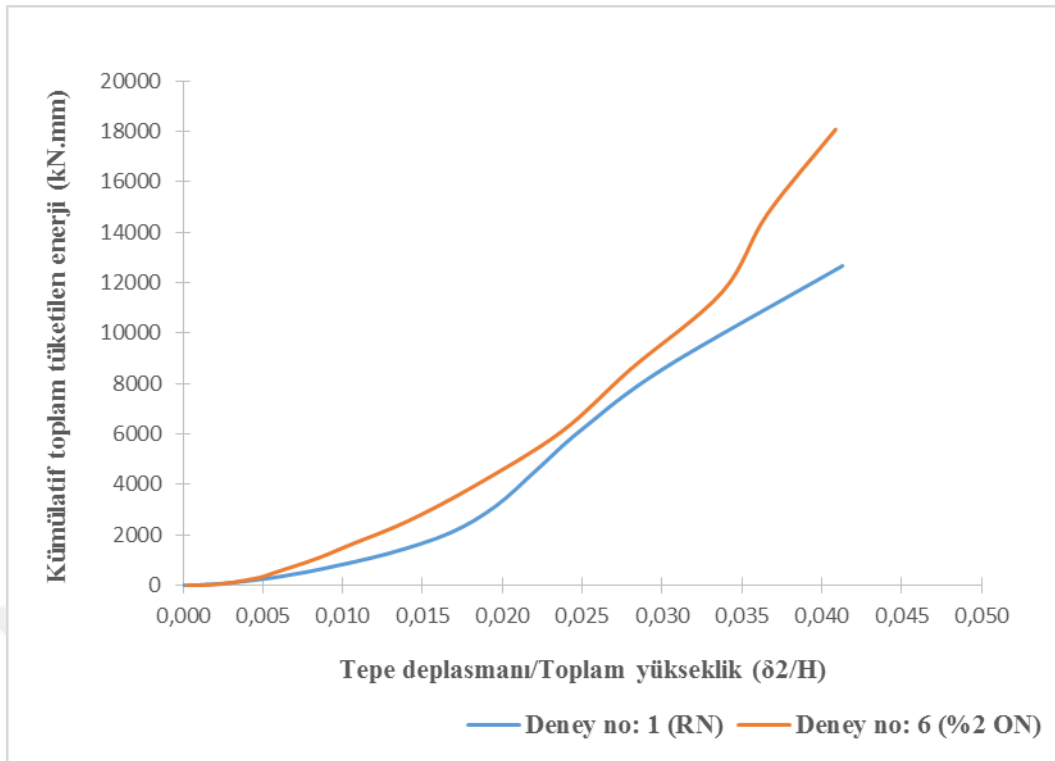
Şekil 5.34. 1 ve 6 nolu deney numunelerinin 1. kat zarf eğrisi

1 ve 6 nolu deney numuneleri ile ilgili toplam yatay yük-tepe deplasmanına göre oluşturulan rijitlik değişimi grafikleri karşılaştırması Şekil 5.35’de verilmiştir. Rijitlik değişimi karşılaştırma grafiğinden görüldüğü gibi, 1 nolu deney numunesi için başlangıç rijitliği ileri çevrim yönünde 8.11 kN/mm, geri çevrim yönünde 9.55 kN/mm iken, 6 nolu deney numunesinde başlangıç rijitliği ileri çevrim yönünde 12.04 kN/mm, geri çevrim yönünde 11.47 kN/mm’dir. Dolayısıyla rijitlik değişimi açısından 6 nolu numune, referans numuneye göre ileri çevrimde %49, geri çevrimde ise %20 artış göstermiştir. Ayrıca, ilerleyen çevrimlerde 2 numunede rijitliklerin düştüğü görülmektedir.



Şekil 5.35. 1 ve 6 nolu deney numunelerinin rijitlik azalım grafiği

1 ve 6 nolu deney numuneleri ile ilgili kümülatif toplam tüketilen enerji-tepe deplasmanı/toplam yükseklik grafikleri karşılaştırması Şekil 5.36’da verilmiştir. Kümülatif toplam tüketilen enerji-tepe deplasmanı/toplam yükseklik grafiğinden görüldüğü gibi, 1 nolu deney numunesinin 0.041 deplasman oranında 12670.90 kN.mm, 6 nolu numunenin ise 0.04 deplasman oranında 18084.57 kN.mm enerji tükettiği görülmektedir. Dolayısıyla kümülatif toplam tüketilen enerji açısından, 6 nolu numunenin 1 nolu numuneye göre %43 daha fazla enerji tükettiği görülmüştür.

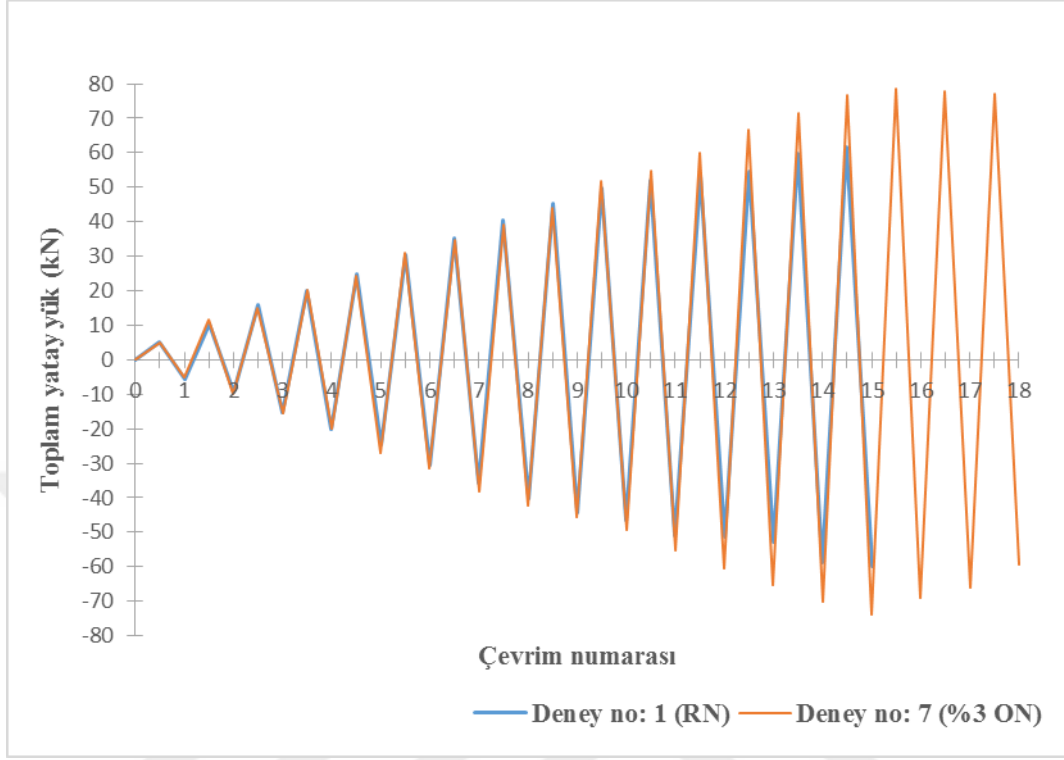


Şekil 5.36. 1 ve 6 nolu deney numunelerinin kümülatif toplam tüketilen enerji-tepe deplasmanı/toplam yükseklik grafiği

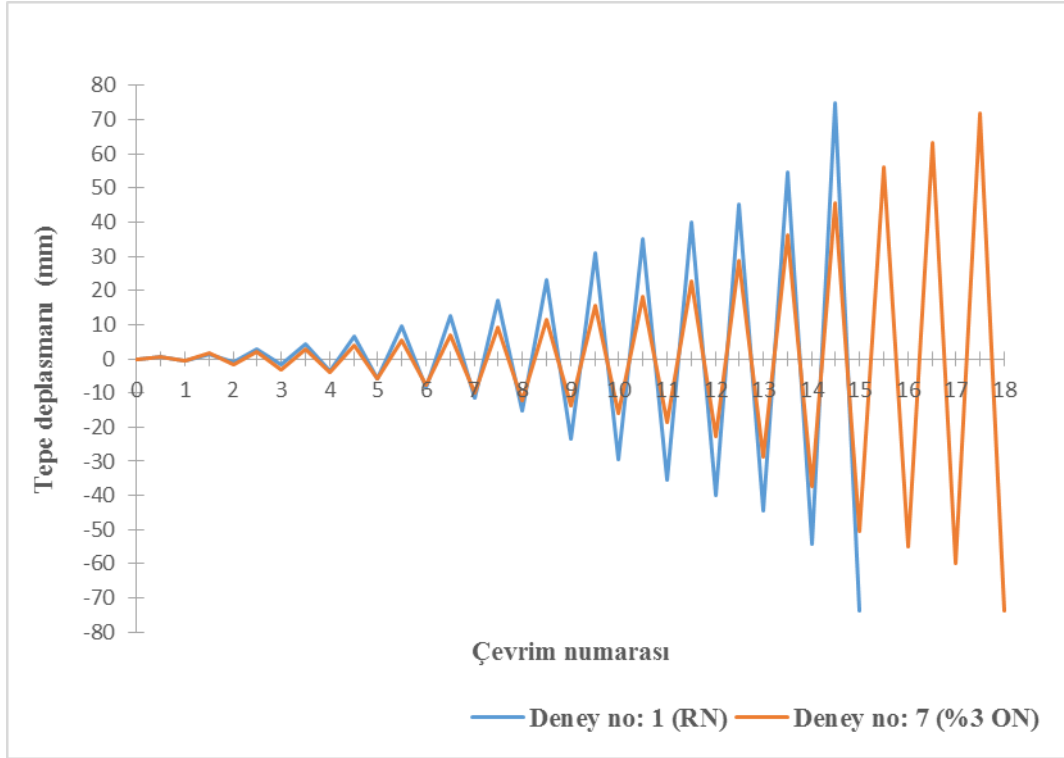
5.7. Referans Numune ile %3 Deplasmana Kadar Yük Uygulanarak Hasar Oluşturulup Onarılan Numunenin Karşılaştırılması (Deney no: 1 ve Deney no: 7)

Bu bölümde, referans numune ile %3 deplasmana kadar yük uygulanarak hasar oluşturulup onarılan numunenin deney sonuçlarının ve bu değerlere göre oluşturulan grafiklerin karşılaştırılması yapılmıştır. Bu karşılaştırmadaki amaç, onarımın hasarlı numune üzerindeki performans değişimini belirlemektir. 1 ve 7 nolu deney numunesinde, deney başlangıcından akma değerine kadar yük kontrollü yükleme uygulanmıştır. Yük kontrollü yükleme ileri ve geri çevrimler olmak üzere 5 kN'luk yük artışı ile gerçekleştirilmiştir. Akma değerinden sonra ise deplasman kontrollü yüklemeye geçilerek, ileri ve geri çevrimlerde 5 mm artış ile %4'lük tepe deplasmanına karşılık gelen 72 mm tepe deplasmanına ulaşmaya kadar yük uygulanmasına devam edilmiş ve deney sonlandırılmıştır. 1 ve 7 nolu deney numunelerinin karşılaştırmalı yük geçmişleri Şekil 5.37 ve Şekil 5.38'de, yük ve deplasman değerlerine göre ayrı ayrı verilmiş olup şekillerde 7 nolu deney numunesinde çevrim sayısının referans numuneye göre arttığı görülmektedir. Ayrıca genel olarak, ileri ve geri çevrimlerde 7 nolu deney

numunesinde, referans numuneye kıyasla deplasmanların azaldığı, yüklerin ise arttığı görülmektedir.



Şekil 5.37. 1 ve 7 nolu deney numunelerinin yük geçmişi



Şekil 5.38. 1 ve 7 nolu deney numunelerinin deplasman geçmişi

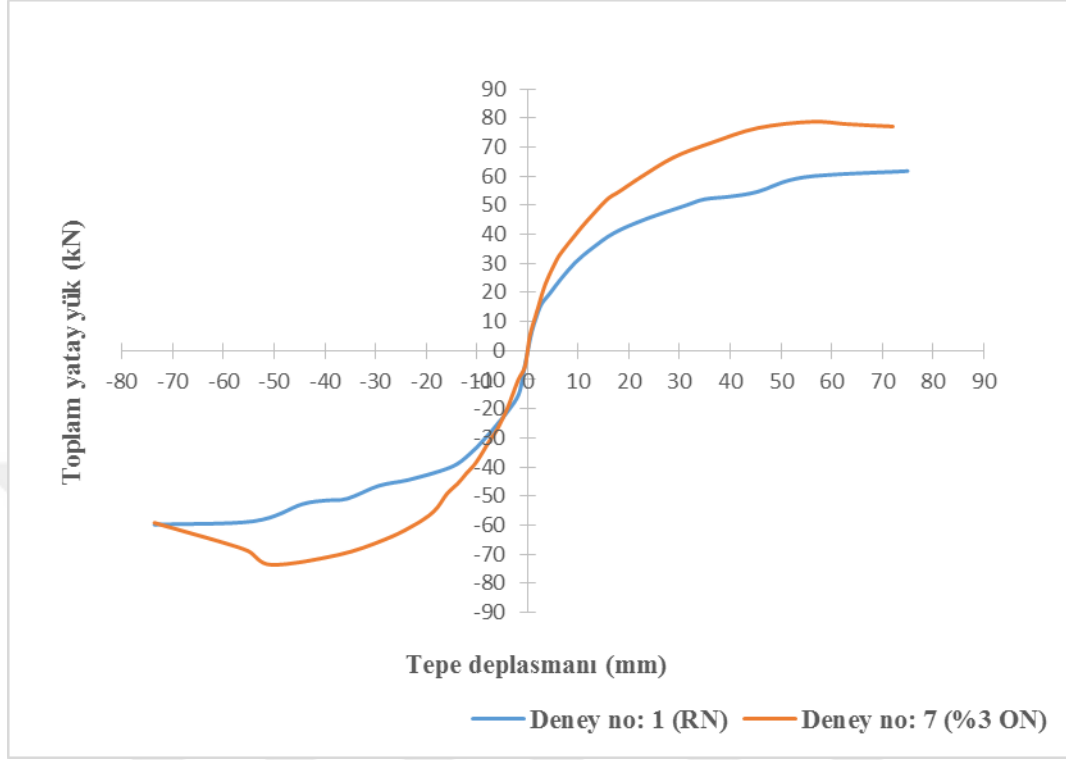
1 ve 7 nolu deney numunelerinin, toplam yatay yük-tepe deplasmanı zarf eğrisi ile 1. kat yatay yük-1. kat deplasmanı zarf eğrisi karşılaştırma grafiği Şekil 5.39 ve Şekil 5.40'da verilmiştir. 1 ve 7 nolu deney numunelerinin, toplam yatay yük-tepe deplasmanı zarf eğrisi dikkate alındığında; 1 nolu numunenin ileri çevrimdeki en büyük yatay yük taşıma değerinin 61.81 kN olduğu, 7 nolu deney numunesinde ise bu değer 78.73 kN'a ulaştığı görülmektedir. Dolayısıyla ileri çevrimlerde 7 nolu deney numunesi referans numuneye göre yatay yük taşıma kapasitesinde %27 artış kazanmıştır. Geri çevrimler dikkate alındığında ise 1 nolu numunede en büyük yatay yük taşıma değerinin 59.85 kN olduğu, 7 nolu deney numunesinde bu değer 73.66 kN'a ulaştığı görülmektedir. Dolayısıyla geri çevrimlerde 7 nolu deney numunesi referans numuneye göre yatay yük taşıma kapasitesinde %23 artış kazanmıştır.

1 ve 7 nolu deney numunelerinin, 1. kat yatay yük-1. kat deplasmanı zarf eğrisi dikkate alındığında; 1 nolu numunenin ileri çevrimdeki en büyük yatay yük taşıma değerinin 20.60 kN olduğu, 7 nolu deney numunesinde ise bu değer 26.25 kN'a ulaştığı görülmektedir. Dolayısıyla ileri çevrimlerde 7 nolu deney numunesi referans numuneye göre yatay yük taşıma kapasitesinde %27 artış kazanmıştır. Geri çevrimler dikkate alındığında ise 1 nolu numunede en büyük yatay yük taşıma değerinin 20.44 kN olduğu, 7 nolu deney numunesinde bu değer 24.56 kN'a ulaştığı görülmektedir. Dolayısıyla geri çevrimlerde 7 nolu deney numunesi referans numuneye göre yatay yük taşıma kapasitesinde %20 dayanım artışı kazanmıştır.

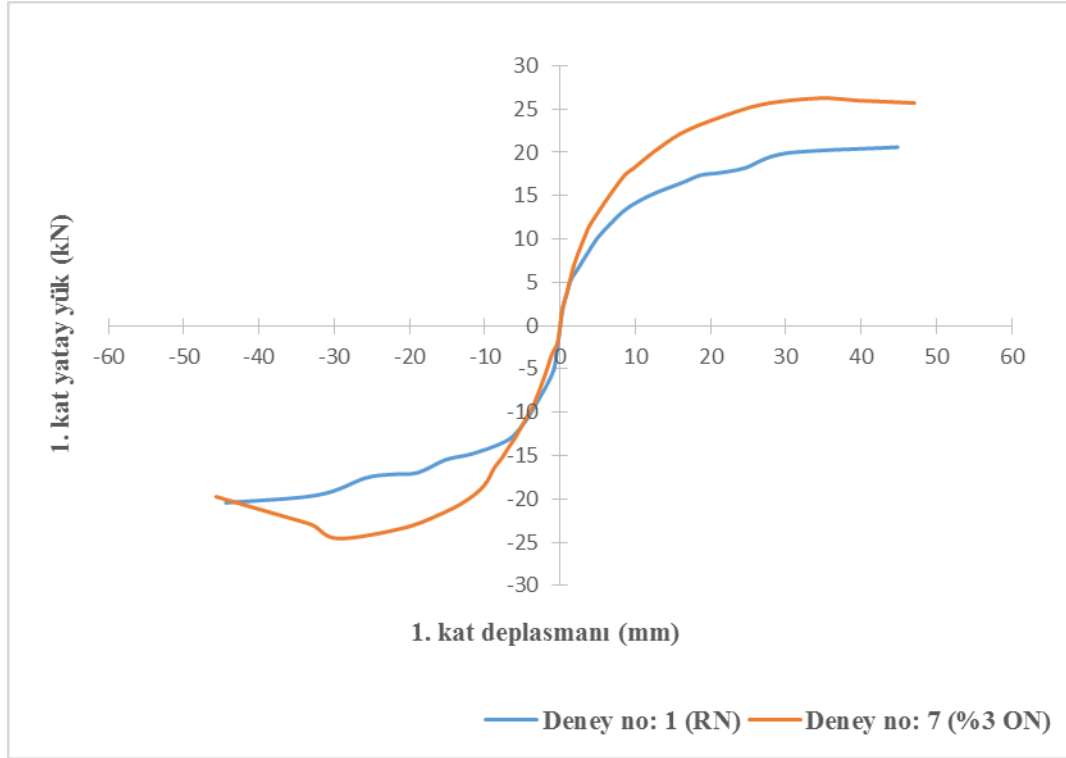
1 ve 7 nolu deney numuneleri ile ilgili toplam yatay yük-tepe deplasmanına göre oluşturulan rijitlik değişimi grafikleri karşılaştırması Şekil 5.41'de verilmiştir. Rijitlik değişimi karşılaştırma grafiğinden görüldüğü gibi, 1 nolu deney numunesi için başlangıç rijitliği ileri çevrim yönünde 8.11 kN/mm, geri çevrim yönünde 9.55 kN/mm iken, 7 nolu deney numunesinde başlangıç rijitliği ileri çevrim yönünde 11.34 kN/mm, geri çevrim yönünde 10.56 kN/mm'dir. Dolayısıyla rijitlik değişimi açısından, 7 nolu numune referans numuneye göre ileri çevrimde %40, geri çevrimde ise %11 artış göstermiştir. Ayrıca, ilerleyen çevrimlerde 2 numunede rijitliklerin düştüğü görülmektedir.

1 ve 7 nolu deney numuneleri ile ilgili kümülatif toplam tüketilen enerji-tepe deplasmanı/toplam yükseklik grafikleri karşılaştırması Şekil 5.42'de verilmiştir. Kümülatif toplam tüketilen enerji-tepe deplasmanı/toplam yükseklik grafiğinden görüldüğü gibi, 1 nolu deney numunesinin 0.041 deplasman oranında 12670.90 kN.mm, 7 nolu numunenin ise 0.04 deplasman oranında 14208.09 kN.mm enerji tükettiği

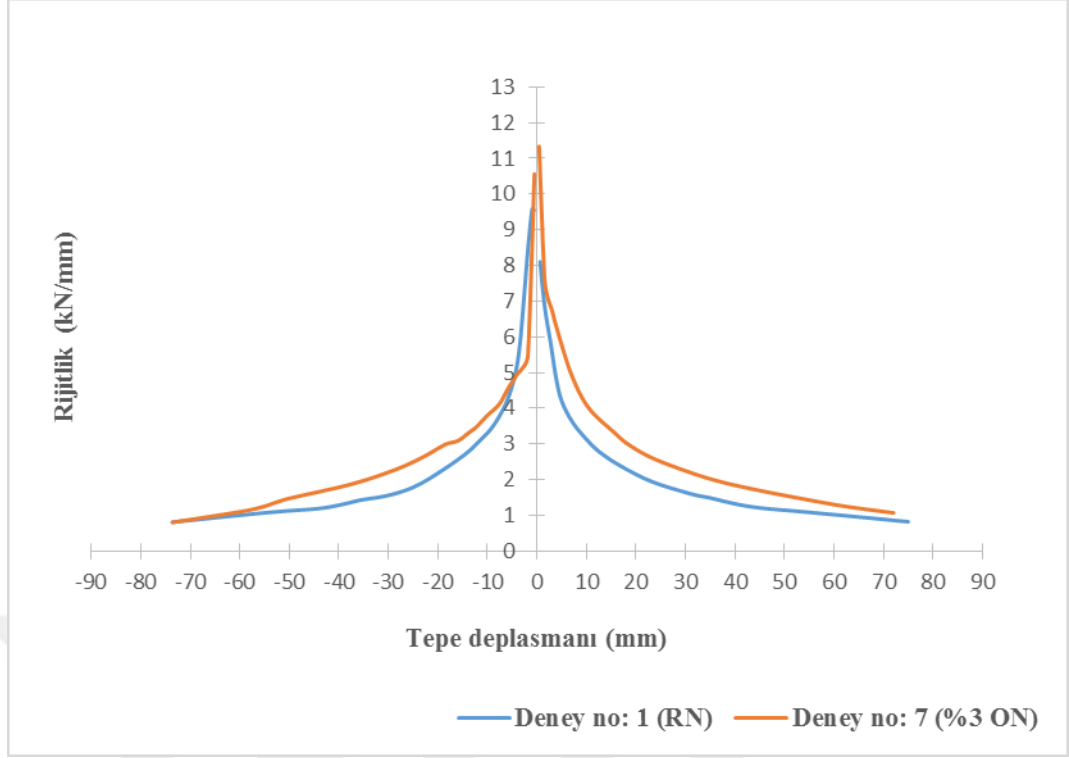
görülmektedir. Dolayısıyla kümülatif toplam tüketilen enerji açısından, 7 nolu numunenin 1 nolu numuneye göre %12 daha fazla enerji tükettiği görülmüştür.



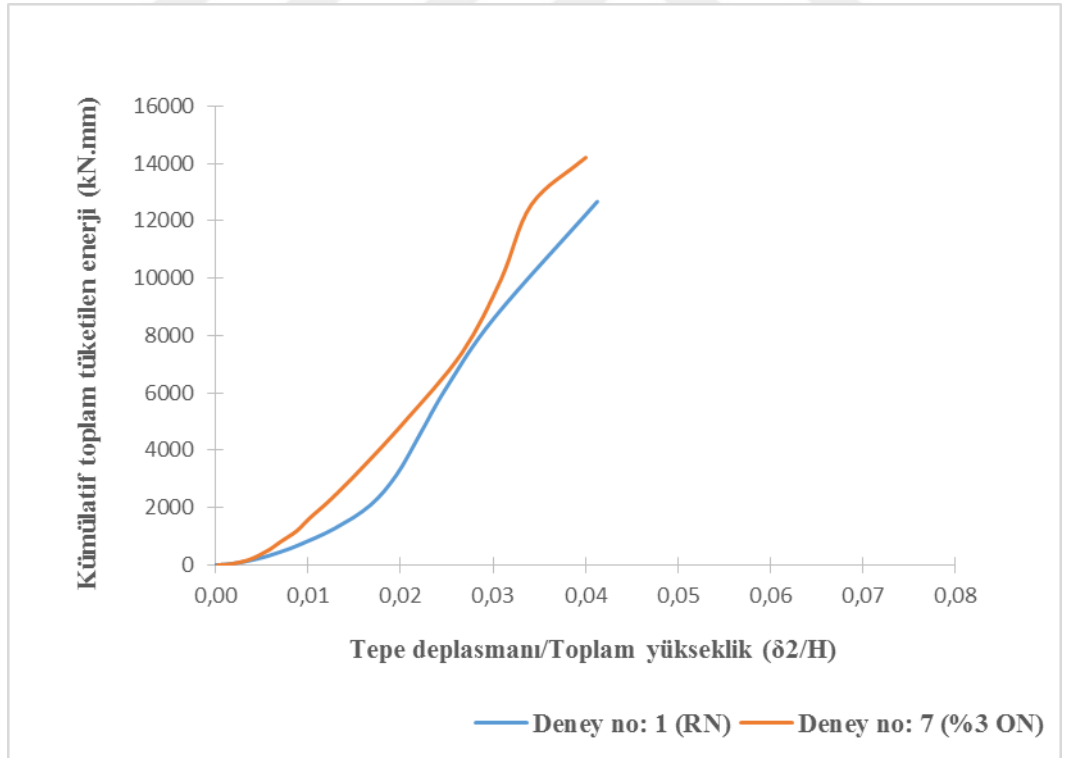
Şekil 5.39. 1 ve 7 nolu deney numunelerinin zarf eğrisi



Şekil 5.40. 1 ve 7 nolu deney numunelerinin 1. kat zarf eğrisi



Şekil 5.41. 1 ve 7 nolu deney numunelerinin rijitlik azalım grafiği

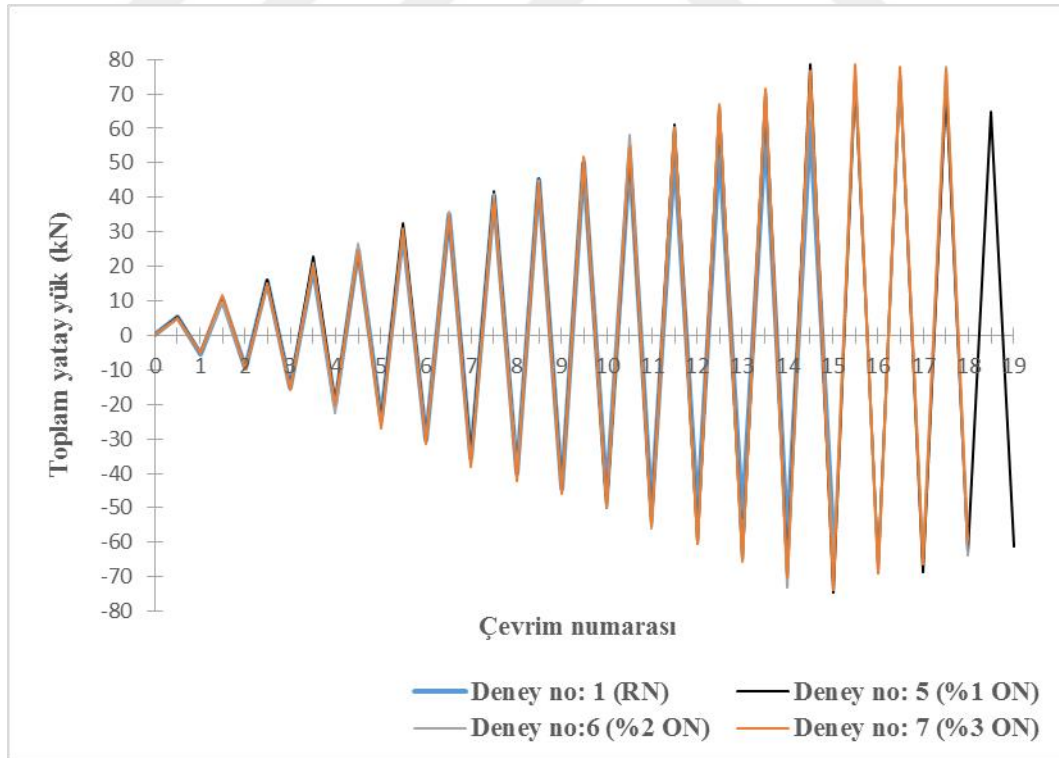


Şekil 5.42. 1 ve 7 nolu deney numunelerinin kümülatif toplam tüketilen enerji-tepe deplasmanı/toplam yükseklik grafiği

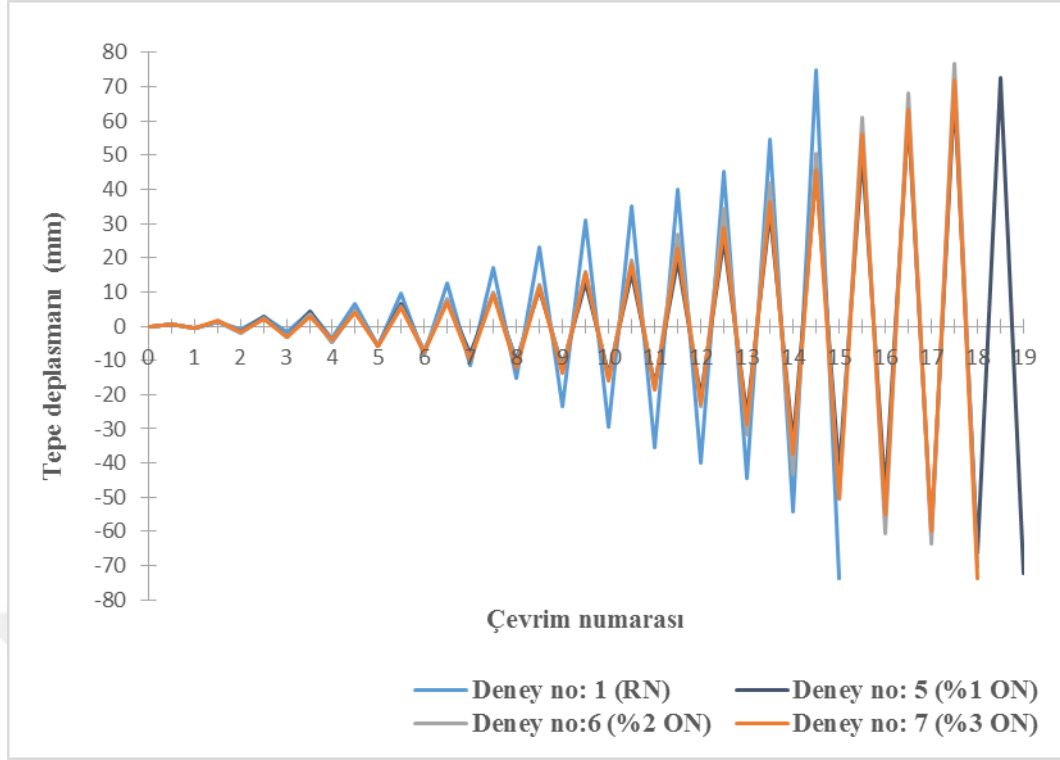
5.8. Referans Numune ile %1, %2, %3 Deplasmana Kadar Yük Uygulanarak Hasar Oluşturulup Onarılan Numunelerin Karşılaştırılması (Deney no: 1, Deney no: 5, Deney no: 6, Deney no: 7)

Bu bölümde, referans numune ile %1, %2, %3 deplasmana kadar yük uygulanarak hasar oluşturulup onarılan numunelerin deney sonuçlarının ve bu değerlere göre oluşturulan grafiklerin karşılaştırılması yapılmıştır. Bu karşılaştırmadaki amaç, onarımın hasarlı numuneler üzerindeki performans değişimini belirlemektir. Bu kapsamda, maksimum yatay yük taşıma kapasitesi, rijitlik, enerji tüketme kapasitesi ve süneklik bakımından deney sonuçlarının karşılaştırıldığı tablolar sunulmuştur.

1, 5, 6, ve 7 nolu deney numunelerinin, toplam yatay yüke göre yükleme geçmişi grafiği Şekil 5.43'de, tepe deplasmanına göre yükleme geçmişi grafiği ise Şekil 5.44'de verilmiş olup 5, 6 ve 7 nolu deney numunesinde çevrim sayısının referans numuneye göre arttığı görülmektedir. Ayrıca genel olarak, ileri ve geri çevrimlerde 5, 6 ve 7 nolu deney numunelerinde, referans numuneye kıyasla deplasmanların azaldığı, yüklerin ise arttığı görülmektedir.



Şekil 5.43. 1, 5, 6 ve 7 nolu deney numunelerinin yük geçmişi



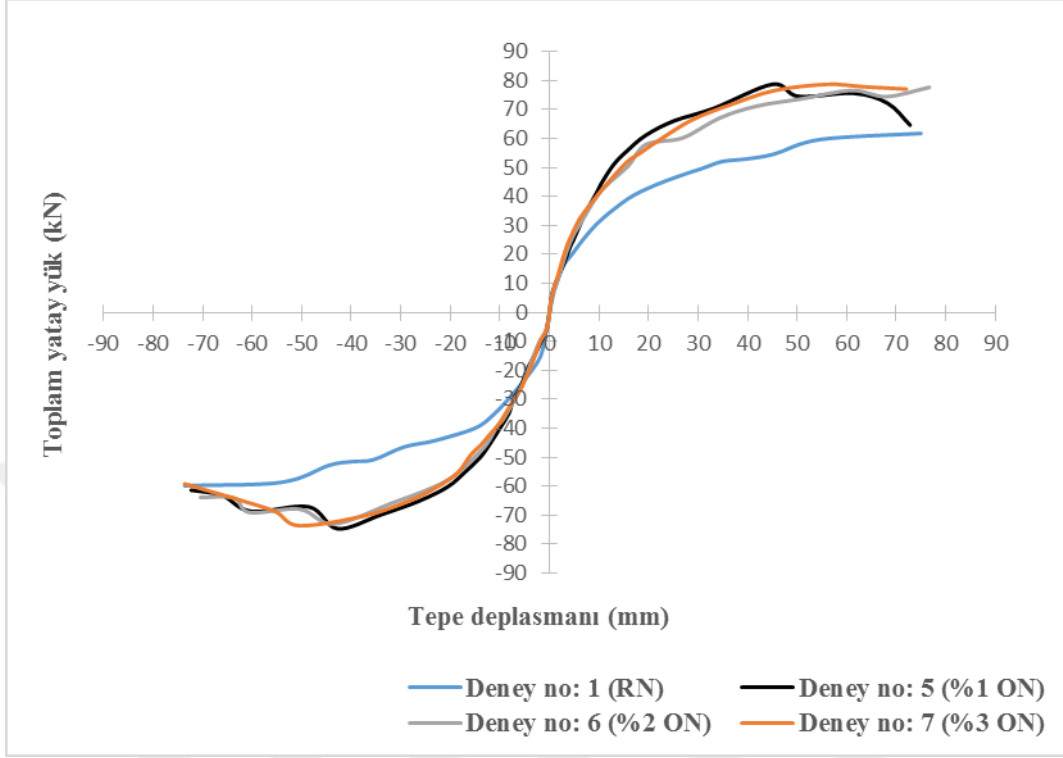
Şekil 5.44. 1, 5, 6 ve 7 nolu deney numunelerinin deplasman geçmişi

1, 5, 6, ve 7 nolu deney numunelerinin, toplam yatay yük-tepe deplasmanı zarf eğrisi ile 1. kat yatay yük-1. kat deplasmanı zarf eğrisi karşılaştırma grafiği Şekil 5.45 ve Şekil 5.46'da verilmiştir. 1, 5, 6 ve 7 nolu deney numunelerinin, toplam yatay yük-tepe deplasmanı zarf eğrisi dikkate alındığında; ileri çevrimde, referans numuneye göre 5 nolu deney numunesi %27, 6 nolu deney numunesi %26 ve 7 nolu deney numunesi %27 daha fazla yük taşımıştır. Geri çevrimlerde ise referans numuneye göre 5 nolu deney numunesi %25, 6 nolu deney numunesi %22 ve 7 nolu deney numunesi %23 daha fazla yük taşımıştır.

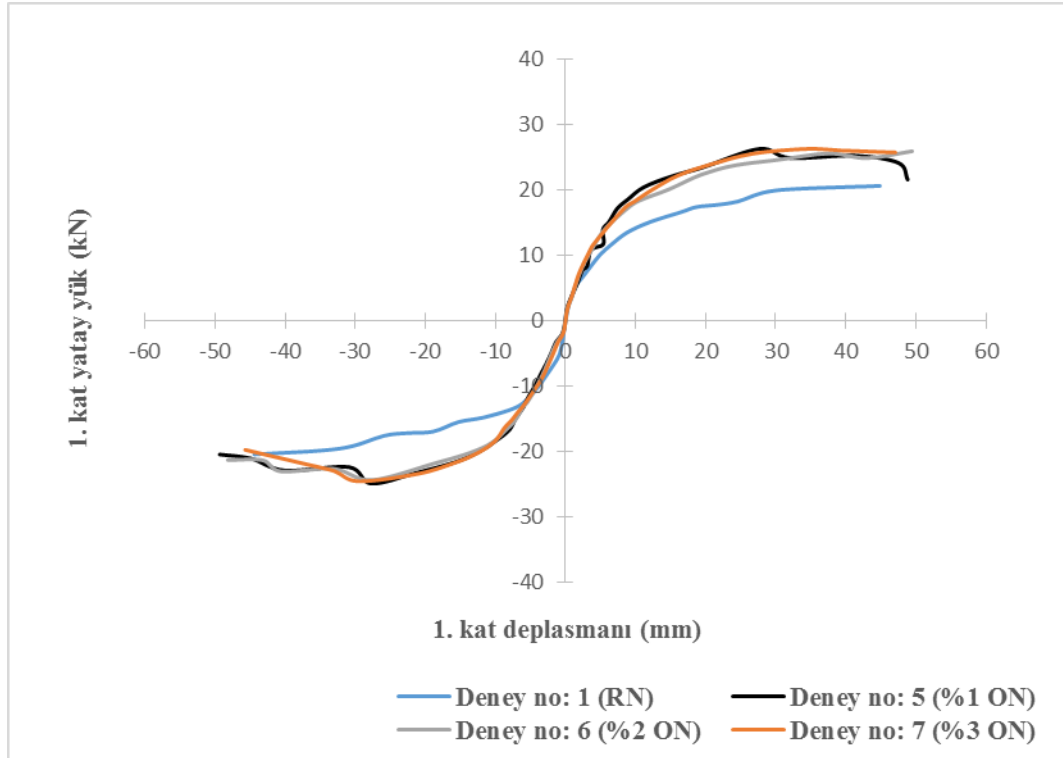
1, 5, 6, ve 7 nolu deney numunelerinin toplam yatay yük-tepe deplasmanına göre oluşturulan rijitlik değişimi grafikleri karşılaştırması Şekil 5.47'de verilmiştir. Rijitlik değişimi karşılaştırma grafiği dikkate alındığında; ileri çevrimde, referans numuneye göre 5 nolu deney numunesi %56, 6 nolu deney numunesi %49 ve 7 nolu deney numunesi %40 daha fazla başlangıç rijitliğine sahiptir. Geri çevrimlerde ise referans numuneye göre 5 nolu deney numunesi %22, 6 nolu deney numunesi %20 ve 7 nolu deney numunesi %11 daha fazla başlangıç rijitliğine sahiptir.

1, 5, 6, ve 7 nolu deney numunelerinin kümülatif toplam tüketilen enerji-tepe deplasmanı/toplam yükseklik grafikleri karşılaştırması Şekil 5.48'de verilmiş olup;

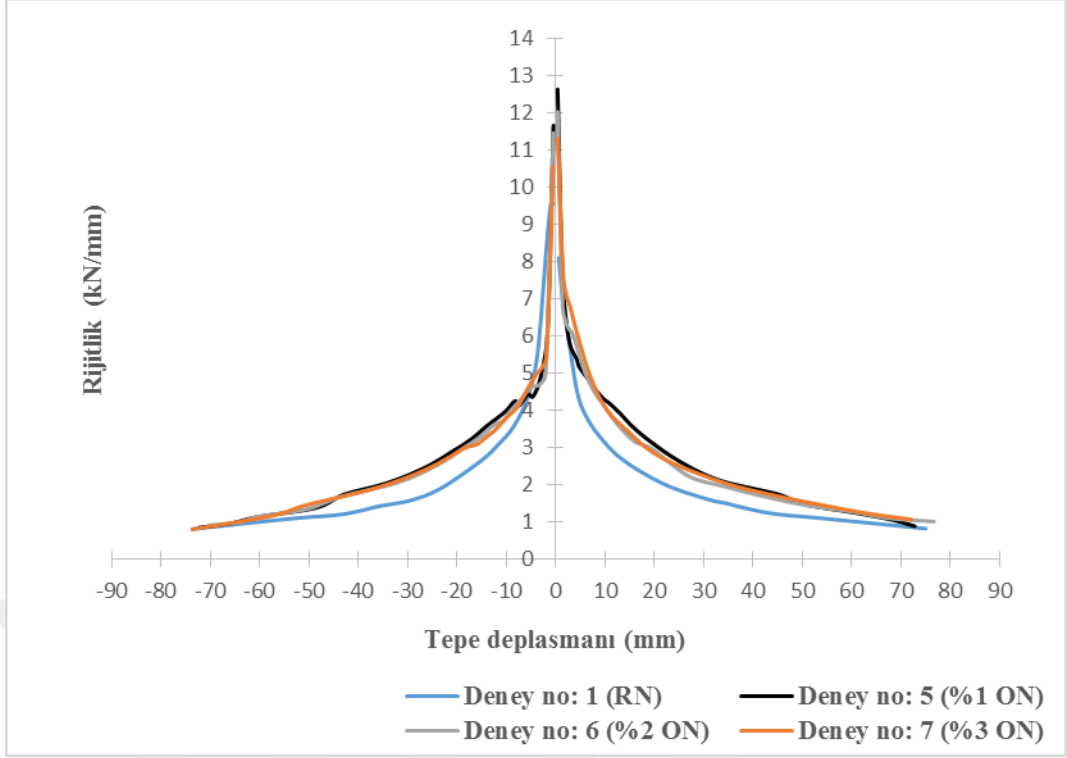
referans numuneye göre 5 nolu deney numunesinin %49, 6 nolu deney numunesinin %43 ve 7 nolu deney numunesinin %12 daha fazla enerji tükettiği görülmüştür.



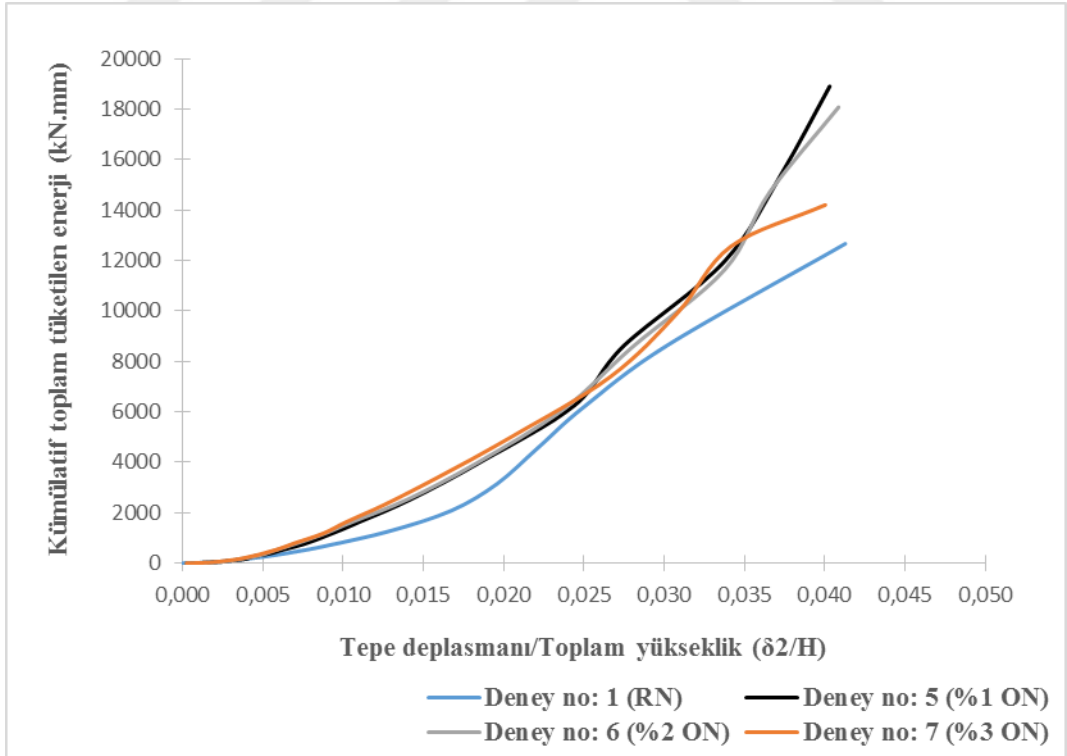
Şekil 5.45. 1, 5, 6 ve 7 nolu deney numunelerinin zarf eğrisi



Şekil 5.46. 1, 5, 6 ve 7 nolu deney numunelerinin 1. kat zarf eğrisi



Şekil 5.47. 1, 5, 6 ve 7 nolu deney numunelerinin rijitlik azalım grafiği



Şekil 5.48. 1, 5, 6 ve 7 nolu deney numunelerinin kümülatif toplam tüketilen enerji-tepe deplasmanı/toplam yükseklik grafiği

1, 5, 6 ve 7 nolu deney numunelerine ait yapılan deneyler neticesinde elde edilen değerlerin sayısal olarak karşılaştırılabilmesi için tablolar oluşturulmuş olup ileri çevrim için maksimum yatay yük kapasiteleri ve bu yükte oluşan görelî ötelenme oranları Çizelge 5.1’de, geri çevrim için maksimum yatay yük kapasiteleri ve bu yükte oluşan görelî ötelenme oranları Çizelge 5.2’de, ileri çevrimde rijitlik değişimi Çizelge 5.3’de, geri çevrimde rijitlik değişimi Çizelge 5.4’de, numunelerin deney sonunda tükettikleri enerji değerleri Çizelge 5.5’de, süneklik katsayıları ileri çevrimde Çizelge 5.6’da ve geri çevrimde ise Çizelge 5.7’de verilmiştir. Çizelgede karşılaştırmalar, 1 nolu deney numunesine yani referans numuneye göre yapılmıştır.

Çizelge 5.1. Maksimum yatay yük artış oranı ve görelî ötelenme oranı (İleri çevrim)

Deney numunesi	Maksimum yatay yük (kN)	Maksimum yatay yük için tepe deplasmanı (mm)	Maksimum yatay yük artış oranı (%)	Maksimum yatay yük için 2. kat görelî ötelenme oranı ($\delta_2 - \delta_1$)/h
	İleri çevrim			
Deney no: 1 (RN)	61.81	74.99	1.00	0.033
Deney no: 5 (%1 ON)	78.75	45.06	1.27	0.019
Deney no: 6 (%2 ON)	77.70	76.69	1.26	0.030
Deney no: 7 (%3 ON)	78.73	56.01	1.27	0.024

Çizelge 5.2. Maksimum yatay yük artış oranı ve görelî ötelenme oranı (Geri çevrim)

Deney numunesi	Maksimum yatay yük (kN)	Maksimum yatay yük için tepe deplasmanı (mm)	Maksimum yatay yük artış oranı (%)	Maksimum yatay yük için 2. kat görelî ötelenme oranı ($\delta_2 - \delta_1$)/h
	Geri çevrim			
Deney no: 1 (RN)	-59.85	-73.63	1.00	-0.032
Deney no: 5 (%1 ON)	-74.66	-42.77	1.25	-0.017
Deney no: 6 (%2 ON)	-73.06	-43.49	1.22	-0.018
Deney no: 7 (%3 ON)	-73.66	-50.45	1.23	-0.023

Çizelge 5.3. Rijitlik oranları (İleri çevrim)

Deney numunesi	Başlangıç rijitliği (kN/mm)	Başlangıç rijitliği oranı	Maksimum yük rijitliği (kN/mm)	Maksimum yük rijitliği oranı	Son rijitlik (kN/mm)	Son rijitlik oranı
İleri çevrim						
Deney no: 1 (RN)	8.11	1.00	0.82	1.00	0.82	1.00
Deney no: 5 (%1 ON)	12.64	1.56	1.75	2.13	0.89	1.09
Deney no: 6 (%2 ON)	12.04	1.49	1.01	1.23	1.01	1.23
Deney no: 7 (%3 ON)	11.34	1.40	1.41	1.72	1.07	1.30

Çizelge 5.4. Rijitlik oranları (Geri çevrim)

Deney numunesi	Başlangıç rijitliği (kN/mm)	Başlangıç rijitliği oranı	Maksimum yük rijitliği (kN/mm)	Maksimum yük rijitliği oranı	Son rijitlik (kN/mm)	Son rijitlik oranı
Geri çevrim						
Deney no: 1 (RN)	9.55	1.00	0.81	1.00	0.81	1.00
Deney no: 5 (%1 ON)	11.67	1.22	1.75	2.16	0.85	1.05
Deney no: 6 (%2 ON)	11.47	1.20	1.68	2.07	0.91	1.12
Deney no: 7 (%3 ON)	10.56	1.11	1.46	1.80	0.80	0.99

Çizelge 5.5. Deney sonu tüketilen enerji oranları

Deney numunesi	Tüketilen enerji değerleri (kN.mm)	Tüketilen enerji oranı
Deney no: 1 (RN)	12670.90	1.00
Deney no: 5 (%1 ON)	18912.30	1.49
Deney no: 6 (%2 ON)	18084.57	1.43
Deney no: 7 (%3 ON)	14208.09	1.12

Çizelge 5.6. Süneklik oranları (İleri çevrim)

Deney numunesi	Göçme yükündeki deplasman δu (mm)	Akma yükündeki deplasman δy (mm)	Süneklik katsayısı $\delta u/\delta y$	Süneklik oranı
İleri çevrim				
Deney no: 1 (RN)	74.99	33.17	2.26	1.00
Deney no: 5 (%1 ON)	72.80	23.44	3.11	1.38
Deney no: 6 (%2 ON)	76.69	25.04	3.06	1.35
Deney no: 7 (%3 ON)	72.06	27.18	2.65	1.17

Çizelge 5.7. Süneklik oranları (Geri çevrim)

Deney numunesi	Göçme yükündeki deplasman δu (mm)	Akma yükündeki deplasman δy (mm)	Süneklik katsayısı $\delta u/\delta y$	Süneklik oranı
Geri çevrim				
Deney no: 1 (RN)	73.63	32.21	2.29	1.00
Deney no: 5 (%1 ON)	72.32	23.65	3.06	1.34
Deney no: 6 (%2 ON)	70.42	23.04	3.06	1.34
Deney no: 7 (%3 ON)	73.64	25.36	2.90	1.27

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1. Sonuçlar

Bu tez çalışmasında, yüksek süneklik ve dayanıklılık özelliklerine sahip, erken ve nihai yaşta yüksek performans gösteren, şekil değiştirme sertleşmesi oluşturan ayrıca çatlak kontrolü sağlayan ECC'lerin panel şeklinde üretilip, onarım malzemesi olarak kullanılması deneysel olarak incelenmiştir. Bu kapsamda ilk olarak, kullanılacak malzemelerin ve miktarlarının belirlenmesi işlemleri gerçekleştirilmiş ve uygun malzeme ile optimum oranları tespit edildikten sonra üretilen numuneler üzerinde basınç ile eğilme deneyleri yapılarak numunelerin temel mekanik özelliklerinden basınç dayanımı ve eğilme dayanımı değerleri bulunmuş; ayrıca, eğilme testi kapsamında numunelerin süneklik özelliklerinin belirlenmesi açısından sehim deneyleri yapılmıştır. Malzeme deneyleri tamamlandıktan sonra; iki katlı, tek açıklıklı, 1/3 geometrik ölçekli, geometrik boyutları, donatı detayları ve beton sınıfı aynı olan 4 adet betonarme çerçeve üretilmiştir. Üretilen 4 adet betonarme çerçevenin 3 adedine depreme benzeştirilmiş tersinir tekrarlanır yatay yükler uygulanarak farklı hasar düzeylerine (%1 HN, %2 HN, %3 HN) sahip olması sağlanmıştır. 4. çerçeve ise referans numune (RN) olarak göçme seviyesine kadar benzer şekilde test edilmiştir. Bu şekilde farklı hasar seviyeleri oluşturulan çerçeveler, üretilen aynı özelliğe sahip ECC paneller ile onarılmış (%1 ON, %2 ON, %3 ON) daha sonra tersinir tekrarlanır yatay yükler altında test edilmiş ve onarımın farklı hasar seviyesindeki betonarme çerçevelerin performansına etkileri belirlenmiştir. Yapılan deneylerden elde edilen veriler ile aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

Maksimum yatay yük taşıma kapasitesi açısından, 5 nolu deney numunesi (%1 ON) 1 nolu deney numunesine (RN) göre ileri çevrimde %27, geri çevrim dikkate alındığında ise %25 daha fazla yatay yük taşıma kapasitesine sahiptir. Dolayısıyla 5 nolu numunede yapılan onarım, çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesine katkı sağlamıştır.

Başlangıç rijitliği açısından 5 nolu deney numunesi, 1 nolu deney numunesine göre ileri çevrimde %56, geri çevrimde ise %22 daha fazla rijitliğe sahiptir.

5 nolu deney numunesinin maksimum yatay yük rijitliği, 1 nolu deney numunesine göre ileri çevrimde %113, geri çevrimde ise %116 daha fazladır.

Son rijitlik açısından ise 5 nolu deney numunesi, 1 nolu deney numunesine göre ileri çevrimde %9, geri çevrimde %5 daha fazla rijitliğe sahiptir.

Kümülatif toplam tüketilen enerji bakımından, 1 nolu deney numunesinin 0.041 deplasman oranında 12670.90 kN.mm, 5 nolu numunenin ise 0.04 deplasman oranında 18912.30 kN.mm enerji tükettiği görülmektedir. Dolayısıyla kümülatif toplam tüketilen enerji açısından 5 nolu numune, 1 nolu numuneye göre %49 daha fazla enerji tüketmiştir.

1 nolu deney numunesi ileri çevrimde 2.26, geri çevrimde ise 2.29 süneklik katsayısına sahip iken, 5 nolu deney numunesinin süneklik katsayısı ileri çevrimde 3.11, geri çevrimde ise 3.06 değerindedir. Bu sebeple onarımın, süneklik oranına ileri çevrimde %38, geri çevrimde ise %34 katkı sağladığı görülmüştür.

1 nolu deney numunesinin maksimum yatay yükte, 2. kat görelî ötelenme oranı, ileri çevrimde 0.033, geri çevrimde 0.032 iken, 5 nolu deney numunesinin oranları ileri çevrimde 0.019, geri çevrimde ise 0.017 değerine sahiptir. Dolayısıyla 5 nolu deney numunesinin, 1 nolu numuneye göre 2. kat görelî ötelenme oranı azalmıştır.

1 nolu deney numunesi, geri 9. çevrimde 44.36 kN yatay yük ve 23.32 mm tepe deplasmanı seviyesinde, 38 çatlak ile çok miktarda hasarla akma konumuna gelmiş olup 5 nolu deney numunesi ise 61.10 kN yük mertebesinde ve 19.42 mm tepe deplasmanında, 15 çatlak ile çok daha az hasar meydana gelerek akma konumuna ulaşmıştır.

1 nolu deney numunesinde ilk çatlak geri 3. çevrimde 15.19 kN yatay yükte oluşmuş iken 5 nolu deney numunesinde ilk çatlak geri 8. çevrimde 39.78 kN yatay yük etkisinde oluşmuştur.

1 nolu deney numunesinde deney sonuna kadar toplam 61 çatlak oluşmuşken, 5 nolu deney numunesinde toplam 40 çatlak meydana gelmiştir. Ayrıca, 1 nolu deney numunesinde oluşan çatlakların genişlikleri, 5 nolu deney numunesine göre genel olarak daha geniştir.

1 nolu deney numunesi ileri ve geri olmak üzere 15 çevrim sonunda göçme seviyesine ulaşmış iken, 5 nolu deney numunesinde ileri ve geri olmak üzere 19 çevrim sonunda deney tamamlanmıştır. Ayrıca genel olarak, 5 nolu deney numunesinde, 1 nolu deney numunesine göre ileri ve geri çevrimlerde deplasmanlar azalmış, yükler ise artmıştır.

Deney sonunda, 1 nolu deney numunesinde özellikle S101 kolonunun alt kısmında parçalanmalar ve kolonların temel ile birleşiminde ağır hasarlar meydana

gelmiş iken, 5 nolu deney numunesinde kolon ile temel birleşim yerlerinde bulunan yapıştırma harcında ayrılmalar oluşmuştur.

Maksimum yatay yük taşıma kapasitesi açısından, 6 nolu deney numunesi (%2 ON) 1 nolu deney numunesine (RN) göre ileri çevrimde %26, geri çevrim dikkate alındığında ise %22 daha fazla yatay yük taşıma kapasitesine sahiptir. Dolayısıyla 6 nolu numunede yapılan onarım, çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesine katkı sağlamıştır.

Başlangıç rijitliği açısından, 6 nolu deney numunesi, 1 nolu deney numunesine göre ileri çevrimde %49, geri çevrimde ise %20 daha fazla rijitliğe sahiptir.

6 nolu deney numunesinin maksimum yatay yük rijitliği, 1 nolu deney numunesine göre ileri çevrimde %23, geri çevrimde ise %107 daha fazladır.

Son rijitlik açısından ise 6 nolu deney numunesi, 1 nolu deney numunesine göre ileri çevrimde %23, geri çevrimde %12 daha fazla rijitliğe sahiptir.

Kümülatif toplam tüketilen enerji bakımından, 1 nolu deney numunesinin 0.041 deplasman oranında 12670.90 kN.mm, 6 nolu numunenin ise 0.04 deplasman oranında 18084.57 kN.mm enerji tükettiği görülmektedir. Dolayısıyla kümülatif toplam tüketilen enerji açısından 5 nolu numune, 1 nolu numuneye göre %43 daha fazla enerji tüketmiştir.

1 nolu deney numunesi ileri çevrimde 2.26, geri çevrimde ise 2.29 süneklik katsayısına sahip iken, 6 nolu deney numunesinin süneklik katsayısı ileri ve geri çevrimde 3.06 değerindedir. Bu sebeple onarımın, süneklik oranına ileri çevrimde %35, geri çevrimde %34 katkı sağladığı görülmüştür.

1 nolu deney numunesinin, maksimum yatay yükte, 2. kat görelî ötelenme oranı, ileri çevrimde 0.033, geri çevrimde 0.032 iken, 6 nolu deney numunesinin oranları ileri çevrimde 0.030, geri çevrimde ise 0.018 değerine sahiptir. Dolayısıyla 6 nolu deney numunesinin, 1 nolu numuneye göre 2. kat görelî ötelenme oranı azalmıştır.

1 nolu deney numunesi, geri 9. çevrimde 44.36 kN yatay yük ve 23.32 mm tepe deplasmanı seviyesinde, 38 çatlak ile çok miktarda hasarla akma konumuna gelmiş olup 6 nolu deney numunesi ise 60.25 kN yük mertebesinde ve 26.90 mm tepe deplasmanında, 18 çatlak ile çok daha az hasar meydana gelerek akma konumuna ulaşmıştır.

1 nolu deney numunesinde ilk çatlak geri 3. çevrimde 15.19 kN yatay yükte oluşmuş iken 6 nolu deney numunesinde ilk çatlak geri 7. çevrimde 37.16 kN yatay yük etkisinde oluşmuştur.

1 nolu deney numunesinde deney sonuna kadar toplam 61 çatlak oluşmuşken, 6 nolu deney numunesinde toplam 58 çatlak meydana gelmiştir. Ayrıca, 1 nolu deney numunesinde oluşan çatlakların genişlikleri 6 nolu deney numunesine göre genel olarak daha geniştir.

1 nolu deney numunesi ileri ve geri olmak üzere 15 çevrim sonunda göçme seviyesine ulaşmış iken, 6 nolu deney numunesinde ileri ve geri olmak üzere 18 çevrim sonunda deney tamamlanmıştır. Ayrıca genel olarak, 6 nolu deney numunesinde, 1 nolu deney numunesine göre ileri ve geri çevrimlerde deplasmanlar azalmış, yükler ise artmıştır.

Deney sonunda, 1 nolu deney numunesinde özellikle S101 kolonunun alt kısmında parçalanmalar ve kolonların temel ile birleşiminde ağır hasarlar meydana gelmiş iken, 6 nolu deney numunesinde kolon ile temel birleşim yerlerinde bulunan yapıştırma harcında ayrılmalar oluşmuştur.

Maksimum yatay yük taşıma kapasitesi açısından, 7 nolu deney numunesi (%3 ON) 1 nolu deney numunesine (RN) göre ileri çevrimde %27, geri çevrim dikkate alındığında ise %23 daha fazla yatay yük taşıma kapasitesine sahiptir. Dolayısıyla 7 nolu numunede yapılan onarım, çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesine katkı sağlamıştır.

Başlangıç rijitliği açısından, 7 nolu deney numunesi, 1 nolu deney numunesine göre ileri çevrimde %40, geri çevrimde ise %11 daha fazla rijitliğe sahiptir.

7 nolu deney numunesinin maksimum yatay yük rijitliği, 1 nolu deney numunesine göre ileri çevrimde %72, geri çevrimde ise %80 daha fazladır.

Son rijitlik açısından, 7 nolu deney numunesi, 1 nolu deney numunesine göre ileri çevrimde %30 daha fazla, geri çevrimde ise yaklaşık olarak eşit rijitliğe sahiptir.

Kümülatif toplam tüketilen enerji bakımından, 1 nolu deney numunesinin 0.041 deplasman oranında 12670.90 kN.mm, 7 nolu numunenin ise 0.04 deplasman oranında 14208.09 kN.mm enerji tükettiği görülmektedir. Dolayısıyla kümülatif toplam tüketilen enerji açısından 7 nolu numune, 1 nolu numuneye göre %12 daha fazla enerji tüketmiştir.

1 nolu deney numunesi ileri çevrimde 2.26, geri çevrimde ise 2.29 süneklik katsayısına sahip iken, 7 nolu deney numunesinin süneklik katsayısı ileri çevrimde 2.65, geri çevrimde ise 2.90 değerindedir. Bu sebeple onarımın, süneklik oranına ileri çevrimde %17, geri çevrimde %27 katkı sağladığı görülmüştür.

1 nolu deney numunesinin maksimum yatay yükte, 2. kat görelî ötelenme oranı, ileri çevrimde 0.033, geri çevrimde 0.032 iken, 7 nolu deney numunesinin oranları ileri çevrimde 0.024, geri çevrimde ise 0.023 değerine sahiptir. Dolayısıyla 7 nolu deney numunesinin, 1 nolu numuneye göre 2. kat görelî ötelenme oranı azalmıştır.

1 nolu deney numunesi, geri 9. çevrimde 44.36 kN yatay yük ve 23.32 mm tepe deplasmanı seviyesinde, 38 çatlak ile çok miktarda hasarla akma konumuna gelmiş olup 7 nolu deney numunesi ise 59.98 kN yük mertebesinde ve 22.60 mm tepe deplasmanında, 25 çatlak ile çok daha az hasar meydana gelerek akma konumuna ulaşmıştır.

1 nolu deney numunesinde ilk çatlak geri 3. çevrimde 15.19 kN yatay yükte oluşmuş iken 7 nolu deney numunesinde ilk çatlak ileri 7. çevrimde 34.55 kN yatay yük etkisinde oluşmuştur.

1 nolu deney numunesinde deney sonuna kadar toplam 61 çatlak oluşmuşken, 7 nolu deney numunesinde toplam 58 çatlak meydana gelmiştir. Ayrıca, 1 nolu deney numunesinde oluşan çatlakların genişlikleri 7 nolu deney numunesine göre genel olarak daha geniştir.

1 nolu deney numunesi ileri ve geri olmak üzere 15 çevrim sonunda göçme seviyesine ulaşmış iken, 7 nolu deney numunesinde ileri ve geri olmak üzere 18 çevrim sonunda deney tamamlanmıştır. Ayrıca genel olarak, 7 nolu deney numunesinde, 1 nolu deney numunesine göre ileri ve geri çevrimlerde deplasmanlar azalmış, yükler ise artmıştır.

Maksimum yatay yük taşıma kapasitesi açısından; 5, 6 ve 7 nolu deney numunesi (%1 ON, %2 ON, %3 ON) 1 nolu deney numunesine (RN) göre sırasıyla, ileri çevrimde %27, %26 ve %27, geri çevrim dikkate alındığında ise %25, %22 ve %23 daha fazla yatay yük taşıma kapasitesine sahiptir. Dolayısıyla hasarlı tüm numunelerde yapılan onarım, çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesine katkı sağlamıştır. Genel olarak, maksimum yatay yük taşıma kapasitesinde en büyük artış, 5 nolu deney numunesinde görülmüştür.

Başlangıç rijitliği açısından; 5, 6 ve 7 nolu deney numunesi, 1 nolu deney numunesine göre sırasıyla, ileri çevrimde %56, %49 ve %40, geri çevrimde ise %22, %20 ve %11 daha fazla rijitliğe sahiptir. Bu sebeple hasarlı tüm numunelerde yapılan onarımın, çerçevenin başlangıç rijitliğini artırdığı ve en yüksek artışın 5 nolu deney numunesinde olduğu görülmüştür. Ayrıca, numunelerde onarımdan önce hasar miktarının artması, başlangıç rijitliğinin azalmasına sebep olmuştur.

Maksimum yatay yük rijitliği bakımından; 5, 6 ve 7 nolu deney numunesi, 1 nolu deney numunesine göre sırasıyla, ileri çevrimde %113, %23 ve %72, geri çevrimde ise %116, %107 ve %80 daha fazla rijitliğe sahiptir. Dolayısıyla hasarlı numunelerde yapılan onarım, çerçevenin maksimum yatay yük rijitliğini artırmıştır.

Son rijitlik bakımından; 5, 6 ve 7 nolu deney numunesi, 1 nolu deney numunesine göre sırasıyla, ileri çevrimde %9, %23 ve %30 daha fazla rijitliğe sahiptir. Geri çevrimde ise 1 nolu deney numunesine göre; 5 ve 6 nolu deney numunesi sırasıyla %5 ve %12 daha fazla, 7 nolu numune ise yaklaşık eşit rijitliğe sahiptir. Bu sebeple 7 nolu deney numunesi hariç hasarlı tüm numunelerde yapılan onarımın, çerçevenin son rijitliğini artırdığı görülmüştür.

Deney sonu kümülatif toplam tüketilen enerji açısından; 5, 6 ve 7 nolu numuneler, 1 nolu numuneye göre sırasıyla, %49, %43 ve %12 daha fazla enerji tüketmiştir. Dolayısıyla hasarlı tüm numunelerde yapılan onarımın, deney sonu kümülatif toplam tüketilen enerjiyi artırdığı, 5 nolu numunenin %49 artış ile en yüksek değere sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca, numunelerde onarımdan önce hasar miktarının artması, kümülatif toplam tüketilen enerjinin azalmasına sebep olmuştur.

Süneklik oranları açısından; 5, 6 ve 7 nolu numuneler 1 nolu numuneye göre sırasıyla, ileri çevrimde %38, %35 ve %17, geri çevrimde ise %34, %34 ve %27 daha fazla süneklik katsayısına sahiptir. Bu sebeple hasarlı tüm numunelerde yapılan onarımın, süneklik oranını artırdığı, genel olarak 5 nolu numunenin %38 artış ile en yüksek değere sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca, numunelerde onarımdan önce hasar miktarının artması, süneklik oranlarının azalmasına sebep olmuştur.

1 nolu deney numunesi akma konumuna 44.36 kN yatay yükte, 5, 6 ve 7 nolu deney numunesi ise sırasıyla 61.10 kN, 60.25 kN ve 59.98 kN yatay yük mertebesinde akma konumuna ulaşmıştır. Dolayısıyla hasarlı tüm numunelerde yapılan onarımın, akma yükünü artırdığı görülmektedir.

Akma konumunda 1 nolu numunede 38 çatlak, 5, 6 ve 7 nolu numunelerde ise sırasıyla 15, 18, ve 25 çatlak oluşmuştur. Bu sebeple onarımı yapılan numunelerin daha az hasarla akma konumuna ulaştığı ve bu seviyede en az hasarın 5 nolu numunede olduğu görülmüştür.

1 nolu deney numunesinde ilk çatlak 15.19 kN yatay yük değerinde oluşmuş iken 5, 6 ve 7 nolu deney numunelerinde ise ilk çatlak sırasıyla 39.78 kN, 37.16 kN ve 34.55 kN yatay yük etkisinde meydana gelmiştir. Beklenildiği gibi, onarım sonrasında, ilk çatlağın oluşması için gerekli yük miktarı artmış olup bu durum ECC kullanımından

kaynaklanmaktadır. Ayrıca, ilk çatlağın oluştuğu en yüksek yük değeri 5 nolu numunede meydana gelmiştir.

Göçme seviyesine 1 nolu deney numunesi, ileri ve geri olmak üzere 15 çevrim sonunda, 5, 6 ve 7 nolu deney numuneleri ise sırasıyla 19, 18 ve 18 çevrim sonunda ulaşmış ve deneyler tamamlanmıştır. Ayrıca genel olarak, 5, 6 ve 7 nolu deney numunelerinde, 1 nolu deney numunesine göre ileri ve geri çevrimlerde deplasmanlar azalmış, yükler ise artmıştır.

Temellerde, tasarımından kaynaklı olarak herhangi bir hasar gözlenmemiştir.

Makul boyut ve ağırlıktaki ECC paneller ile yapılan onarım uygulamasının, sıva gibi standart uygulamalardan farklı, pratik bir onarım alternatifi olabileceği düşünülmektedir.

Onarım; hasar oluşmuş herhangi bir yapısal elemanın, hasar meydana gelmeden önceki yük taşıma kapasitesi, dayanımı, sünekliği ve rijitliğinin geri kazanılması maksadıyla gerçekleştirilen bir çalışmadır. Yapılan deneylerden elde edilen verilere göre, ECC paneller ile yapılan onarım yönteminin, onarım için yeterli bir çözüm olabileceği; ayrıca, güçlendirme uygulamalarında da kullanılabileceği düşünülmektedir.

6.2. Öneriler

Yapılan tez çalışması kapsamında elde edilen sonuçlar dikkate alındığında, ECC ile üretilen panellerle yapılan onarımın; çerçeveye yatay yük, rijitlik, enerji tüketme kapasitesi ve süneklik açısından önemli katkıda bulunduğu görülmüştür. Ancak yapılan çalışmanın geliştirilebilmesi için bazı öneriler aşağıda sunulmuştur.

Gerçekleştirilen onarım uygulaması, boyutları ve donatı detayları aynı olan 1/3 ölçekli hasarlı betonarme çerçeveler üzerinde yapılmıştır. Yapı davranışının daha gerçekçi olarak belirlenebilmesi için deneyler 3 boyutlu çerçeve sistemleri kullanılarak veya 1/1 ölçeğe sahip numuneler üzerinde yapılabilir. Ayrıca, elemanların boyutları ve donatı detayları değiştirilerek onarım deneyleri gerçekleştirilebilir.

Referans numune %4 deplasmanda göçme seviyesine ulaşmıştır. Bu husus dikkate alındığında, betonarme çerçevelere %1, %2 ve %3 deplasman seviyesine kadar tersinir tekrarlanır yatay yük uygulanmış ve bu şekilde numunelerin farklı hasar seviyelerine sahip olması sağlanmıştır. Belirlenen hasar seviyelerine sahip numunelerin onarılması ve sonrasında test edilmesi her ne kadar onarımın genel olarak performansını belirlese de, onarım daha farklı hasar seviyelerine ait numuneler üzerinde yapılabilir.

Onarımda kullanılan tamir harçları genel olarak 3 cm kalınlıkta uygulanmaktadır. Dolayısıyla 1/3 ölçekli numunelerin onarılmasında kalınlığı 1 cm olarak üretilen ECC paneller kullanılmıştır. Panel kalınlığının yapılan onarıma katkısını belirlemek açısından farklı kalınlıklara sahip paneller ile onarım yapılabilir.



KAYNAKLAR

- Ahmadi, M.H. and Nateghi-Alahi, F., 2022, Experimental investigation of strengthening of masonry-infilled RC frames using prefabricated engineered cementitious composite panels, *Engineering Structures*, 253.
- Alhussainawe, A.K.H., 2018, Size effect on punching shear behavior of slab-column assembly made from engineering cementitious composite materials (ECC), M.Sc. Thesis, *University of Gaziantep Graduate School of Natural & Applied Sciences*, Gaziantep.
- Alyousif, A., Anil, O., Sahmaran, M., Lachemi, M., Yildirim, G., Ashour, A.F., 2016, Comparison of shear behaviour of engineered cementitious composite and normal concrete beams with different shear span lengths, *Magazine of Concrete Research*, 68 (5), 217–228.
- Arslan, M.H., 2007, Kolonları çekme kırılması gösteren sünek olmayan betonarme çerçevelerin dış perde duvar uygulaması ile güçlendirilmesi, Doktora tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.
- Arslan, M.H., Doğan, G., Dabanlı, K., Özdemir, M., Divarcı, H., 2015, Beton içinde çelik tel kullanarak betonarme binaların deprem performansının artırılması, *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 3 (1).
- Ayatar, M.E., 2018, Use of engineered cementitious composite panels for seismic strengthening, PhD Thesis, *Middle East Technical University The Graduate School of Natural and Applied Sciences*, Ankara.
- Bayülke, N., 1995, Depremlerde hasar gören yapıların onarımı ve güçlendirilmesi, *TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası*, İzmir.
- Boğazkesen, K.K., 2011, PVA lif donatılı çimento esaslı kompozitlerin mekanik özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Deng, M., Dong, Z., Ma, P., 2019, Cyclic loading tests of flexural-failure dominant URM walls strengthened with engineered cementitious composite, *Engineering Structures*, 194, 173–182.
- Deng, M., Zhang, Y., Li, Q., 2018, Shear strengthening of RC short columns with ECC jacket: Cyclic behavior tests, *Engineering Structures*, 160, 535–545.
- El-Mawsly, E.H., El-Kashif, K.F.O., Shawky, A.A., Abdalla, H.A., 2022, Experimental and numerical investigation on strengthening of RC flat slabs with central opening, *Case Studies in Construction Materials*, 16.
- Endait, M. and Kolhe, S., 2020, Experimental investigation of engineered cementitious composites (ECC) retrofitted masonry structures, *SN Applied Sciences*, 2, 432.

- Felekoglu, B., Tosun Felekoglu, K., Ranade, R., Zhang, Q., Li, V.C., 2014, Influence of matrix flowability, fiber mixing procedure, and curing conditions on the mechanical performance of HTPP-ECC, *Composites: Part B Engineering*, 60, 359-370.
- Fischer, G. and Li, V.C., 2002, Effect of matrix ductility on deformation behavior of steel-reinforced ECC flexural members under reversed cyclic loading conditions, *ACI Structural Journal*, 99 (6), 781-790.
- Fischer, G., Wang, S., Li, V.C., 2003, Design of engineered cementitious composites (ECC) for processing and workability requirements, *Seventh International Symposium on Brittle Matrix Composites*, Warsaw, 29-36.
- Gödek, E., Keskinates, M., Yıldırım, T., Tosun Felekoğlu, K., Felekoğlu, B., 2017, Çimento esaslı kompozitlerde polimerik lif türünün eğilme performansına etkisi, *Beton 2017 Hazır Beton Kongresi*, İstanbul, 185-193.
- Huang, T. and Zhang, Y.X., 2014, Mechanical properties of a PVA fiber reinforced engineered cementitious composite, *Proceedings of International Structural Engineering and Construction*, 1, 439-444.
- Hyun, J.H., Bang, J.W., Lee, B.Y., Kim, Y.Y., 2021, Effects of the replacement length of concrete with ECC on the cyclic behavior of reinforced concrete columns, *Materials*, 14, 3542.
- Kamada, T. and Li, V.C., 2000, The effects of surface preparation on the fracture behavior of ECC/concrete repair system, *Cement & Concrete Composites*, 22, 423-431.
- Kojima, S., Sakata, N., Kanda, T., Hiraishi, T., 2004, Application of direct sprayed ECC for retrofitting dam structure surface -Application for Mitaka-Dam-, *Concrete Journal*, 42 (5), 135-139.
- Kunieda, M. and Rokugo, K., 2006a, Measurement of crack opening behavior within ECC under bending moment, *In Proc., Int'l Rilem Workshop HPFRCC in Structural Applications*, 313-322.
- Kunieda, M. and Rokugo, K., 2006b, Recent progress on HPFRCC in Japan required performance and applications, *Journal of Advanced Concrete Technology*, 4 (1), 19-33.
- Küçükarslan, Ö., 2019, Tasarlanmış çimento esaslı kompozitlerde PVA lif oranının temel mekanik, boyutsal stabilite ve üstyapı kaplaması olarak performans özellikleri üzerine etkisi, *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Niğde.
- Li, V.C., 1993, From micromechanics to structural engineering the design of cementitious composites for civil engineering applications, *JSCE Journal of Structural Mechanics and Earthquake Engineering*, 10 (2), 37-48.

- Li, V.C., 2003, On Engineered Cementitious Composites (ECC) a review of the material and its applications, *Journal of Advanced Concrete Technology*, 1 (3), 215-230.
- Li, V.C., 2008, Engineered Cementitious Composites (ECC) – material, structural, and durability performance, *Concrete Construction Engineering Handbook*, Chapter 24, Ed. E. Nawy, published by CRC Press.
- Li, V.C., 2012, Tailoring ECC for special attributes: A review, *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 6 (3), 135–144.
- Li, V.C. and Leung, C.K.Y., 1992, Steady-state and multiple cracking of short random fiber composites, *Journal of Engineering Mechanics*, 118 (11), 2246-2264.
- Li, M. and Li, V.C., 2011, High-early-strength engineered cementitious composites for fast, durable concrete repair-material properties, *ACI Materials Journal*, 108, 3-12.
- Li, M. and Li, V., 2013, Rheology, fiber dispersion, and robust properties of Engineered Cementitious Composites, *Materials and Structures*, 46 (3), 405-420.
- Li, V.C., Wang, S., Wu, C., 2001, Tensile strain-hardening behavior of polyvinyl alcohol engineered cementitious composite (PVA-ECC), *ACI Materials Journal*, 98 (6), 483–492.
- Lim, I., Chern, J.C., Liu, T., Chan, Y.W., 2012, Effect of ground granulated blast furnace slag on mechanical behavior of PVA-ECC, *Journal of Marine Science and Technology*, 20 (3), 319-324.
- Maalej, M. and Li, V.C., 1994, Flexural/tensile strength ratio in engineered cementitious composites, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 6 (4), 513-528.
- Maalej, M. and Li, V.C., 1995, Introduction of strain hardening engineered cementitious composites in the design of reinforced concrete flexural members for improved durability, *ACI Materials Journal*, 92 (2), 167–176.
- Maruta, M., Kanda, T., Nagai, S., Yamamoto, Y., 2005, New high-rise RC structure using pre-cast ECC coupling beam, *Concrete Journal*, 43 (11), 18-26 (in Japanese).
- Noushini, A., Samali, B., Vessalas, K., 2013, Effect of polyvinyl alcohol (PVA) fibre on dynamic and material properties of fibre reinforced concrete, *Construction and Building Materials*, 49, 374–383.
- Pan, Z., Wu, C., Liu, J., Wang, W., Liu, J., 2015, Study on mechanical properties of cost-effective polyvinyl alcohol engineered cementitious composites (PVA-ECC), *Construction and Building Materials*, 78, 397-404.

- Paulay, T., 1993, Simplicity and confidence in seismic design, *John Wiley & Sons Interscience Publication*, Chichester.
- Paulay, T. and Priestley, M.J.N., 1992, Seismic design of reinforced concrete and masonry buildings, *John Wiley & Sons Interscience Publication*, New York.
- Priestley, M.J.N., 1997, Displacement-based seismic assessment of reinforced concrete buildings, *Journal of Earthquake Engineering*, 1 (1), 157-192.
- Rokugo, K., Kunieda, M., Lim, S.C., 2005, Patching repair with ECC on cracked concrete surface, *Proceedings of ConMat05*.
- Sevük, F., 2000, Yapı hasarları ve hasarların iyileştirilmesi üzerine bir inceleme, Doktora Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Sharbatdar, M.K. and Tajari, A., 2021, Experimental in-plane seismic strengthening of masonry infilled reinforced concrete frames by engineered cementitious composites (ECC), *Construction and Building Materials*, 293.
- Stang, H. and Li, V.C., 2004, Classification of fiber reinforced cementitious materials for structural applications, *6th RILEM Symposium on Fiber-Reinforced Concretes (FRC) - BEFIB 2004*, Varenna, 197-218.
- Şahmaran, M., Erdem, T.K., Yaman, İ.Ö., 2012, Sürdürülebilir kalkınma için mikro-mekanik olarak tasarlanmış şekil değiştirme sertleştirme gösteren yüksek performanslı lif donatılı çimento esaslı kompozitler, *Tübitak Proje No:108M495*, Gaziantep.
- Şahmaran, M., Lachemi, M., Hossain, K.M.A., Ranade, R., Li, V.C., 2009, Influence of aggregate type and size on ductility and mechanical properties of engineered cementitious composites, *ACI Materials Journal*, 106 (3), 308-316.
- Şimşek, Y.E., 2013, High early strength ductile cementitious composites with characteristics of low early age shrinkage, M. Sc. Thesis, *University of Gaziantep Graduate School of Natural & Applied Sciences*, Gaziantep.
- TS 500, 2000, Betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS EN 197-1 2012, Çimento-Bölüm 1: Genel çimentolar-bilesim, özellikler ve uygunluk kriterleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS EN 1015-11, 2020, Kagit harcı-deney yöntemleri-Bölüm 11: Sertleşmiş harcın eğilmede çekme ve basınç dayanımının tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- Uygunoğlu, T., Topçu, İ.B., Şimşek, B., Eryeşil, Ö., Al-Turki, Y.A.Y.A., 2022, Çimento esaslı harçların fiziksel ve mekanik özelliklerinde polivinil alkol (PVA) liflerin etkisi, *Politeknik Dergisi*, 25 (1), 29-36.

- Wang, S., 2005, Micromechanics based matrix design for engineered cementitious composites, PhD Thesis, *University of Michigan*, Michigan.
- Wang, S. and Li, V.C., 2006, Polyvinyl alcohol fiber reinforced engineered cementitious composites: material design and performances, *International RILEM Workshop on High Performance Fiber Reinforced Cementitious Composites (HPFRCC) in Structural Applications*, 65-73.
- Wang, S., and Li, V.C., 2007, Engineered cementitious composites with high-volume fly ash, *ACI Materials Journal*, 104, 233-241.
- Weimann, M.B. and Li, V.C., 2003, Hygral behavior of engineered cementitious composites (ECC), *International Journal for Restoration of Buildings and Monuments*, 9 (5), 513-534.
- Yang, E.H., Yang, Y., Li, V.C., 2007, Use of high volumes of fly ash to improve ECC mechanical properties and material greenness, *ACI Materials Journal*, 104 (6), 620-628.
- Yıldırım, G., 2018, Erken yaş yüksek dayanımlı çimento bağlayıcılı kompozitlerle üretilen onarım sistemlerinin eğilme performansı ve yansıma çatlağı davranışı, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 33 (1), 117-130.
- Yıldırım, G., Alyousif, A., Şahmaran, M., Lachemi, M., 2015a, Assessing the self-healing capability of cementitious composites under increasing sustained loading, *Advances in Cement Research*, 27 (10), 581-592.
- Yıldırım, G., Şahmaran, M., Balçıkanlı, M., Özbay, E., Lachemi, M., 2015b, Influence of cracking and healing on the gas permeability of cementitious composites, *Construction and Building Materials*, 85, 217-226.
- Zhang, Z., Qian, S., Ma, H., 2014, Investigating mechanical properties and self-healing behavior of micro-cracked ECC with different volume of fly ash, *Construction and Building Materials*, 52, 17-23.
- Zhang, Z. and Zhang, Q., 2018, Matrix tailoring of Engineered Cementitious Composites (ECC) with non-oil-coated, low tensile strength PVA fiber, *Construction and Building Materials*, 161, 420-431.