



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

KISA KOLON ETKİSİNDEKİ BETONARME
ÇERÇVELERİN SİFCON PANELLERLE
GÜÇLENDİRİLMESİ

Fatih KAYACIK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Ocak-2022
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Fatih KAYACIK tarafından hazırlanan “KISA KOLON ETKİSİNDEKİ BETONARME ÇERÇEVELERİN SIFCON PANELLERLE GÜÇLENDİRİLMESİ” adlı tez çalışması 20/01/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. Mehmet KAMANLI

.....

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Alptuğ ÜNAL

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi S. Kamil AKIN

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN
Enstitü Müdürü

Bu tez çalışması TÜBİTAK tarafından 120M029 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.

Fatih KAYACIK

20/01/2021

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KISA KOLON ETKİSİNDEKİ BETONARME ÇERÇEVELERİN SIFCON PANELLERLE GÜÇLENDİRİLMESİ

Fatih KAYACIK

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

**Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Alptuğ ÜNAL
Yrd. Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Gamze DOĞAN
2022, 231 Sayfa**

Jüri

**Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Alptuğ ÜNAL
Yrd. Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Gamze DOĞAN
Prof. Dr. Mehmet KAMANLI
Dr. Öğr. Üyesi S. Kamil AKIN**

Ülkemizde yaşanan büyük depremler neticesinde binalarda oluşan hasarlar tahlil edilmekte ve hasar türlerinin benzer nitelikte olduğu görülmektedir. Bunlardan biri de kısa kolon etkilerinin oluşturduğu hasarlardır. Kısa kolon oluşturabileceği tahmin edilen kolon boylarında üretim aşamasında önlem almak mümkündür. Fakat yapımı tamamlanmış binalarda özellikle zemin ve bodrum katlarda açılan bant pencereler, proje aşamasında öngörülmeleyen asma katlar, kolona mesnetlenen merdiven sahanlıkları, rijit döşeme ve kirişler ile kolon boylarının proje tasarımından farklı olmasına, azalan kolon boyuna gelen kesme gerilmelerinin artış göstermesine sebep olmaktadır. Kolonlarda artan bu kesme gerilmelerinin olduğu bölgelerde tasarımda yeterli detaylandırma yapılmadığı durumda ise kesme hasarları gibi ciddi hasarlar görülmektedir.

Yapılan bu çalışma ile kolonlarda olası kısa kolon kesme hasarlarına karşı yeni bir güçlendirme yöntemi denenmiştir. Bu amaç doğrultusunda ülkemizdeki yapı stokunu temsilen zemin kat yüksekliği normal kata göre daha fazla olan ve zemin kat dolgu duvar boyları birbirinden farklı olan 1/3 geometrik ölçekli 14 adet betonarme çerçeve üretilmiştir. Bu çerçevelerin 5 tanesi referans numune olarak üretilmiş, 9 numunede ise ultra performanslı özel bir beton olan SIFCON (Slurry Infiltrated Fiber Concrete-Çimento Şerbeti Emdirilmiş Lifli Beton) kullanılarak elde edilen çeşitli panel tipleri ile betonarme çerçevedeki kısa kolonlar güçlendirilmiştir. Tüm deney elemanları laboratuvarında deprem yüklerini benzeştirilen tersinir tekrarlanır yatay yüklemeye maruz bırakılmıştır. Elde edilen verilere göre alt katta tuğla dolgu duvar örülmeleyen çerçeve bölgesinin tüm yüzeylerine bir bütün olarak yerleştirilmiş S3 tipi panellerin diğer panel türlerine göre kısa kolon davranışına bağlı hasarları daha çok engellediği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Panel, döşeme, kiriş, kısa kolon, bant pencereler, SIFCON

ABSTRACT

MS THESIS

Retrofitting of Short Columns in RC Frames with SIFCON Panels

Fatih KAYACIK

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

**Advisor: Assist. Prof. Dr. Alptuğ ÜNAL
Co Supervisor: Assist. Prof. Dr. Gamze DOĞAN
2022,231 Pages**

Jury

**Advisor: Assist. Prof. Dr. Alptuğ ÜNAL
Co Supervisor Assist. Prof. Dr. Gamze DOĞAN
Prof. Dr. Mehmet KAMANLI
Assist. Prof. Dr. S. Kamil AKIN**

Damages in buildings as a result of major earthquakes in our country are analyzed and damage types are similar. One of them is the damage caused by the short column effects. It is possible to take precautions during the production phase for column lengths that are expected to form short columns. However, band windows opened especially in the ground and basement floors in completed buildings, clerestory that were not foreseen during the project phase, stair landings supported on the column, rigid flooring and beams, and the column lengths are different from the project design, causing shear stresses on the decreasing column length to increase. In the areas where these increased shear stresses are present in the columns, serious damages such as shear damages can be seen in the case of insufficient detailing in the design.

With this study, a new retrofitting method has been tried against possible short column shear damages in columns. For this purpose, 14 reinforced concrete frames with 1/3 geometric scale, whose ground floor height is higher than the normal floor and whose ground floor infill wall lengths are different from each other, were produced to represent the building stock in our country. 5 of these frames were produced as reference samples, and in 9 samples, reinforced concrete frame short columns were retrofitted with various panel types obtained by using a special ultra-performance concrete SIFCON (Slurry Infiltrated Fiber Concrete). All test elements were subjected to reversible and repeated horizontal loading, which is simulated to earthquake load in the laboratory. According to the data obtained, it was observed that S3 type panels placed as a whole on all surfaces of the frame area where brick infill walls were not built on the lower floor prevented the damages due to the short column behaviour.

Keywords: Panel, slab, beam, short column, tape windows, SIFCON

ÖNSÖZ

Sunulan bu çalışmada; depremler sonrası betonarme yapılarda sıklıkla karşılaşılan, kısa kolon oluşumu sebebiyle meydana gelen hasarların, geliştirilen yeni ve pratik bir güçlendirme yöntemi ile engellenmesi amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen deneyler neticesinde güçlendirme yönteminin kısa kolon hasar oluşumunu engellemekte başarı sağladığı görülmüştür. Bu çalışma 120M029 numaralı TÜBİTAK projesi kapsamında geliştirilmiştir. Katkı ve destekleri için TÜBİTAK'a teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitimim boyunca bilgi ve tecrübelerini benden hiçbir zaman esirgemeyen, beni sabırla dinleyip fikirleriyle yolumu aydınlatan, maddi ve manevi hep yanımda olan danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Alptuğ ÜNAL'a, tez süreci boyunca gerek deneysel çalışmamda gerekse tez yazımda beni hiç yalnız bırakmayan kıymetli hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Gamze DOĞAN'a ve bilgilerini benimle paylaşan Sayın Öğr. Gör. Salih CENGİZ'e şükranlarımı sunarım.

Deneylerimde bana yardım eden kıymetli kardeşim Oğuzhan KAYACIK'a, ve bu süreçte beni her zaman motive edip umut aşıl原因an eşim Merve KAYACIK'a sonsuz teşekkür ederim.

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

Fatih KAYACIK
KONYA-2022

İÇİNDEKİLER

TEZ KABUL VE ONAYI	v
TEZ BİLDİRİMİ	vi
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1.1. GİRİŞ	1
1.1. SIFCON Panel	4
1.2. Tezin amacı	5
1.3. Tezin önemi	6
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	7
2.1. SIFCON ile İlgili Kaynak Araştırması	7
2.2. Betonarme Çerçevesiz İlgili Kaynak Araştırması	10
2.3. Betonarme Kısa Kolonlarla İlgili Kaynak Araştırması.....	12
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	14
3.1. Malzeme Özellikleri	14
3.1.1. Çelik lif	14
3.1.2. SIFCON betonu	15
3.1.3. Çerçeve betonu	18
3.1.4. Ankraj çubuğu.....	18
3.2. Deney Numunelerinin Üretimi	19
3.2.1. Betonarme çerçevelerin detayları	23
3.2.2. SIFCON panellerin detayları	36
3.2.3. SIFCON panellerin üretimi.....	36
3.3. Deney Düzenegi ve Ölçme Tekniği.....	53
3.3.1. Deney düzenegi.....	53
3.3.2. Ölçme tekniği.....	57
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
4.1. Deney Sonuçları.....	61
4.1.1. Referans Deneyi (R1)	62
4.1.2. Referans Deneyi (R2)	72
4.1.3. Referans Deneyi (R3)	82
4.1.4. Referans Deneyi (R4)	92

4.1.5. Referans Deneyi (R5)	102
4.1.6. SIFCON'lu Deney (R3-S1)	112
4.1.7. SIFCON'lu Deney (R4-S1)	123
4.1.8. SIFCON'lu Deney (R5-S1)	133
4.1.9. SIFCON'lu Deney (R3-S2)	142
4.1.10. SIFCON'lu Deney (R4-S2)	152
4.1.11. SIFCON'lu Deney (R5-S2)	163
4.1.12. SIFCON'lu Deney (R3-S3)	173
4.1.13. SIFCON'lu Deney (R4-S3)	183
4.1.14. SIFCON'lu Deney (R5-S3)	193
4.2. Deney Sonu Gözlemler	204
4.2. Deney Sonuçları.....	217
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	225
5.1 Sonuçlar	225
5.2 Öneriler	226
KAYNAKLAR	228
ÖZGEÇMİŞ	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

M_r : Taşıma gücü momenti

ℓ_n : Kısa kolon serbest boyu

f_{ck} : Karakteristik beton dayanımı

A_w : Kolon enkesiti etkin gövde alanı

V_e : Kesme kuvveti

f_c : Beton basınç dayanımı

Kısaltmalar

SIFCON : Çimento Şerbeti emdirilmiş lifli beton

ÇAAYD : Çatlak ağzı açıklığı yer değiştirme

LVDT : Lineer yer değiştirme algılayıcısı

TBDY: Türkiye bina deprem yönetmeliği

GFRP : Cam elyaf takviyeli polimer

vd : Ve diğerleri

FRP : Lifli polimer malzeme

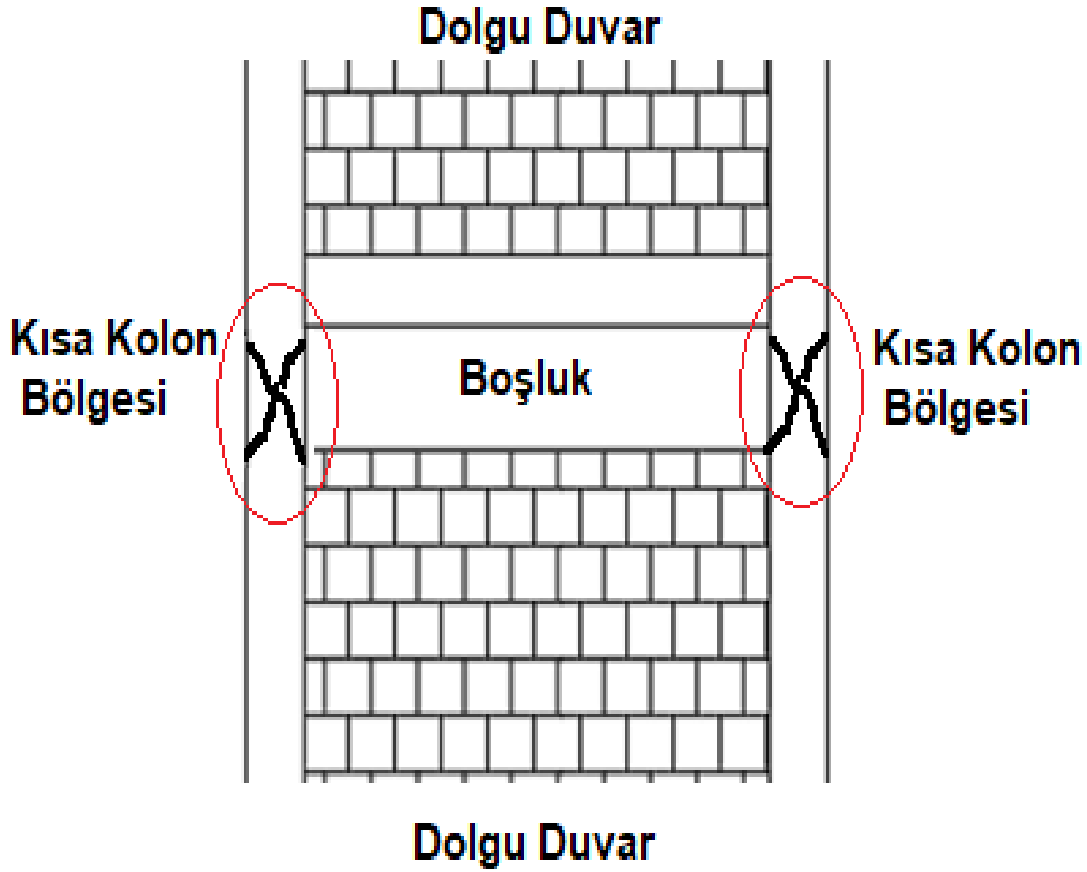
CFRP : Karbon lif takviyeli polimer malzeme

Epoksi : Çift tesirli kimyasal dübel

1.1. GİRİŞ

Ülkemizde geçmiş yıllarda birçok büyük deprem meydana gelmiş ve bu depremler sonucunda önemli can ve mal kayıpları yaşanmıştır. Türkiye'nin bir deprem ülkesi olduğu, aktif birçok fayın ülkemizden geçtiği düşünüldüğünde büyük magnitüde olasılığı yeni depremlere hazırlıklı olmak gerekmektedir. Ancak meydana gelebilecek bu depremlerde can ve mal kayıplarının en aza indirilmesi ve hatta mümkünse yaşanmamasına yönelik çalışmaların yapılması toplum bilinci açısından son derece gereklidir. Bu bilincin getirdiği sorumlulukla toplum yaşamına katkı sunabilmek adına bu tez çalışması yapılmıştır. Bu anlamda ülkemiz yapı stokunda çok sık karşılaşılan kısa kolon etkileri konusu ele alınmış ve kesme hasarlarının/göçmelerinin önlenmesi adına pratik bir uygulama geliştirilmesi hedeflenmiştir.

Ülkemizde genellikle zemin katı işyeri olarak tasarlanan binalarda projelendirme aşamasında öngörülmeyen asma katlar teşkil edilebilmektedir. Asma kata sahip binalarda ise bu katta yer alan kolonlar, kirişler tarafından tutulduğu ve yatay yük altında hareketi engellendiği için kısa kolon etkileri oluşabilmektedir. Benzer şekilde yapıda yer alan kolonlara döşemelerin ya da merdiven kirişlerinin mesnetlenmesiyle kolon hareketleri sınırlandırılarak kısa kolon oluşumuna sebebiyet verebilmektedir. Bir diğer durum ise yapı zemin katında havalandırma ve ışık ihtiyacını karşılamak üzere bant pencereler açılması ile benzer etkilerin ortaya çıkmasıdır. Sonradan açılan bant pencereler katın yüksek noktasında, kolon yüzeyleri arasında yerleştirilmektedir. Dolayısıyla bu kısımlarda dolgu duvarlar kaldırılarak boş alan oluşturulmaktadır. Özellikle yapılar yatay yük etkisine maruz kaldığında ise rijit duvarların bulunmadığı bu bölgelerde ötelenme daha fazla olmakta, kesme hasarları oluşmaktadır. Bant pencerelerin varlığı, kolon boylarının proje tasarımından farklı olarak azalması durumunu ortaya çıkarmaktadır. Boyları kısaldığında ise kesme gerilmeleri kolon-duvar birleşim bölgesinde yoğunlaşmaktadır. Kolon boyunun azalması kolona uygulanan kesme kuvvetinin artmasına sebep olmaktadır. Tasarımda yoğun kesme/kayma gerilmeleri dikkate alınmadığı için yeterli düzeyde kesme donatısı ile tasarlanamamış kolonda kesme kırılması oluşarak kolon taşıma gücünü kaybetmektedir. Olası bir deprem durumunda kısa kolon oluşumu meydana gelebilmekte ve bu etki binanın göçmesine dahi sebep olabilecek son derece tehlikeli durumlar oluşturmaktadır. Kısa kolon oluşum mekanizması Şekil 1.1'de gösterilmektedir.



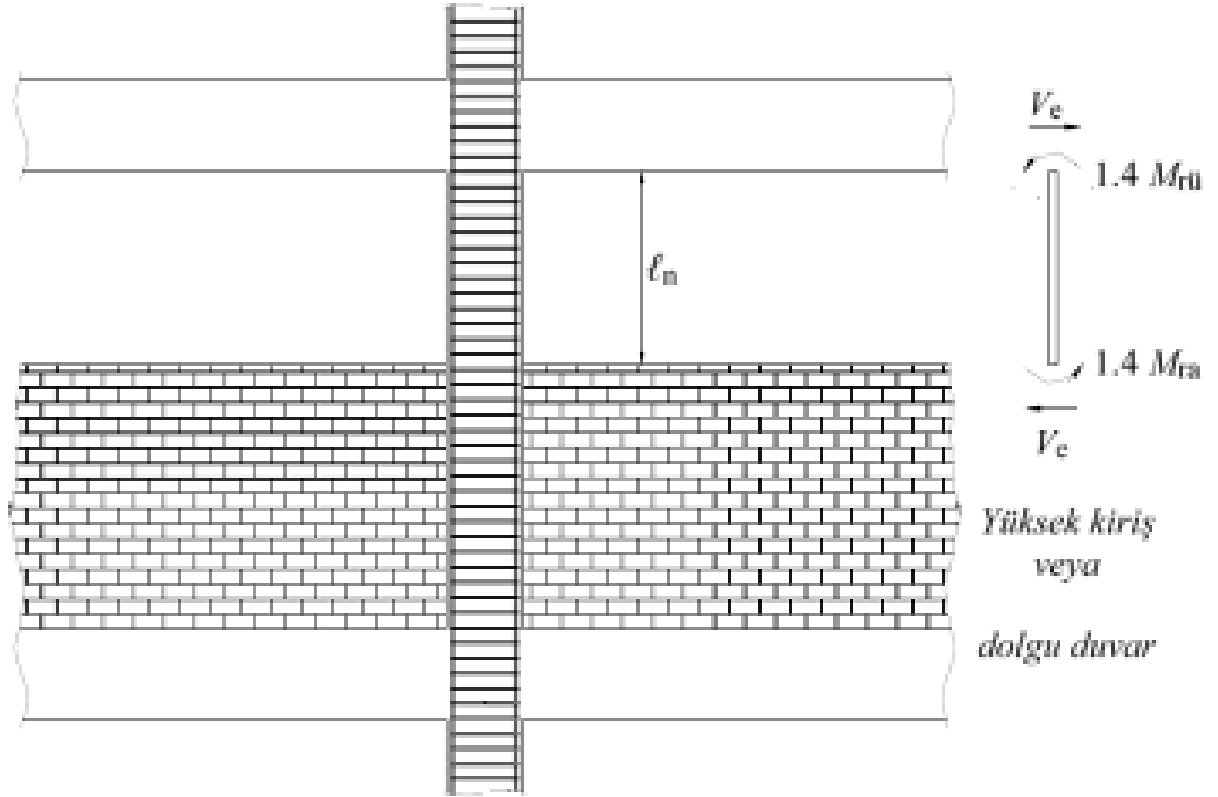
Şekil 1.1. Yapılarda kısa kolon mekanizması

Ülkemizde mevcut deprem yönetmeliğinde (TBDY-2018) ise kısa kolon oluşumunda iki sebebin varlığına dikkat çekilmektedir. Bunlar; kolonlar arası dolgu duvar boşlukları ve taşıyıcı sistem boşluklarıdır. Kısa kolon hasarlarını engellemek için yönetmelik önerisi ise; kolon sargılama bölgelerinde yer alan enine donatı koşullarının bu bölgelerde de uygulanması şeklindedir. TBDY-2018’de Bölüm 7.3.8’de kısa kolonlara ilişkin koşullar yer almaktadır. İlgili bölümde yapımı önlenemeyen kısa kolonlar için enine donatı hesabında dikkate alınacak kesme kuvveti Denklem 1’de tanımlanmaktadır. Yönetmeliğe göre Denklem 1’de yer alan kısa kolonun alt ve üst uçlarında momentler taşıma gücü momentlerinin (M_r) 1.4 katı olarak $M_a \approx 1.4M_{ra}$ ve $M_i \approx 1.4M_{ri}$ hesaplanacak, ℓ_n ise kısa kolonun serbest boyu olarak alınacak ve hesaplanan kesme kuvveti Denklem 2’de verilen minimum koşulları sağlayacaktır. Denklem 2’de f_{ck} betonun karakteristik beton dayanımı, A_w ise kolon enkesiti etkin gövde alanı olarak alınacaktır. Kısa kolon oluşumu ve enine donatının koşulu ile ilgili yönetmelik gösterimi Şekil 1.2’de verilmiştir.

$$V_e = (M_a + M_{\bar{u}}) / l_n \quad (1)$$

$$V_e \leq V_r$$

$$V_e \leq 0.85A_w \sqrt{f_{ck}} \quad (2)$$



Şekil 1.2. Kısır kolon oluşumu, enine donatı yerleşimi (TBDY-2018)

Gerçekleştirilen bu tez çalışması ile ülkemizde sıklıkla karşılaşılan kısır kolon hasarı olası binaların hızlı ve etkili bir şekilde güçlendirilmesi hedeflenmektedir. Bu hedef doğrultusunda ülkemizde çok geniş kullanım alanı bulmayan ancak dünyada yeni nesil güçlendirme malzemelerinden biri olan SIFCON (Slurry Infiltrated Fiber Concrete-Çimento Şerbeti Emdirilmiş Lifli Beton) betondan üretilmiş paneller ile betonarme çerçeve kısır kolonlarının güçlendirilmesi amaçlanmaktadır.

Literatürde bant pencerelerin sebep olduğu kısır kolon oluşumunu önlemeye yönelik hızlı ve etkin güçlendirme yöntemlerini içeren yeterince çalışma bulunmamaktadır. Dolayısıyla bu çalışma ile literatürde bu konudaki eksikliği giderecek bir çalışma yapıldığı düşünülmektedir.

Literatürde yer alan kabul görmüş ve pratikte de uygulanan birçok güçlendirme çalışmasında binaların boşaltılması ve iş yerlerinin işleyişinin durdurulması gerekmektedir. Ayrıca güçlendirilen binaların dış ve iç görünüşlerinde değişimler meydana gelmekte ve binaların mimari tasarımı bozulmaktadır. Ancak yapılan bu tez çalışması ile geliştirilen yöntemde binalarda bulunan bant pencereler çıkarılarak yerine SIFCON paneller yerleştirilecektir. Daha sonra SIFCON panellerin iç kısmı yine bant pencere olacak şekilde tasarlanacaktır. Böylece kısa kolon oluşabilecek bina bir yandan kısa kolon oluşumuna karşı güçlendirilirken diğer yandan da eski mimari tasarımını koruyacaktır. SIFCON beton paneller dışarıda üretilip daha sonra binaya yerleştirilecektir. Buna ek olarak SIFCON paneller çift tesirli epoksi malzemesi ile çerçeveye yapıştırıp, belirli yerlerinden çerçeveye ankrajlanacaktır. Böylece binanın boşaltılmasına gerek kalmadan hızlı ve etkili bir şekilde kısa kolon güçlendirme işlemi tamamlanmış olacaktır. Olası büyük bir depremin ne zaman meydana geleceği bilinmediğinden güçlendirme işlemlerinin hızlı ve etkili bir biçimde yapılması gerekmektedir. Bu sebeple bu çalışmada geliştirilen betonarme yapı elemanına uygulanan güçlendirme yöntemi ile bu problemin önüne geçilebileceği düşünülmektedir.

1.1. SIFCON Panel

SIFCON paneller; ülkemizde pek ilgi görmeyen bir güçlendirme metodu olsa da dünyada kabul görmüş bir sistemdir. Bu paneller; çimento, ince kum ve akışkanlığı artırıcı katkı malzemesi ile üretilen akışkan betonun çelik liflerin arasına yerleşmesi ile oluşmaktadır. Bu kompozit karışımdan oldukça etkili bir dayanım elde edilmektedir. Kısa kolon etkisinin çok sık görüldüğü bant pencere bölgelerinde bu sistemle birlikte daha yüksek bir dayanımın oluştuğu bu tezde görülmüştür.

Bant pencereler, ülkemizde ve dünyada oldukça fazla kullanılmaktadır. Yapı kullanımı açısından mevcut alana ışık ve hava girişinde önemli olmaktadır. Bant pencerelerin neden olduğu boşluklarda kısa kolon etkisi görülmekte ve bu boşluklara güçlendirme yapılması gerekmektedir. SIFCON paneller sayesinde güçlendirme yapılırken binanın boşaltılmasına gerek kalmadan hızlı ve kolay bir şekilde montajlanması hedeflenmektedir.

1.2. Tezin amacı

Ülkemizde geçmiş yıllarda birçok büyük deprem meydana gelmiş ve bu depremler sonucunda önemli can ve mal kayıpları yaşanmıştır. Türkiye'nin bir deprem ülkesi olduğu, aktif birçok fayın ülkemizden geçtiği düşünüldüğünde büyük magnitüdeerde olası yeni depremlere hazırlıklı olmak gerekmektedir. Ancak meydana gelebilecek bu depremlerde can ve mal kayıplarının en aza indirgenmesi ve hatta mümkünse yaşanmamasına yönelik çalışmaların yapılması toplum bilinci açısından son derece gereklidir. Bu bilincin getirdiği sorumlulukla toplum yaşamına katkı sunabilmek adına bu çalışma yapılmıştır.

Dünyada 250 yıldır betonarme binalar yapılmaktadır. Betonarme binalarda kullanılan beton ve demirin; kolay şekil alması, teminin kolay olması, ekonomik olması gibi nedenlerden dolayı inşaat sektörünün vazgeçilmezi olmuşlardır. Bu yapılan betonarme binalarda kiriş ve kolonlar, taşıyıcı sistemin temel yapıtaşlarıdır. Kolonlar arasına örülen duvarların oluşturduğu bant pencereler betonarme yapıda kısa kolon etkisi oluşturabilmektedir. Duvarlar kısmen de olsa yük taşıdıkları için bant pencere yapılan yerlerde kolonların daha fazla hasara uğradığı görülmüştür. Bu konu üzerine dünyada ve ülkemizde birçok çalışma yapılmıştır. Araştırmalar sonucunda ise depremlerde öncelikle bant pencerelerin oluşturduğu kısa kolonların hasar aldığını görülmektedir. Aynı zamanda bant pencere için bırakılan %25, %50 ve %75 olarak bırakılan duvar boşluklarının da kısa kolon etkisi yaratıp yaratmadığı da görülmek istenmiştir.

Ülkemizde çok geniş kullanım alanı bulmayan ancak dünyada yeni nesil güçlendirme malzemelerinden biri olan SIFCON betondan üretilmiş paneller ile bant pencere bulunan betonarme çerçevelerin güçlendirilmesi amaçlanmaktadır.

1.3. Tezin önemi

Ülkemizde yapılan binalar incelendiğinde zemin katı işyeri olan binaların birçoğunda bant pencere uygulaması olduğu görülmektedir. Bu binaların olası bir depremle karşılaşması durumunda ilk hasar alacak yerleri ise bant pencerelerin hizasındaki kolonlar olacaktır. Bu anlamda ülkemiz yapı stokunda çok sık karşılaşılan kısa kolon etkileri konusu ele alınmış ve kesme hasarlarının/göçmelerinin önlenmesi adına pratik bir uygulama geliştirilmesi bu çalışma ile hedeflenmiştir. Bu hedef doğrultusunda ülkemizde çok geniş kullanım alanı bulmayan ancak dünyada yeni nesil güçlendirme malzemelerinden biri olan SIFCON betondan üretilmiş paneller ile bant pencere bulunan betonarme çerçevelerin güçlendirilmesi istenmektedir. Önerilen bu çalışma ile binalarda bulunan bant pencereler çıkarılarak yerine SIFCON paneller yerleştirilmiştir. Daha sonra SIFCON panellerin iç kısmı yine bant pencere olacak şekilde tasarlanmıştır.

Birçok güçlendirme metodu vardır lakin güçlendirme yapılması gereken yapılarda genellikle binanın boşaltılması ve bir süre kullanıma kapalı kalması istenmektedir. Bu çalışma kapsamında üretilen SIFCON panellerin dışarda üretilip hazırlanması daha sonra binaya getirilip uygulanması da yapıda diğer güçlendirme metotlarına göre daha az vakit alacağı gerçeğini ortaya koymaktadır. SIFCON paneller aynı zamanda yapı kullanılırken de kolay ve hızlı bir şekilde uygulanacaktır. Daha hızlı ve kolay kurulması sebebiyle diğer güçlendirme metotlarından daha çok rağbet görmesi beklenmektedir.

SIFCON panellerin en önemli yanlarından biri ise, kısa kolon oluşabilecek binalarda bir yandan kısa kolon oluşumuna karşı güçlendirilirken diğer yandan da eski mimari tasarımını koruyacaktır.

Çalışma kapsamındaki güçlendirme tekniği ile binaların kısa kolon etkisi engellenecek, olası deprem durumunda oluşabilecek hasarlar ve göçmeler önlenerek can güvenliği ve ülke ekonomisine büyük katkı sağlanabilecektir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Literatürde SIFCON üzerine yapılan çalışmalarda SIFCON betonun malzeme özelliklerinin incelendiği çalışmaların yanı sıra SIFCON beton kullanılarak üretilen yapı elemanlarının davranışları da incelenmiştir. SIFCON betonun betonarme elemanlarda kullanımında; özellikle elemanların süneklik, enerji tüketme kapasiteleri gibi değerlerine olumlu katkısı görülmektedir. Kesme zorlanmalarının olduğu betonarme eleman ve detaylarında bu özel betonun kesme dayanımını arttırdığı gözlemlenmiş, kesme donatısı detaylandırmalarının zor olduğu kesitlerde tercih edilebileceği öne sürülmüştür.

2.1. SIFCON ile İlgili Kaynak Araştırması

Farman ve ark. (2010) yaptıkları çalışmada üç farklı beton tipinin, basınç etkisi altındaki davranışını incelemişlerdir. Beton tipleri; yüksek dayanımlı beton (HSC), yüksek performanslı lifli beton (HPFRC) ve SIFCON'dur. %0 lif oranı HSC, %2 lif oranı HPFRC ve %5 ile %10 lif oranı SIFCON betonu teşkil etmektedir. Toplam 32 adet 75x150 mm silindir numune üç eksenli basınç altında incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre SIFCON'un üç eksenli dayanımını etkileyen iki faktör ortaya çıkmıştır. Bunlar çelik lif oranı ve yanal basınç düzeyidir. Bu iki etki arttıkça SIFCON'un sünekliği artmıştır. %10 lif oranına sahip SIFCON'un tokluğu, HSC'den 78 kat daha fazladır. HSC ile HPFRC'de gevrek kırılma oluşurken SIFCON'da sünek kırılma oluşmuştur.

Balaji ve Thirugnanam (2015) yaptıkları çalışmada, çeşitli yerlerinde SIFCON içeren geleneksel betonarme kirişlerin eğilme davranışını incelemişlerdir. Salt betonarme (RC), lifli beton (FRC) ve SIFCON ile üretilen kirişler karşılaştırma için kullanılmıştır. Her bir beton tipinden 7 adet olmak üzere toplam 21 adet betonarme kirişi eğilme etkisinde incelemişlerdir. SIFCON için lif oranı %9'dur. Sonuçlar incelendiğinde, RC kirişlerde SIFCON kullanımının, ilk çatlak yükünde artış sağladığı ve çatlama davranışını iyileştirdiği görülmüştür. Bu iyileştirmenin göstergesi olarak daha fazla sayıda daha ince çatlak oluştuğu söylenebilmektedir. SIFCON kirişlerde yük taşıma kapasitesi, rijitlik, süneklik ve enerji yutma kapasitesinin geleneksel RC kirişlere göre çok daha fazla olduğu görülmüştür.

Rao ve Ramana (2005) yaptıkları çalışmada lifsiz, lifli (%2) ve SIFCON (%8-10-12) betonlarla ürettikleri çift yönlü döşeme levhalarının eğilme davranışını incelemişlerdir. Elde

edilen sonuçlara göre lif oranının değişmesi, ilk çatlak yükünü önemli ölçüde değiştirmemiştir. Bunun yanında %12 lifli betonun yük taşıma kapasitesi, %8 lifli betonunkinden %115, %2 lifli betonunkinden ise %550 daha fazla çıkmıştır. SIFCON betonların döşemelerde kullanılması, ciddi oranda kapasite artışı sağlamıştır.

Salih ve ark. (2018), çengel uçlu çelik lif içeriğinin ve mineral katkı slika dumanının eğilme yükü altında SIFCON numunelerinin dayanım ve deformasyon özellikleri üzerindeki etkisini incelemiştir. Lif oranı %6, %8.5 ve %11 şeklindedir. Silis dumanı ise çimento ağırlığının %10'u kadar kullanılmıştır. Numune boyutları 100x100x400 mm seçilmiştir. Deneylemlerden elde edilen sonuçlara göre lif oranı arttıkça eğilme dayanımı ve tokluk değeri artmıştır.

Abdollahi ve ark. (2012), SIFCON ve GFRP ile sargılanan betonların davranışını incelemiştir. Toplamda 17 adet 150x300 mm silindir numune ile yapılan deneysel çalışmanın değişkenlerini beton dayanımı, GFRP sargı katmanı sayısı, GFRP sargı açısı, SIFCON sargı katmanı kalınlığı, SIFCON lif uzunluğu ve SIFCON dayanımı oluşturmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre SIFCON sargılı numunelerin dayanımı, sargısız numunelere göre sırasıyla 15, 25, 40 MPa betonlarda %104, %127 ve %54 artmıştır. Enerji tüketimi açısından da 19.29, 27.00 ve 19.51 katlık bir artış meydana gelmiştir. GFRP ile sargılanan numunelerdeki kırılma, dayanımında ciddi bir düşüşe neden olurken SIFCON ile sargılanan numunelerde önemli bir azalma meydana gelmemiştir.

Balaji ve Thirugnanam (2017) yaptıkları çalışmada, normal beton (RC), lifli beton (FRC) ve SIFCON ile üretilen kiriş-kolon birleşimlerinin ters çevrimsel yükleme altındaki davranışlarını incelemiştir. Toplam 10 adet numune yük-deplasman, süneklik ve kırılma biçimi açısından değerlendirilmiştir. Yük taşıma kapasiteleri incelendiğinde RC numuneler 39 MPa, FRC numuneler 46 MPa ve SIFCON numuneler 66 MPa değerine kadar ulaştığı gözlemlenmiştir. Enerji tüketim değerlerine göre SIFCON numuneler RC'ye göre yaklaşık 2.5 katlık bir artış göstermiştir. SIFCON ile üretilen numunelerde daha az ve daha kılcal çatlakların oluştuğu görülmüştür.

Elnono ve ark. (2009) yaptıkları çalışmada eğilme momentine bağlı betonarme köşe bağlantılarında SIFCON kullanımını deney olarak araştırmışlardır. 6 adet RC, 1 adet FRC, 8 adet SIFCON olmak üzere toplam 15 adet numune kullanılmıştır. Farklı donatı ve lif oranları çalışmanın diğer değişkenlerini oluşturmuştur. Elde edilen sonuçlara göre, tüm RC numunelerin kapasitelerine ulaşmadan göçtüğü tespit edilmiştir. SIFCON kullanılan

numunelerin RC'ye göre kapasiteleri %66, süneklikleri %173 daha fazla çıkmıştır. SIFCON'lardaki lif oranının artışı elemanların kapasitelerini artırmıştır.

Rao ve ark. (2009), SIFCON ile üretilen levhaların darbe yükü altındaki davranışını deneysel olarak incelemişlerdir. Lifli beton (FRC), betonarme beton (RCC) ve düz çimento beton (PCC) levhalar da karşılaştırma amacıyla kullanılmıştır. Darbe yükü için çelik bilye düşme ağırlığı kullanılmıştır. Deney sonuçları incelendiğinde %12 lif oranına sahip SIFCON levhaların, diğer levhalara göre dayanım ve enerji yutma özelliklerinde çok iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Shannag ve ark. (2001) yaptıkları çalışmada, yetersiz kesme donatısına sahip betonarme kirişlerde, SIFCON kullanımının kirişlerin davranışını nasıl etkilediğini incelemişlerdir. Toplam 14 adet yetersiz kesme donatısına sahip betonarme kiriş, kesme açıklığında SIFCON ile kaplanmış ve 4 nokta eğilme deneyine tabi tutulmuştur. SIFCON ile kaplanan betonarme kirişlerin kesme dayanımının %25-55 arasında arttığı görülmüştür.

Mısır ve Kahraman (2013), Türkiye'deki 1975 ve öncesi inşaat uygulamalarına yönelik, depreme dayanıklı olarak detaylandırılmayan kiriş-kolon birleşimleri için güçlendirme çalışması yapmıştır. Çalışmada güçlendirme için SIFCON kompozit köşe ve plaka blokları ankraj çubukları ile derzlere monte edilmiştir. Deneyde 3 adet 2/3 ölçekli kiriş-kolon düğüm numunesi, yarı statik döngüsel yükleme altında test edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, SIFCON kompozitlerle güçlendirilen numunenin yanal ötelenme rijitliği, referans numuneye göre %200 daha fazla çıkmıştır. Referans numune %3.5 ötelenme yaparken, güçlendirilmiş numune %5'e kadar çıkmıştır. Referans numune kesme kırılmasından geçerken, güçlendirilen numune eğilme kırılması ile göçmüş ve sünek bir davranış sergilemiştir.

2.2. Betonarme Çerçevelerle İlgili Kaynak Araştırması

Anıl ve Altın (2007) yaptıkları çalışmada, ters çevrimsel yük altında, yerinde dökme betonarme kısmi dolgulu, tek katlı, tek açıklıklı betonarme çerçevelerin dayanım, rijitlik, enerji tüketim kapasitesi ve kırılma mekanizmalarını araştırmışlardır. Çalışmanın değişkenlerini dolgu uzunluğunun dolgu yüksekliğine oranı ile dolgunun çerçeve açıklığındaki düzeni oluşturmaktadır. Toplam 9 adet 1/3 ölçekli numune test edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, genel olarak betonarme dolgulu numuneler gevrek davranış göstermiştir. Numuneler dolgu betonunun ezilmesinden sonra önemli bir dayanım sergilemiştir. Genel olarak dolgulu numuneler, boş çerçeveden daha fazla enerji tüketmiştir. Monolitik olarak doldurulmuş numune, boş çerçeveden 7 kat daha fazla enerji tüketmiştir.

Altın ve ark. (2008) yaptıkları çalışmada, betonarme dolgulu sünek olmayan betonarme çerçevelerin yatay yük altındaki davranışını deneysel olarak incelemiştir. Toplam 6 adet 1/3 ölçekli, tek açıklıklı, iki katlı sünek olmayan çerçeve, ters çevrimsel yatay yük altında test edilmiştir. Çerçeveler, uygulamada yaygın görülen eksikliklerle üretilmiştir. Deneysel sonuçları incelendiğinde, dolgunun eklenmesiyle hem dayanımın hem de rijitliğin önemli ölçüde arttığı görülmüştür.

Altın ve ark. (2008) yaptıkları çalışmada, diyagonal CFRP şeritler kullanarak güçlendirdikleri yığma duvar dolgulu betonarme çerçevelerin, çevrimsel yük altındaki davranışını incelemişlerdir. Toplam 10 adet 1/3 ölçekli, tek katlı, tek açıklıklı, delikli kil tuğla dolgulu sünek olmayan betonarme çerçeveler, çevrimsel yatay yük etkisinde test edilmiştir. Yığma dolgu duvarın en/boy oranı 1.73 olarak ayarlanmıştır. CFRP şeritler, yığma duvarın her iki yüzünde, iç cephede veya dış cephede olmak üzere farklı genişliklerde ve üç farklı düzenleme ile uygulanmıştır. Çalışmada CFRP şeritlerin genişliğinin ve düzenleme tipinin numunelerin davranışı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre CFRP şeritlerin, çerçevelerin dayanımını ve rijitliğini önemli ölçüde artırdığı görülmüştür.

Kara ve Altın (2006), çevrimsel yanal yük altında kısmi dolgulular yapılarak güçlendirilen sünek olmayan betonarme çerçevelerin davranışını araştırmışlardır. 7 adet tek açıklıklı, iki katlı, 1/3 ölçekli betonarme çerçeveler, Türkiye'deki konutlarda yaygın olarak görülen eksikliklere sahip olarak tasarlanmış ve deney elemanı olarak kullanılmıştır. Dolgu duvarların en/boy oranı ve yerleşim düzenleri, deneysel çalışmanın değişkenlerini oluşturmuştur. Deneysel sonuçları incelendiğinde, kısmen doldurulmuş sünek olmayan betonarme çerçevelerin, dolgusuz çerçeveden önemli ölçüde daha yüksek dayanım ve rijitlik

sergilediği görülmüştür. Dolgu duvarların en/boy oranı arttıkça, yanal dayanım ve rijitlik değerleri artmıştır.

Balık (2012) yaptığı çalışmada, 6 adet tek açıklıklı, iki katlı, 1/3 ölçekli sünek olmayan betonarme çerçevenin, pencere boşluklu veya boşluksuz dolgu duvar ile güçlendirildiği durumdaki davranışını incelemiştir. Deney numuneleri tersinir tekrarlanır yükler altında test edilmiştir. Çerçeveler, Türkiye’de mevcut birçok betonarme binadaki eksiklikler gözeticilerle imal edilmiştir. Deney sonuçları incelendiğinde boşluksuz çerçeve, en fazla yanal yük taşıyan numune olmuştur. Dolgu duvar oranı arttıkça elemanların enerji yutma kapasitesi de artmıştır.

Bahadır (2012) yaptığı çalışmada, Türkiye’deki binalarda rastlanan kusurlara sahip betonarme çerçevelerin, düzlem dışı perdelerle güçlendirildikten sonraki davranışını incelemiştir. Deneylerde toplam 6 adet tek açıklıklı, iki katlı, 1/3 ölçekli betonarme çerçeve kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, düzlem dışı perde duvar ile güçlendirilmiş boşluksuz betonarme numune, en fazla yatay yük taşıyan eleman olmuştur.

Ünal (2012), betonarme çerçevelerin güçlendirilmesinde düzlem dışı perde duvarların etkisini incelemiştir. Çalışma kapsamında 4 adet, iki katlı, tek açıklıklı, 1/3 ölçekli betonarme çerçeve tersinir-tekrarlanır yatay yük altında test edilmiştir. Numunelerin ilki çerçeveyi oluşturan kolonlar mantolamayla, ikincisi pencere boşluklu betonarme perdeyle, üçüncüsü ise düzlem dışında iki adet betonarme perde kullanılarak güçlendirilmiştir. Güçlendirme yapılmayan eleman ise referans numunesi olarak kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, referans numunesi ile karşılaştırıldığında kolon mantolaması ile güçlendirilen numune yaklaşık 3 kat, pencere boşluklu perde ile güçlendirilen numune yaklaşık 7 kat, iki adet perde ile güçlendirilen numune ise yaklaşık 4.5 kat daha fazla yatay yük taşımıştır.

2.3. Betonarme Kısa Kolonlarla İlgili Kaynak Araştırması

Koçak (2015) yaptığı çalışmada, binalardaki bant pencerelerin yanında bulunan kısa kolonları FRP ile güçlendirerek TDY-2007'ye göre nümerik analizini yapmıştır. Boş çerçeve, kısa kolonlu çerçeve ve FRP ile güçlendirilmiş çerçeve olmak üzere üç farklı model, TDY-2007 performans analiz yöntemlerine göre, bodrum katlardaki bant pencerelerin etkilerini ve FRP'lerin davranışı nasıl etkilediğini anlamak için tasarlanmıştır. Referans numunelerdeki kısa kolonlar, kapasitelerine ulaşmadan gevrek bir şekilde kırılmalarına rağmen, FRP ile güçlendirilen numunelerin kapasitelerinin üzerinde bir performans sergilediği görülmüştür.

Başgeçmez (2007) yaptığı çalışmada, beton dayanımı düşük olan betonarme kısa kolonların davranışına, lifli polimer kompozitlerin etkisini incelemiştir. Davranış için eksenel yük sabit tutulmuş ve tersinir tekrarlanır yanal yük verilmiştir. Polimer olarak karbon ve cam esaslı polimerler kullanılmıştır. 2 adet referans olmak üzere toplam 11 adet numune deneye tabi tutulmuştur. Elde edilen sonuçlara göre, referans numunelerindeki sargı donatısı yetersizliği, elemanların kesme kırılması yüzünden gevrek bir şekilde göçmesine neden olmuştur. Güçlendirilen numunelerde ise elemanlardaki asal çekme gerilmeleri karşılanmış, fakat beton basınç etkisi nedeniyle ezilmiş ve eğilme kapasitesine ulaşmıştır. Cam lifli polimerle güçlendirilen numunelerde sargı sayısının artması, kayda değer bir sonuç vermemiştir.

Demir (2013) yaptığı çalışmada, bodrum katında bulunan bant pencerelerin ve boşlukların oluşturduğu kısa kolon etkisini düşürecek pencere boyutunun araştırmasını yapmıştır. Bu sebeple, açıklığın 0.25 ve 0.375 katı betonarme kanat dolgu duvarlar ile güçlendirilen çerçevelerde, kısa kolon etkisini maksimum yapacak boşluk oranı deneysel olarak araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, bant pencere boşluklarının güçlendirilmesi ile kolonların davranışının önemli ölçüde iyileştiği görülmüştür.

Shehata ve ark. (2002) yaptıkları çalışmada, CFRP ile sarılmış beton kolonların dayanım ve süneklik kazanımını araştırmak için 54 adet kısa kolon numunesi üzerinde deneysel bir program gerçekleştirmiştir. Çalışmanın değişkenlerini kolon kesiti (dairesel, kare ve dikdörtgen) ile CFRP sargılarının katman sayısı oluşturmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre dairesel kolonların dayanımı 1 katmanda %81, 2 katmanda %138 artarken, kare kolonlarda %27 ve %51, dikdörtgen kolonlarda %10 ve %37 artmıştır.

Duran ve ark. (2020) yaptıkları çalışmada, 10 Ocak 2016 tarihinde Kırşehir'in Çiçekdağı ilçesinde meydana gelen 5.0 büyüklüğündeki depreme maruz kalan binalardaki kısa kolon durumu ile ilgili saha araştırması ve analitik çalışma yapmıştır. Çalışmada iki binadan numuneler alınmış ve malzeme özellikleri belirlenerek binaların 3 boyutlu modeli FEMA 356 ile pushover analizine tabi tutulmuştur. Çalışma kapsamında değerlendirilen iki binadan, bodrum katı olanı depremde ağır hasar görmüş ve ana şoktan sekiz gün sonra çökerken, bodrum katı olmayan binada önemli bir hasar görülmemiş ve bina ayakta kalmıştır. Analiz sonuçları incelendiğinde zeminde uygulanan aşırı kesme kuvveti nedeniyle sahada görsel olarak gözlenen kısa kolon hasarı oluşumunun, göçmenin ana nedeni olduğu anlaşılmıştır.

Dirikgil (2021), 18 adet tam ölçekli betonarme kısa kolonun çevrimsel yarı statik yükleme altında davranışını incelemiştir. Çalışmada beton dayanımı ve eksenel yük oranı değişken olarak kullanılmıştır. Kolonların 6'sında herhangi bir güçlendirme yapılmadan referans numune olarak kullanılmıştır. Diğer 12 kolona CFRP sargı ve çelik yaka güçlendirmesi uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre beton dayanımı ve eksenel yük oranının artması kolonları gevrek davranışa yöneltmiştir. CFRP sargı ve çelik yaka güçlendirme uygulamaları kolonların performansını önemli ölçüde iyileştirmiştir. CFRP sargı ve çelik yaka, kolonların süneklik değerlerini sırasıyla %38.8-%108.6 ve %61.7-%100.8 artırmıştır. Referans numuneleri ile kıyaslandığında CFRP sargıları kullanılan numuneler %347.2, çelik yaka kullanılan numuneler %379.3 daha fazla enerji tüketmiştir.

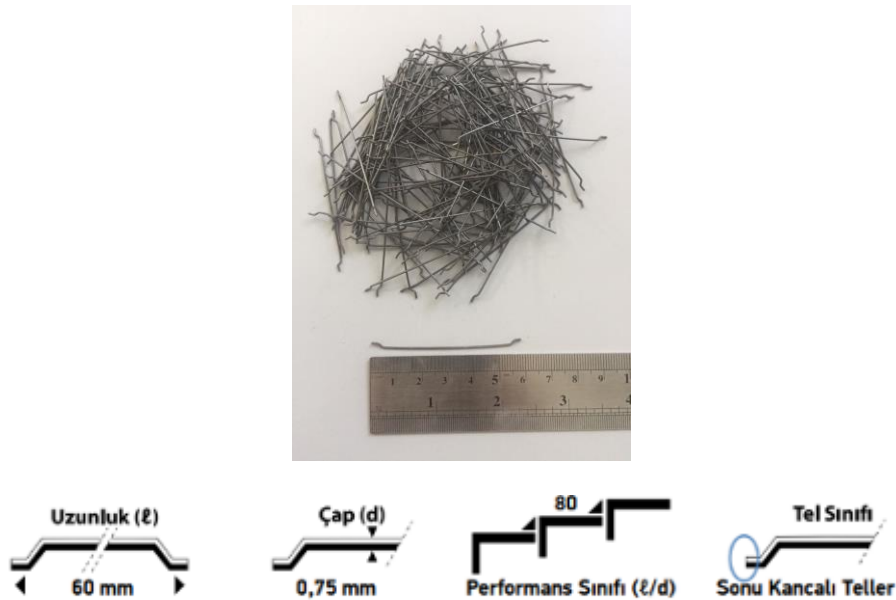
3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde, kısa kolon oluşumunu sağlamak adına, farklı tuğla duvar boyları ile imal edilmiş 14 adet deney numunesinin üretim aşamaları ile malzeme ve geometrik özellikleri belirtilmiştir. Numuneler üzerinde yapılan deneyler irdelenerek yükleme düzeneği, ölçüm sistemleri açıklanmış, deney aşamaları aktarılmıştır. Deneysel çalışmada 1/3 ölçekli özdeş betonarme çerçeveler kullanılmıştır. Çerçeveler üzerinde ise tuğla duvarlar örülerek kısa kolon oluşumu amaçlanmıştır. Dolgu duvarlı çerçevelerin bir bölümde ise SIFCON panel güçlendirmeleri yapılmıştır.

3.1. Malzeme Özellikleri

3.1.1. Çelik lif

Çalışmada SIFCON beton içerisinde uçları kancalı, yüksek mukavemetli, soğuk çekilmiş olarak üretilen çelik lifler kullanılmıştır. Kullanılan çelik lif, 0,75 mm çapında, 60 mm uzunluğunda, narinliği 80 olan 80/60 BL ticari kodlu, çekme mukavemeti 1300 MPa (N/mm^2) olarak belirtilen tutkalsız çelik liftir. Çelik lif görünümü ve özellikleri Şekil 3.1'de görülmektedir. Çalışmada hacimsel olarak %10 lif oranına sahip SIFCON beton üretimi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.1. Çelik lif görünümü ve özellikleri

3.1.2. SIFCON betonu

SIFCON beton üretiminde yoğun olarak kullanılan çelik tel liflerin arasına yerleşebilecek düzeyde akışkan kıvama sahip şerbet beton üretilmesi gerekmektedir. Bu sebeple beton agregası olarak ince malzemeler tercih edilmektedir. Literatürde yapılan çalışmalarda kum, çimento, taş tozu, kırma taş, silis dumanı, kireçtaşı kuvars pudrası, kuvars kumu gibi farklı ince malzemelerin kullanımı görülmektedir (Salih vd. (2018); Mısır (2011), Elnono vd. (2009); İpek vd. (2015); Çakır (2013), Aydın (2019)). Bu çalışmada literatürde verilen 2 farklı karışım oranı (Mısır (2011), Elnono vd. (2009)) denenmiş, bu oranlardan elde edilen SIFCON beton basınç dayanım testleri yapılmıştır. Karışımlarda özellikle taş tozu kullanılan birleşimlerde daha fazla su muhtevası gerekliliği görülmüş, betonda yerleşim problemi yaşanmıştır. Lif oranının yüksek olduğu bu özel betonda liflerin arasına çimento şerbetinin yerleşiminin dikkatle yapılması da son derece önemlidir. Çalışmada kullanılan şerbet beton için, beton dayanımı ve beton yerleşimi parametreleri dikkate alınarak yapılan ön testler sonucu; ideal oran ve malzeme birleşimleri literatürdekinden farklı olarak Tablo 3.1’de verilmiştir.

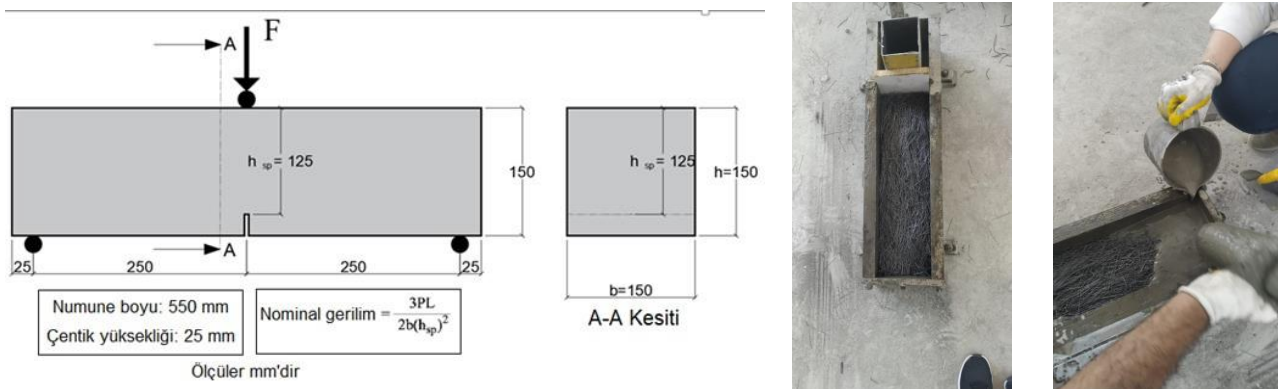
Tablo 3.1. SIFCON beton karışımı

Bileşenler (kg/m ³)	1 kg/m ³
Portland Çimentosu (42,5)	900
Su/Çimento (%)	0.40
Su	360
Doğal Kum (0.40 mm)	900
Katkı (Glenium ACE 30)	11.5

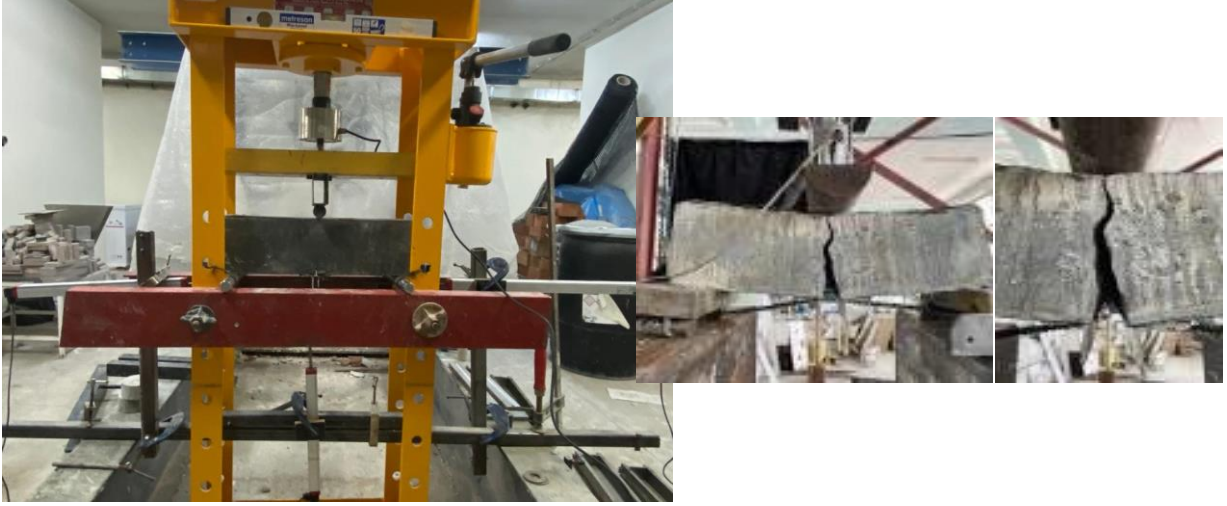
Yapılan malzeme deneyleri sonucu karışım için çimento, kum, su ve hiper-akışkanlaştırıcı kimyasal katkı kullanılmıştır. Şerbet beton için kullanılan çimento, yüksek mukavemet sağlayan Portland çimentosu CEM I-42,5-R’dir. Akışkan bir beton elde etmek için ince agrega olarak kum (0-1mm- AFS 40/45) tercih edilmiştir. Kullanılan su içme suyu niteliğindedir. Hiper-akışkanlaştırıcı kimyasal katkı olarak Glenium-ACE30 kullanılmıştır. Yeni nesil süper-akışkanlaştırıcı katkı polikarboksilik eter esaslı olarak üretilmekte, yüksek dayanımlı betonların üretiminde ve özellikle prefabrikasyon üretimlerde kullanılmaktadır. Üretimde önce çimento ve kum tartılarak mikserde yerleştirilmiş, bu kuru karışım 2 dakika boyunca karıştırılmıştır. Suyun yaklaşık %70’i karışıma eklenerek mikserde yaklaşık 3 dakika daha karıştırılmış, ardından kalan suya hiper-akışkanlaştırıcı da ilave edilerek

karışıma eklenmiştir. Toplamda 15 dakika süresince mikserde karıştırma işlemi devam etmiştir. Doldurma kaplarına alınan çimento şerbeti kalıba yerleştirilirken ince taneli malzemenin çökmemesi için şerbet karışımı mikserde karıştırılmaya devam etmiştir. Kalıba dökülen şerbet beton sabit sıcaklık ve nem şartlarının bulunduğu laboratuvar odasında prizini almak üzere bekletilmiştir. Prizini alan betona kür uygulanmış ve 2 gün, 7 gün ve 28 günlük basınç testlerine tabi olarak basınç dayanımı ortalama $f_c = 35$ MPa olan beton üretilmiştir.

SIFCON şerbet betonunda basınç testi yapıldığı gibi SIFCON üretimli çelik lif katkılı numune üzerinde de eğilme testi yapılmış, çatlak dağılımı gözlemlenmek istenmiştir. Malzeme mekanik karakterizasyonunu belirlemek için $150 \times 150 \times 550$ mm'lik SIFCON karışımı %10 çelik lif oranına sahip numune EN 14651 (2005)'e göre üretilmiş ve üç noktalı bir eğilme aparatında test edilmiştir. Numune detayları ve üretimi Şekil 3.2'de gösterilmiştir. Deneyle, yük ölçümleri için 30 kN kapasiteli bir yük hücresi ve iki adet 450 mm kapasiteli yer değiştirme algılayıcı LVDT kullanılmıştır. Numune çekmeye maruz kalan alt orta noktasında yaklaşık 25 mm yüksekliğinde bir çentik açılmış, çentiğin her iki kolu metal tabaka ile tutturulmuştur. Deneylede kullanılan LVDT'ler çatlak genişliğini ölçmek üzere yatayda bu metal tabakalara sabitlenmiştir. Çatlak ağzı açıklığı yer değiştirme (ÇAAYD) ölçümleri için 0,001 mm hassasiyette LVDT cihazları kullanılmıştır. Numune için yükleme düzeneği Şekil 3.3'te, deney sonu açılan çentikteki oluşan çatlak genişliği ise Şekil 3.4'te gösterilmiştir. Üç nokta yükleme deneyinden elde edilen yük ve çentik için yer değiştirme değerleri veri toplama yoluyla bilgisayara aktarılmış ve Şekil 3.5'teki grafik elde edilmiştir. Grafikte verilen $f_{R,1}$ ve $f_{R,3}$ değerleri ÇAAYD'nin sırasıyla 0,5 mm'de ve 2,5 mm'deki kalıcı gerilme değerleridir.



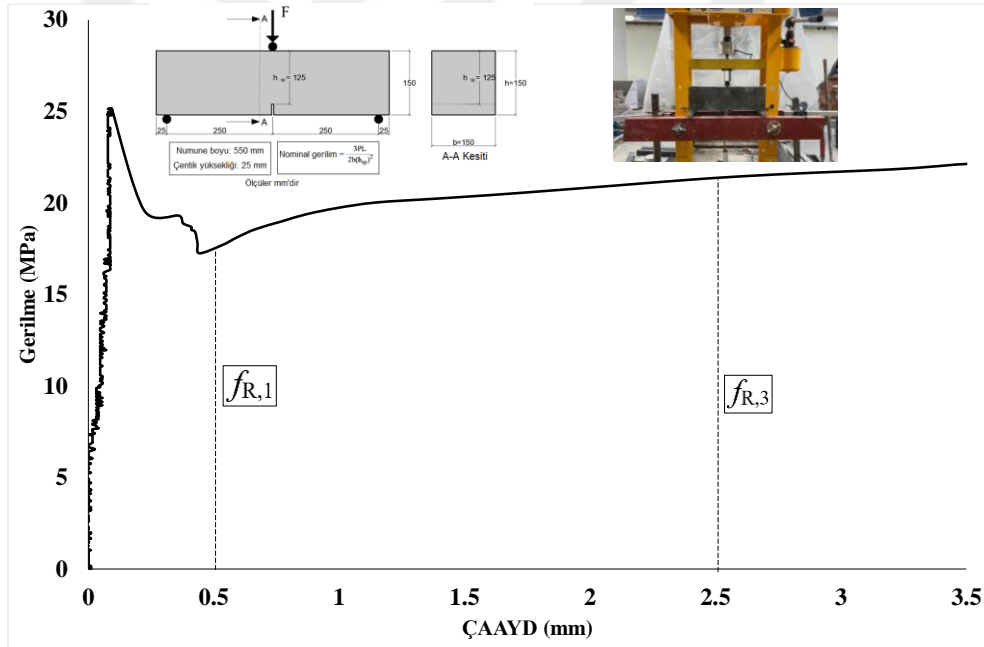
Şekil 3.2. Numune detayları ve üretimi



Şekil 3.3. Yükleme düzeneği



Şekil 3.4. Deney sonu numunede oluşan çatlak görünümü



Şekil 3.5. ÇAAVD- nominal gerilim eğrisi

Numune üzerinde limit değerlere kadar önemli bir etki görülmezken, kırılma anından sonra maksimum yükte $f_{R,1}$ 'e kadar düşüş görülmüş fakat bu değerden sonra nominal gerilme değeri $f_{R,3}$ 'e kadar yükselmiştir. Numunedeki gerilme değeri $f_{R,3}$ 'te $f_{R,1}$ 'e göre %24 daha büyüktür. Lif katkısı ile birlikte numunenin hem yük taşıma kapasitesi hem de yer değiştirme seviyesi artmıştır.


3.1.3. Çerçeve betonu

Çalışma kapsamında yapılan 14 adet numune için çerçeve üretimlerinde kullanılmak üzere hazır beton tesisinden C25 sınıfına ait beton istenmiştir. Tüm çerçevelerde beton sınıfı aynıdır. Santralde üretilen betonun karışım oranı Tablo 3.2’de verilmiştir. Her çerçevenin beton dökümü esnasında 3 adet küp numune de alınarak Yapı ve Deprem Laboratuvarında hidrolik preste basınç dayanımı testine tabi tutulmuş ve çerçeveler için 33.62 MPa dayanımlı beton kullanıldığı görülmüştür (Tablo 3.3).

Tablo 3.2. Çerçeve beton karışımı

Bileşenler (kg/m ³)	kg/m ³
Portland Çimento (42,5)	270
S/Ç (%)	0.61
Su	165
<u>Agregalar</u>	
0-5 mm	1255
7-15 mm	520
15-22 mm	173
Katkı (Hiperakışkanlaştırıcı) %1 çimento oranına göre	2.7
f _c (MPa)	33.62

Tablo 3.3. Çerçeve beton deneyleri

	Numune grubu	Yük (kN)	Gerilme (MPa)
	1. Grup beton dökümü	788.2	35.03
		754.3	33.52
		781.5	34.74
	2. Grup beton dökümü	917.9	40.00
		865.5	38.40
		901.9	40.09
	3. Grup beton dökümü	589.0	26.18
		607.6	27.00
		623.1	27.69

3.1.4. Ankraj çubuğu

SIFCON panellerin çerçevelere birleşimde 10 mm çaplı ankraj çubuğu (M10) kullanılmıştır. 8.8 Sertlik kalitesinde çelik, çekme mukavemeti 80 kg/mm², akma gerilme sınırı 64 kg/mm², DIN 931 normunda, yarım dişli ve altı köşe başlı birleştirme elemanı olarak kullanılan ankraj çubuğu, Şekil 3.6’da gösterilmiştir.

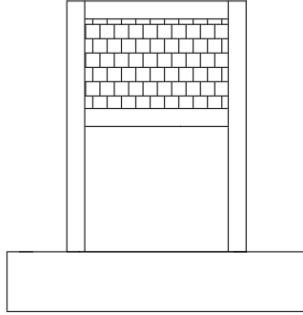
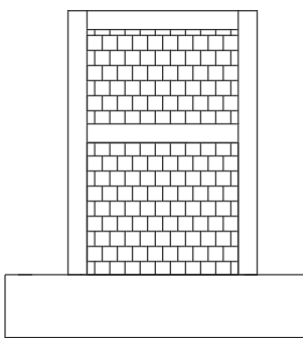
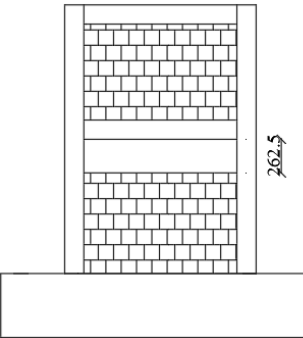
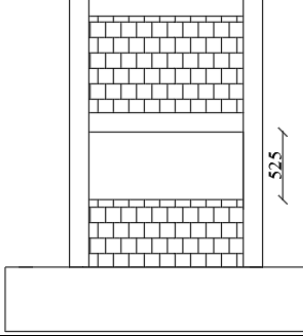


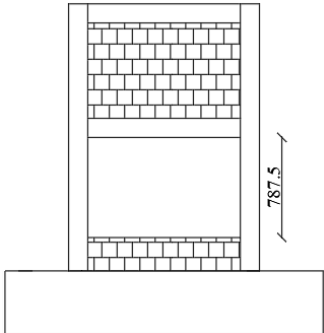
Şekil 3.6. Ankraj çubuğu

3.2. Deney Numunelerinin Üretimi

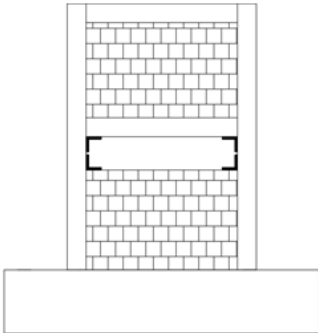
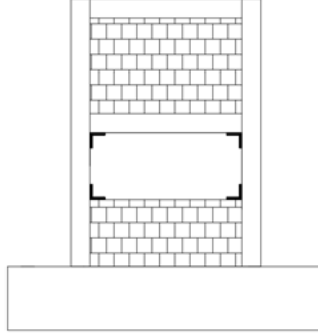
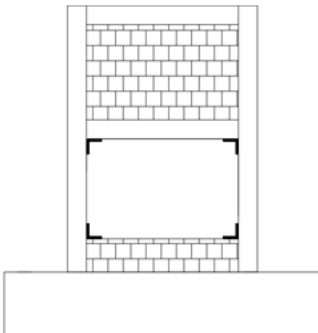
Bu çalışmada 1/3 ölçekli 14 adet betonarme çerçeve iki katlı tek açıklıklı olarak üretilmiştir. Tüm çerçeve numuneler özdeş olarak üretilmiş, geometrik boyutları ve donatı detayları aynı olacak şekilde imal edilmiştir. Genellikle alt katı iş yeri olarak tasarlanan binalarda zemin kat yüksekliği, normal katlara göre daha fazla olduğundan deney elemanı çerçevelerde ilk katın kat yüksekliği ikinci kata göre daha fazla seçilmiştir. Ülkemizde yapılan binalar incelendiğinde zemin kat işyeri olan binaların birçoğunda gerekli ışık ve havalandırmayı sağlamak amacıyla bant pencereler açılması, bunda kısa kolon problemlerine yol açması sebebiyle çerçeveler üzerinde bu koşulları sağlayacak şekilde duvar işçiliği yapılmıştır. Çalışmada betonarme kısa kolonların SIFCON adı verilen ultra yüksek performanslı özel betondan üretilen paneller ile güçlendirmesi hedeflenmiş, optimum panel ebatları ve yerleşimi farklı üretimler ile çerçeveler üzerinde yapılan deneylerde belirlenmiştir. Her bir numunenin değişkenleri ve genel özellikleri referans numuneler için Tablo 3.4'te, güçlendirilmiş numuneler için Tablo 3.5'te gösterilmiştir. Deney programında ilk deneyler referans numune olarak üretilen, farklı tuğla dolgu duvar biçimine sahip betonarme çerçevelerdir. İkincil deney grubu olarak ise SIFCON panellerle güçlendirilmiş betonarme çerçeveler incelenmiştir.

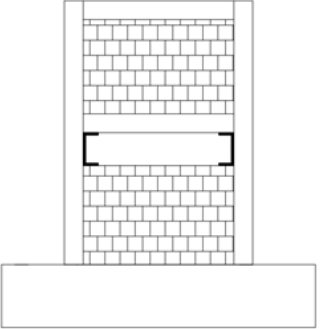
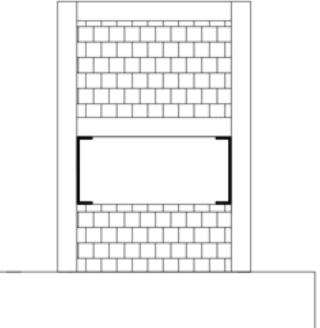
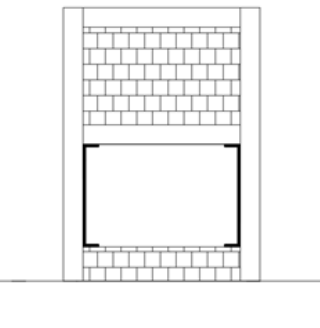
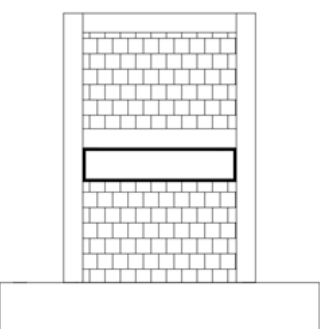
Tablo 3.4. Referans deney elemanlarının genel özellikleri

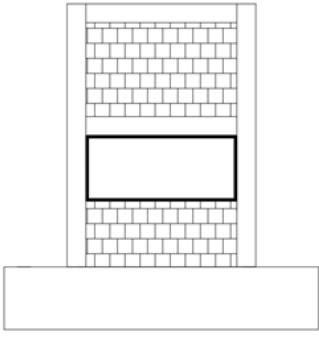
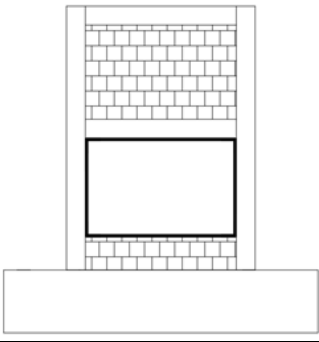
REFERANS DENEY ELEMANLARI	1.Numune R1	<ul style="list-style-type: none"> • Üst kat tuğla dolgu duvar örülü • Alt kat boş 	
	2.Numune R2	<ul style="list-style-type: none"> • Üst ve alt kat tamamen tuğla dolgu duvar örülü 	
	3.Numune R3	<ul style="list-style-type: none"> • Üst kat tuğla dolgu duvar örülü • Alt katta 262,5 mm'lik boşluk 	
	4.Numune R4	<ul style="list-style-type: none"> • Üst kat tuğla dolgu duvar örülü • Alt katta 525 mm'lik boşluk 	

	5.Numune R5	<ul style="list-style-type: none"> • Üst kat tuğla dolgu duvar örülü • Alt katta 787,5 mm'lik boşluk 	
--	----------------	--	--

Tablo 3.5. SIFCON paneller ile güçlendirilmiş deney elemanlarının genel özellikleri

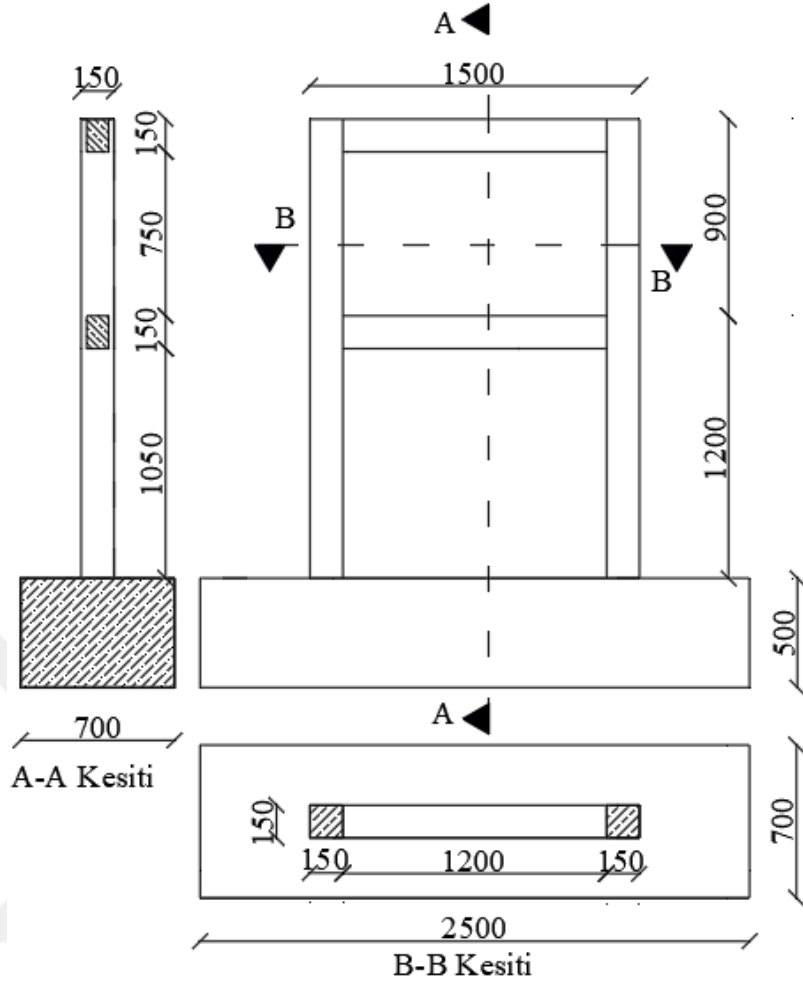
GÜÇLENDİRİLMİŞ DENEY ELEMANLARI	6.Numune R3-S1	<ul style="list-style-type: none"> • Üst kat tuğla dolgu duvar örülü • Alt katta 262,5 mm'lik boşluk • Alt katta duvar örülmeyen bölgelerin köşe noktalarında L SIFCON paneller 	
	7.Numune R4-S1	<ul style="list-style-type: none"> • Üst kat tuğla dolgu duvar örülü • Alt katta 525 mm'lik boşluk • Alt katta duvar örülmeyen bölgelerin köşe noktalarında L SIFCON paneller 	
	8.Numune R5-S1	<ul style="list-style-type: none"> • Üst kat tuğla dolgu duvar örülü • Alt katta 787,5 mm'lik boşluk • Alt katta duvar örülmeyen bölgelerin köşe noktalarında L SIFCON paneller 	

<p>9.Numune R3-S2</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Üst kat tuğla dolgu duvar örülü • Alt katta 262,5 mm'lik boşluk • Alt katta duvar örülmeyen bölgelerin yan yüzeylerine U şeklinde SIFCON paneller 	
<p>10.Numune R4-S2</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Üst kat tuğla dolgu duvar örülü • Alt katta 525 mm'lik boşluk • Alt katta duvar örülmeyen bölgelerin yan yüzeylerine U şeklinde SIFCON paneller 	
<p>11.Numune R5-S2</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Üst kat tuğla dolgu duvar örülü • Alt katta 787,5 mm'lik boşluk • Alt katta duvar örülmeyen bölgelerin yan yüzeylerine U şeklinde SIFCON paneller 	
<p>12.Numune R3-S3</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Üst kat tuğla dolgu duvar örülü • Alt katta 262,5 mm'lik boşluk • Alt katta duvar örülmeyen bölgelerin tüm yüzeylerine bir bütün olarak SIFCON paneller 	

	<p>13.Numune R4-S3</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Üst kat tuğla dolgu duvar örülü • Alt katta 525 mm'lik boşluk • Alt katta duvar örülmeyen bölgelerin tüm yüzeylerine bir bütün olarak SIFCON paneller 	
	<p>14.Numune R5-S3</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Üst kat tuğla dolgu duvar örülü • Alt katta 787,5 mm'lik boşluk • Alt katta duvar örülmeyen bölgelerin tüm yüzeylerine bir bütün olarak SIFCON paneller 	

3.2.1. Betonarme çerçevelerin detayları

Betonarme boş çerçeveler tasarlanırken ebatlar mevcut binalardaki açıklık ve yükseklik ile kolon kiriş boyutları dikkate alınarak belirlenmiş, 1/3 geometrik ölçek kullanılmıştır. Çerçeveler iki katlı ve tek açıklık olarak üretilmiştir. Kat yükseklikleri birinci kat için temel üst seviyesinden 1.kat kiriş düzeyine kadar 1200 mm, ikinci katın için ise 1.kat kirişinden 2.kat kirişi düzeyine kadar 900 mm olarak tasarlanmıştır. İki kat yüksekliğinin farklı olmasının temel nedeni; ülkemizde sıklıkla görülen zemin katın ticari alan olarak kullanıldığı binalarda zemin kat yüksekliğinin daha fazla olması ve yapılan bu çalışma için benzer türde yapıların seçilmesidir. Üretilen betonarme çerçevelerin açıklığı ise dıştan dışa 1500 mm'dir. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde (TBDY-2018) yer alan minimum kolon ve kiriş kesit şartları sağlanarak boyutlar belirlenmiş ve 1/3 ölçek uygulanarak kirişlerin boyutu 100x150 mm ve kolonların boyutları ise 150x150 mm olarak seçilmiştir. Betonarme çerçeve 500x700x2500 mm boyutlarında üretilen oldukça rijit bir temel kirişine mesnetlenmiştir. Üretilen 14 adet betonarme çerçevenin tamamı aynı donatı ve boyutlandırma detayına sahiptir. Deney elemanlarının boyutları Şekil 3.5'te verilmiştir.



Şekil 3.5. Çerçeve boyutları (ölçüler mm'dir)

Çerçeve kirişlerinde açıklıkta altta $2\phi 10$ 'luk eğilme donatısı üstte $2\phi 10$ 'luk montaj donatısı kullanılmıştır. Kirişlerde donatılar düz donatı olarak teşkil edilmiş, pilye kullanılmamıştır. Kirişlerdeki eğilme donatısı oranı $\rho=0.016$ olmuştur. Bu değer TS500 (2000) ve TBDY-2018 belirtilen sınırlar dâhilindedir.

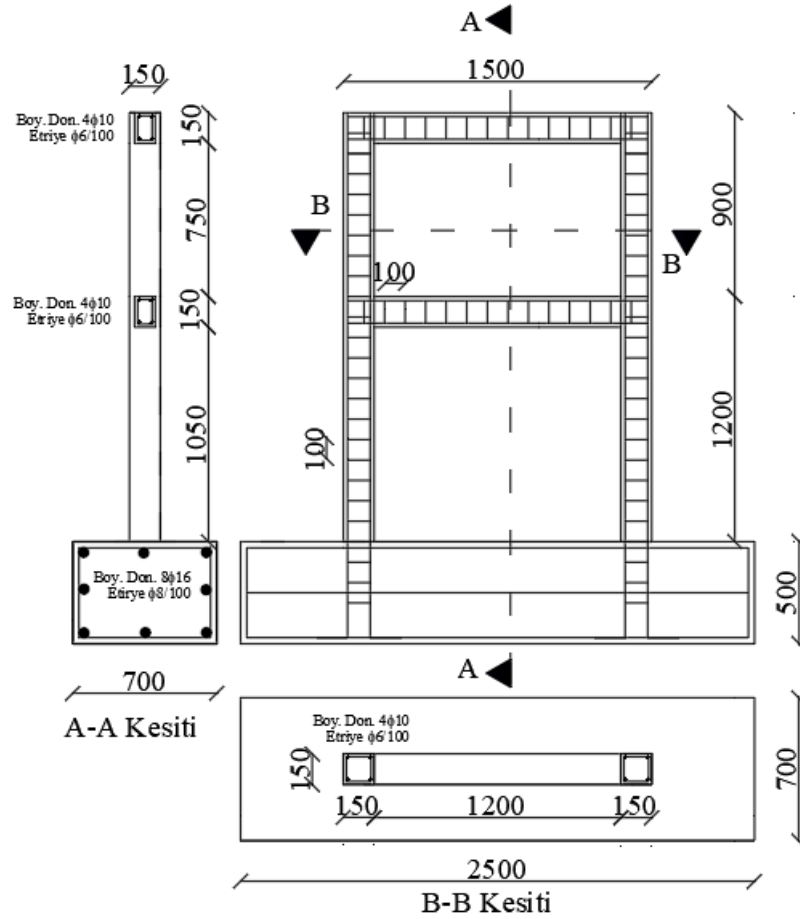
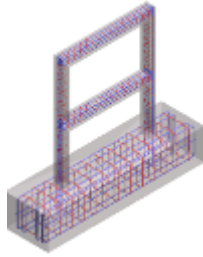
Kolonlarda ise boyuna donatı olarak $4\phi 10$ kullanılmış olup donatı oranı $\rho=0.016$ olmaktadır. Bu donatı oranı TS500 (2000) ve TBDY-2018 yönetmeliklerinde belirtilen minimum ve maksimum donatı oranı sınırları arasındadır ($\rho_{\min}=0.01 < \rho=0.016 < \rho_{\max}=0.04$).

Kolon ve kirişlerde $\phi 6/100$ mm aralıklarla enine donatı (etriye) kullanılmıştır. TS500 (2000) ve TBDY-2018'da minimum etriye çapı 8 mm verilmiştir. 1/3 ölçekli deney elemanları düşünüldüğünde ise seçilen etriye çapı yönetmelik şartlarına göre uygundur.

Temel donatısı olarak $8\phi 16$ boyuna donatı $\phi 8/100$ mm enine donatı kullanılmıştır. Betonarme çerçevelerin malzeme ve donatı özellikleri Tablo 3.5'te gösterilmiştir. Betonarme çerçevelerin donatı detayları Şekil 3.6'da gösterilmiştir.

Tablo 3.5. Betonarme çerçeve malzeme ve donatı özellikleri

	Betonarme Çerçeve Özellikleri		Beton Sınıfı	Donatı Sınıfı
Çerçeve Kirişleri	Boyuna Donatı	$2\phi 10$	C25	B420c
	Montaj Donatısı	$2\phi 10$		
	Enine Donatı	$\phi 6/100$		
Çerçeve Kolonları	Boyuna Donatı	$4\phi 10$		
	Enine Donatı	$\phi 6/100$		
Çerçeve Temeli	Boyuna Donatı	$8\phi 16$		
	Enine Donatı	$\phi 8/100$		



Şekil 3.6. Çerçeve donatı detayları (ölçüler mm'dir)

Donatı detaylandırmasında TBDY-2018 dikkate alınarak kolon, kiriş ve temel etriyelerinin kancaları 135° olacak şekilde bükülmüştür (Şekil 3.7). Bütün deney elemanlarında paspayı, donatı yüzünden itibaren 15 mm olarak yapılmıştır.



Şekil 3.7. 135 bükümlü etriye kancaları

Betonarme çerçeveler hazırlanırken ilk olarak kalıplar hazırlanmıştır. Kalıplar çerçeve için belirlenen ölçülere uygun olarak hazırlanmış, 18 mm kalınlığında sunta kullanılarak üretilmiştir. Sunta kalıplar uygun ölçülerde kesildikten sonra kolon, kiriş ve temel boyutlarına göre birleştirilmiştir. Temel kalıbı yapılırken kolonların temel içine uzandığı kısımlar belirlenerek kolon alanı kadarlık kısım kesilmiştir. Burada amaç kolonların temel içine oturmasını sağlamaktır. Ayrıca çerçevelerin laboratuvardaki rijit döşemeye sabitlenmesi düşünülerek temel kalıbı üzerinde belirlenen aralıklarla delikler açılmış ve bu deliklerde beton dökümü esnasında boşlukların oluşması amacıyla çelik borular yerleştirilmiştir. Betonarme çerçeve kalıplarının hazırlanması Şekil 3.8’de gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Betonarme çerçeve kalıplarının hazırlanması

Kalıplara yerleştirilmek üzere Bölüm 3.1’de verilen detaylara uygun olarak donatılar kiriş ve temel donatıları olarak ayrı ayrı kalıp dışında imal edilmiştir. Temellerde üstte $3\phi 16$, altta $3\phi 16$ ve gövde donatısı olarak $2\phi 16$ donatı kullanılmıştır. Temelde enine donatılar $\phi 8/100$ mm olarak düzenlenmiştir. Kolon boyuna donatıları $4\phi 10$ ve enine donatı $\phi 6/100$ mm olarak kullanılmıştır. Kolonlarda mesnetlerde ve orta bölgede sarılma bölgesi teşkil edilmemiş, etriye aralıkları kolon boyunca eşit devam ettirilmiştir. Kolonların temel ve kiriş birleşim bölgelerinde diğer elemandan gelen donatıların yerleşimini sağlamak amacıyla etriyeler konulmamıştır. Kirişlerde ise, altta $2\phi 10$ boyuna donatı, üstte $2\phi 10$ montaj donatısı ve $\phi 6/100$ mm enine donatı kullanılmıştır. Kirişlerin sarılma bölgelerinde etriye

sıklaştırması yapılmamış, kolon birleşim bölgelerinde beton yerleşimini kolaylaştırmak için etriyeler devam ettirilmemiştir. Donatı imatları Şekil 3.9’da gösterilmiştir. Çerçevelerin tüm imatları Konya Teknik Üniversitesi Yapı ve Deprem Laboratuvarında yapılmıştır.



Şekil 3.9. Donatı imatları

Kalıplara donatılar yerleştirilirken ilk olarak temel donatıları yerleştirilmiş, kolon donatıları kalıp içerisinde bağlanarak temel donatılarının içerisine geçirilmiştir. Daha sonra ise kiriş donatıları kalıba yerleştirilirken kolon donatıları içerisine geçirilerek tüm donatılar

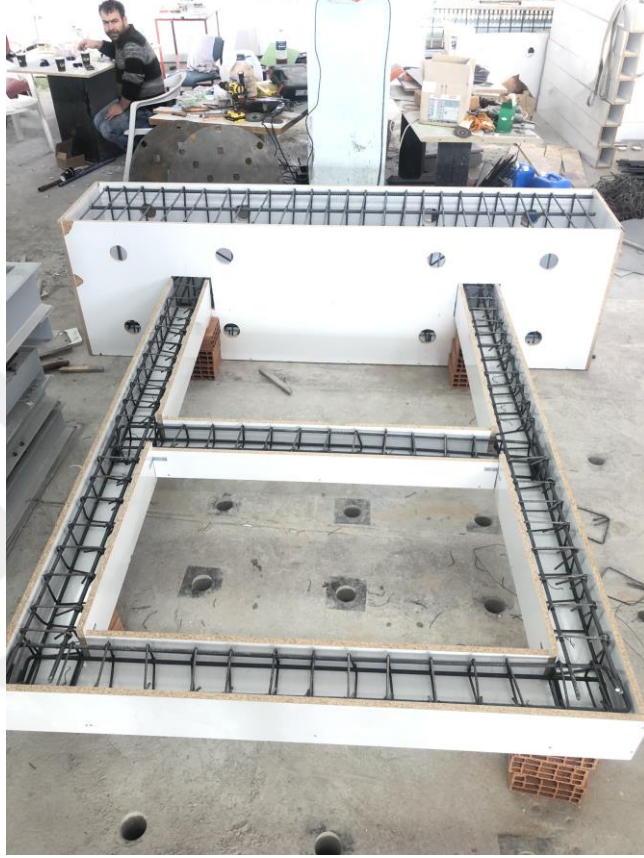
bağlanmış, kalıba tamamen donatı yerleşimi sağlanmıştır. Şekil 3.10’da donatıların kalıp içerisine yerleştirilmesi ve donatıları yerleştirilmiş çerçeveler gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Kalıplara donatıların yerleştirilmesi ve donatısı yerleştirilmiş çerçeveler

Donatıların kalıplara yerleştirilmesinden sonra beton döküm işlemine geçilmiştir. Beton dökülürken kalıpların açılmaması ve çerçeve ebatlarında değişiklik olmaması için kalıplar dışarıdan ahşap malzemeler yardımıyla sabitlenmiştir. Beton dökümü için hazırlanmış numune Şekil 3.11’de gösterilmiştir. Deney elemanları yatay şekilde yerde imal

edilmiş, beton dökümleri de bu yönde yapılmıştır. Laboratuvar bünyesinde aynı anda 5 adet numunenin beton döküm işlemi gerçekleştirilebilmektedir. Laboratuvarda çerçevelerin üretim aşamalarındaki yerleşimleri Şekil 3.12’de gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Beton dökümü için hazırlanmış numune



Şekil 3.12. Üretimdeki çerçevelerin laboratuvarında yerleşimleri

Betonarme çerçeveler tasarlanırken hedef beton basınç dayanımının $f_c=25$ MPa olması düşünülmüştür. Hedef dayanıma uygun reçete ile istenen beton Konya’da faaliyet gösteren özel bir beton santralinden temin edilmiştir. Beton mikseri ile laboratuvara getirilen beton çerçeve kalıplarına yerleştirilmiştir. Beton dökümü işleminde kalıplara betonun iyi yerleşmesi için çelik çubuklarla şişleme işlemi yapılmıştır. Numunelere beton dökümü Şekil 3.13’te, beton döküldükten sonra numuneler ise Şekil 3.14’te gösterilmiştir. Beton yerleştikten sonra prizini almak üzere 1 hafta beklenmiş ve sonra kalıptan çıkarılmıştır. Sunta kalıpların parlak dış yüzeyi sebebiyle beton kolayca kalıptan alınmıştır. Laboratuvarında mevcut olan vinç sayesinde numuneler yatay konumdan dik konuma getirilerek yerleştirilmiştir. Deneylerden önce çerçeve betonlarının dayanım kazanması için 1 ay bekletilmiştir.



Şekil 3.13. Numunelere beton döküm işlemi



Şekil 3.14. Beton döküldükten sonra numuneler

Prizini alan betonarme çerçevelerde çalışmada belirlenen yükseklikte duvar işçiliği yapılmıştır. Duvarlar için mevcut betonarme yapıların büyük çoğunluğunda tercih edilen, pişmiş topraktan elde edilen tuğla kullanılmıştır. Çalışmada piyasada 10'luk tuğla olarak nitelendirilen yatay delikli 190x100x190 mm ebatlarında tuğla kullanılmıştır. Üretilen çerçeveler için 1/3 ölçek dikkate alındığı için kullanılan tuğlalarda ölçeklendirme yapılmıştır. Bunun için tuğlalar ortadan ikiye ayrılarak düzgün 2 parça elde edilmiş ve dolgu duvarlarda bu ölçekteki tuğlalar kullanılmıştır. Çerçevelerde dolgu duvar işçiliğinden sonra sıva yapılmış, sıva kurduktan sonra ise numuneler beyaz boya ile boyanmıştır. Buradaki amaç deneylerde numune yükleme esnasında eleman üzerinde oluşan çatlak görüntüsünün kolayca ayırt edilebilmesini sağlamaktır. Yapılan işlemler ve numune görüntüsü Şekil 3.15'te gösterilmiştir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 3.15. (a) duvar örülmesi, (b) tamamlanmış duvar, (c) tamamlanmış sıva

3.2.2. SIFCON panellerin detayları

SIFCON betonlar yüksek dayanıma sahip özel bir beton olarak bilinmektedir. SIFCON betonlar içerisindeki lif yoğunluğu sebebiyle yüksek sünekliğe sahiptir. Geleneksel lifli betondan (%0.25 - %3 oranda çelik tel) farklı olarak içerisinde yoğun oranda (%6-%20 arasında değişen) çelik tel lifler kullanılmaktadır. Çelik teller kalıba yerleştirilerek çok akıcı kıvamdaki çimento şerbetinin kalıba dökülmesi ile elde edilmektedir.

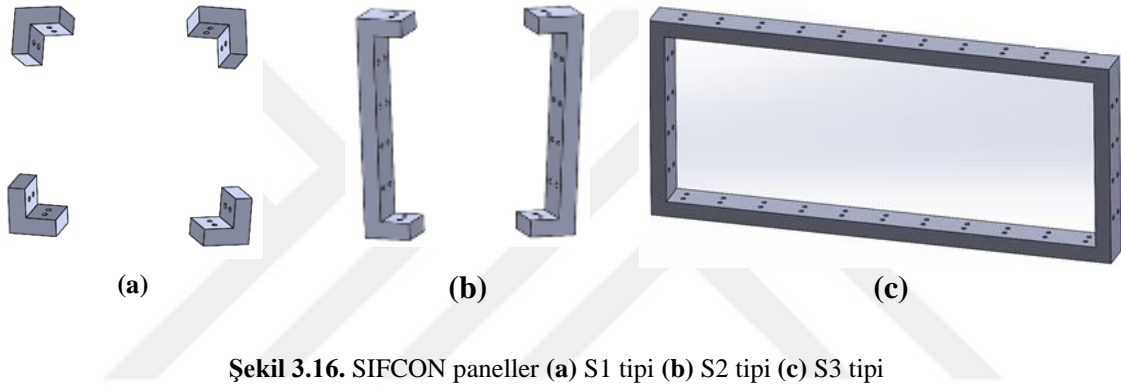
Çalışmada beton içerisine katılan uçları kancalı, yüksek mukavemetli soğuk çekilmiş olarak üretilen çelik lifler kullanılmıştır. Kullanılan çelik lif, 0,75 mm çapında, 60 mm uzunluğunda, narinliği 80 olan 80/60 BL ticari kodlu, çekme mukavemeti 1300 MPa (N/mm^2) olarak belirtilen tutkalsız çelik liftir. Çalışmada hacimsel olarak %10 lif oranına sahip SIFCON beton üretimi gerçekleştirilmiştir.

SIFCON beton üretiminde yoğun olarak kullanılan çelik tel liflerin arasına yerleşebilecek düzeyde akışkan kıvama sahip beton üretilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada kullanılan çimento şerbeti esaslı beton karışım oranı Bölüm 3.2.1’de malzeme özellikleri başlığında verilmiştir. SIFCON betonlu panellerin güçlendirme elemanı olarak mevcut betonarme binalarda pratik kullanımı istendiği için üretimde kolay temin edilebilen malzemeler seçilmiştir.

3.2.3. SIFCON panellerin üretimi

Betonarme çerçevelerde oluşan kısa kolon durumunda meydana gelen deprem hasarlarının engellenmesi amacıyla yapılan güçlendirme çalışmasında her bir tip çerçeve için 3 farklı SIFCON güçlendirme paneli üretilmiştir. 1. Tip panel ile güçlendirme çalışmasında R3, R4 ve R5 tip numunelerinde sadece alt katta tuğla örülmeyen bölgenin köşe noktalarına L şeklinde paneller yerleştirilerek R3-S1, R4-S1, R5-S1 numuneleri oluşturulmuştur. Panel kalınlığı 40 mm, panel genişliği 90 mm ve panel yüksekliği ise 110 mm olacak şekilde imal edilmiştir. 2. Tip panel ile güçlendirme çalışmasında yine aynı tip referans numunelere sadece alt katta tuğla örülmeyen bölgenin yan yüzeylerine U şeklinde paneller yerleştirilerek R3-S2, R4-S2, R5-S2 numuneleri oluşturulmuştur. Panel kalınlığı 40 mm, panel genişliği 90 mm ve panel yüksekliği ise tuğla duvar ile giriş arasında kalan

boşluk mesafesince imal edilmiştir. 3. Tip panel ile güçlendirme çalışmasında ise paneller aynı tip referans numunelerde sadece alt katta tuğla örülmeyen bölgenin tüm yüzeylerine bir bütün olarak yerleştirilmiş, R3-S3, R4-S3, R5-S3 numuneleri oluşturulmuştur. Panel kalınlığı 40 mm, panel genişliği 90 mm olup panel tüm boşluk boyunca devam etmiştir. SIFCON beton panelleri R3-S1, R4-S1, R5-S1 isimli deney elemanlarına her 25 mm’de iki sıra olmak üzere, R3-S2, R4-S2, R5-S2, R3-S3, R4-S3, R5-S3 deney elemanlarında uç bölgelerde her 75 mm’de, orta bölgelerde her 100 mm’de şaşırtmalı olarak ankrajlanmıştır. Ankrajlanacak kısımlar belirlendikten sonra beton döküm işleminde bu kısımlardan ankraj çubukları geçecek bir çapta boşluk bırakılması planlanmış, boşlukları oluşturacak borular kalıplara yerleştirilmiştir. Üretilen SIFCON panel tipleri Şekil 3.16’da verilmiştir.



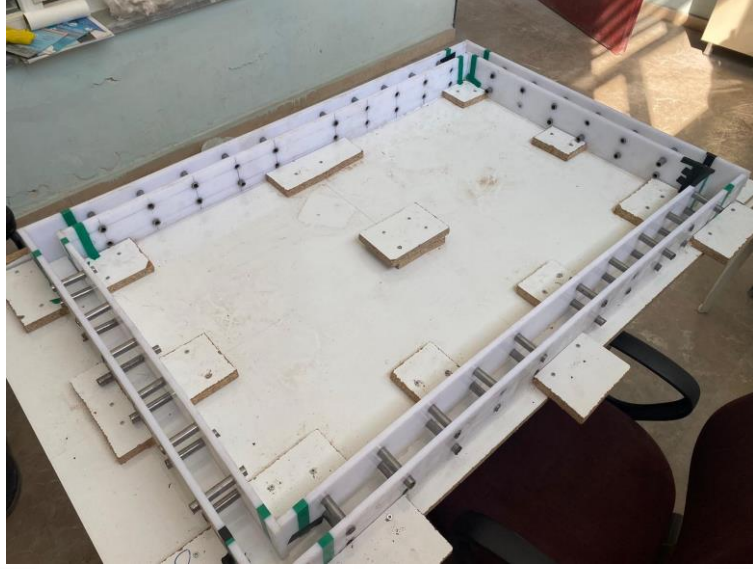
Şekil 3.16. SIFCON paneller (a) S1 tipi (b) S2 tipi (c) S3 tipi

Panel üretimleri için öncelikle kalıplar hazır hale getirilmiştir. Kalıp olarak akışkan betonun priz aldıktan sonra kolayca çıkarılması için parlak yüzeyli, betona yapışmayan ve nispeten daha ekonomik, endüstriyel kullanıma uygun plastik esaslı “kestamit levha” malzemesi kullanılmıştır. Levhalar panel ebatlarına uygun boyutta kesilmiş, kullanılan 10 mm çapında ankraj çubuğu geçecek şekilde delikler açılmıştır. Kestamit levha kalıp ve ankraj deliklerinin açılması işlemi Şekil 3.17’de gösterilmiştir.

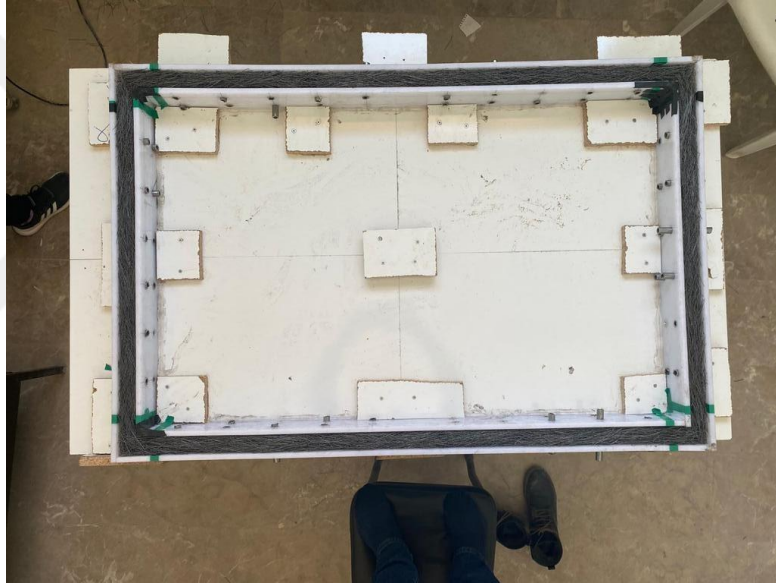


Şekil 3.17. SIFCON panel kalıbı ankraj deliklerinin açılması

Hazırlanan kalıplar 3 farklı panel tipine uygun olarak lif yerleşim ve beton döküm işlemlerinde ebatları değişmemesi için laboratuvarında bir masa üzerine sabitlenmiştir. Kalıp görüntüsü 3.tip panel eleman örneği üzerinden Şekil 3.18’de gösterilmiştir. Panel kompozit eleman için %10 hacimsel dozajda çelik tel lif miktarı belirlenerek tartım yapılmış, lif yönleri kalıp yönüne paralel olacak şekilde yerleştirilmiştir. Kalıbın en alt kısmından başlanarak lif serimi yapıldıktan sonra ankraj boşluğunu oluşturacak borular yerleştirilmiştir. Panellerin çerçeveye çift sıra ankrajanması için boru yerleşimi de bu düzende yapılmıştır. Kalıplar hazır edildikten sonra lifler yerleştirilmiş beton dökümüne hazır hale getirilmiştir (Şekil 3.19).

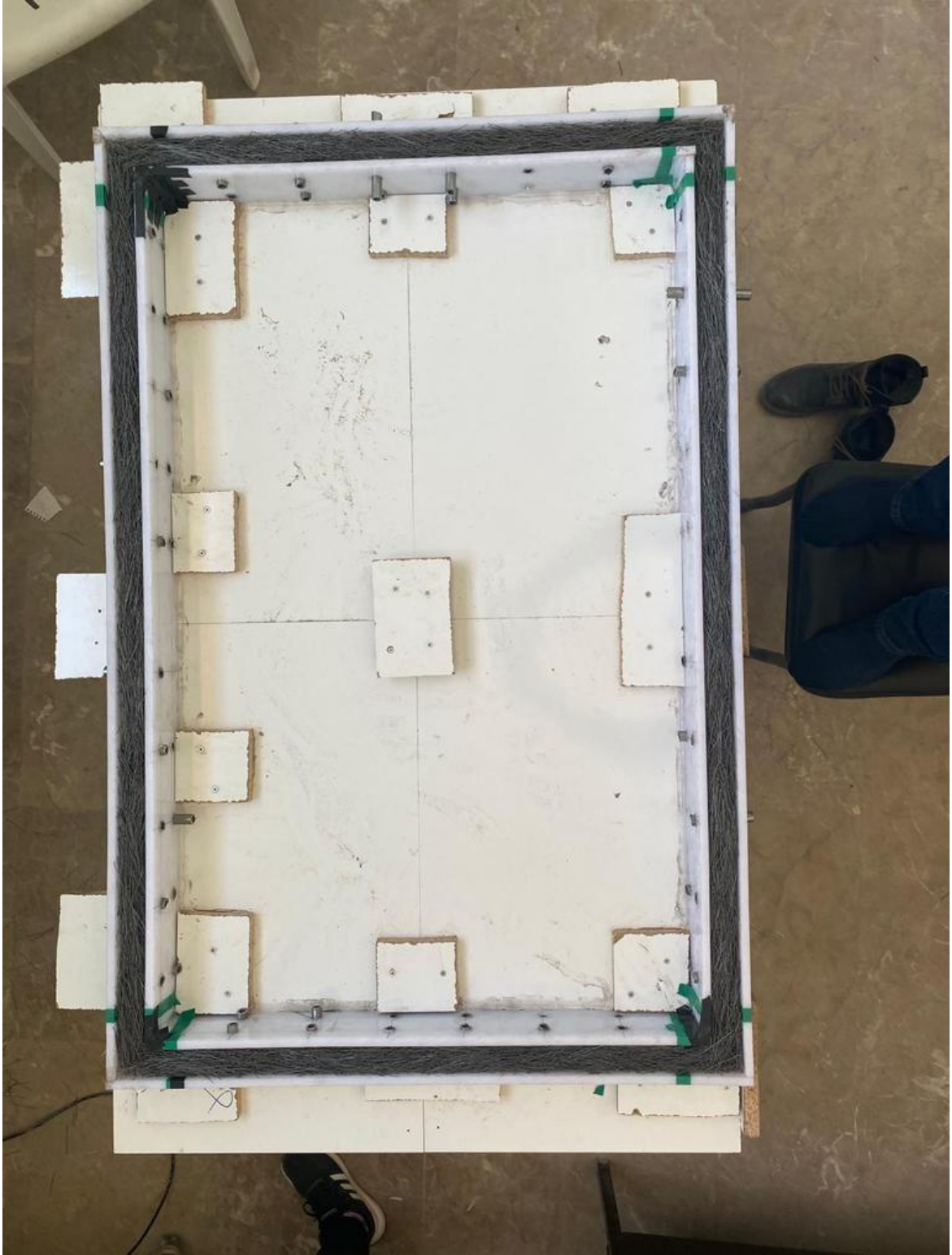


(a)



(b)

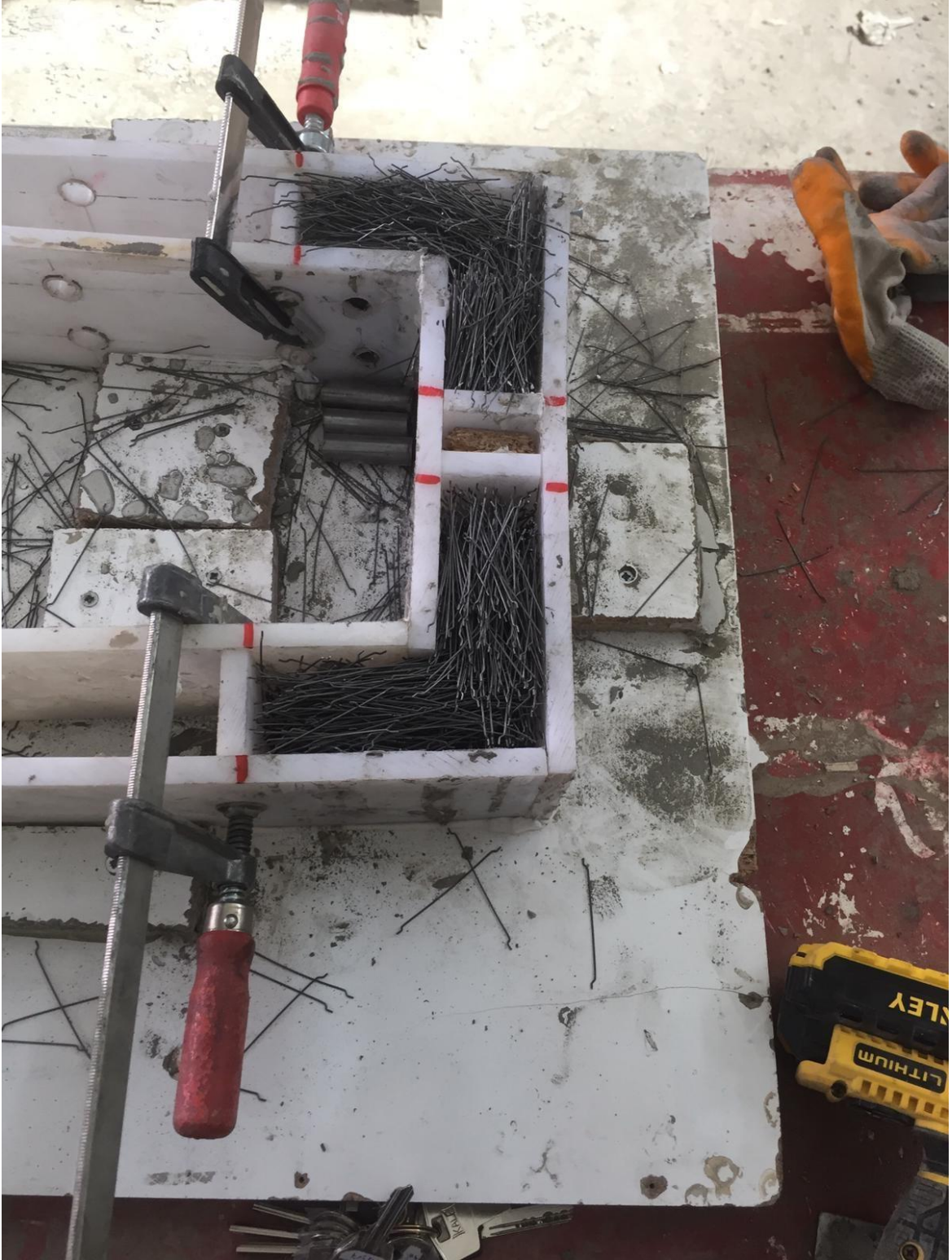
Şekil 3.18. (a) SIFCON panel kalıbı, (b) çelik lif yerleştirilmiş görüntüsü (3.tip)



(a)



(b)



(c)

Şekil 3.19. %10 80/60 lif içeren beton dökümüne hazır SIFCON paneller, (a) tam panel, (b) yarım panel, (c) panel köşesi

Kalıplar için beton döküm işlemine geçilmiş, liflerin arasına rahatça yerleşebilen akışkan kıvamda şerbet beton üretilmiştir. Beton için belirlenen oranlarda kum ve çimento kuru karışım olarak hazırlanmıştır. Beton mikserinde yaklaşık 2 dakika harmanlanan kuru karışıma su ilave edilmiştir. Belirlenen orandaki su karışıma 2 farklı dozda ilave edilmiş, bu esnada mikser sürekli çalışmış, son olarak karışıma hiper akışkanlaştırıcı katkı ilave edilerek toplamda 15 dakikalık bir sürede şerbet beton hazırlanmıştır (Şekil 3.20). Hazırlanan karışım panel kalıplara yerleştirilmiştir. Şerbet beton dökümünden sonra panel numuneler laboratuvarında sabit sıcaklıkta ve rüzgâr almayan bir kısımda priz alması için bekletilmiş, 4 gün sonrada kalıptan alınmıştır. Kalıptan çıkarılan SIFCON panel görünümleri Şekil 3.21’de gösterilmiştir. Paneller üzerinde ankraj boşukları için konulan boruların taşan kısımları çerçeveye montajda sorun olmaması için kesilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 3.20. (a) şerbet beton üretimi, (b) kalıplara yerleştirme işlemi



(a)



(b)



(c)

Şekil 3.21. Üretim sonrası SIFCON paneller

Çerçeveler üzerinde kısa kolon oluşması durumu söz konusu olan alt kat duvar-kiriş arası bölgelerde iyileştirme amacıyla panellerin montajı gerçekleştirilmiştir. Montaj için çerçeveler üzerinde panellerin ankrajlanacağı kısımlara matkap yardımı ile delikler açılmıştır. SIFCON paneller çerçeveye montajlanırken ilk olarak çift tesirli kimyasal dübel (epoksi) ile kiriş ve kolon yüzeylerine yapıştırılmış, daha sonra da 10 mm çapında, 120 mm boyunda ankraj çubukları (altı köşe baş çelik cıvata) ile sabitlenmiştir. Çerçeveler üzerinde kullanılan SIFCON paneller %10 hacimsel lif içeren aynı kalınlıktaki kompozitler olup boyları birbirinden farklıdır. Ankraj sayıları aralık mesafesine bağlı olarak kullanılan panel boyu ile değişiklik göstermektedir. SIFCON panellerin montaj işlemleri Şekil 3.22’de gösterilmiştir. SIFCON paneller ile iyileştirmiş çerçeveler ise Şekil 3.23’te gösterilmiştir.



(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 3.22. SIFCON panellerin çerçevelere montajı, (a) çerçeve üzerinde ankraj deliklerinin açılması, (b) epoksi uygulaması, (c) panelin yapıştırılması, (d) ankraj çubuklarının yerleşimi



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



(g)



(h)

Şekil 3.23. SIFCON paneller ile iyileştirilen çerçeveler, (a) R3-S1 numunesi, (b) R3-S2 numunesi, (c) R3-S3 numunesi, (d) R4-S1 numunesi, (e) R4-S2 numunesi, (f) R4-S3 numunesi, (g) R5-S1 numunesi (h) R5-S2 numunesi, (ı) R5-S3 numunesi

3.3. Deney Düzenegi ve Ölçme Tekniği

Çalışmada deney numuneleri Konya Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı ve Deprem Laboratuvarında depremi benzeştirilen tersinir tekrarlanır yatay yükler altında deneye tabi tutulmuştur. Numuneler laboratuvarında bulunan delikli rijit döşemeye miller yardımıyla sabitlenmiş, yükleme duvarında bulunan düzenek ile de yatay yüke maruz bırakılmıştır. Deneyler deplasman kontrollü olarak gerçekleştirilmiş, tüm numuneler için özdeş bir yükleme programı uygulanmıştır. Test edilen deney elemanları üçgen yük dağılımı prensibiyle 2. kata 2 birim, 1. kata 1 birim yük gelecek şekilde yüklenmiştir. Deneylerde bilgisayar destekli veri okuma sistemi kullanılmış, numune üzerine yerleştirilen araçlar sayesinde de yük ve deplasman (yer değiştirme) okumaları yapılmış ve kayıt altına alınmıştır.

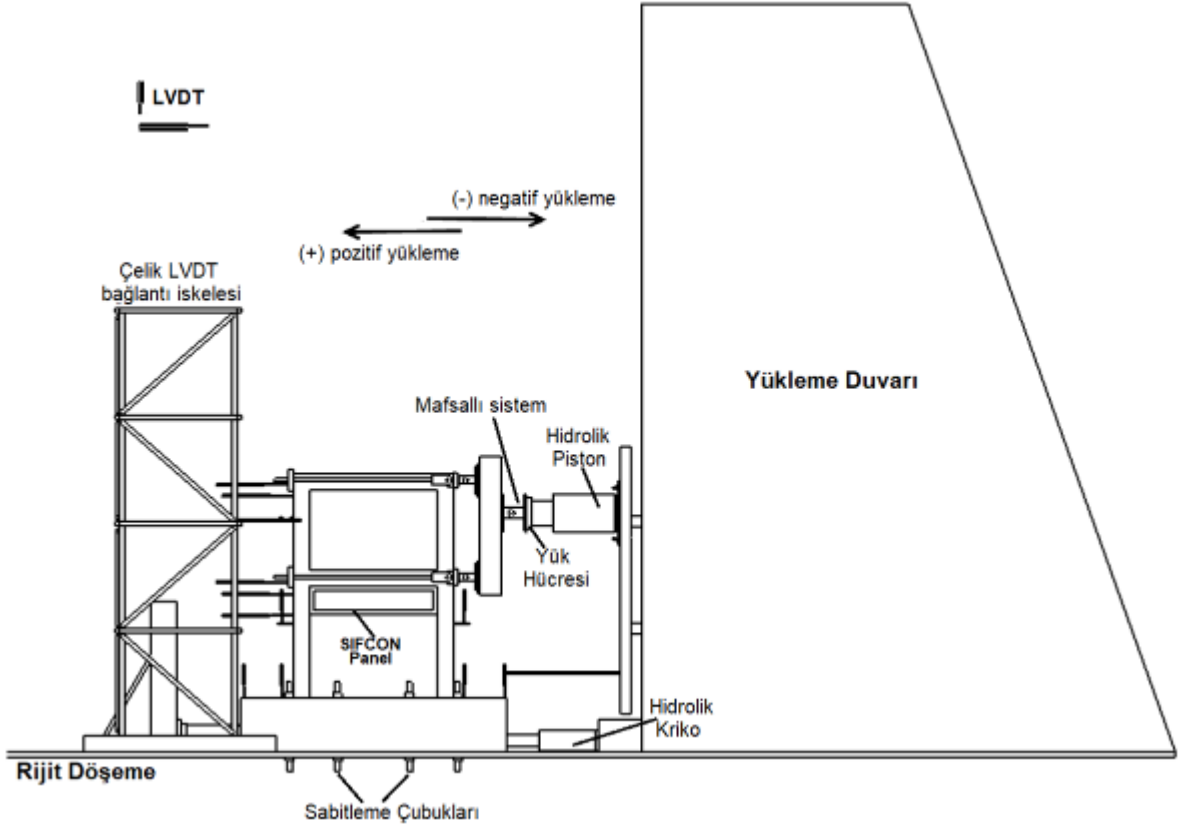
3.3.1. Deney düzenegi

Yapı ve deprem laboratuvarında mevcut olan dayanma duvarında bulunan yatay yükleme düzenegi, numunelerin 1/3 ölçekli boyutlarına uygun olarak bu çalışma için kullanılmıştır. Numuneler 500 kN basınç ve 500 kN çekme kapasiteli bir hidrolik silindir vasıtasıyla yüklenmiştir. Hidrolik silindirin ucunda ise yine basınç ve çekmede 500 kN kapasiteli bir yük hücresi (loadcell) bulunmakta, yük hücresinden negatif (-) ve pozitif (+) yük değerleri bilgisayar ortamına aktarılabilmektedir. Yatay yükleme manuel kontrollü hidrolik bir pompa yardımıyla yapılmıştır. Yük hücresi bir plakaya bağlanmış ve bu plakanın ucuna mafsalı bir sistem kurularak numunenin alt ve üst katlarında oluşabilecek farklı deplasmanlarda sistemin rahat hareket edebilmesi amaçlanmıştır. Bu mafsal 300x300 mm kesitinde 1500 mm boyunda bir kutu profile üst kat kirişinin ortası hizasından 300 mm aşağıya ve alt kat kirişinin ortası hizasından 600 mm olacak şekilde kaynaklanmıştır. Böylece depreme benzeştirilen yatay yükün üçgen formda numune üzerine uygulanması sağlanmışır. Çerçeve üst katına toplam yatay yükün 2/3'ü, alt katına ise 1/3'ü aktarılmıştır. Numune üzerinde deprem yüklemesinin tam olarak aktarılması ve farklı hasarların oluşmasını engellemek için kutu profil direkt olarak numuneye bağlanmayarak, alt ve üst katlar hizasından mafsalı plakalar kullanılmıştır. Rijit çelik profil mafsallar vasıtasıyla numune kat hizalarından bağlanmışır. Kat hizalarında kirişlere paralel şekilde yerleştirilen

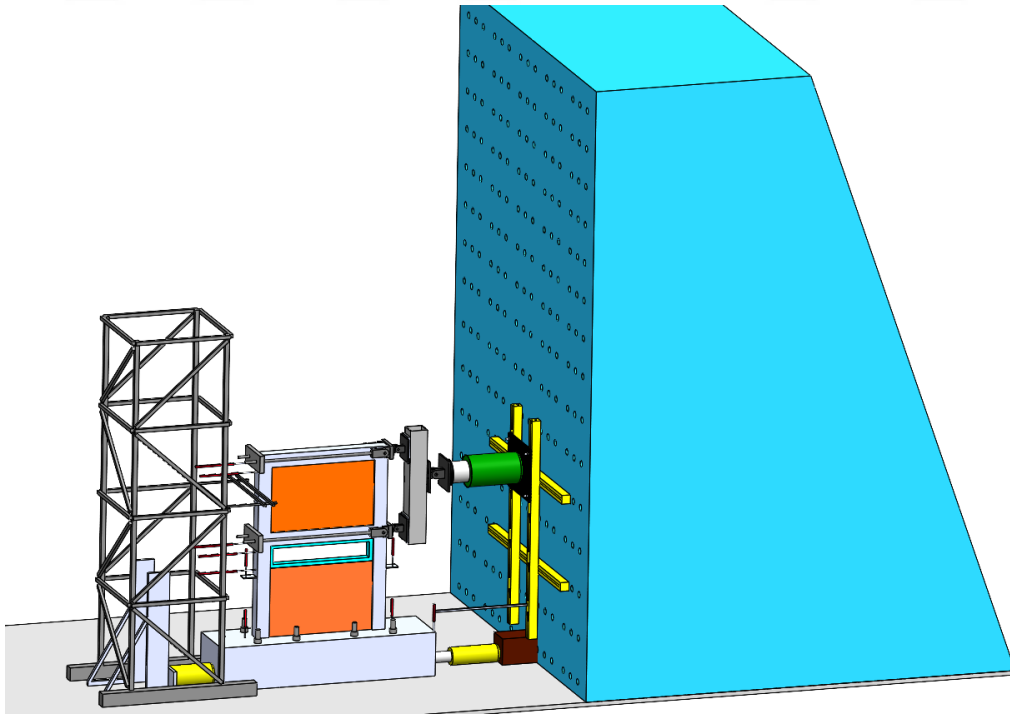
transmisyon milleri ile yükün çekme çevrimlerinde de uygulanması sağlanmıştır (Ünal (2012)). Yükleme hızı itmede ve çekmede 0,50 mm/sn, olarak uygulanmıştır.

Mevcut laboratuvarında uygun sistemin bulunmaması, numune üzerinde eksenel yük değerinin sabit tutulamaması sebebiyle 14 adet deney numunesinin tamamı yalnızca yatay yüke maruz kalmış, eksenel yük uygulanmamıştır. Laboratuvarında daha önce yapılan deneylerde ileri deplasman seviyelerinde eksenel yükün de arttığı, bu durumun davranışı değiştirdiği gözlemlenmiştir. Literatürde yapılan birçok çalışmada da (Kara ve Altın (2006); Anıl ve Altın (2007); Altın vd. (2008); Bahadır (2012), Balık (2012)) benzer deneyler için eksenel yük numunelere etki ettirilmemiştir. Yapılan bu çalışmadaki deneylerde literatürdeki diğer çalışmalar gibi yalnızca yatay yük etkisinde yürütülmüştür.

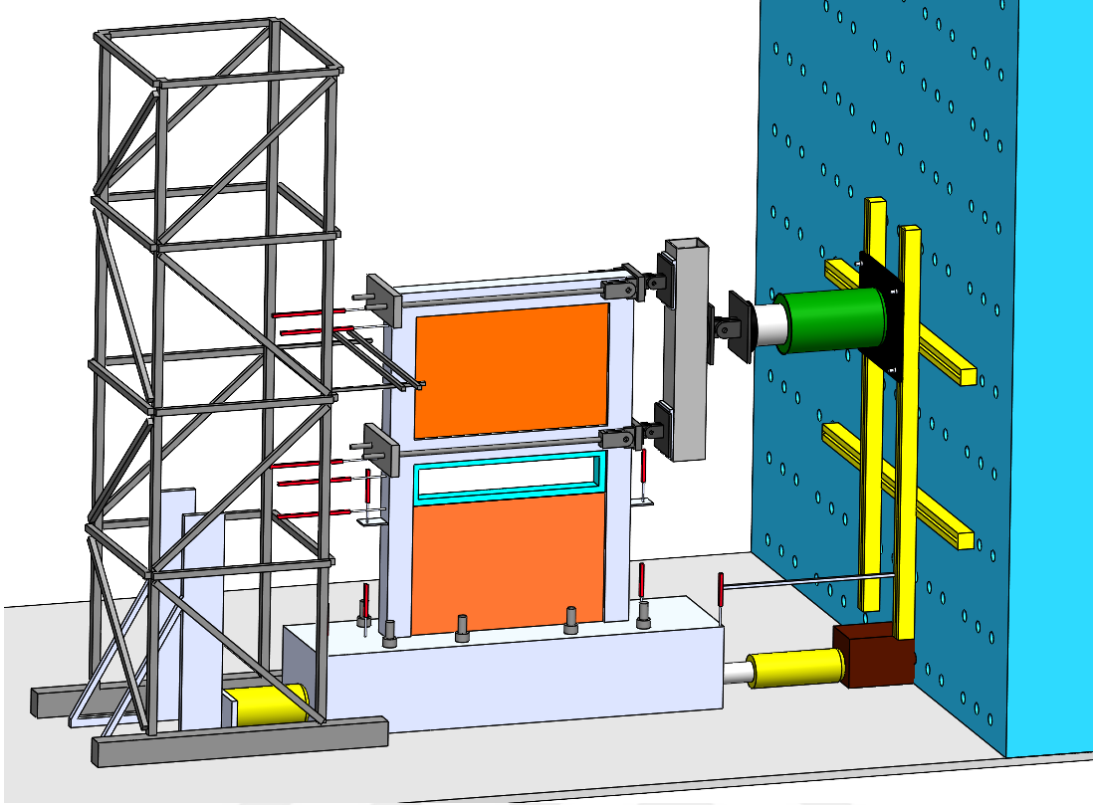
Deneyler için numuneler rijit laboratuvar döşemesine 50 mm çapında ve 300 mm uzunluğunda 8 adet mil kullanılarak sabitlenmiştir. Ayrıca temelin alt kenarı ve yükleme duvarı arasına hidrolik kriko ve buna bağlı bir çelik “I” profil konulmuş, aynı türde hidrolik kriko numunenin diğer tarafına da yerleştirilerek temel sabitlenmiş, numunenin deney düzleminde kalması sağlanmıştır. Deneylerde deplasman ölçümleri için yer değiştirme algılayıcıları (LVDT- Linear Variable Displacement Transducer) kullanılmıştır. LVDT’ler numune üzerinde maksimum ötelenmenin beklendiği noktalara ve hareketin kontrol edilmesi gereken bölgelere yerleştirilmiştir. Numune üzerine yerleştirilen LVDT’lerde kayma olmaması için kutu profillerden oluşan çelik bir destek iskelesi kullanılmış, numune ile LVDT bağlantıları yapılmıştır. Kolon hareketlerini kontrol etmek için üst yapı temel birleşimindeki kolonlarda ve kısa kolonların olduğu bölgelerde LVDT’ler kullanılmıştır. LVDT cihazlarını kolonlar hizasında sabitlemek için kolon üzerinde delikler açılmış ve LVDT’ler bu noktalardan tutturulmuştur. Deney düzeneği ekipmanları şematik gösterimi Şekil 3.24’te, düzeneğe ait üç boyutlu şematik görünüm Şekil 3.25’te ve laboratuvar deney düzeneği gerçek görüntü olarak da Şekil 3.26’da verilmiştir.



Şekil 3.24. Dency düzeneği ekipmanları şematik gösterimi



(a)



(b)

Şekil 3.25. Deneş düzeneği Şematik gösterimi, (a) uzak görünüm, (b) yakın görünüm

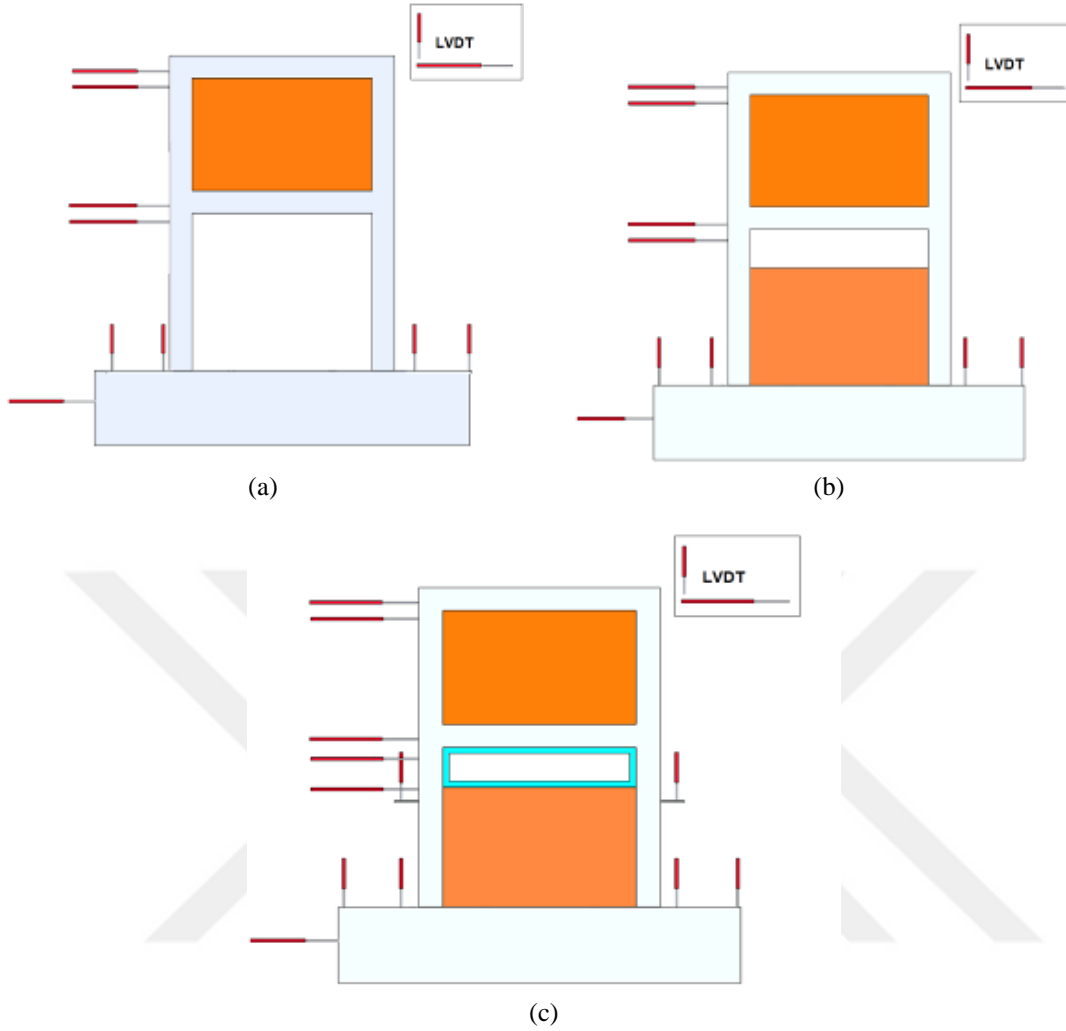


Şekil 3.26. Deneş düzeneği görüntüsü

3.3.2. Ölçme tekniği

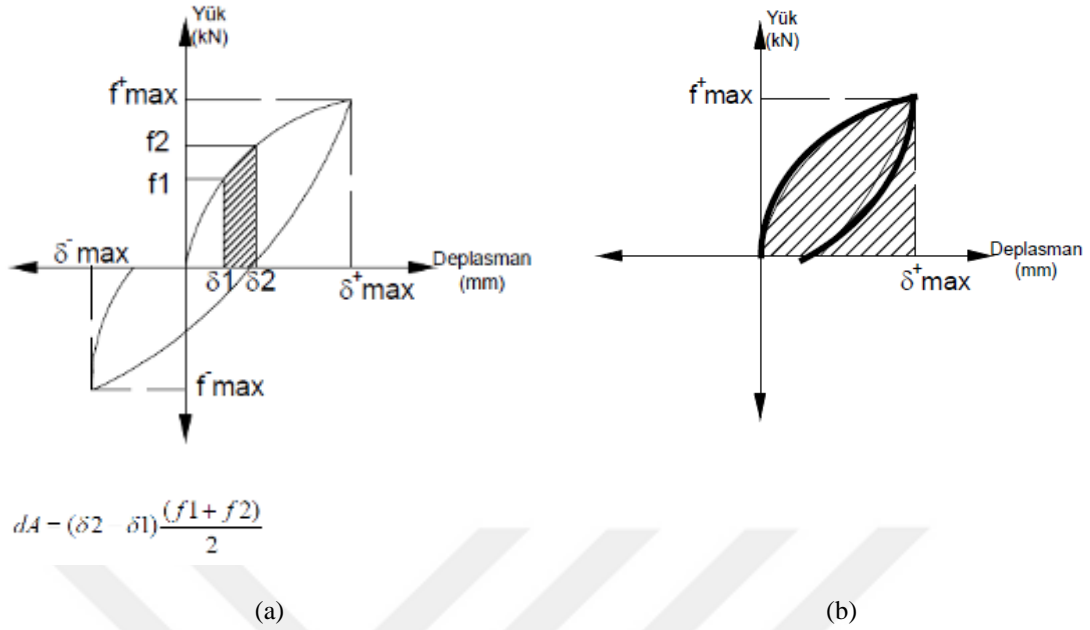
Deneyleerde yük ölçümleri yük hücresi (loadcell) kullanılarak, deplasmanlar ise yer değıştirme algılayıcıları (LVDT) kullanılarak yapılmıştır. Çerçevesler üzerine uygulanan, depremi benzeştirilen tersinir tekrarlanır yatay yük için bir adet 500 kN kapasiteli yük hücresi kullanılmıştır. Yük hücresinin çıkış ucu veri toplama kutusuna bağlanarak yük okumaları bilgisayar ortamına aktarılmış ve kayıt altına alınmıştır.

Her kat seviyelerinden, temelden ve kolon diplerinden olmak üzere yatay ötelenme ve yer değıştirme değerlerini ölçmek üzere dolgu duvarsız referans çerçevesler için toplam 9 adet, kısa kolon oluşturacak dolgu duvar tipine sahip diğer numuneler için ise 12 adet LVDT kullanılmıştır. Çerçevenin yatay yük altında ötelenmesini ölçmek için her bir kat kirişleri hizasına 2 şer adet LVDT yerleştirilmiştir. Buradaki amaç bir LVDT’de problem yaşanması durumunda yedek cihazın yatay yer değıştirme değerlerini kaçırmadan kayıt altına alabilmesi içindir. LVDT’ler üst kat için temelden H=2010 ve H=1880 mm yükseklikte, alt kat için H=1100 mm ve H=950 mm yükseklikte konumlandırılmış 400-300 mm yer değıştirme değerine kadar ölçüm yapabilen cihazlardır. Kolonlarda oluşabilecek hareketleri / deplasmanları ölçmek içinde kolon diplerine LVDT’ler yerleştirilmiştir. Lokasyon olarak ise tüm çerçeveslerde alt kat kolon diplerine 2 adet, dolgu duvarlı numunelerde ise kısa kolonun mevcut olduğu kolon hizalarına düşeyde 2 yatayda 1 adet olarak yerleştirilmiştir. Bu cihazlar 150 mm değerine kadar okuma yapabilmektedir. Üst yapı haricinde ayrıca çerçeve temelinde, olası temel hareketini ölçmek üzere yatayda 100 mm okuma yapabilen 1 adet ve düşeyde 150 mm değerine kadar okuma yapabilen 2 adet olmak üzere toplam 3 adet LVDT daha yerleştirilmiştir. Kullanılan tüm LVDT’ler deneyleerden önce kalibre edilmiştir. LVDT’lerde okunan değerler veri toplama sistemi aracılığıyla bilgisayarda kullanılan yazılıma aktararak kaydedilmiştir. Deneyle sisteminde numune üzerine yerleştirilen tüm LVDT’ler Şekil 3.27’de gösterilmiştir. Deneyleerde 125 milisaniye (ms) aralıklarla deplasman ve yük değerleri ölçümleri kayıt altına alınmış, 2 adet 8 kanallı veri toplama sistemi kullanılmıştır.



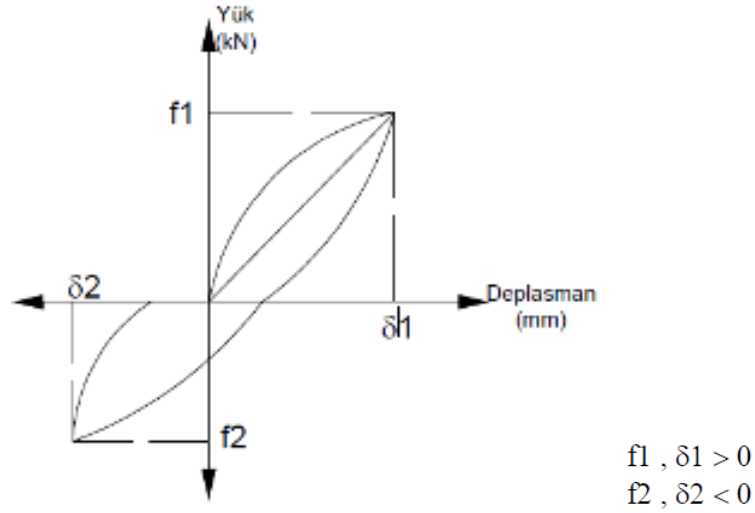
Şekil 3.27. Numuneler üzerinde LVDT yerleşimi, (a) alt kat boş referans çerçeve, (b) alt kat dolgu duvarlı referans çerçevesi, (c) güçlendirilmiş çerçevesi

Numunelerde yatay yük-yatay deplasman histerezis eğrilerinin altında kalan alan tüketilen enerji miktarını vermektedir. Bu eğrinin altında kalan alanı bulmak için öncelikle çevrim üzerindeki bir birimlik alanın bulunması ve daha sonra bu alanların maksimum yüke kadar toplanması gerekmektedir. Şekil 3.28’de grafik üzerinden tüketilen kümülatif enerji değerlerinin bulunması gösterilmiştir. Grafikte ileri çevrimdeki alanların toplanması ile Şekil 3.28(b)’de gösterilen eğri elde edilirken, histerezis eğrisi içinde kalan alanı hesaplanabilmek için, yüklemde toplanan değerlerden boşaltmada toplanan değerlerin çıkarılmıştır.



Şekil 3.28. Tüketilen enerji değerlerinin hesaplanması (Ünal, 2012)

Deneysel esnasında her bir çevrimde numunede oluşan hasarlar, plastik mafsall oluşumu gibi etkiler ile rijitliklerde azalma meydana gelmiş, numuneler için elde edilen rijitlik değerleri yük-deplasman grafiklerinin eğimine bağlı olarak hesap edilmiş, hesaplama ilkesi Şekil 3.29’da gösterilmiştir (Ünal, 2012). Rijitlik azalımı grafiklerinin çiziminde her bir çevrimdeki başlangıç eğimi bulunarak hesaplanmış ve pozitif çevrimlerde bu eğime (f_1 / δ_1) karşılık deplasman (δ_1) grafiğinin çizilmesi ile, negatif çevrimlerde ise bu eğime (f_2 / δ_2) karşılık deplasman (δ_2) grafiğinin çizilmesi ile elde edilmiştir. Bu sebeple verilen rijitlik eğrilerinde sağ taraf pozitif sol taraf ise negatif değerleri göstermektedir. İleri ve geri çevrimlerdeki pozitif ve negatif değerlerin olmasının sebebi f_1 / δ_1 oranına karşılık pozitif deplasman δ_1 , f_2 / δ_2 oranına karşılık negatif deplasman δ_2 değerlerinin olmasıdır.



Şekil 3.29. Rijitlik azalımının hesaplanması (Ünal, 2012)

Çevrim numaralarına göre deplasman seviyeleri Tablo 3.6' da gösterilmiştir.

Tablo 3.6. Tüm deney numuneleri için çevrimlerdeki deplasman seviyeleri

Çevrim no	Ötelenme oranı	Deplasman	Çevrim no	Ötelenme oranı	Deplasman
+1		+1,125 mm	+7		+45,000 mm
-1	± %0,1	-1,125 mm	-7	± %4	-45,000 mm
+2		+2,812 mm	+8		+56,250 mm
-2	± %0,25	-2,812 mm	-8	± %5	-56,250 mm
+3		+5,625 mm	+9		+67,500 mm
-3	± %0,5	-5,625 mm	-9	± %6	-67,500 mm
+4		+11,250 mm	+10		+78,750 mm
-4	± %1	-11,250 mm	-10	± %7	-78,750 mm
+5		+22,500 mm	+11		+90,000 mm
-5	± %2	-22,500 mm	-11	± %8	-90,000 mm
+6		+33,750 mm	+12		+101,250 mm
-6	± %3	-33,750 mm	-12	± %9	-101,250 mm

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde SIFCON panellerin kullanıldığı betonarme çerçeve deneyleri, yapılan gözlemler ve elde edilen sonuçlar ele alınmıştır. Çerçeveler tersinir tekrarlanır yatay yükler altında test edilmiştir. Deneylerin tamamı deplasman kontrollü olarak yapılmıştır. Yük hücreleri ve yer değiştirme algılayıcılarından alınan veriler bilgisayar ortamına aktarılarak her bir numunenin yük-deplasman, rijitlik, enerji tüketim ve zarf eğrileri oluşturulmuş, numuneler üzerinde meydana gelen deprem davranışı yorumlanmıştır. Ayrıca her bir yük çevriminde numunede meydana gelen çatlaklar ve hasarlar belirlenerek numunelerin davranışı, kullanılan SIFCON panellerin kısa kolon oluşumunu engellemesi durumu hakkında gözlemler yapılmıştır.

Çalışmanın sonuçlarının daha iyi anlaşılabilmesi ve karşılaştırmada kolaylık sağlanması bakımından her bir deney numunesine ait bazı grafikler verilmiştir. Bunlar;

- Toplam yük-2. kat deplasmanı grafiği (Histerezis eğrisi)
- Histerezis eğrisine ait dayanım zarfı grafiği
- Toplam kümülatif tüketilen enerji-2. kat ötelenme oranı grafiği
- Rijitlik-2. kat ötelenme oranı grafiği

Deneyler esnasında her bir çevrimde oluşan çatlaklar eleman üzerinde işaretlenmiş ve numaralandırılmıştır. Her bir çevrimin ardından elemanların çatlak durumları fotoğraflanmıştır.

4.1. Deney Sonuçları

4.1.1. Referans Deneyi (R1)

R1 deney numunesi üst katı tamamen tuğla duvar ile örölü, alt katı ise tamamen boş iki katlı tek açıklıklı çerçeveden oluşmaktadır. Bu deney elemanı, güçlendirilmiş numuneler arasındaki farkları incelemek için tersinir tekrarlanır yükler altında test edilmiştir. Referans çerçevenin deney öncesi görünümü Şekil 4.1’de görülmektedir.



Şekil 4.1. R1 numunesinin deney öncesi görünümü

Deneyler deplasman kontrollü olarak tersinir tekrarlanır şekilde yapılmıştır. R1 elemanı maksimum yüke 8. çevrimde ulaşmıştır ve bu çevrimden sonra yük azalmaya

başlamıştır. Elemanda büyük hasarlar meydana geldiği için deneye 11. çevrimde son verilmiştir. Numune pozitif çevrimlerde maksimum 29.04 kN yatay yüke ulaşırken, negatif çevrimlerde maksimum -28.41 kN yatay yüke ulaşmıştır. Deney esnasında R1 elemanında oluşan hasarların, hangi çevrimlerde meydana geldiği Tablo 4.1’de gösterilmiştir.

Tablo 4.1. R1 numunesinin çevrimlerine göre oluşan çatlakların dağılımı

Çevrim No	Tepe (mm)	Deplasmanı	Yatay (kN)	Yük	Oluşan Numarası	Çatlak
+1		+1.46		+6.68		1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12
-1		-2.50		-2.92		
+2		+5.33		+20.73		13,14,15
-2		-11.25		-20.00		-1,-2-3,-4,-5,-6,-7,-8,-9,-10
+3		+12.15		+25.11		16,17,18,19,20,21,22,23
-3		-11.36		-20.39		-11,-12,-13,-14,-15,-16,-17,- 18
+4		+22.48		+27.36		24,25,26
-4		-22.62		-26.89		-19,-20,-21
+5		+33.47		+28.48		
-5		-33.63		-27.53		
+6		+44.77		+28.29		
-6		-45.10		-28.41		
+7		+50.83		+28.72		
-7		-55.59		-28.25		-22
+8		+67.43		+29.04		
-8		-64.79		-25.72		
+9		+78.80		+27.45		
-9		-76.48		-24.80		
+10		+89.95		+27.78		
-10		-91.34		-24.01		
+11		+101.23		+27.13		
-11		-100.71		-23.79		

Deney sırasında R1 elemanında oluşan çatlakların görüntüleri Şekil 4.2, Şekil 4.3, Şekil 4.4, Şekil 4.5, Şekil 4.6, Şekil 4.7, Şekil 4.8 ve Şekil 4.9’da verilmiştir. Pozitif yöndeki çevrimlerde oluşan çatlaklar mavi renk ile işaretlenirken, negatif yöndeki çevrimlerde oluşan

çatlaklar kırmızı renk ile işaretlenmiştir. R1 numunesinin deney sonu görüntüsü Şekil 4.10'da verilmiştir.



Şekil 4.2. R1 numunesinin +1 çevriminde oluşan çatlaklar



Şekil 4.3. R1 numunesinin +2 çevriminde oluşan çatlaklar



Şekil 4.4. R1 numunesinin -2 çevriminde oluşan çatlaklar



Şekil 4.5. R1 numunesinin +3 çevriminde oluşan çatlaklar





Şekil 4.6. R1 numunesinin -3 çevriminde oluşan çatlaklar



Şekil 4.7. R1 numunesinin +4 çevriminde oluşan çatlaklar



Şekil 4.8. R1 numunesinin -4 çevriminde oluşan çatlaklar

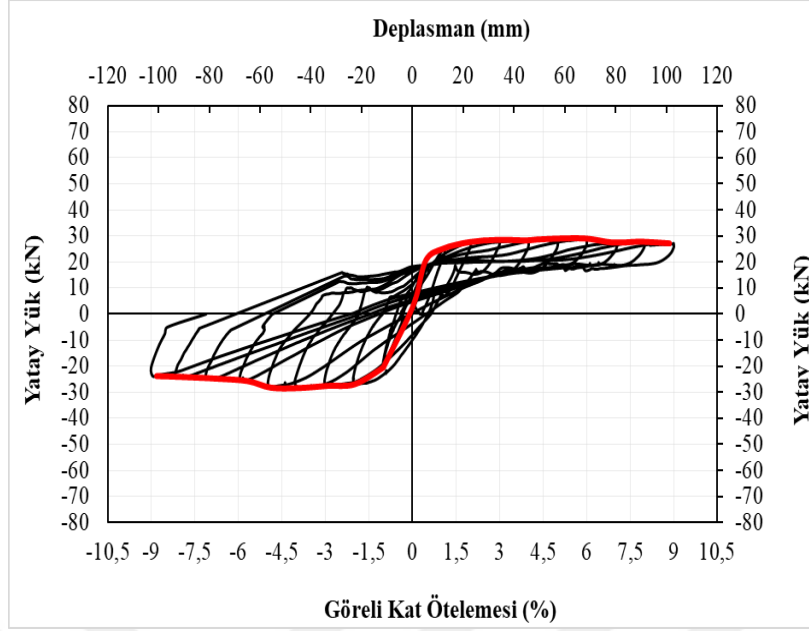


Şekil 4.9. R1 numunesinin -7 çevriminde oluşan çatlaklar

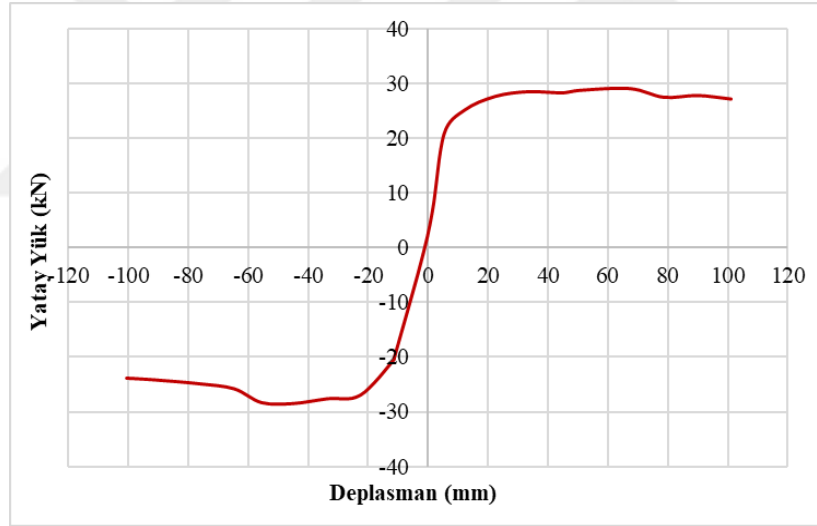


Şekil 4.10. R1 numunesinin deney sonu görünümü

R1 numunesinin yatay yönde maruz kaldığı maksimum yatay yük pozitif yönde 29.04 kN ve bu yükteki deplasmanı 67.43 mm iken, negatif yöndeki maksimum yatay yük -28.41 kN ve bu yükteki deplasmanı -45.10 mm'dir. Numuneye ait çevrimsel yatay yük-tepe deplasmanı histerezis eğrisi Şekil 4.11'de, bu histerezis eğrisine ait dayanım zarfı eğrisi Şekil 4.12'de verilmiştir.

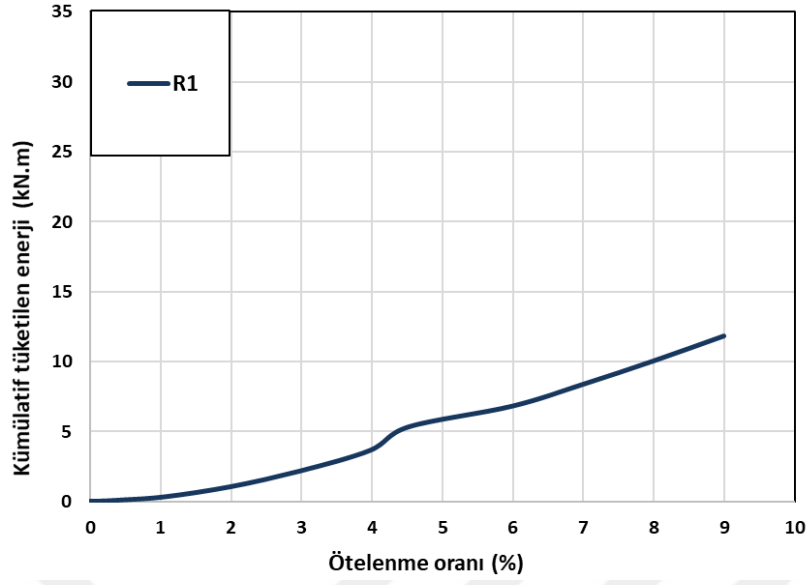


Şekil 4.11. R1 numunesinin histerezis eğrisi



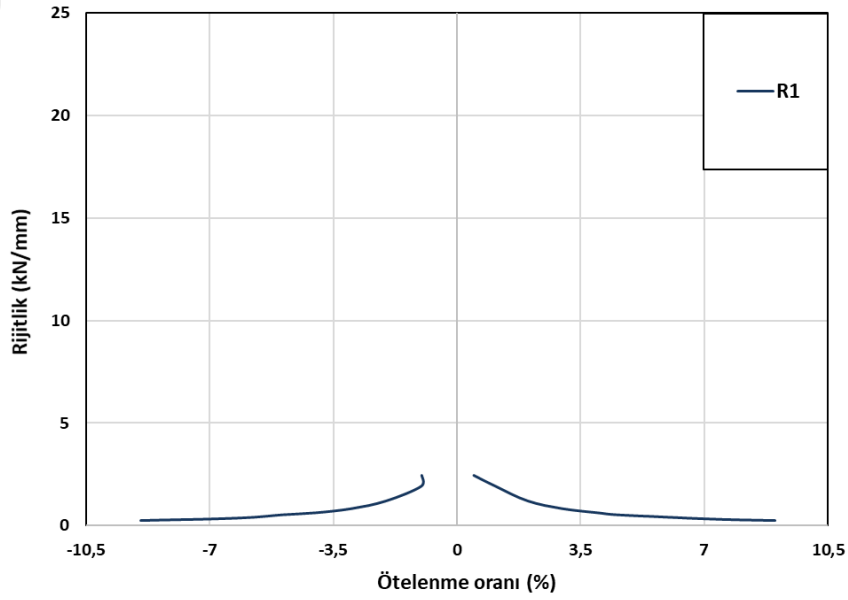
Şekil 4.12. R1 numunesinin dayanım zarfı eğrisi

Elemanın histerezis eğrisinin altında kalan alanın hesaplanması ile enerji tüketme kapasitesi bulunabilir. Tüketilen kümülatif enerjinin ötelenme oranına göre çizilen grafiği Şekil 4.13'te verilmiştir.



Şekil 4.13. R1 numunesinin tüketilen kümülatif enerji eğrisi

Her bir çevrimde elde edilen maksimum yatay yükün, karşılık gelen yatay deplasmana oranından yola çıkarak her bir çevrimde elde edilen rijitlik değerleri hesap edilmiştir (Şekil 4.14).



Şekil 4.14. R1 numunesinin rijitlik eğrisi

4.1.2. Referans Deneyi (R2)

R2 deney numunesi hem üst katı hem de alt katı tamamen tuğla duvar ile örülmüş iki katlı tek açıklıklı çerçeveden oluşmaktadır. Bu deney elemanı, güçlendirilmiş numuneler arasındaki farkları incelemek için tersinir tekrarlanır yükler altında test edilmiştir. Referans çerçevenin deney öncesi görünümü Şekil 4.15'te görülmektedir.



Şekil 4.15. R2 numunesinin deney öncesi görünümü

Deneyler deplasman kontrollü olarak tersinir tekrarlanır şekilde yapılmıştır. R2 elemanı maksimum yüke 4. çevrimde ulaşmıştır ve bu çevrimden sonra yük azalmaya başlamıştır. Elemanda büyük hasarlar meydana geldiği için deneye 10. çevrimde son verilmiştir. Numune pozitif çevrimlerde maksimum 49.74 kN yatay yüke ulaşırken, negatif çevrimlerde maksimum -49.84 kN yatay yüke ulaşmıştır. Deney esnasında R2 elemanında oluşan hasarların, hangi çevrimlerde meydana geldiği Tablo 4.2'de gösterilmiştir.

Tablo 4.2. R2 numunesinin çevrimlerine göre oluşan çatlakların dağılımı

Çevrim No	Tepe (mm)	Deplasmanı	Yatay (kN)	Yük	Oluşan Numarası	Çatlak
+1		+1.08		+31.11		1
-1		-1.07		-14.39		-1,-2-3,-4
+2		+2.83		+36.42		
-2		-2.83		-30.64		-5
+3		+5.54		+44.20		2,3,4,5,6,7,8
-3		-5.64		-45.08		-6,-7,-8
+4		+10.85		+49.74		9,10
-4		-11.16		-49.84		-9,-10,-11,-12,-13,-14,15,-16, -17
+5		+15.15		+46.75		11,12,13,14,15,16
-5		-21.84		-49.83		-18,-19,-20,-21
+6		+33.64		+44.41		17,18
-6		-33.61		-41.31		-22
+7		+41.04		+41.07		
-7		-44.70		-28.97		
+8		+49.27		+35.30		
-8		-56.81		-25.14		
+9		+59.96		+29.53		
-9		-65.37		-14.16		
+10		+78.74		+27.60		
-10		-78.97		-6.64		

Deney sırasında R2 elemanında oluşan çatlakların görüntüleri Şekil 4.16, Şekil 4.17, Şekil 4.18, Şekil 4.19, Şekil 4.20, Şekil 4.21, Şekil 4.22, Şekil 4.23, Şekil 4.24, Şekil 4.25 ve Şekil 4.26'da verilmiştir. Pozitif yöndeki çevrimlerde oluşan çatlaklar mavi renk ile işaretlenirken, negatif yöndeki çevrimlerde oluşan çatlaklar kırmızı renk ile işaretlenmiştir. R2 numunesinin deney sonu görüntüsü Şekil 4.27'de verilmiştir.



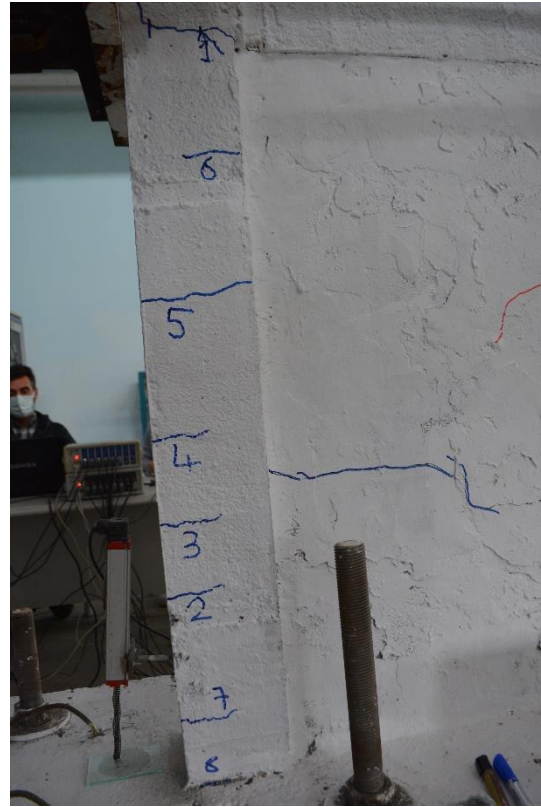
Şekil 4.16. R2 numunesinin +1 çevriminde oluşan çatlaklar



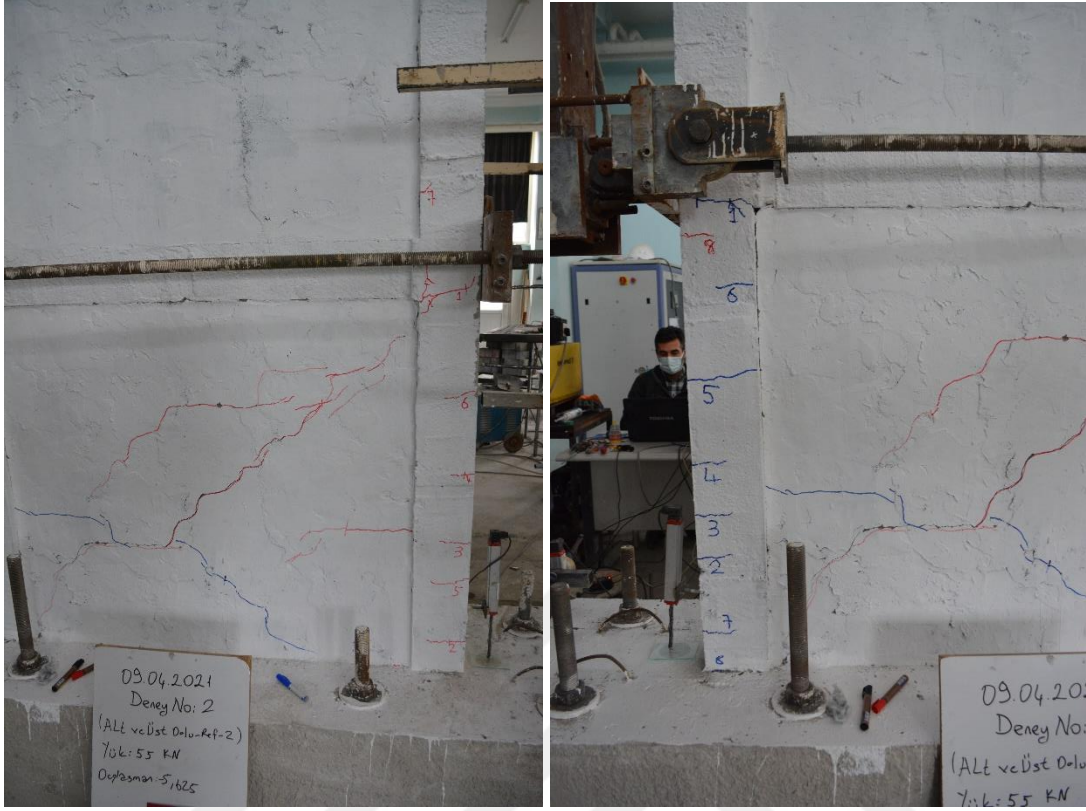
Şekil 4.17. R2 numunesinin -1 çevriminde oluşan çatlaklar



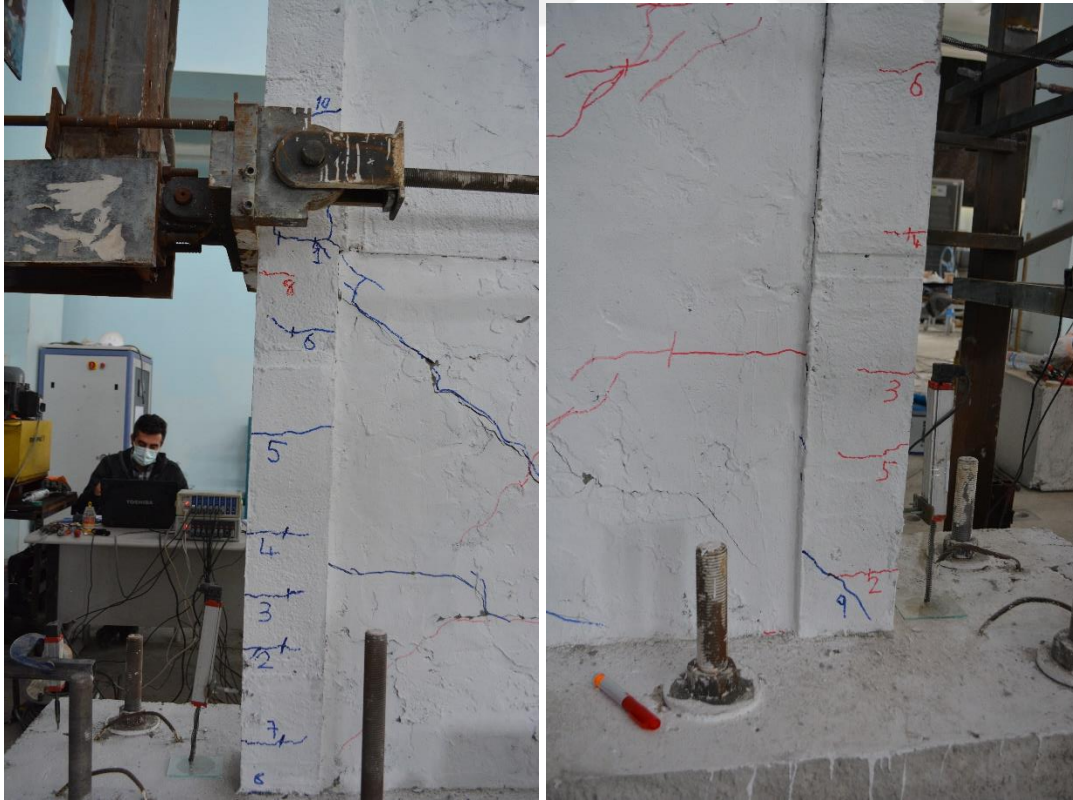
Şekil 4.18. R2 numunesinin -2 çevriminde oluşan çatlaklar



Şekil 4.19. R2 numunesinin +3 çevriminde oluşan çatlaklar



Şekil 4.20. R2 numunesinin -3 çevriminde oluşan çatlaklar



Şekil 4.21. R2 numunesinin +4 çevriminde oluşan çatlaklar



Şekil 4.22. R2 numunesinin -4 çevriminde oluşan çatlaklar



Şekil 4.23. R2 numunesinin +5 çevriminde oluşan çatlaklar



Şekil 4.24. R2 numunesinin -5 çevriminde oluşan çatlaklar



Şekil 4.25. R2 numunesinin +6 çevriminde oluşan çatlaklar

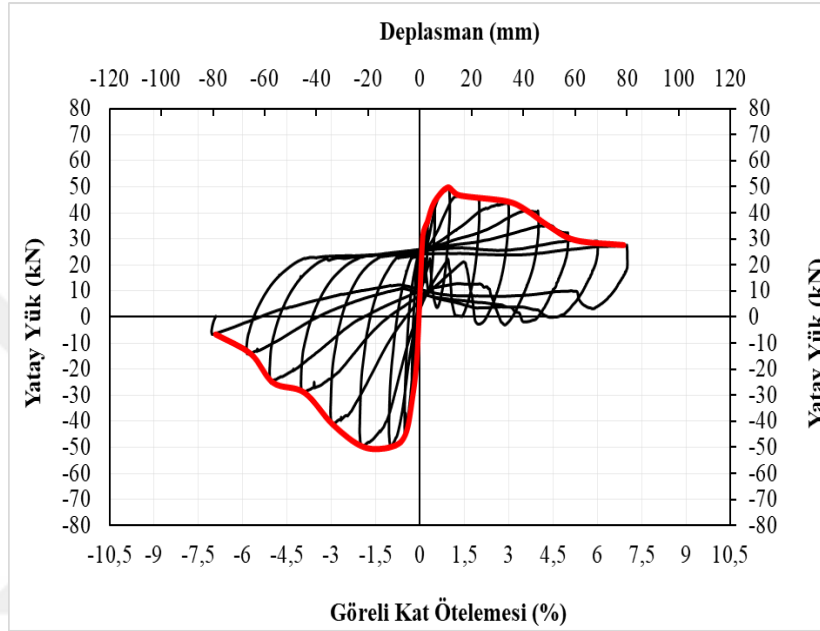


Şekil 4.26. R2 numunesinin -6 çevriminde oluşan çatlaklar

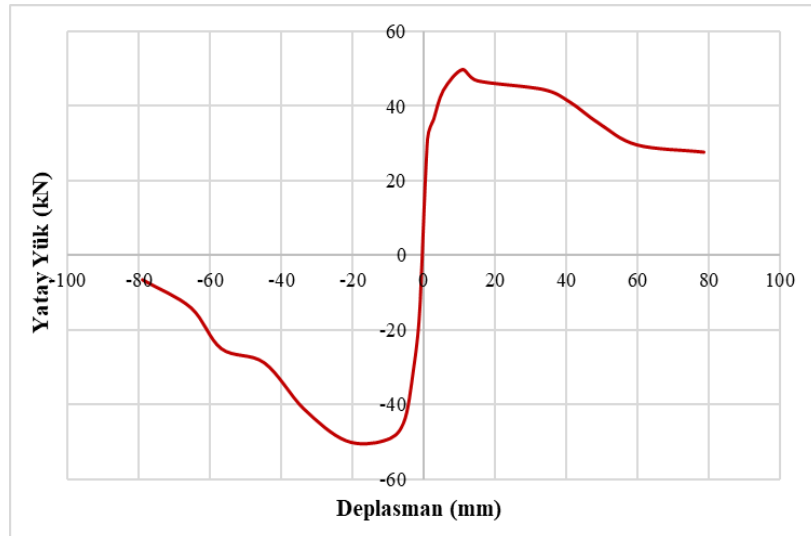


Şekil 4.27. R2 numunesinin deney sonu görünümü

R2 numunesinin yatay yönde maruz kaldığı maksimum yatay yük pozitif yönde 49.74 kN ve bu yükteki deplasmanı 10.85 mm iken, negatif yöndeki maksimum yatay yük -49.84 kN ve bu yükteki deplasmanı -11.16 mm'dir. Numuneye ait çevrimsel yatay yük-tepe deplasmanı histerezis eğrisi Şekil 4.28'de, bu histerezis eğrisine ait dayanım zarfı eğrisi Şekil 4.29'da verilmiştir.

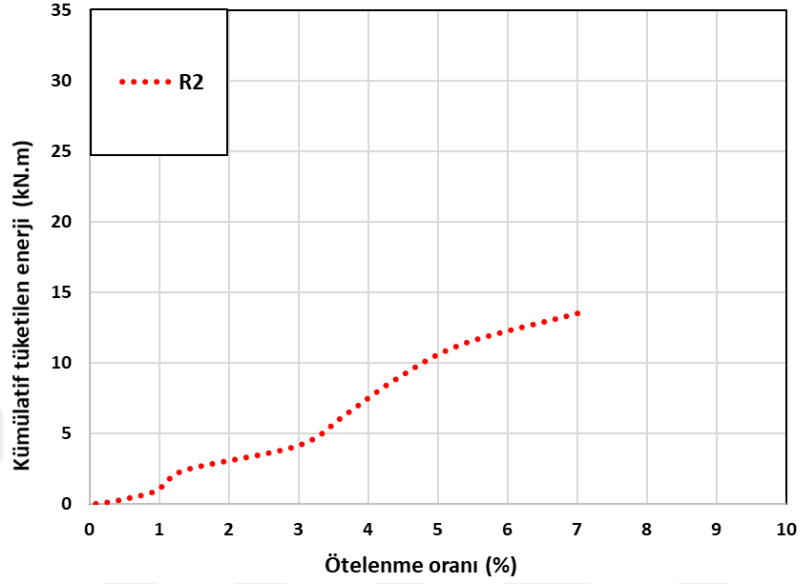


Şekil 4.28. R2 numunesinin histerezis eğrisi



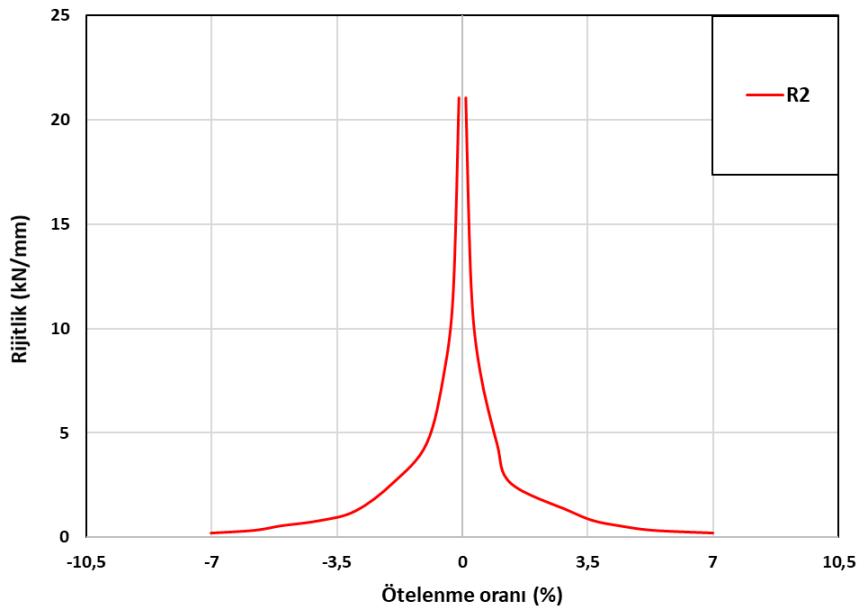
Şekil 4.29. R2 numunesinin dayanım zarfı eğrisi

Elemanın histerezis eğrisinin altında kalan alanın hesaplanması ile enerji tüketme kapasitesi bulunabilir. Tüketilen kümülatif enerjinin ötelenme oranına göre çizilen grafiği Şekil 4.30'da verilmiştir.



Şekil 4.30. R2 numunesinin tüketilen kümülatif enerji eğrisi

Her bir çevrimde elde edilen maksimum yatay yükün, karşılık gelen yatay deplasmana oranından yola çıkarak her bir çevrimde elde edilen rijitlik değerleri hesap edilmiştir (Şekil 4.31).



Şekil 4.31. R2 numunesinin rijitlik eğrisi

4.1.3. Referans Deneyi (R3)

R3 deney numunesi üst katı tamamen, alt katı 3/4 oranında tuğla duvar ile örülmüş iki katlı tek açıklıklı çerçeveden oluşmaktadır. Bu deney elemanı, güçlendirilmiş numuneler arasındaki farkları incelemek için tersinir tekrarlanır yükler altında test edilmiştir. Referans çerçevenin deney öncesi görünümü Şekil 4.32’de görülmektedir.



Şekil 4.32. R3 numunesinin deney öncesi görünümü

Deneyler deplasman kontrollü olarak tersinir tekrarlanır şekilde yapılmıştır. R3 elemanı maksimum yüke 4. çevrimde ulaşmıştır ve bu çevrimden sonra yük azalmaya başlamıştır. Elemanda büyük hasarlar meydana geldiği için deneye 10. çevrimde son verilmiştir. Numune pozitif çevrimlerde maksimum 43.01 kN yatay yüke ulaşırken, negatif

çevrimlerde maksimum -49.67 kN yatay yüke ulaşmıştır. Deney esnasında R3 elemanında oluşan hasarların, hangi çevrimlerde meydana geldiği Tablo 4.3'te gösterilmiştir.

Tablo 4.3. R3 numunesinin çevrimlerine göre oluşan çatlakların dağılımı

Çevrim No	Tepe (mm)	Deplasmanı	Yatay Yük (kN)	Oluşan Çatlak Numarası
+1	+1.27		+25.31	
-1	-1.24		-14.43	
+2	+2.85		+35.33	1,2,3,4,5,6
-2	-3.03		-23.01	-1,-2,-3-4,-5,-6
+3	+5.56		+42.11	7,8, 9,10, 11,12,13,14
-3	-5.83		-31.70	-7,-8,-9,-10,-11,-12
+4	+8.20		+43.01	15,16, 17,18
-4	-10.15		-42.21	-13,-14,-15
+5	+16.98		+42.55	19,20,21
-5	-22.49		-47.92	-16,-17
+6	+28.20		+40.54	22,23,24,25
-6	-30.92		-49.67	-18
+7	+44.99		+39.82	
-7	-45.08		-41.12	
+8	+56.82		+37.59	
-8	-55.69		-37.23	
+9	+67.49		+35.95	
-9	-67.77		-32.63	
+10	+79.16		+27.14	
-10	-78.66		-27.09	

Deney sırasında R3 elemanında oluşan çatlakların görüntüleri Şekil 4.33, Şekil 4.34, Şekil 4.35, Şekil 4.36, Şekil 4.37, Şekil 4.38, Şekil 4.39, Şekil 4.40, Şekil 4.41 ve Şekil 4.42'de verilmiştir. Pozitif yöndeki çevrimlerde oluşan çatlaklar mavi renk ile işaretlenirken, negatif yöndeki çevrimlerde oluşan çatlaklar kırmızı renk ile işaretlenmiştir. R3 numunesinin deney sonu görüntüsü Şekil 4.43'te verilmiştir.



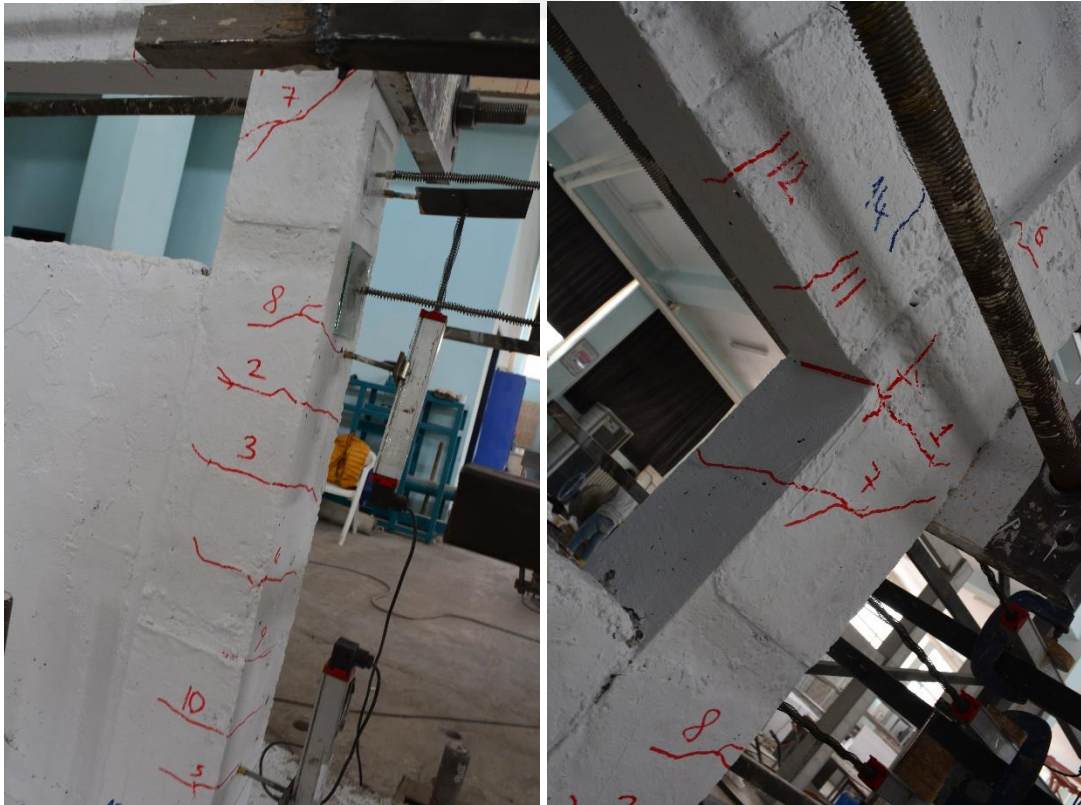
Şekil 4.33. R3 numunesinin +2 çevriminde oluşan çatlaklar



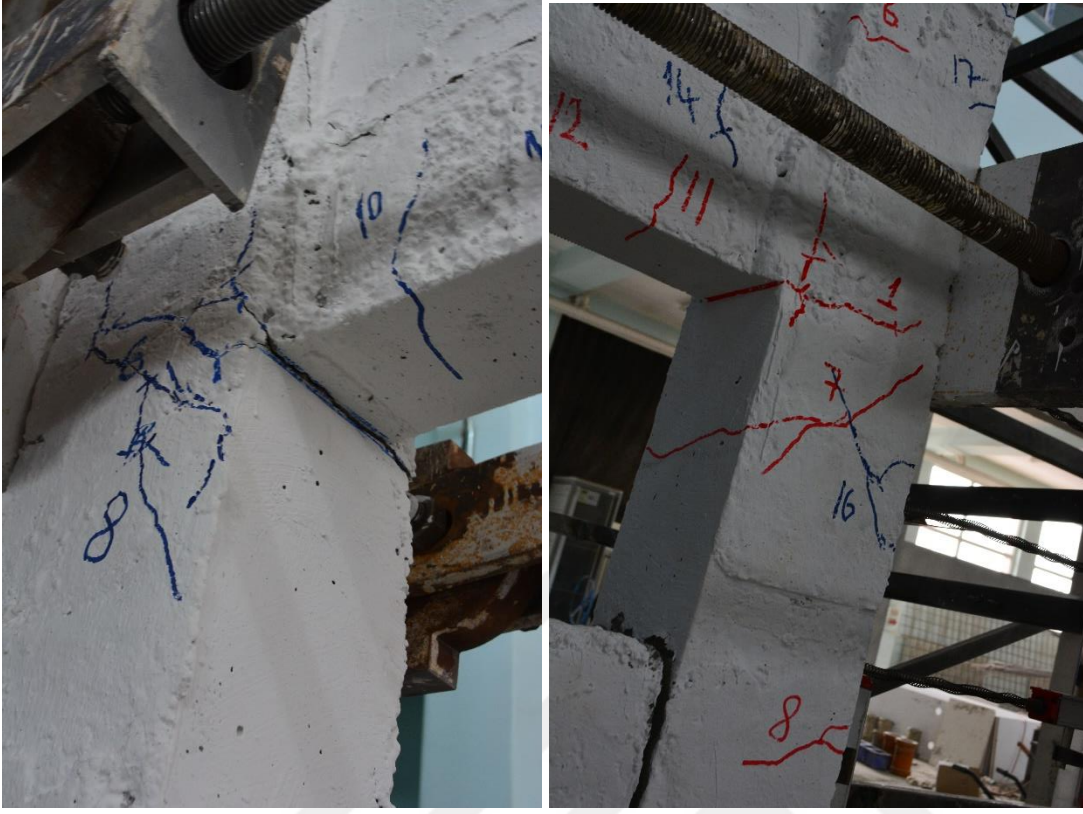
Şekil 4.34. R3 numunesinin -2 çevriminde oluşan çatlaklar



Şekil 4.35. R3 numunesinin +3 çevriminde oluşan çatlaklar



Şekil 4.36. R3 numunesinin -3 çevriminde oluşan çatlaklar



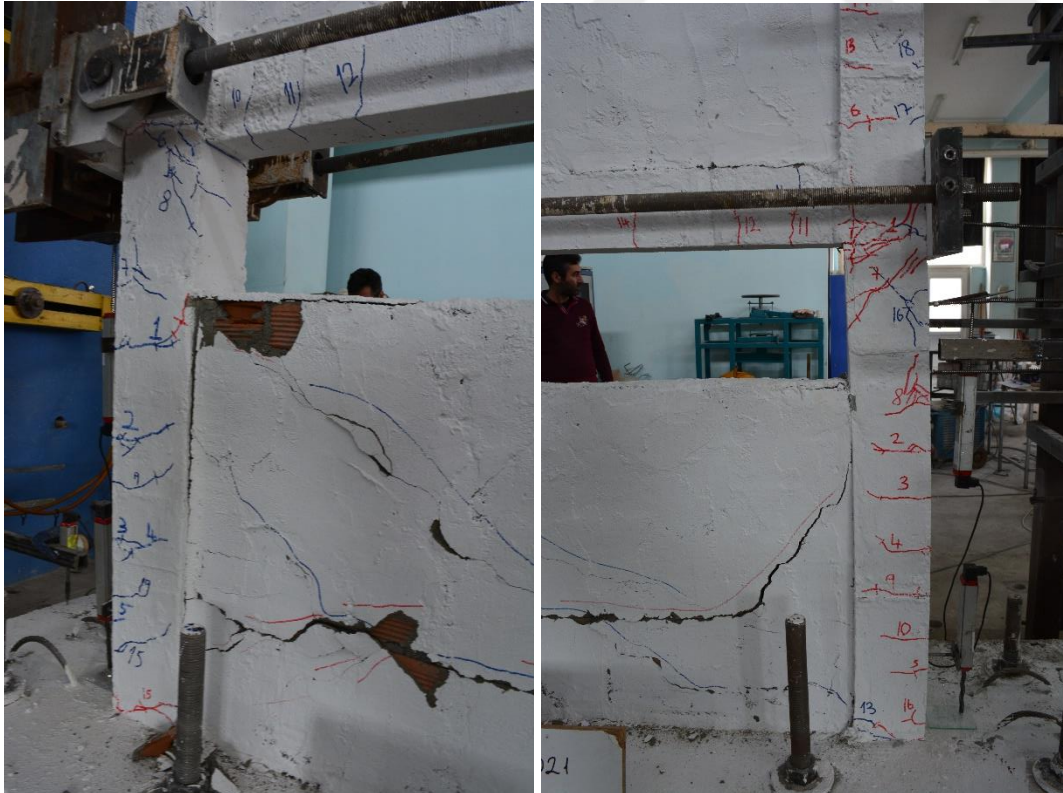
Şekil 4.37. R3 numunesinin +4 çevriminde oluşan çatlaklar



Şekil 4.38. R3 numunesinin -4 çevriminde oluşan çatlaklar



Şekil 4.39. R3 numunesinin +5 çevriminde oluşan çatlaklar



Şekil 4.40. R3 numunesinin -5 çevriminde oluşan çatlaklar



Şekil 4.41. R3 numunesinin +6 çevriminde oluşan çatlaklar

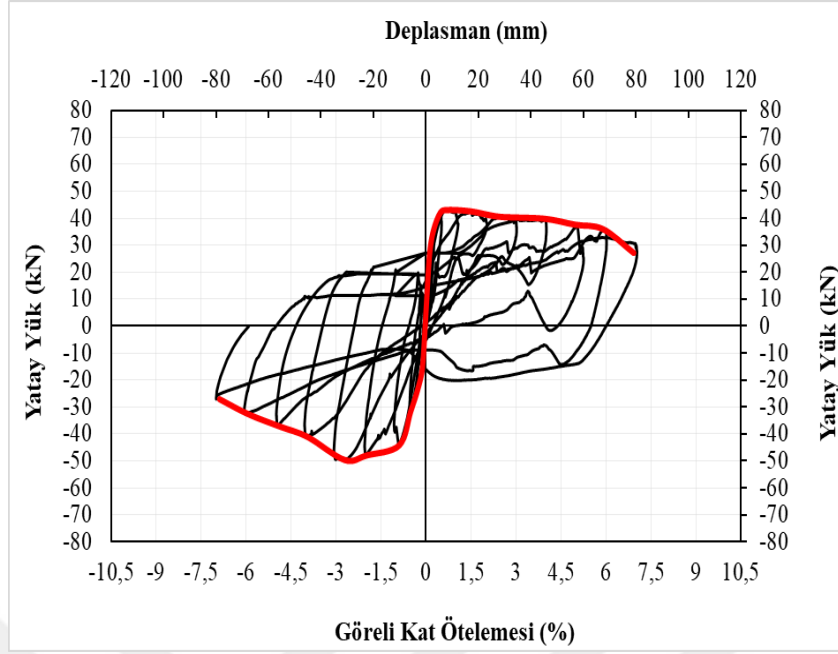


Şekil 4.42. R3 numunesinin -6 çevriminde oluşan çatlaklar

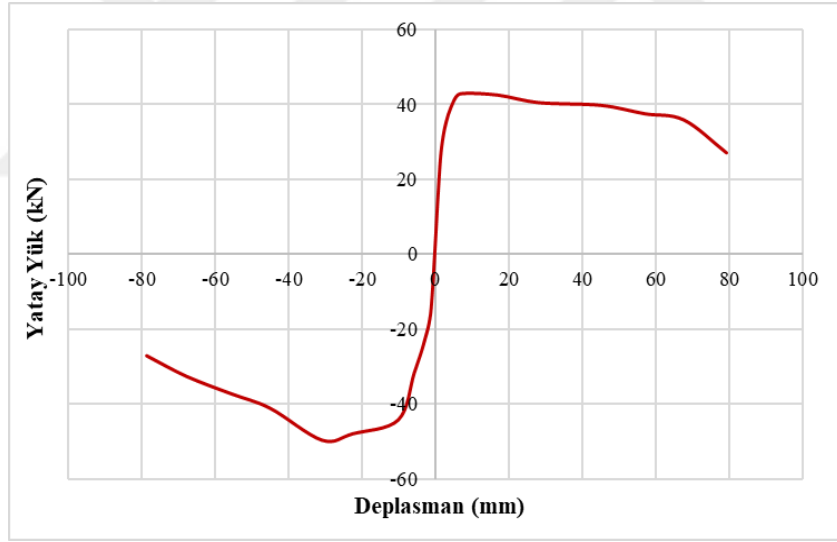


Şekil 4.43. R3 numunesinin deney sonu görünümü

R3 numunesinin yatay yönde maruz kaldığı maksimum yatay yük pozitif yönde 43.01 kN ve bu yükteki deplasmanı 8.20 mm iken, negatif yöndeki maksimum yatay yük -49.67 kN ve bu yükteki deplasmanı -30.92 mm'dir. Numuneye ait çevrimsel yatay yük-tepe deplasmanı histerezis eğrisi Şekil 4.43'te, bu histerezis eğrisine ait dayanım zarfı eğrisi Şekil 4.44'te verilmiştir.

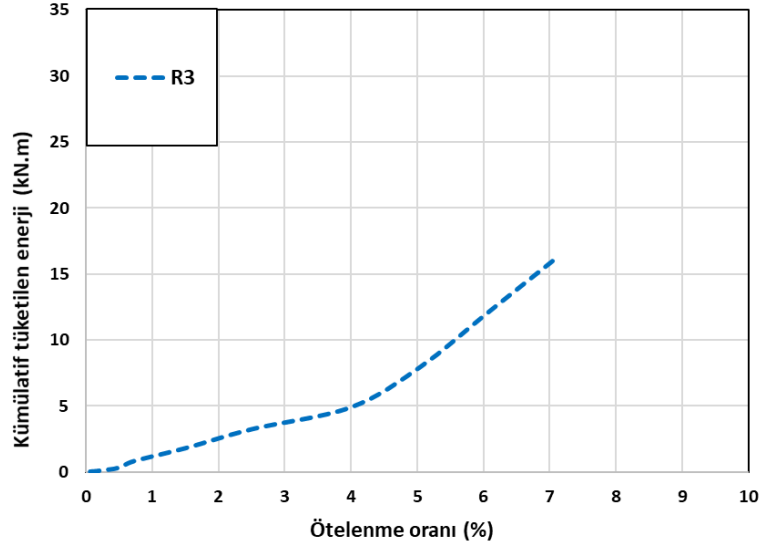


Şekil 4.44. R3 numunesinin histerezis eğrisi



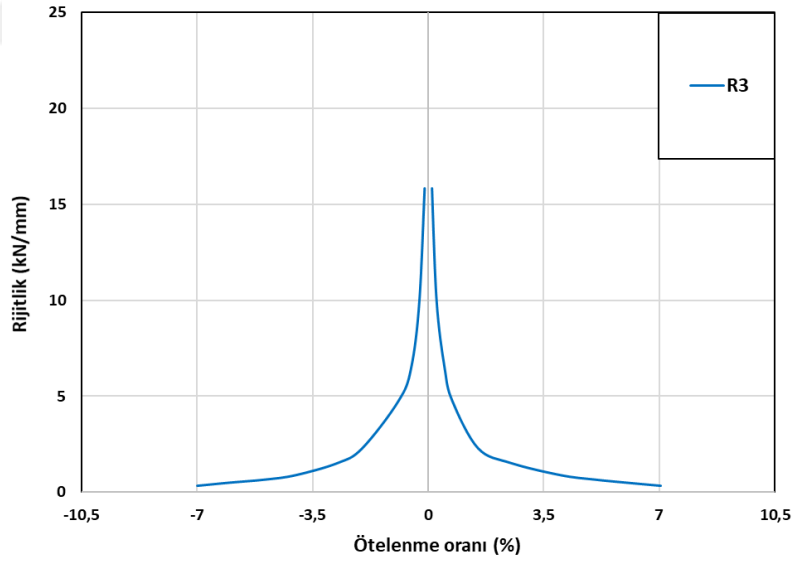
Şekil 4.45. R3 numunesinin dayanım zarfı eğrisi

Elemanın histerezis eğrisinin altında kalan alanın hesaplanması ile enerji tüketme kapasitesi bulunabilir. Tüketilen kümülatif enerjinin ötelenme oranına göre çizilen grafiği Şekil 4.46'da verilmiştir.



Şekil 4.46. R3 numunesinin tüketilen kümülatif enerji eğrisi

Her bir çevrimde elde edilen maksimum yatay yükün, karşılık gelen yatay deplasmana oranından yola çıkarak her bir çevrimde elde edilen rijitlik değerleri hesap edilmiştir (Şekil 4.47).



Şekil 4.47. R3 numunesinin rijitlik eğrisi

4.1.4. Referans Deneyi (R4)

R4 deney numunesi üst katı tamamen, alt katı 1/2 oranında tuğla duvar ile örölü iki katlı tek açıklıklı çerçeveden oluşmaktadır. Bu deney elemanı, güçlendirilmiş numuneler arasındaki farkları incelemek için tersinir tekrarlanır yükler altında test edilmiştir. Referans çerçevenin deney öncesi görünümü Şekil 4.48’de görülmektedir.



Şekil 4.48. R4 numunesinin deney öncesi görünümü

Deneyler deplasman kontrollü olarak tersinir tekrarlanır şekilde yapılmıştır. R4 elemanı maksimum yüke 5. çevrimde ulaşmıştır ve bu çevrimden sonra yük azalmaya başlamıştır. Elemanda büyük hasarlar meydana geldiği için deneye 11. çevrimde son verilmiştir. Numune pozitif çevrimlerde maksimum 35.31 kN yatay yüke ulaşırken, negatif

çevrimlerde maksimum -37.02 kN yatay yüke ulaşmıştır. Deney esnasında R4 elemanında oluşan hasarların, hangi çevrimlerde meydana geldiği Tablo 4.4'te gösterilmiştir.

Tablo 4.4. R4 numunesinin çevrimlerine göre oluşan çatlakların dağılımı

Çevrim No	Tepe (mm)	Deplasmanı	Yatay Yük (kN)	Oluşan Çatlak Numarası
+1	+1.20		+22.45	1,2,3,4,5,6
-1	-1.17		-1.92	
+2	+2.88		+29.90	7,8, 9,10, 11,12,13,14,15
-2	-2.87		-5.53	
+3	+5.60		+32.85	16, 17,18, 19,20
-3	-5.65		-11.24	-1,-2,-3-4,-5,-6-7
+4	+11.24		+34.60	21, 22,23,24,25,26
-4	-11.28		-33.18	-8,-9,-10,-11,-12, -13,-14,-15, -16,-17,-18,-19, -20,-21,-22, -23,-24,-25,-26,-27
+5	+13.05		+35.31	27
-5	-20.41		-36.82	-28,-29,-30,-31
+6	+27.90		+31.40	28,29,30,31,32,33,34,35
-6	-34.04		-37.02	-32
+7	+44.86		+29.79	
-7	-44.50		-32.79	
+8	+57.26		+29.26	
-8	-57.04		-29.29	
+9	+64.21		+27.70	
-9	-70.83		-24.15	
+10	+78.78		26.26	
-10	-78.72		-19.88	
+11	+89.55		+25.24	
-11	-90.54		-16.59	

Deney sırasında R4 elemanında oluşan çatlakların görüntüleri Şekil 4.49, Şekil 4.50, Şekil 4.51, Şekil 4.52, Şekil 4.53, Şekil 4.54, Şekil 4.55, Şekil 4.56, Şekil 4.57 ve Şekil 4.58'de verilmiştir. Pozitif yöndeki çevrimlerde oluşan çatlaklar mavi renk ile işaretlenirken, negatif yöndeki çevrimlerde oluşan çatlaklar kırmızı renk ile işaretlenmiştir. R4 numunesinin deney sonu görüntüsü Şekil 4.59'da verilmiştir.



Şekil 4.49. R4 numunesinin +1 çevriminde oluşan çatlaklar



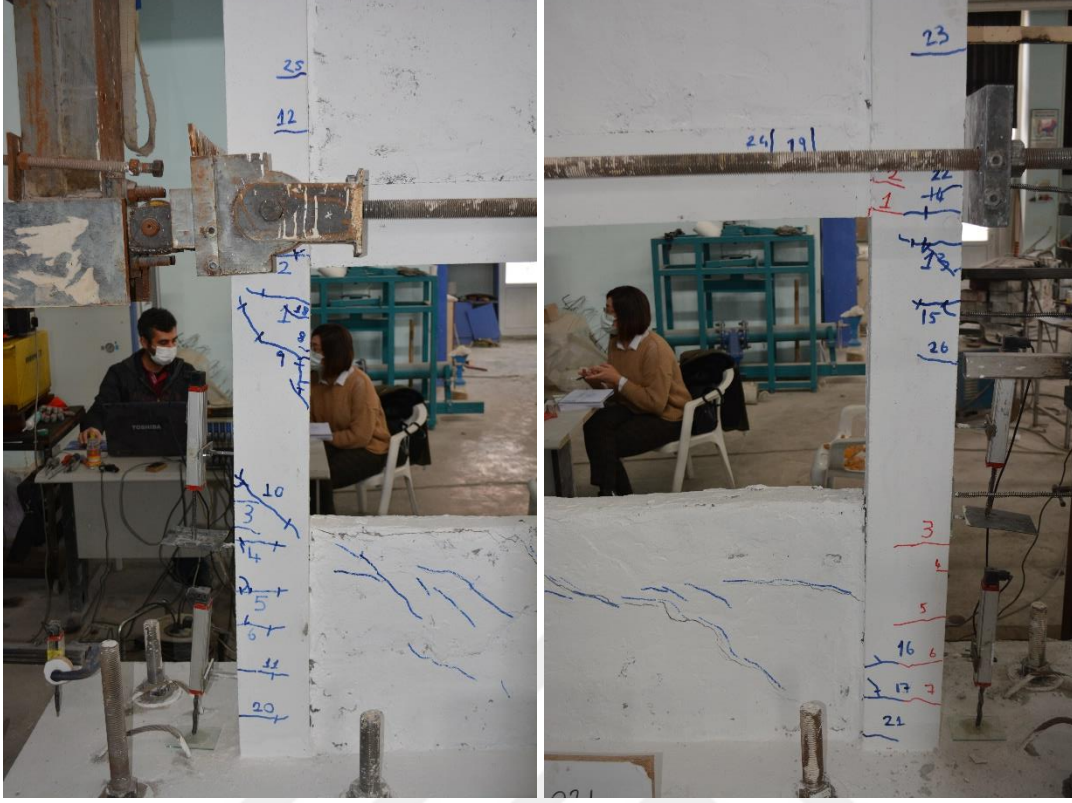
Şekil 4.50. R4 numunesinin +2 çevriminde oluşan çatlaklar



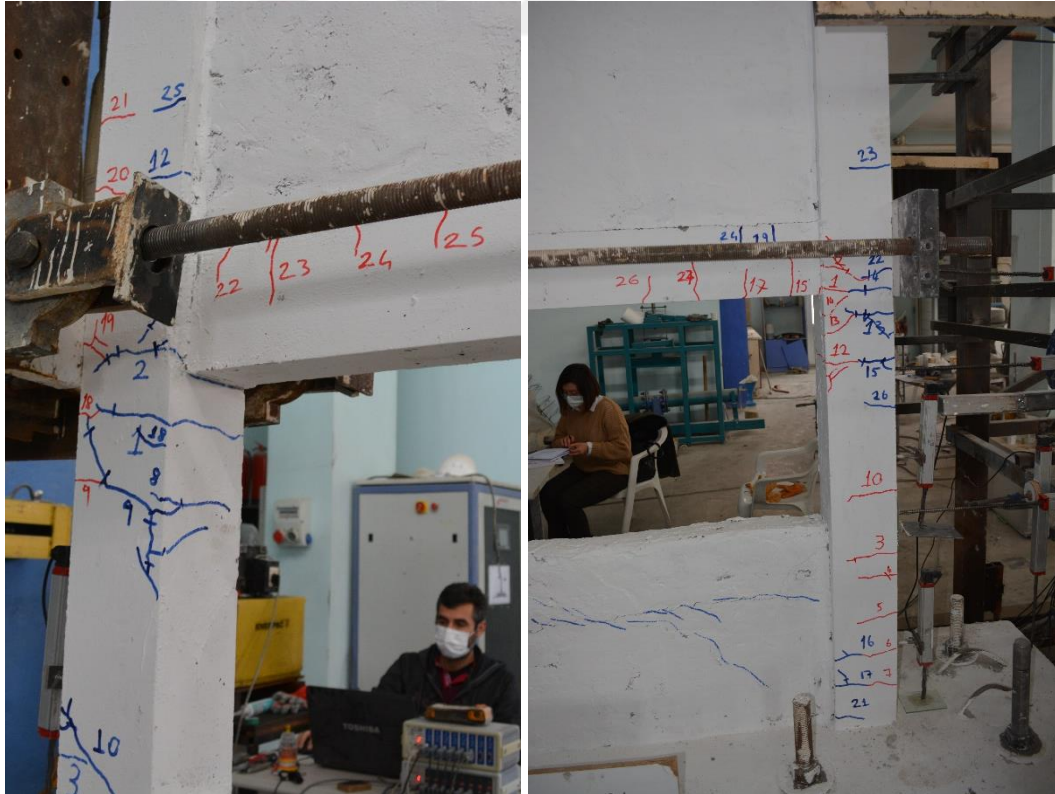
Şekil 4.51. R4 numunesinin +3 çevriminde oluşan çatlaklar



Şekil 4.52. R4 numunesinin -3 çevriminde oluşan çatlaklar



Şekil 4.53. R4 numunesinin +4 çevriminde oluşan çatlaklar



Şekil 4.54. R4 numunesinin -4 çevriminde oluşan çatlaklar



Şekil 4.55. R4 numunesinin +5 çevriminde oluşan çatlaklar



Şekil 4.56. R4 numunesinin -5 çevriminde oluşan çatlaklar



Şekil 4.57. R4 numunesinin +6 çevriminde oluşan çatlaklar

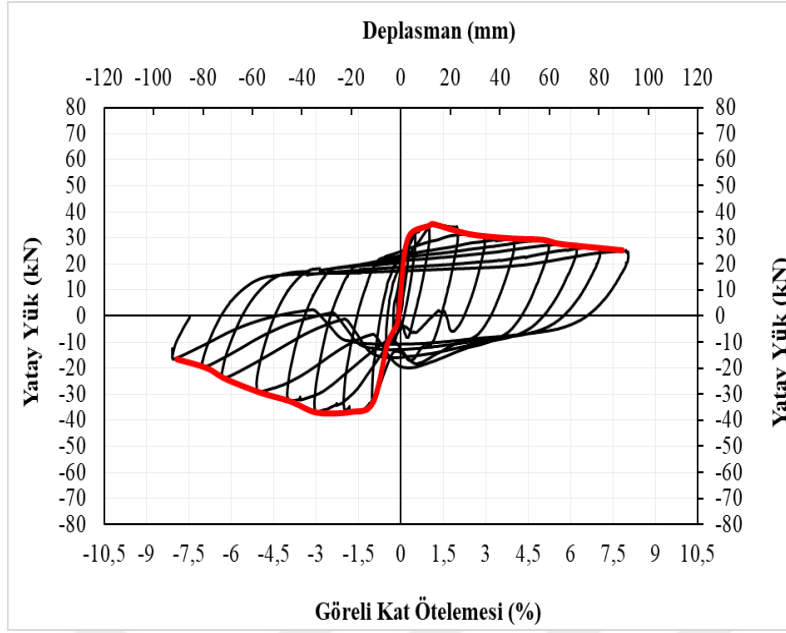


Şekil 4.58. R4 numunesinin -6 çevriminde oluşan çatlaklar

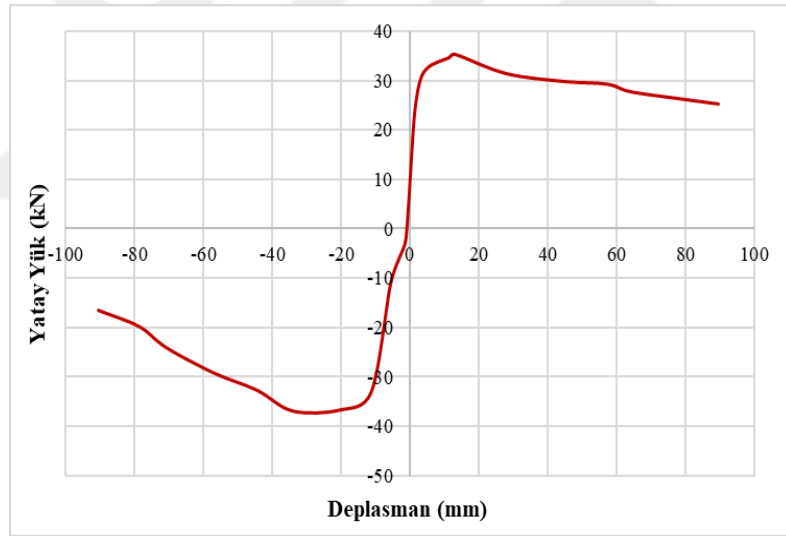


Şekil 4.59. R4 numunesinin deney sonu görünümü

R4 numunesinin yatay yönde maruz kaldığı maksimum yatay yük pozitif yönde 35.31 kN ve bu yükteki deplasmanı 13.05 mm iken, negatif yöndeki maksimum yatay yük -37.02 kN ve bu yükteki deplasmanı -34.04 mm'dir. Numuneye ait çevrimsel yatay yük-tepe deplasmanı histerezis eğrisi Şekil 4.60'da, bu histerezis eğrisine ait dayanım zarfı eğrisi Şekil 4.61'de verilmiştir.

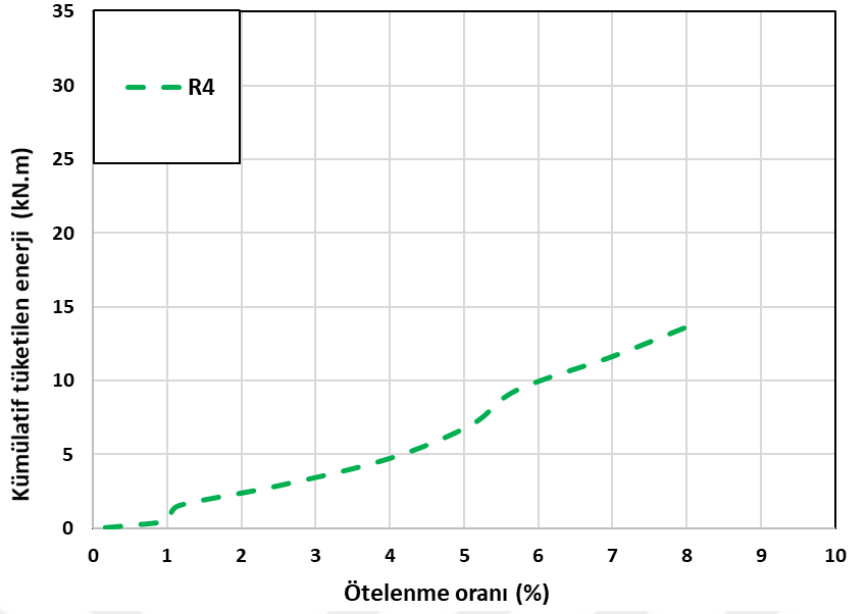


Şekil 4.60. R4 numunesinin histerezis eğrisi



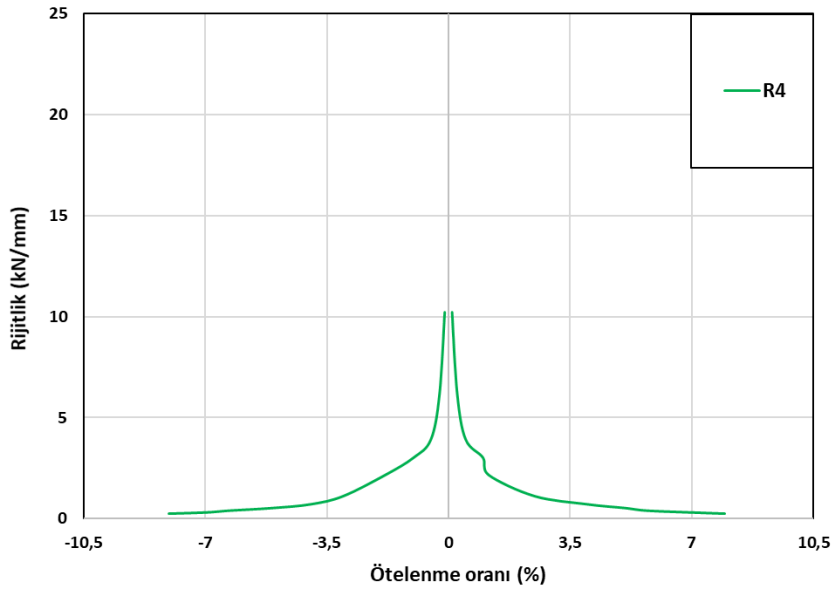
Şekil 4.61. R4 numunesinin dayanım zarfı eğrisi

Elemanın histerezis eğrisinin altında kalan alanın hesaplanması ile enerji tüketme kapasitesi bulunabilir. Tüketilen kümülatif enerjinin ötelenme oranına göre çizilen grafiği Şekil 4.62’de verilmiştir.



Şekil 4.62. R4 numunesinin tüketilen kümülatif enerji eğrisi

Her bir çevrimde elde edilen maksimum yatay yükün, karşılık gelen yatay deplasmana oranından yola çıkarak her bir çevrimde elde edilen rijitlik değerleri hesap edilmiştir (Şekil 4.63).



Şekil 4.63. R4 numunesinin rijitlik eğrisi

4.1.5. Referans Deneyi (R5)

R5 deney numunesi üst katı tamamen, alt katı 1/4 oranında tuğla duvar ile örölü iki katlı tek açıklıklı çerçeveden oluşmaktadır. Bu deney elemanı, güçlendirilmiş numuneler arasındaki farkları incelemek için tersinir tekrarlanır yükler altında test edilmiştir. Referans çerçevenin deney öncesi görünümü Şekil 4.64'te görülmektedir.



Şekil 4.64. R5 numunesinin deney öncesi görünümü

Deneyler deplasman kontrollü olarak tersinir tekrarlanır şekilde yapılmıştır. R5 elemanı maksimum yüke 5. çevrimde ulaşmıştır ve bu çevrimden sonra yük azalmaya

başlamıştır. Elemanda büyük hasarlar meydana geldiği için deneye 11. çevrimde son verilmiştir. Numune pozitif çevrimlerde maksimum 30.93 kN yatay yüke ulaşırken, negatif çevrimlerde maksimum -33.55 kN yatay yüke ulaşmıştır. Deney esnasında R5 elemanında oluşan hasarların, hangi çevrimlerde meydana geldiği Tablo 4.5'te gösterilmiştir.

Tablo 4.5. R5 numunesinin çevrimlerine göre oluşan çatlakların dağılımı

Çevrim No	Tepe (mm)	Deplasmanı	Yatay (kN)	Yük	Oluşan Numarası	Çatlak
+1		+1.02		+9.68		1
-1		-1.54		-9.65		
+2		+2.74		+15.52		2,3,4,5,6
-2		-2.80		-13.69		-1,-2,-3-4,-5
+3		+5.50		+22.81		7,8
-3		-5.67		-21.94		-6,-7, -8,-9,-10,-11,-12
+4		+11.23		+29.13		9,10, 11,12,13,14,15,16, 17,18, 19,20,21
-4		-11.35		-33.53		-13,-14,-15,-16,-17,-18,-19, -20
+5		+13.54		+30.10		22
-5		-22.62		-33.55		-21
+6		+32.75		+30.10		
-6		-33.97		-33.20		
+7		+44.58		+30.93		
-7		-45.39		-31.38		
+8		+49.05		+29.25		
-8		-56.76		-31.72		
+9		+64.74		+26.57		
-9		-67.91		-30.10		
+10		+78.21		+26.15		
-10		-78.93		-28.95		
+11		+89.55		+26.32		
-11		-90.47		-27.88		

Deney sırasında R5 elemanında oluşan çatlakların görüntüleri Şekil 4.65, Şekil 4.66, Şekil 4.67, Şekil 4.68, Şekil 4.69, Şekil 4.70, Şekil 4.71, Şekil 4.72 ve Şekil 4.73'te verilmiştir. Pozitif yöndeki çevrimlerde oluşan çatlaklar mavi renk ile işaretlenirken, negatif

yöndeki çevrimlerde oluşan çatlaklar kırmızı renk ile işaretlenmiştir. R5 numunesinin deney sonu görüntüsü Şekil 4.76'da verilmiştir.



Şekil 4.65. R5 numunesinin +1 çevriminde oluşan çatlaklar



Şekil 4.66. R5 numunesinin +2 çevriminde oluşan çatlaklar



Şekil 4.67. R5 numunesinin -2 çevriminde oluşan çatlaklar

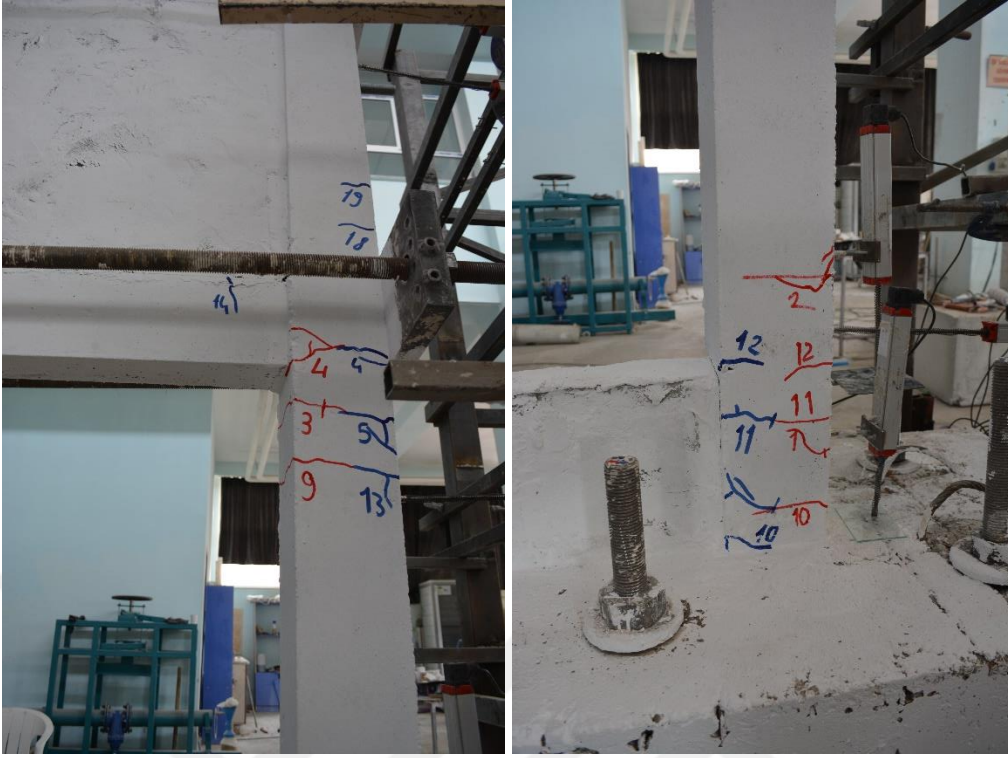


Şekil 4.68. R5 numunesinin +3 çevriminde oluşan çatlaklar



Şekil 4.68. R5 numunesinin -3 çevriminde oluşan çatlaklar





Şekil 4.69. R5 numunesinin +4 çevriminde oluşan çatlaklar



Şekil 4.70. R5 numunesinin -4 çevriminde oluşan çatlaklar



Şekil 4.71. R5 numunesinin +5 çevriminde oluşan çatlaklar

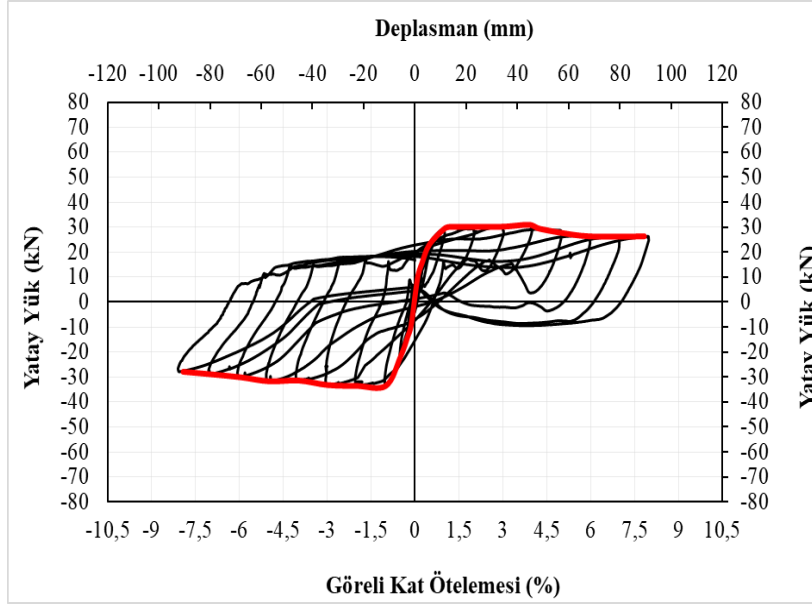


Şekil 4.72. R5 numunesinin -5 çevriminde oluşan çatlaklar

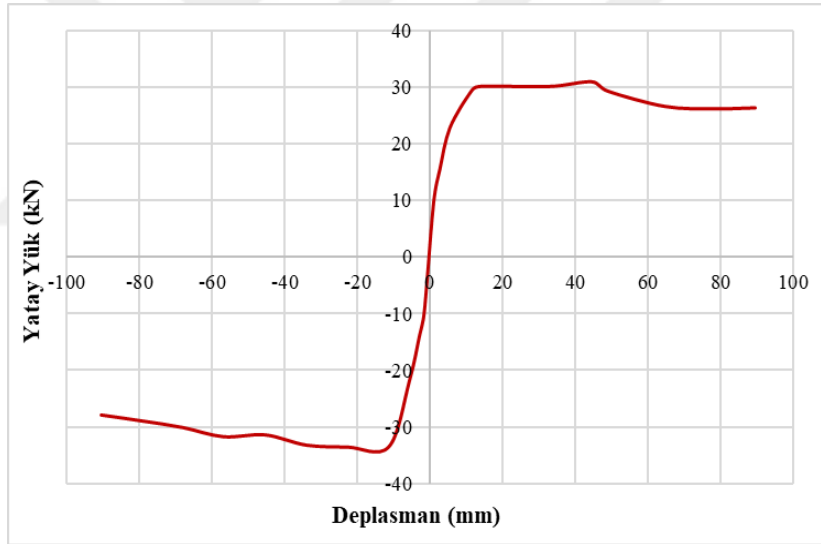


Şekil 4.73. R5 numunesinin deney sonu görünümü

R5 numunesinin yatay yönde maruz kaldığı maksimum yatay yük pozitif yönde 30.93 kN ve bu yükteki deplasmanı 44.58 mm iken, negatif yöndeki maksimum yatay yük -33.55 kN ve bu yükteki deplasmanı -22.62 mm'dir. Numuneye ait çevrimsel yatay yük-tepe deplasmanı histerezis eğrisi Şekil 4.73'te, bu histerezis eğrisine ait dayanım zarfı eğrisi Şekil 4.74'te verilmiştir.

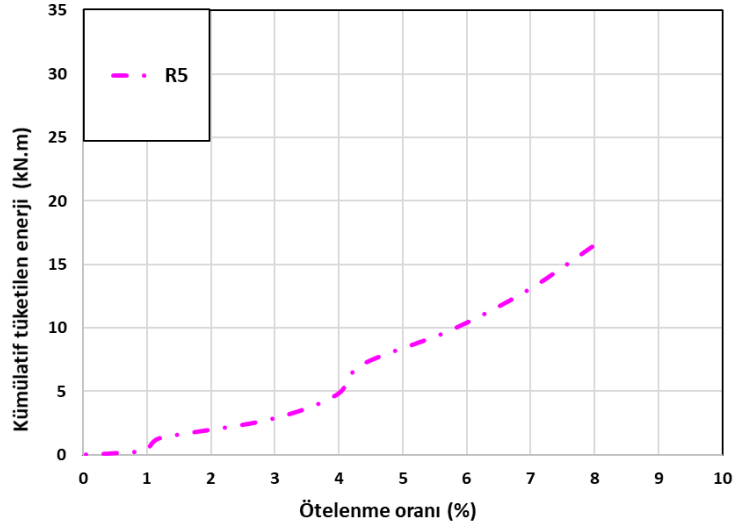


Şekil 4.73. R5 numunesinin histerezis eğrisi



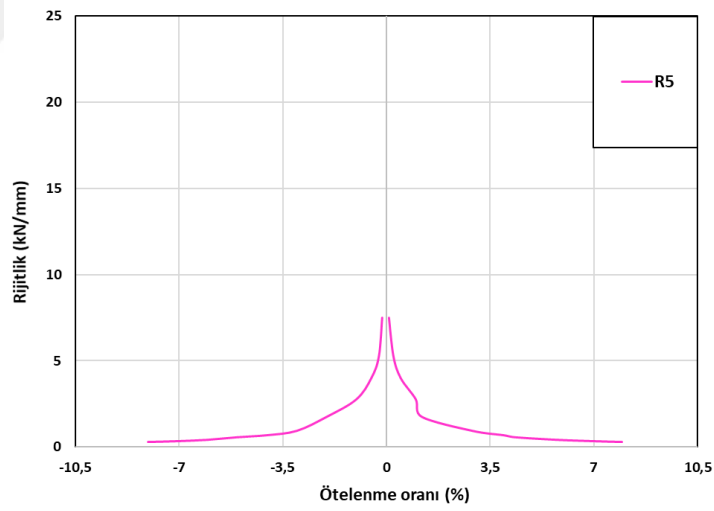
Şekil 4.74. R5 numunesinin dayanım zarfı eğrisi

Elemanın histerezis eğrisinin altında kalan alanın hesaplanması ile enerji tüketme kapasitesi bulunabilir. Tüketilen kümülatif enerjinin ötelenme oranına göre çizilen grafiği Şekil 4.75'te verilmiştir.



Şekil 4.75. R5 numunesinin tüketilen kümülatif enerji eğrisi

Her bir çevrimde elde edilen maksimum yatay yükün, karşılık gelen yatay deplasmana oranından yola çıkarak her bir çevrimde elde edilen rijitlik değerleri hesap edilmiştir (Şekil 4.76).



Şekil 4.76. R5 numunesinin rijitlik eğrisi

4.1.6. SIFCON'lu Deney (R3-S1)

R3-S1 deney numunesi üst katı tamamen, alt katı 3/4 oranında tuğla duvar ile örölü, alt katta duvar örülmeven bölgenin köşe noktalarında L SIFCON paneller kullanılan iki katlı tek açıklıklı çerçeveden oluşmaktadır. Bu deney elemanı, güçlendirilmemiş numuneler arasındaki farkları incelemek için tersinir tekrarlanır yükler altında test edilmiştir. Referans çerçevenin deney öncesi görünümü Şekil 4.77'de görülmektedir.



Şekil 4.77. R3-S1 numunesinin deney öncesi görünümü

Deneyler deplasman kontrollü olarak tersinir tekrarlanır şekilde yapılmıştır. R3-S1 elemanı maksimum yüke 4. çevrimde ulaşmıştır ve bu çevrimden sonra yük azalmaya başlamıştır. Elemanda büyük hasarlar meydana geldiği için deneye 10. çevrimde son verilmiştir. Numune pozitif çevrimlerde maksimum 61.27 kN yatay yüke ulaşırken, negatif çevrimlerde maksimum -61.99 kN yatay yüke ulaşmıştır. Deney esnasında R3-S1 elemanında oluşan hasarların, hangi çevrimlerde meydana geldiği Tablo 4.6'da gösterilmiştir.

Tablo 4.6. R3-S1 numunesinin çevrimlerine göre oluşan çatlakların dağılımı

Çevrim No	Tepe Deplasmanı (mm)	Yatay Yük (kN)	Oluşan Çatlak Numarası
+1	+1.11	+21.72	1,2
-1	-1.19	-26.45	
+2	+3.21	+34.72	3,4,5
-2	-2.88	-39.86	-1,-2,-3-4,-5,-6
+3	+5.67	+46.50	6,7,8
-3	-4.90	-52.79	-7, -8,-9,-10
+4	+11.24	+59.70	9,10, 11,12
-4	-8.38	-61.99	-11,-12
+5	+15.11	+61.27	13,14,15,16,17
-5	-21.21	-58.67	-13,-14,-15,-16
+6	+33.85	+54.17	18
-6	-31.73	-52.79	-17,-18
+7	+45.19	+54.93	19
-7	-45.04	-48.42	
+8	+55.06	+46.45	
-8	-54.14	-43.04	
+9	+64.39	+34.81	
-9	-67.46	-36.61	
+10	+78.02	+22.35	
-10	-78.88	-29.39	

Deney sırasında R3-S1 elemanında oluşan çatlakların görüntüleri Şekil 4.78, Şekil 4.79, Şekil 4.80, Şekil 4.81, Şekil 4.82, Şekil 4.83, Şekil 4.84, Şekil 4.85, Şekil 4.86, Şekil 4.87, Şekil 4.88 ve Şekil 4.89'da verilmiştir. Pozitif yöndeki çevrimlerde oluşan çatlaklar

mavi renk ile işaretlenirken, negatif yöndeki çevrimlerde oluşan çatlaklar kırmızı renk ile işaretlenmiştir. R3-S1 numunesinin deney sonu görüntüsü Şekil 4.90'da verilmiştir.



Şekil 4.78. R3-S1 numunesinin +1 çevriminde oluşan çatlaklar



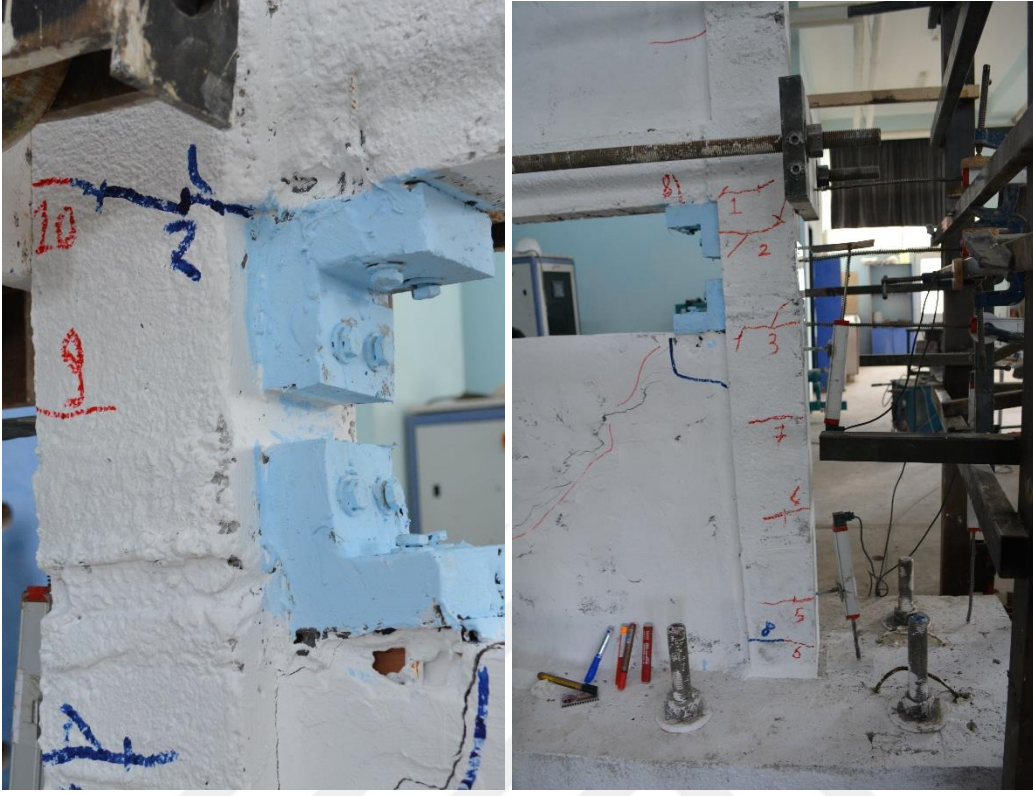
Şekil 4.79. R3-S1 numunesinin +2 çevriminde oluşan çatlaklar



Şekil 4.80. R3-S1 numunesinin -2 çevriminde oluşan çatlaklar



Şekil 4.81. R3-S1 numunesinin +3 çevriminde oluşan çatlaklar



Şekil 4.82. R3-S1 numunesinin -3 çevriminde oluşan çatlaklar



Şekil 4.83. R3-S1 numunesinin +4 çevriminde oluşan çatlaklar



Şekil 4.84. R3-S1 numunesinin -4 çevriminde oluşan çatlaklar



(a)



(b)

Şekil 4.85. R3-S1 numunesinin +5 çevriminde oluşan çatlaklar, (a) sol üst nokta, (b) sağ orta nokta



Şekil 4.86. R3-S1 numunesinin -5 çevriminde oluşan çatlaklar



Şekil 4.87. R3-S1 numunesinin +6 çevriminde oluşan çatlaklar



Şekil 4.88. R3-S1 numunesinin -6 çevriminde oluşan çatlaklar

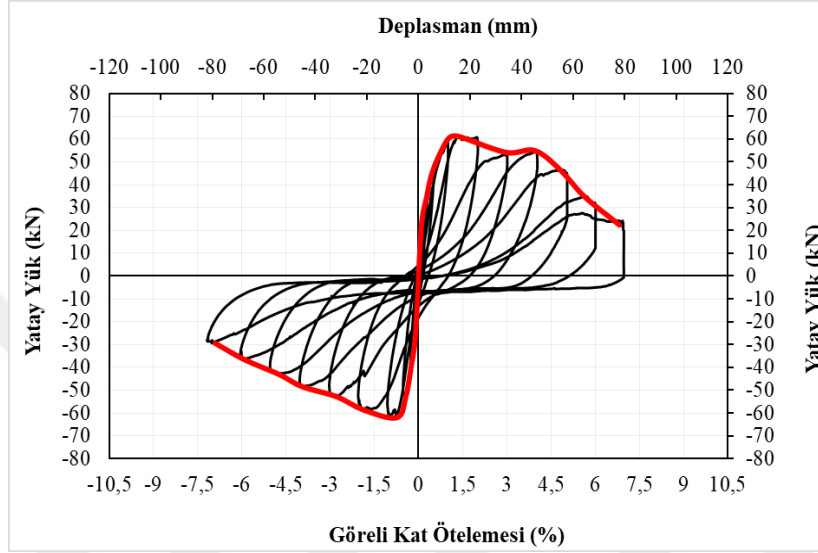


Şekil 4.89. R3-S1 numunesinin +7 çevriminde oluşan çatlaklar

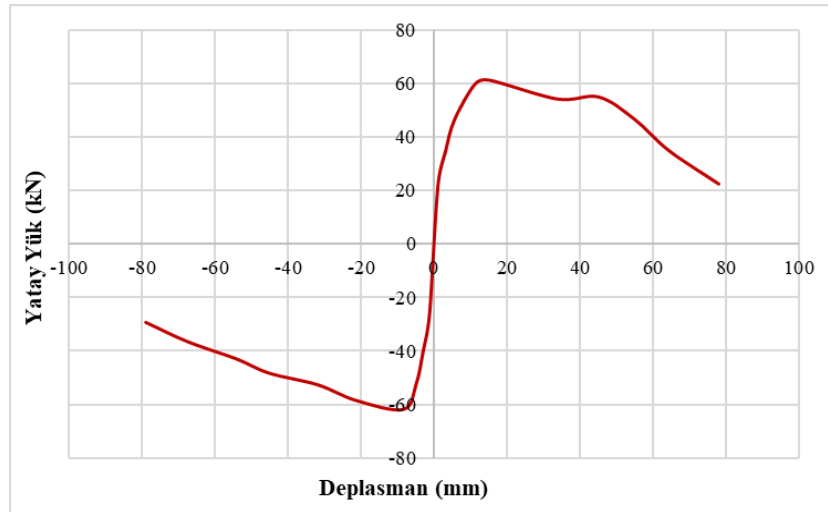


Şekil 4.90. R3-S1 numunesinin deney sonu görünümü

R3-S1 numunesinin yatay yönde maruz kaldığı maksimum yatay yük pozitif yönde 61.27 kN ve bu yükteki deplasmanı 15.11 mm iken, negatif yöndeki maksimum yatay yük - 61.99 kN ve bu yükteki deplasmanı -8.38 mm'dir. Numuneye ait çevrimsel yatay yük-tepe deplasmanı histerezis eğrisi Şekil 4.91'de, bu histerezis eğrisine ait dayanım zarfı eğrisi Şekil 4.92'de verilmiştir.

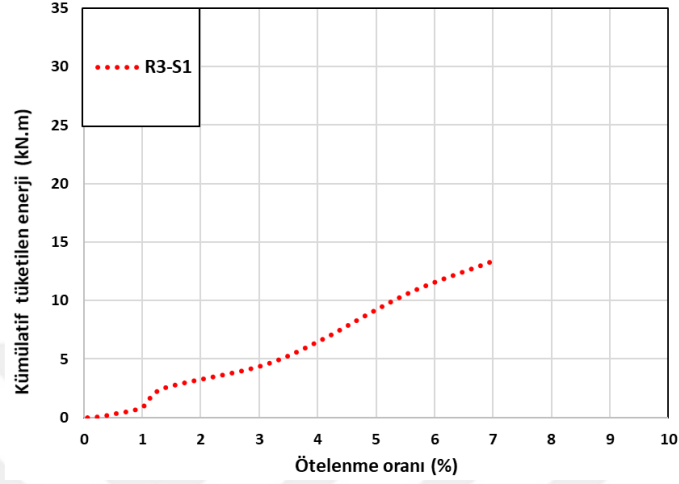


Şekil 4.91. R3-S1 numunesinin histerezis eğrisi



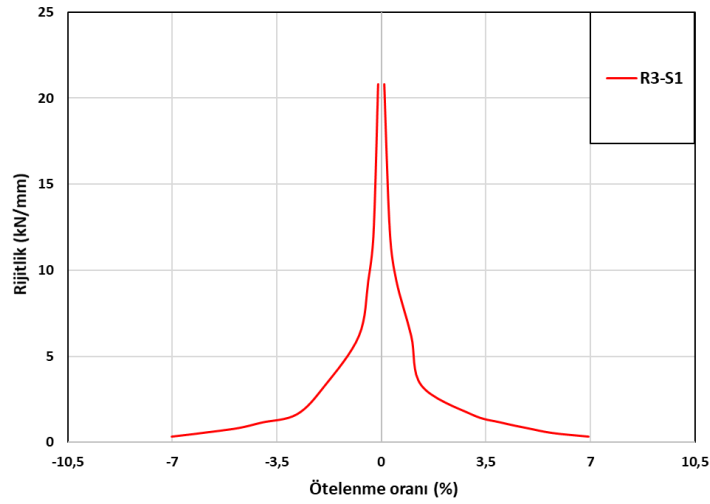
Şekil 4.92. R3-S1 numunesinin dayanım zarfı eğrisi

Elemanın histerezis eğrisinin altında kalan alanın hesaplanması ile enerji tüketme kapasitesi bulunabilir. Tüketilen kümülatif enerjinin ötelenme oranına göre çizilen grafiği Şekil 4.93'te verilmiştir.



Şekil 4.93. R3-S1 numunesinin tüketilen kümülatif enerji eğrisi

Her bir çevrimde elde edilen maksimum yatay yükün, karşılık gelen yatay deplasmana oranından yola çıkarak her bir çevrimde elde edilen rijitlik değerleri hesap edilmiştir (Şekil 4.94).



Şekil 4.94. R3-S1 numunesinin rijitlik eğrisi

4.1.7. SIFCON'lu Deney (R4-S1)

R4-S1 deney numunesi üst katı tamamen, alt katı 1/2 oranında tuğla duvar ile örülü, alt katta duvar örülmeven bölgenin köşe noktalarında L SIFCON paneller kullanılan iki katlı tek açıklıklı çerçeveden oluşmaktadır. Bu deney elemanı, güçlendirilmemiş numuneler arasındaki farkları incelemek için tersinir tekrarlanır yükler altında test edilmiştir. Referans çerçevenin deney öncesi görünümü Şekil 4.95'te görülmektedir.



Şekil 4.95. R4-S1 numunesinin deney öncesi görünümü

Deneyler deplasman kontrollü olarak tersinir tekrarlanır şekilde yapılmıştır. R4-S1 elemanı maksimum yüke 6. çevrimde ulaşmıştır ve bu çevrimden sonra yük azalmaya başlamıştır. Elemanda büyük hasarlar meydana geldiği için deneye 12. çevrimde son verilmiştir. Numune pozitif çevrimlerde maksimum 57.81 kN yatay yüke ulaşırken, negatif

çevrimlerde maksimum -57.67 kN yatay yüke ulaşmıştır. Deney esnasında R4-S1 elemanında oluşan hasarların, hangi çevrimlerde meydana geldiği Tablo 4.7’de gösterilmiştir.

Tablo 4.7. R4-S1 numunesinin çevrimlerine göre oluşan çatlakların dağılımı

Çevrim No	Tepe Deplasmanı (mm)	Yatay Yük (kN)	Oluşan Çatlak Numarası
+1	+1.13	+14.34	1,2,3
-1	-1.13	-18.35	-1
+2	+2.85	+24.24	4
-2	-2.85	-27.03	-2,-3
+3	+5.67	+37.15	5,6,7,8,9
-3	-5.63	-38.27	-4,-5,-6,-7, -8,-9
+4	+11.27	+57.73	10, 11,12,13,14
-4	-11.14	-55.59	-10,-11,-12, -13,-14,-15
+5	+16.85	+57.81	15
-5	-22.54	-57.67	-16, -17,-18,-19
+6	+33.57	+54.59	16,17,18
-6	-33.53	-55.33	
+7	+45.05	+51.52	
-7	-44.96	-50.52	
+8	+56.14	+41.45	
-8	-56.50	-43.58	
+9	+67.02	+32.00	
-9	-67.36	-37.08	
+10	+78.54	+23.54	
-10	-79.04	-33.20	
+11	+89.96	+20.39	
-11	-90.22	-30.41	
+12	+97.89	+17.87	
-12	-95.23	-24.62	

Deney sırasında R4-S1 elemanında oluşan çatlakların görüntüleri Şekil 4.96, Şekil 4.97, Şekil 4.98, Şekil 4.99, Şekil 4.100, Şekil 4.101, Şekil 4.102, Şekil 4.103, Şekil 4.104, Şekil 4.105 ve Şekil 4.106’da verilmiştir. Pozitif yöndeki çevrimlerde oluşan çatlaklar mavi renk ile işaretlenirken, negatif yöndeki çevrimlerde oluşan çatlaklar kırmızı renk ile işaretlenmiştir. R4-S1 numunesinin deney sonu görüntüsü Şekil 4.107’de verilmiştir.



Şekil 4.96. R4-S1 numunesinin +1 çevriminde oluşan çatlaklar



Şekil 4.97. R4-S1 numunesinin -1 çevriminde oluşan çatlaklar



Şekil 4.98. R4-S1 numunesinin +2 çevriminde oluşan çatlaklar



Şekil 4.99. R4-S1 numunesinin -2 çevriminde oluşan çatlaklar



Şekil 4.100. R4-S1 numunesinin +3 çevriminde oluşan çatlaklar



Şekil 4.101. R4-S1 numunesinin -3 çevriminde oluşan çatlaklar



Şekil 4.102. R4-S1 numunesinin +4 çevriminde oluşan çatlaklar



Şekil 4.103. R4-S1 numunesinin -4 çevriminde oluşan çatlaklar



Şekil 4.104. R4-S1 numunesinin +5 çevriminde oluşan çatlaklar

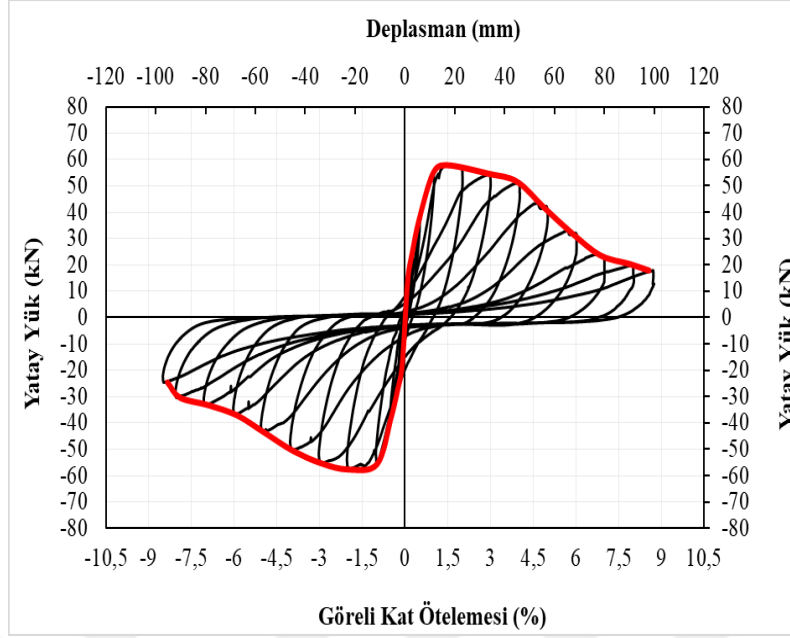


Şekil 4.105. R4-S1 numunesinin +6 çevriminde oluşan çatlaklar

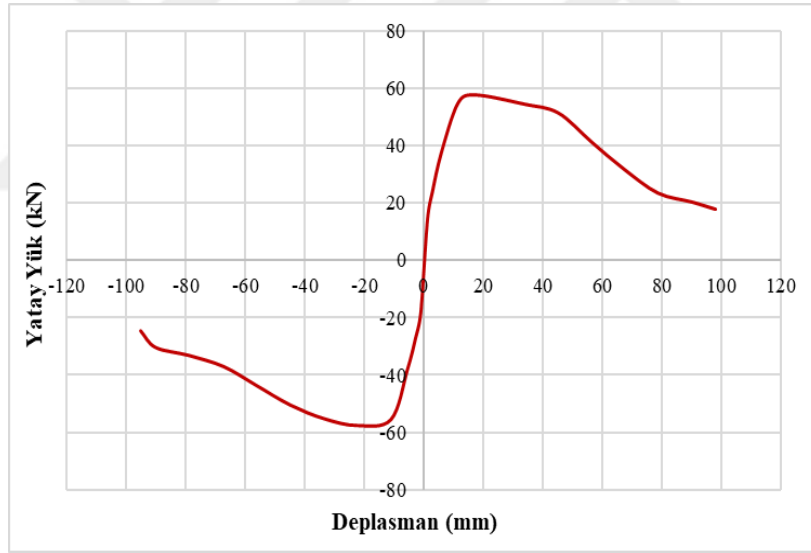


Şekil 4.106. R4-S1 numunesinin deney sonu görünümü

R4-S1 numunesinin yatay yönde maruz kaldığı maksimum yatay yük pozitif yönde 57.81 kN ve bu yükteki deplasmanı 16.85 mm iken, negatif yöndeki maksimum yatay yük - 57.67 kN ve bu yükteki deplasmanı -22.54 mm'dir. Numuneye ait çevrimsel yatay yük-tepe deplasmanı histerezis eğrisi Şekil 4.107'de, bu histerezis eğrisine ait dayanım zarfı eğrisi Şekil 4. 108'de verilmiştir.

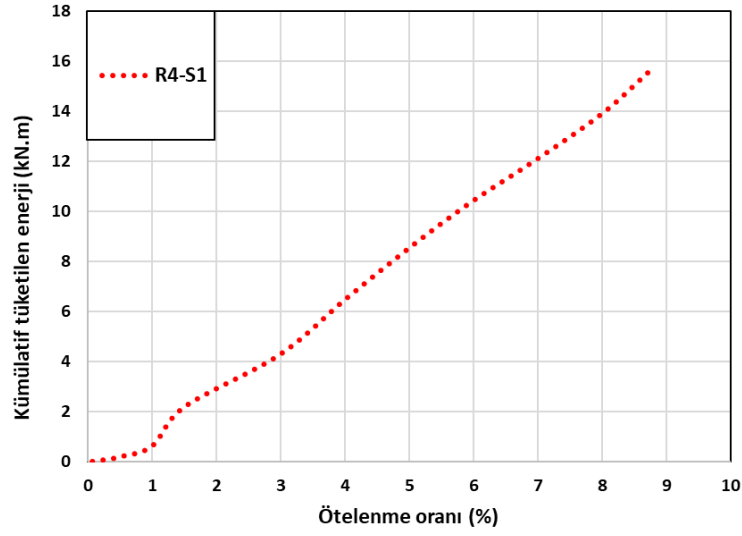


Şekil 4.107. R4-S1 numunesinin histerezis eğrisi



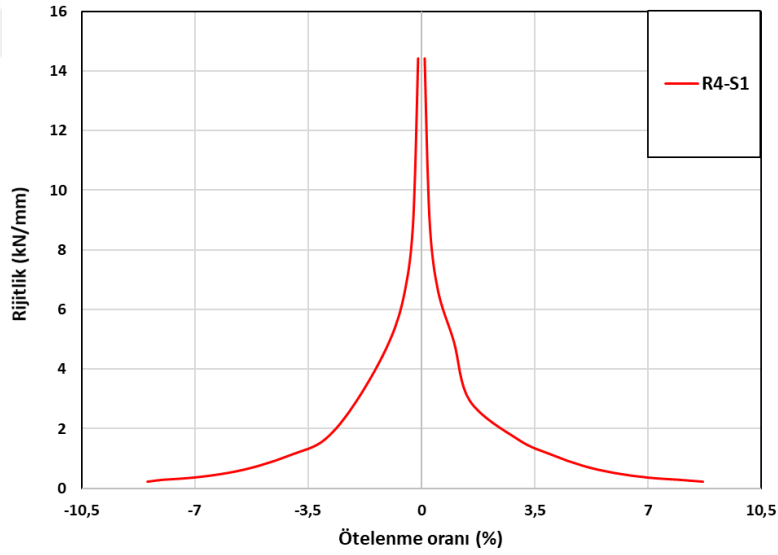
Şekil 4.108. R4-S1 numunesinin dayanım zarfı eğrisi

Elemanın histerezis eğrisinin altında kalan alanın hesaplanması ile enerji tüketme kapasitesi bulunabilir. Tüketilen kümülatif enerjinin ötelenme oranına göre çizilen grafiği Şekil 4.109'da verilmiştir.



Şekil 4.109. R4-S1 numunesinin tüketilen kümülatif enerji eğrisi

Her bir çevrimde elde edilen maksimum yatay yükün, karşılık gelen yatay deplasmana oranından yola çıkarak her bir çevrimde elde edilen rijitlik değerleri hesap edilmiştir (Şekil 4.110).



Şekil 4.110. R4-S1 numunesinin rijitlik eğrisi

4.1.8. SIFCON'lu Deney (R5-S1)

R5-S1 deney numunesi üst katı tamamen, alt katı 1/4 oranında tuğla duvar ile örölü, alt katta duvar örülmeven bölgenin köşe noktalarında L SIFCON paneller kullanılan iki katlı tek açıklıklı çerçeveden oluşmaktadır. Bu deney elemanı, güçlendirilmemiş numuneler arasındaki farkları incelemek için tersinir tekrarlanır yükler altında test edilmiştir. Referans çerçevenin deney öncesi görünümü Şekil 4.111'de görülmektedir.



Şekil 4.111. R5-S1 numunesinin deney öncesi görünümü

Deneyler deplasman kontrollü olarak tersinir tekrarlanır şekilde yapılmıştır. R5-S1 elemanı maksimum yüke 5. çevrimde ulaşmıştır ve bu çevrimden sonra yük azalmaya başlamıştır. Elemanda büyük hasarlar meydana geldiği için deneye 10. çevrimde son

verilmiştir. Numune pozitif çevrimlerde maksimum 49.04 kN yatay yüke ulaşırken, negatif çevrimlerde maksimum -50.01 kN yatay yüke ulaşmıştır. Deney esnasında R5-S1 elemanında oluşan hasarların, hangi çevrimlerde meydana geldiği Tablo 4.8’de gösterilmiştir.

Tablo 4.8. R5-S1 numunesinin çevrimlerine göre oluşan çatlakların dağılımı

Çevrim No	Tepe (mm)	Deplasmanı	Yatay Yük (kN)	Oluşan Çatlak Numarası
+1	+1.10		+10.46	
-1	-1.28		-15.81	
+2	+2.81		+18.26	1,2,3,4,5,6
-2	-3.38		-24.60	-1,-2,-3,-4,-5,-6,-7,-8,-9
+3	+5.65		+29.23	7,8,9, 10,11,12
-3	-5.65		-32.87	-10,-11,-12,-13
+4	+11.20		+43.98	
-4	-11.35		-46.55	-14
+5	+22.46		+49.04	13,14
-5	-22.71		-50.01	-14,-15
+6	+33.61		+47.25	16,17,18
-6	-33.91		-47.92	
+7	+44.84		+44.74	
-7	-44.84		-42.29	
+8	+56.27		+42.24	
-8	-56.38		-39.95	
+9	+67.39		+39.69	
-9	-66.60		-38.16	
+10	+79.32		+35.33	
-10	-77.37		-33.06	

Deney sırasında R5-S1 elemanında oluşan çatlakların görüntüleri Şekil 4.112, Şekil 4.113, Şekil 4.114, Şekil 4.115, Şekil 4.116, Şekil 4.117, Şekil 4.118 ve Şekil 4.119’da verilmiştir. Pozitif yöndeki çevrimlerde oluşan çatlaklar mavi renk ile işaretlenirken, negatif yöndeki çevrimlerde oluşan çatlaklar kırmızı renk ile işaretlenmiştir. R5-S1 numunesinin deney sonu görüntüsü Şekil 4.120’de verilmiştir.



Şekil 4.112. R5-S1 numunesinin +2 çevriminde oluşan çatlaklar



Şekil 4.113. R5-S1 numunesinin -2 çevriminde oluşan çatlaklar



Şekil 4.114. R5-S1 numunesinin +3 çevriminde oluşan çatlaklar



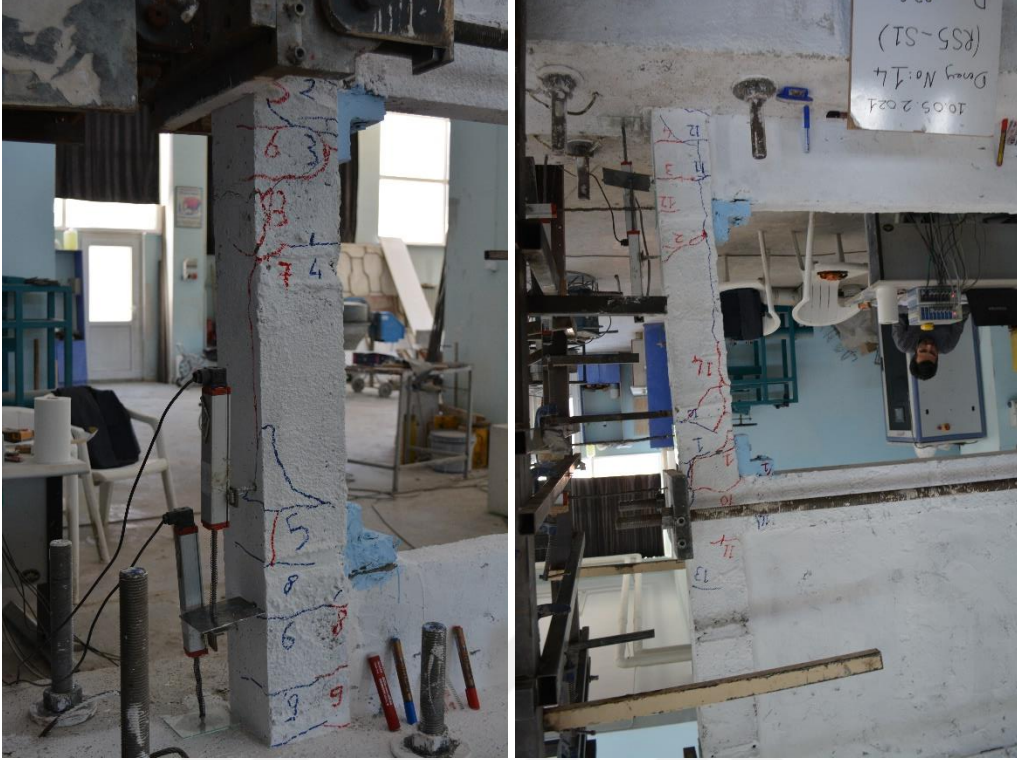
Şekil 4.115. R5-S1 numunesinin -3 çevriminde oluşan çatlaklar



Şekil 4.116. R5-S1 numunesinin -4 çevriminde oluşan çatlaklar



Şekil 4.117. R5-S1 numunesinin +5 çevriminde oluşan çatlaklar



Şekil 4.118. R5-S1 numunesinin -5 çevriminde oluşan çatlaklar

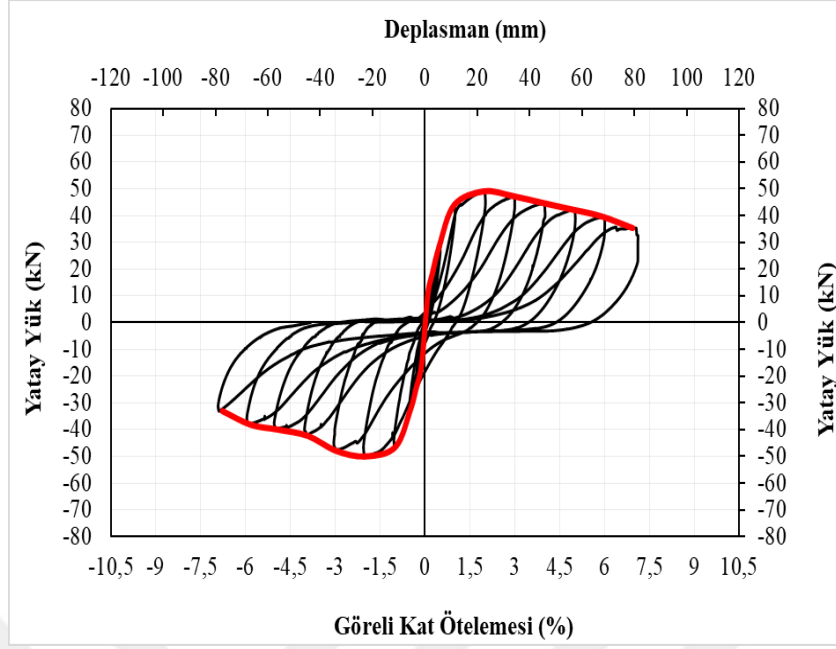


Şekil 4.119. R5-S1 numunesinin +6 çevriminde oluşan çatlaklar

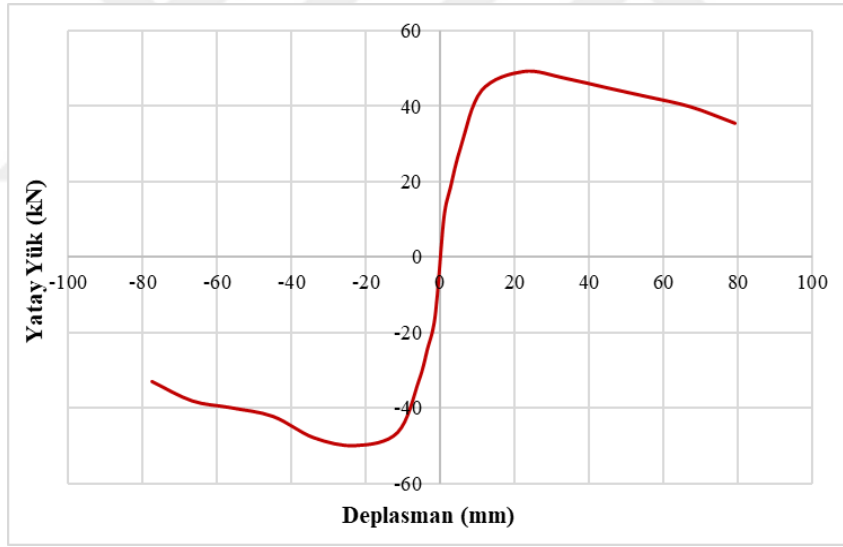


Şekil 4.120. R5-S1 numunesinin deney sonu görünümü

R5-S1 numunesinin yatay yönde maruz kaldığı maksimum yatay yük pozitif yönde 49.04 kN ve bu yükteki deplasmanı 22.46 mm iken, negatif yöndeki maksimum yatay yük - 50.01 kN ve bu yükteki deplasmanı -22.71 mm'dir. Numuneye ait çevrimsel yatay yük-tepe deplasmanı histerezis eğrisi Şekil 4.121'de, bu histerezis eğrisine ait dayanım zarfı eğrisi Şekil 4. 122'de verilmiştir.

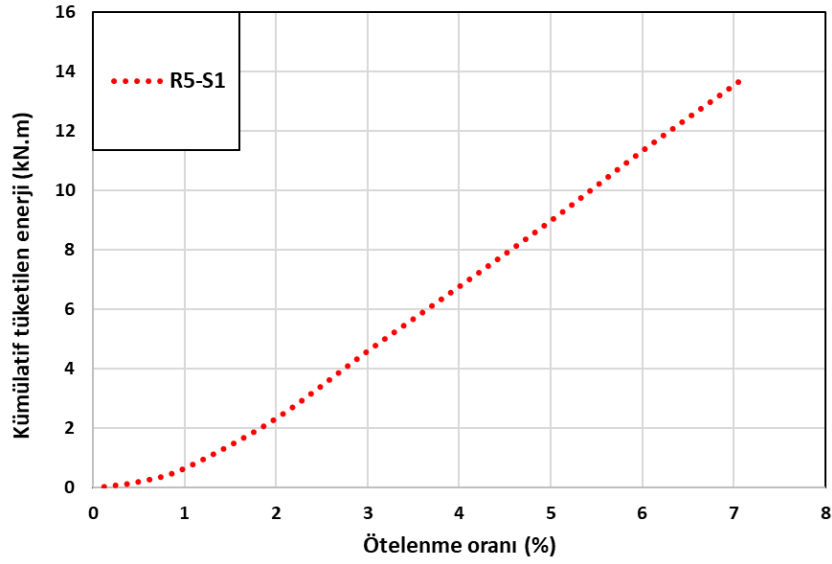


Şekil 4.121. R5-S1 numunesinin histerezis eğrisi



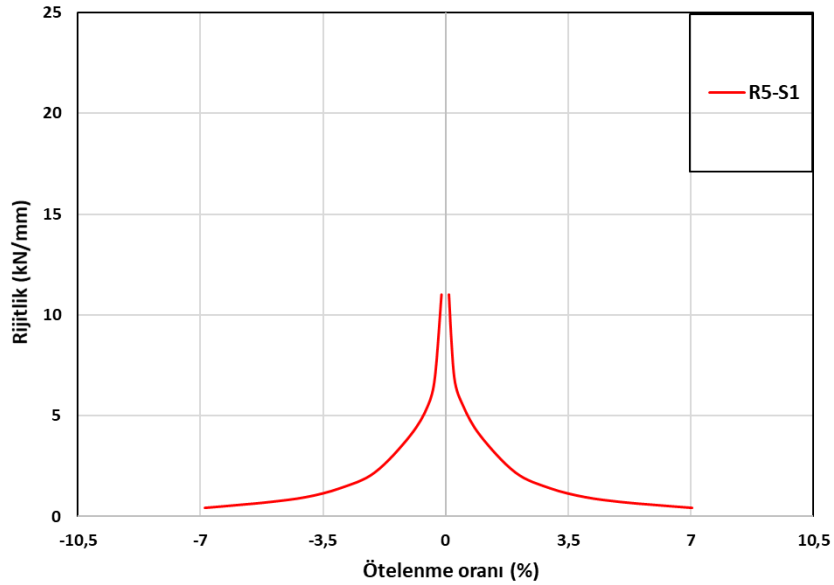
Şekil 4.122. R5-S1 numunesinin dayanım zarfı eğrisi

Elemanın histerezis eğrisinin altında kalan alanın hesaplanması ile enerji tüketme kapasitesi bulunabilir. Tüketilen kümülatif enerjinin ötelenme oranına göre çizilen grafiği Şekil 4.123'te verilmiştir.



Şekil 4.123. R5-S1 numunesinin tüketilen kümülatif enerji eğrisi

Her bir çevrimde elde edilen maksimum yatay yükün, karşılık gelen yatay deplasmana oranından yola çıkarak her bir çevrimde elde edilen rijitlik değerleri hesap edilmiştir (Şekil 4.124).



Şekil 4.124. R5-S1 numunesinin rijitlik eğrisi

4.1.9. SIFCON'lu Deney (R3-S2)

R3-S2 deney numunesi üst katı tamamen, alt katı 3/4 oranında tuğla duvar ile örölü, alt katta duvar örölmeyen bölgenin kenarlarında U SIFCON paneller kullanılan iki katlı tek açıklıklı çerçeveden oluşmaktadır. Bu deney elemanı, güçlendirilmemiş numuneler arasındaki farkları incelemek için tersinir tekrarlanır yükler altında test edilmiştir. Referans çerçevenin deney öncesi görünümü Şekil 4.125'te görölmektedir.



Şekil 4.125. R3-S2 numunesinin deney öncesi görünümü

Deneyler deplasman kontrollü olarak tersinir tekrarlanır şekilde yapılmıştır. R3-S2 elemanı maksimum yüke 5. çevrimde ulaşmıştır ve bu çevrimden sonra yük azalmaya başlamıştır. Elemanda büyük hasarlar meydana geldiği için deneye 12. çevrimde son verilmiştir. Numune pozitif çevrimlerde maksimum 67.35 kN yatay yüke ulaşırken, negatif

çevrimlerde maksimum -65.30 kN yatay yüke ulaşmıştır. Deney esnasında R3-S2 elemanında oluşan hasarların, hangi çevrimlerde meydana geldiği Tablo 4.9’da gösterilmiştir.

Tablo 4.9. R3-S2 numunesinin çevrimlerine göre oluşan çatlakların dağılımı

Çevrim No	Tepe (mm)	Deplasmanı	Yatay Yük (kN)	Oluşan Çatlak Numarası
+1	+1.10		+22.63	1
-1	-1.11		-29.24	
+2	+2.80		+37.75	2,3,4
-2	-2.80		-43.81	-1,-2,-3
+3	+5.57		+47.97	5,6,7
-3	-5.63		-52.58	-4,-5,-6,-7,-8,-9
+4	+11.20		+66.45	8,9,10,11,12,13,14, 15,16,17,18,19,20,21
-4	-10.97		-65.30	-10,-11,-12,-13
+5	+21.77		+67.35	22,23
-5	-19.23		-65.10	-15,-16,-17,-18
+6	+33.60		+60.83	24
-6	-33.48		-57.63	-19
+7	+44.87		+53.79	
-7	-44.67		-54.34	
+8	+52.45		+47.48	
-8	-56.35		-51.32	
+9	+67.54		+44.04	
-9	-67.40		-47.88	
+10	+78.34		+37.25	
-10	-78.52		-45.54	
+11	+89.93		+32.63	
-11	-92.24		-43.99	
+12	+101.05		+27.14	
-12	-102.36		-40.54	

Deney sırasında R3-S2 elemanında oluşan çatlakların görüntüleri Şekil 4.126, Şekil 4.127, Şekil 4.128, Şekil 4.129, Şekil 4.130, Şekil 4.131, Şekil 4.132, Şekil 4.133, Şekil 4.134, Şekil 4.135 ve Şekil 4.136’da verilmiştir. Pozitif yöndeki çevrimlerde oluşan çatlaklar mavi renk ile işaretlenirken, negatif yöndeki çevrimlerde oluşan çatlaklar kırmızı renk ile işaretlenmiştir. R3-S2 numunesinin deney sonu görüntüsü Şekil 4.137’de verilmiştir.



Şekil 4.126. R3-S2 numunesinin +1 çevriminde oluşan çatlaklar



Şekil 4.127. R3-S2 numunesinin +2 çevriminde oluşan çatlaklar



Şekil 4.128. R3-S2 numunesinin -2 çevriminde oluşan çatlaklar



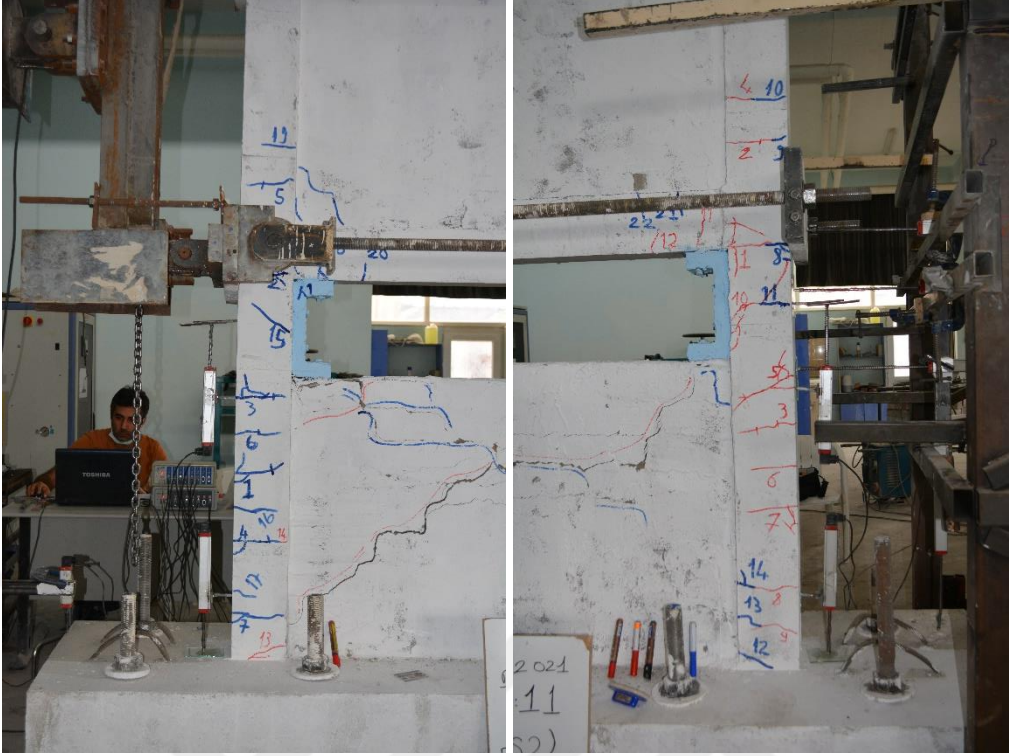
Şekil 4.129. R3-S2 numunesinin +3 çevriminde oluşan çatlaklar



Şekil 4.130. R3-S2 numunesinin -3 çevriminde oluşan çatlaklar



Şekil 4.131. R3-S2 numunesinin +4 çevriminde oluşan çatlaklar



Şekil 4.132. R3-S2 numunesinin -4 çevriminde oluşan çatlaklar



Şekil 4.133. R3-S2 numunesinin +5 çevriminde oluşan çatlaklar



Şekil 4.134. R3-S2 numunesinin -5 çevriminde oluşan çatlaklar



Şekil 4.135. R3-S2 numunesinin +6 çevriminde oluşan çatlaklar

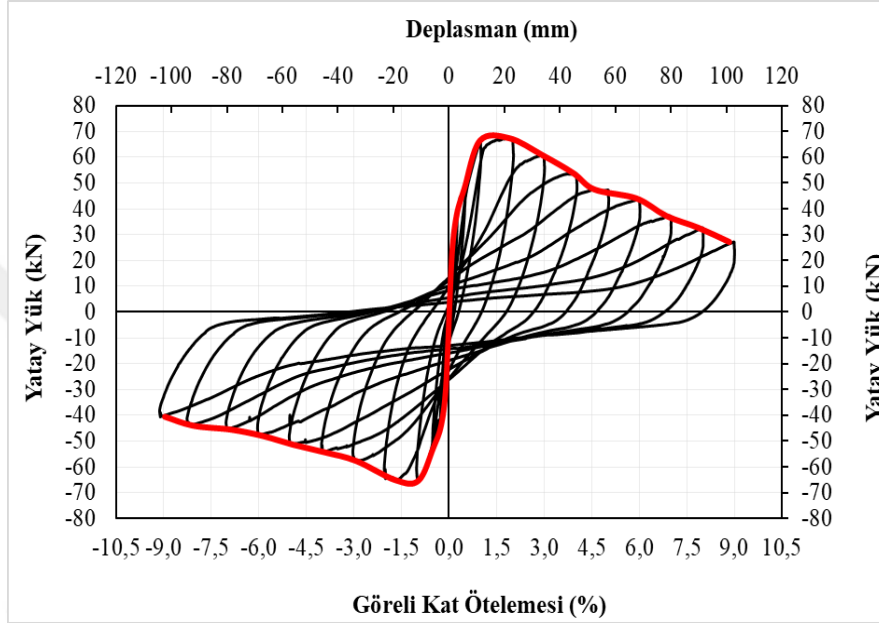


Şekil 4.136. R3-S2 numunesinin -6 çevriminde oluşan çatlaklar

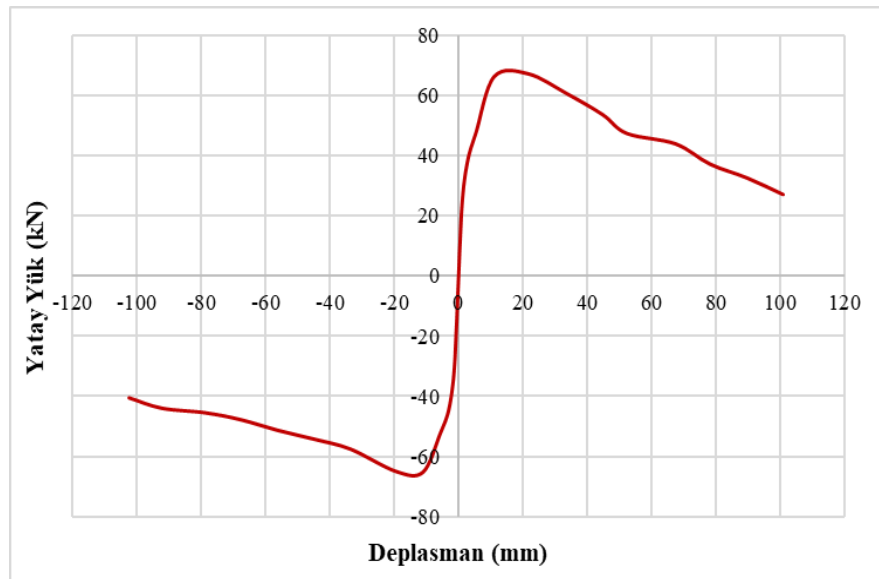


Şekil 4.137. R3-S2 numunesinin deney sonu görünümü

R3-S2 numunesinin yatay yönde maruz kaldığı maksimum yatay yük pozitif yönde 67.35 kN ve bu yükteki deplasmanı 21.77 mm iken, negatif yöndeki maksimum yatay yük -65.30 kN ve bu yükteki deplasmanı -10.97 mm'dir. Numuneye ait çevrimsel yatay yük-tepe deplasmanı histerezis eğrisi Şekil 4.138'de, bu histerezis eğrisine ait dayanım zarfı eğrisi Şekil 4.139'da verilmiştir.

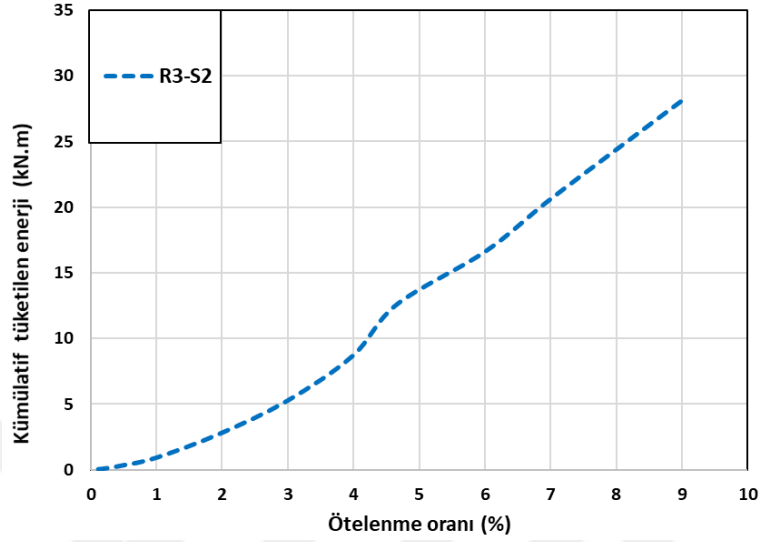


Şekil 4.138. R3-S2 numunesinin histerezis eğrisi



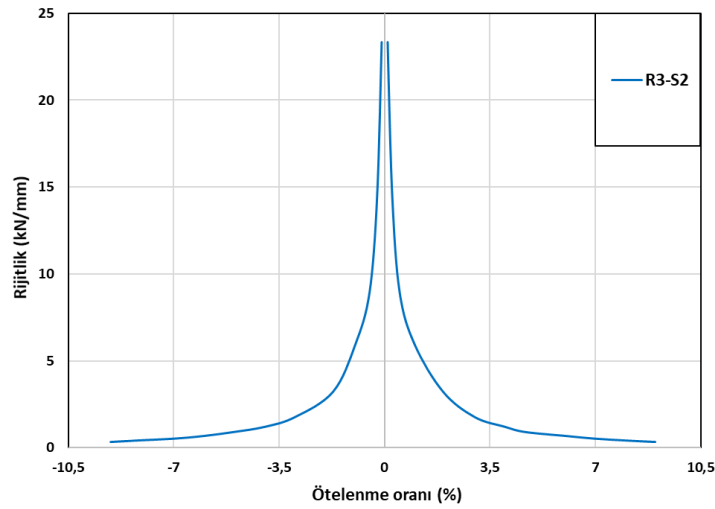
Şekil 4.139. R3-S2 numunesinin dayanım zarfı eğrisi

Elemanın histerezis eğrisinin altında kalan alanın hesaplanması ile enerji tüketme kapasitesi bulunabilir. Tüketilen kümülatif enerjinin ötelenme oranına göre çizilen grafiği Şekil 4.140'da verilmiştir.



Şekil 4.140. R3-S2 numunesinin tüketilen kümülatif enerji eğrisi

Her bir çevrimde elde edilen maksimum yatay yükün, karşılık gelen yatay deplasmana oranından yola çıkarak her bir çevrimde elde edilen rijitlik değerleri hesap edilmiştir (Şekil 4.141).



Şekil 4.141. R3-S2 numunesinin rijitlik eğrisi

4.1.10. SIFCON'lu Deney (R4-S2)

R4-S2 deney numunesi üst katı tamamen, alt katı 1/2 oranında tuğla duvar ile örölü, alt katta duvar örülmeyen bölgenin kenarlarında U SIFCON paneller kullanılan iki katlı tek açıklıklı çerçeveden oluşmaktadır. Bu deney elemanı, güçlendirilmemiş numuneler arasındaki farkları incelemek için tersinir tekrarlanır yükler altında test edilmiştir. Referans çerçevenin deney öncesi görünümü Şekil 4.142'de görülmektedir.



Şekil 4.142. R4-S2 numunesinin deney öncesi görünümü

Deneyler deplasman kontrollü olarak tersinir tekrarlanır şekilde yapılmıştır. R4-S2 elemanı maksimum yüke 5. çevrimde ulaşmıştır ve bu çevrimden sonra yük azalmaya başlamıştır. Elemanda büyük hasarlar meydana geldiği için deneye 12. çevrimde son verilmiştir. Numune pozitif çevrimlerde maksimum 64.20 kN yatay yüke ulaşırken, negatif çevrimlerde maksimum -62.60 kN yatay yüke ulaşmıştır. Deney esnasında R4-S2 elemanında oluşan hasarların, hangi çevrimlerde meydana geldiği Tablo 4.10'da gösterilmiştir.

Tablo 4.10. R4-S2 numunesinin çevrimlerine göre oluşan çatlakların dağılımı

Çevrim No	Tepe (mm)	Deplasmanı	Yatay (kN)	Yük	Oluşan Numarası	Çatlak
+1		+0.87		+9.00		
-1		-1.10		-24.17		-1
+2		+3.63		+26.27		1,2,3,4,5
-2		-2.91		-33.78		-2,-3,-4
+3		+5.63		+35.77		6,7,8,9
-3		-5.57		-47.27		-5,-6,-7,-8,-9,-10
+4		+11.29		+57.88		10,11,12,13,14, 15,16,17,18
-4		-11.29		-61.84		-11,-12,-13,-14, -15,-16,-17,-18
+5		+19.63		+64.20		19,20
-5		-22.36		-62.60		-19,-20,-21
+6		+33.62		+49.32		24
-6		-34.00		-61.79		-22,-23,-24
+7		+44.73		+42.44		
-7		-47.80		-56.39		
+8		+56.19		+36.29		
-8		-56.43		-52.56		
+9		+67.34		+29.85		
-9		-67.80		-51.94		
+10		+78.71		+28.08		
-10		-78.91		-51.23		
+11		+89.87		+26.20		
-11		-89.91		-47.45		
+12		+101.28		+24.17		
-12		-101.81		-45.08		

Deney sırasında R4-S2 elemanında oluşan çatlakların görüntüleri Şekil 4.143, Şekil 4.144, Şekil 4.145, Şekil 4.146, Şekil 4.147, Şekil 4.148, Şekil 4.149, Şekil 4.150, Şekil 4.151, Şekil 4.152 ve Şekil 4.153'te verilmiştir. Pozitif yöndeki çevrimlerde oluşan çatlaklar mavi renk ile işaretlenirken, negatif yöndeki çevrimlerde oluşan çatlaklar kırmızı renk ile işaretlenmiştir. R4-S2 numunesinin deney sonu görüntüsü Şekil 4.154'te verilmiştir.



Şekil 4.143. R4-S2 numunesinin -1 çevriminde oluşan çatlaklar



Şekil 4.144. R4-S2 numunesinin +2 çevriminde oluşan çatlaklar



Şekil 4.145. R4-S2 numunesinin -2 çevriminde oluşan çatlaklar



Şekil 4.146. R4-S2 numunesinin +3 çevriminde oluşan çatlaklar



Şekil 4.147. R4-S2 numunesinin -3 çevriminde oluşan çatlaklar



Şekil 4.148. R4-S2 numunesinin +4 çevriminde oluşan çatlaklar



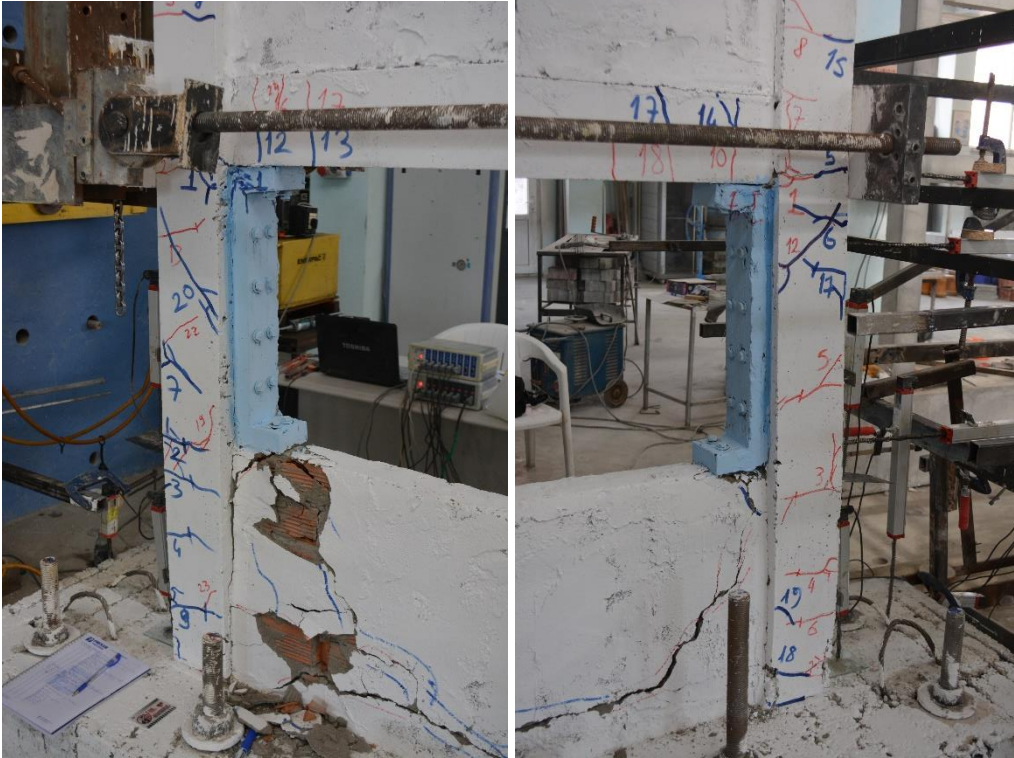
Şekil 4.149. R4-S2 numunesinin -4 çevriminde oluşan çatlaklar



Şekil 4.150. R4-S2 numunesinin +5 çevriminde oluşan çatlaklar



Şekil 4.151. R4-S2 numunesinin -5 çevriminde oluşan çatlaklar

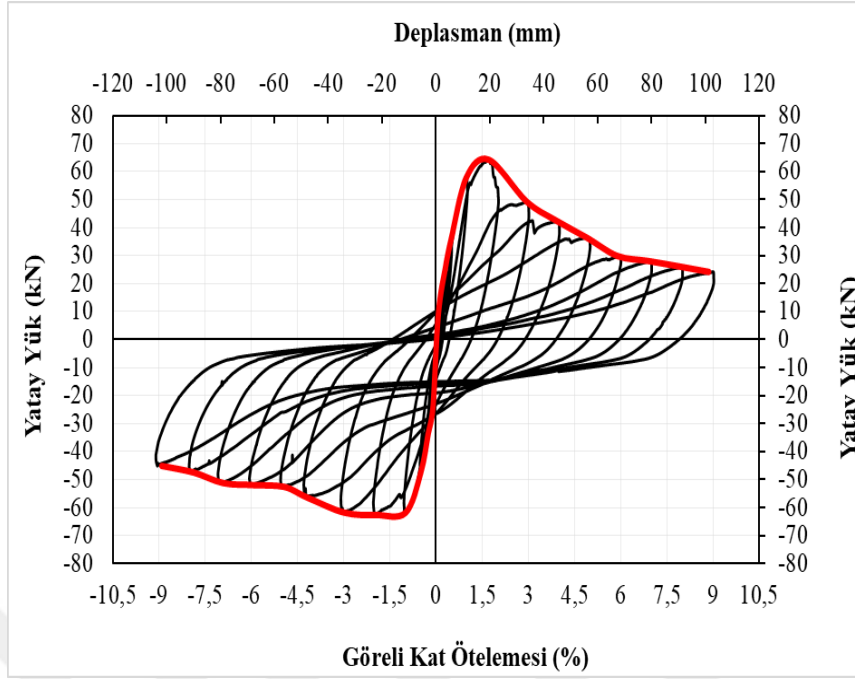


Şekil 4.152. R4-S2 numunesinin -6 çevriminde oluşan çatlaklar

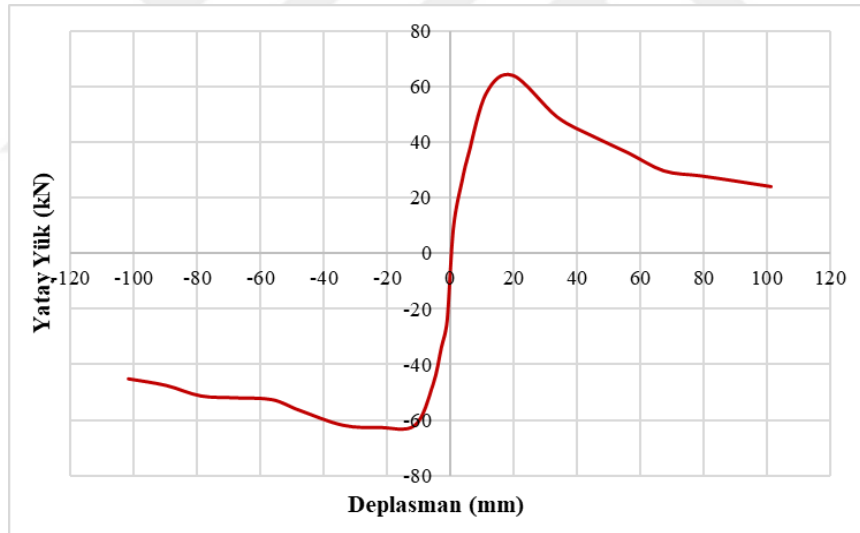


Şekil 4.153. R4-S2 numunesinin deney sonu görünümü

R4-S2 numunesinin yatay yönde maruz kaldığı maksimum yatay yük pozitif yönde 64.20 kN ve bu yükteki deplasmanı 19.67 mm iken, negatif yöndeki maksimum yatay yük - 62.60 kN ve bu yükteki deplasmanı -22.36 mm'dir. Numuneye ait çevrimsel yatay yük-tepe deplasmanı histerezis eğrisi Şekil 4.154'te, bu histerezis eğrisine ait dayanım zarfı eğrisi Şekil 4.155'te verilmiştir.

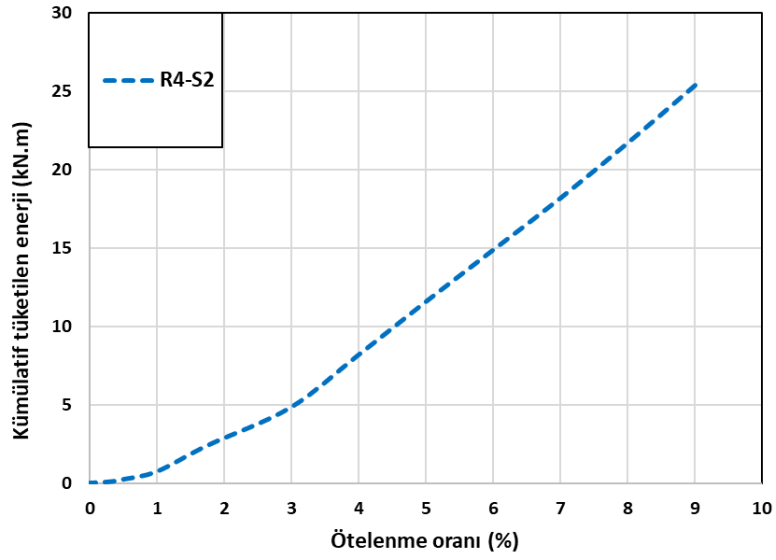


Şekil 4.154. R4-S2 numunesinin histerezis eğrisi



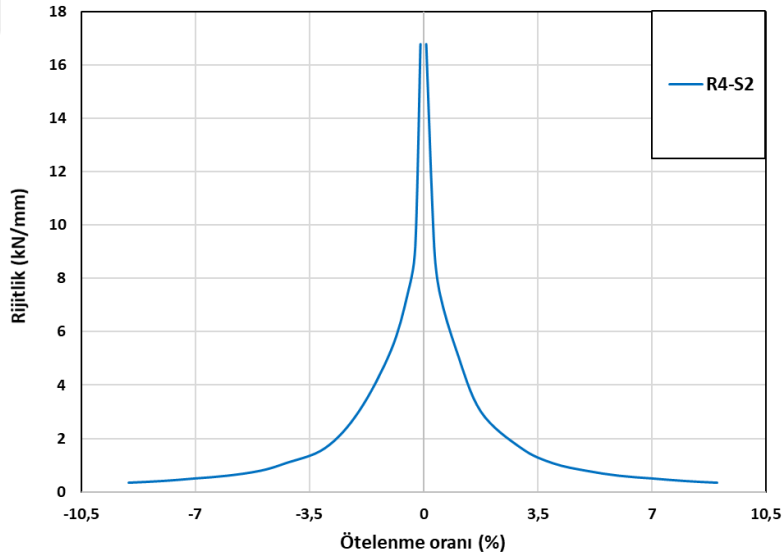
Şekil 4.155. R4-S2 numunesinin dayanım zarfı eğrisi

Elemanın histerezis eğrisinin altında kalan alanın hesaplanması ile enerji tüketme kapasitesi bulunabilir. Tüketilen kümülatif enerjinin ötelenme oranına göre çizilen grafiği Şekil 4.156'da verilmiştir.



Şekil 4.156. R4-S2 numunesinin tüketilen kümülatif enerji eğrisi

Her bir çevrimde elde edilen maksimum yatay yükün, karşılık gelen yatay deplasmana oranından yola çıkarak her bir çevrimde elde edilen rijitlik değerleri hesap edilmiştir (Şekil 4.157).



Şekil 4.157. R4-S2 numunesinin rijitlik eğrisi

4.1.11. SIFCON'lu Deney (R5-S2)

R5-S2 deney numunesi üst katı tamamen, alt katı 1/4 oranında tuğla duvar ile örölü, alt katta duvar örülmeyen bölgenin kenarlarında U SIFCON paneller kullanılan iki katlı tek açıklıklı çerçeveden oluşmaktadır. Bu deney elemanı, güçlendirilmemiş numuneler arasındaki farkları incelemek için tersinir tekrarlanır yükler altında test edilmiştir. Referans çerçevenin deney öncesi görünümü Şekil 4.158'de görülmektedir.



Şekil 4.158. R5-S2 numunesinin deney öncesi görünümü

Deneyler deplasman kontrollü olarak tersinir tekrarlanır şekilde yapılmıştır. R5-S2 elemanı maksimum yüke 4. çevrimde ulaşmıştır ve bu çevrimden sonra yük azalmaya başlamıştır. Elemanda büyük hasarlar meydana geldiği için deneye 11. çevrimde son

verilmiştir. Numune pozitif çevrimlerde maksimum 54.16 kN yatay yüke ulaşırken, negatif çevrimlerde maksimum -54.69 kN yatay yüke ulaşmıştır. Deney esnasında R5-S2 elemanında oluşan hasarların, hangi çevrimlerde meydana geldiği Tablo 4.11’de gösterilmiştir.

Tablo 4.11. R5-S2 numunesinin çevrimlerine göre oluşan çatlakların dağılımı

Çevrim No	Tepe Deplasmanı (mm)	Yatay Yük (kN)	Oluşan Çatlak Numarası
+1	+2.87	+14.87	1
-1	-2.86	-26.24	
+2	+5.63	+31.58	2,3,4,5
-2	-5.71	-40.22	-1,-2,-3,-4,-5,-6,-7
+3	+11.34	+44.81	6,7,8,9,10,11,12
-3	-11.12	-54.69	-8,-9,-10,-11
+4	+22.35	+54.16	13,14,15,16,17,18,19
-4	-18.63	-54.27	-12,-13,-14,-15,-16,-17
+5	+33.60	+53.34	20,21,22,23,24
-5	-33.51	-51.72	-18,-19,-20,-21,-22,-23
+6	+44.75	+50.56	
-6	-44.91	-50.32	
+7	+56.24	+49.16	
-7	-56.42	-49.90	
+8	+67.20	+47.07	
-8	-67.63	-49.26	
+9	+78.49	+44.41	
-9	-78.78	-48.45	
+10	+90.00	+42.05	
-10	-89.99	-45.01	
+11	+101.64	+39.05	
-11	-100.46	-39.99	

Deney sırasında R5-S2 elemanında oluşan çatlakların görüntüleri Şekil 4.159, Şekil 4.160, Şekil 4.161, Şekil 4.162, Şekil 4.163, Şekil 4.164, Şekil 4.165, Şekil 4.166 ve Şekil 4.167’de verilmiştir. Pozitif yöndeki çevrimlerde oluşan çatlaklar mavi renk ile işaretlenirken, negatif yöndeki çevrimlerde oluşan çatlaklar kırmızı renk ile işaretlenmiştir. R5-S2 numunesinin deney sonu görüntüsü Şekil 4.168’de verilmiştir.



Şekil 4.159. R5-S2 numunesinin +1 çevriminde oluşan çatlaklar



Şekil 4.160. R5-S2 numunesinin +2 çevriminde oluşan çatlaklar



Şekil 4.161. R5-S2 numunesinin -2 çevriminde oluşan çatlaklar



Şekil 4.162. R5-S2 numunesinin +3 çevriminde oluşan çatlaklar



Şekil 4.163. R5-S2 numunesinin -3 çevriminde oluşan çatlaklar



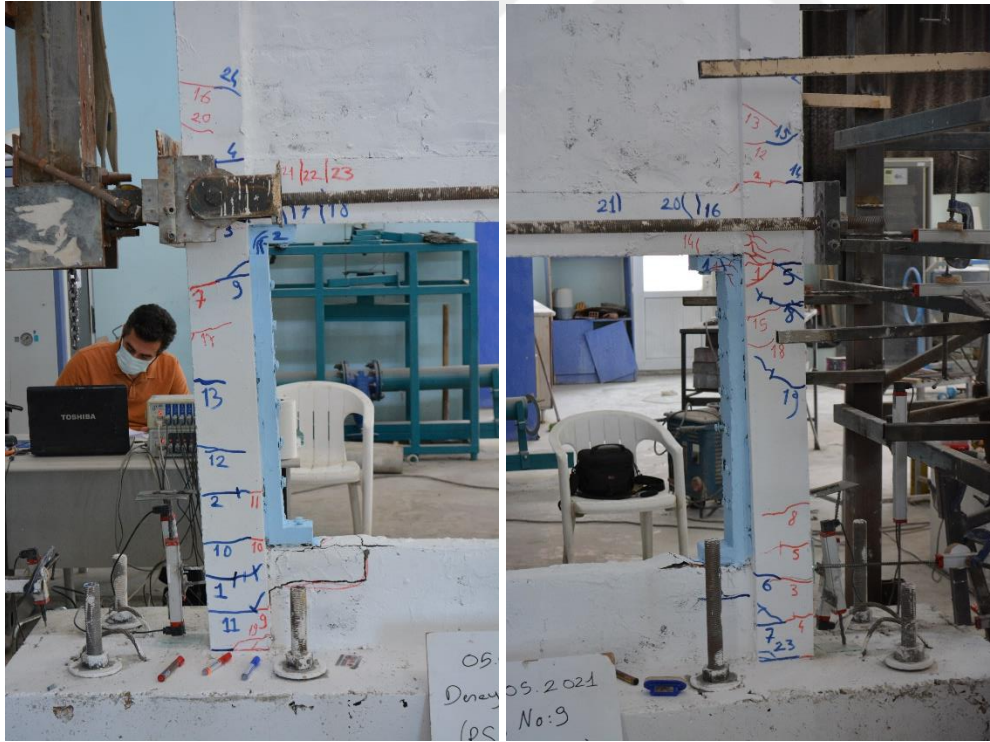
Şekil 4.164. R5-S2 numunesinin +4 çevriminde oluşan çatlaklar



Şekil 4.165. R5-S2 numunesinin -4 çevriminde oluşan çatlaklar



Şekil 4.166. R5-S2 numunesinin +5 çevriminde oluşan çatlaklar

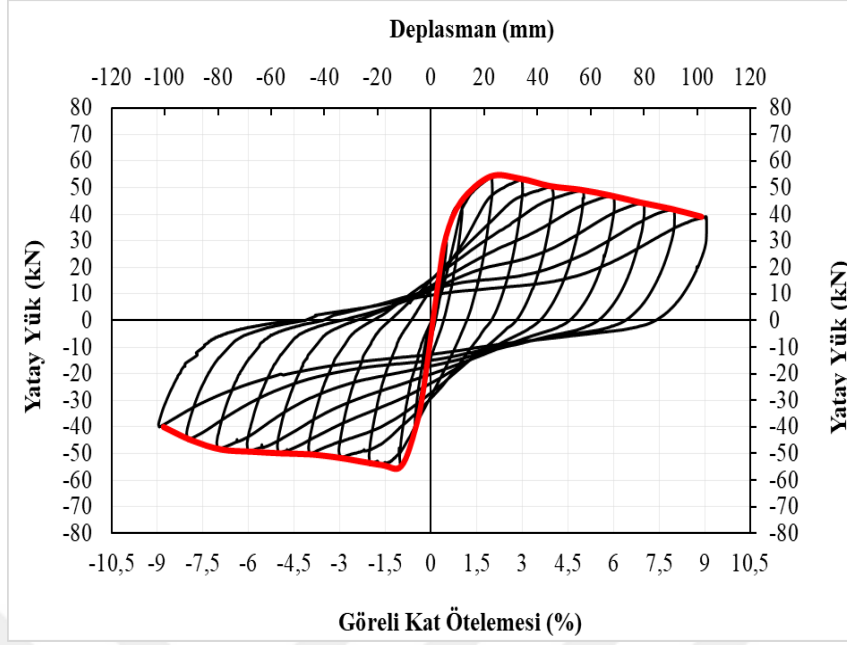


Şekil 4.167. R5-S2 numunesinin -5 çevriminde oluşan çatlaklar

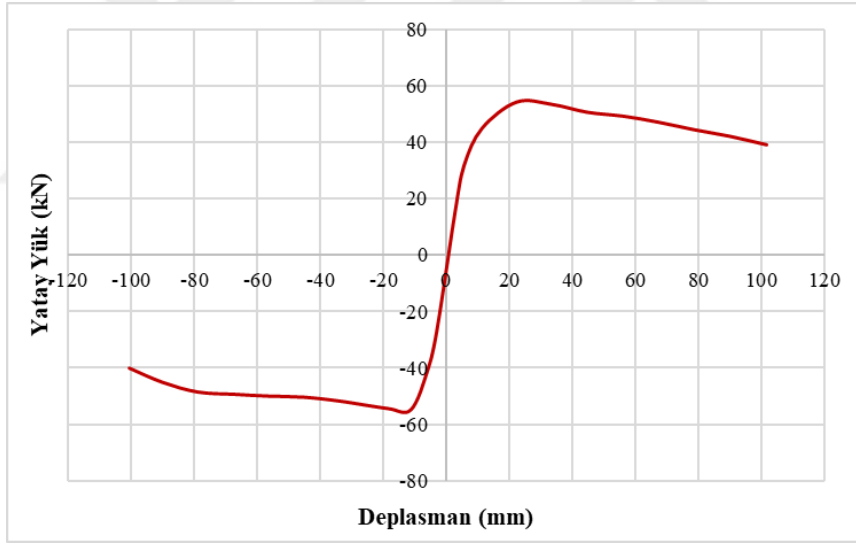


Şekil 4.168. R5-S2 numunesinin deney sonu görünümü

R5-S2 numunesinin yatay yönde maruz kaldığı maksimum yatay yük pozitif yönde 54.16 kN ve bu yükteki deplasmanı 22.35 mm iken, negatif yöndeki maksimum yatay yük - 54.69 kN ve bu yükteki deplasmanı -11.12 mm'dir. Numuneye ait çevrimsel yatay yük-tepe deplasmanı histerezis eğrisi Şekil 4.169'da, bu histerezis eğrisine ait dayanım zarfı eğrisi Şekil 4. 170'te verilmiştir.

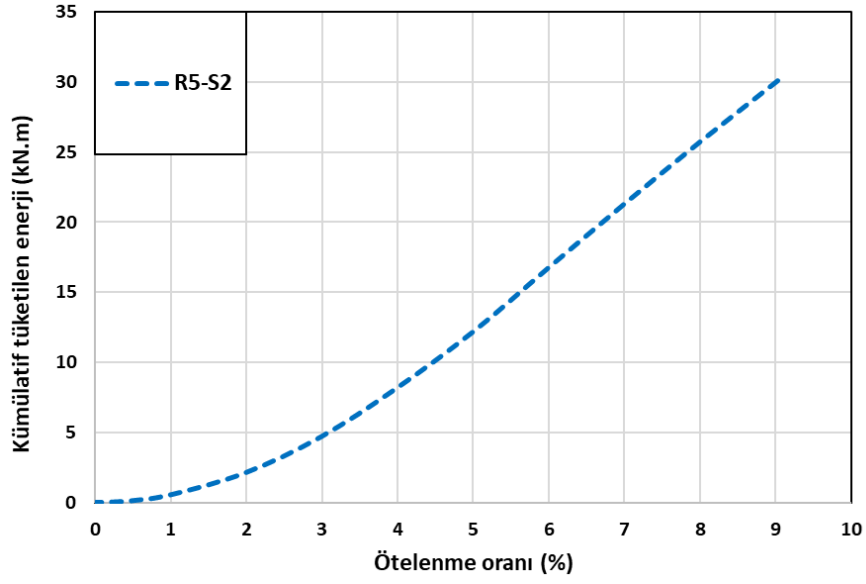


Şekil 4.169. R5-S2 numunesinin histerezis eğrisi



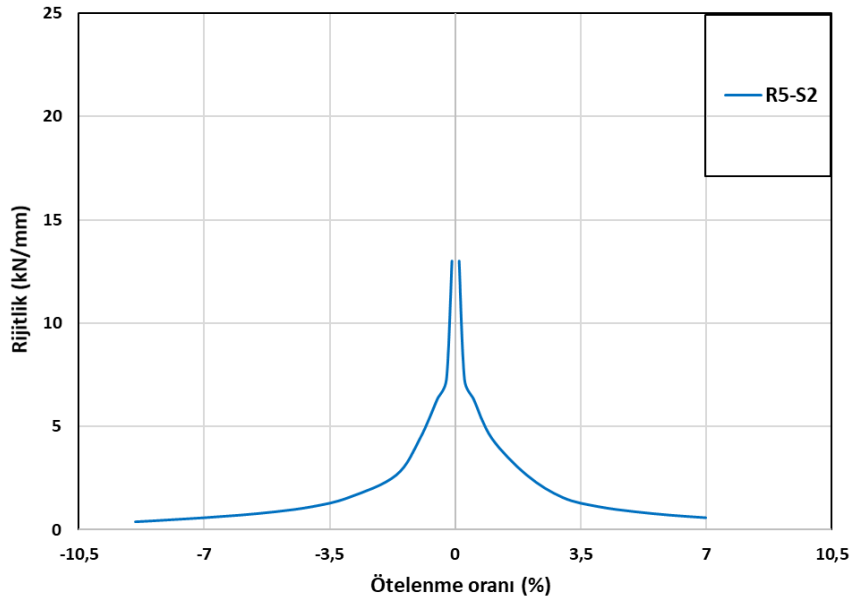
Şekil 4.170. R5-S2 numunesinin dayanım zarfı eğrisi

Elemanın histerezis eğrisinin altında kalan alanın hesaplanması ile enerji tüketme kapasitesi bulunabilir. Tüketilen kümülatif enerjinin ötelenme oranına göre çizilen grafiği Şekil 4.171’de verilmiştir.



Şekil 4.171. R5-S2 numunesinin tüketilen kümülatif enerji eğrisi

Her bir çevrimde elde edilen maksimum yatay yükün, karşılık gelen yatay deplasmana oranından yola çıkarak her bir çevrimde elde edilen rijitlik değerleri hesap edilmiştir (Şekil 4.172).



Şekil 4.172. R5-S2 numunesinin rijitlik eğrisi

4.1.12. SIFCON'lu Deney (R3-S3)

R3-S3 deney numunesi üst katı tamamen, alt katı 3/4 oranında tuğla duvar ile örülü, alt katta duvar örülmeyen bölgenin kenarlarında SIFCON paneller kullanılan iki katlı tek açıklıklı çerçeveden oluşmaktadır. Bu deney elemanı, güçlendirilmemiş numuneler arasındaki farkları incelemek için tersinir tekrarlanır yükler altında test edilmiştir. Referans çerçevenin deney öncesi görünümü Şekil 4.173'te görülmektedir.



Şekil 4.173. R3-S3 numunesinin deney öncesi görünümü

Deneyler deplasman kontrollü olarak tersinir tekrarlanır şekilde yapılmıştır. R3-S3 elemanı maksimum yüke 5. çevrimde ulaşmıştır ve bu çevrimden sonra yük azalmaya başlamıştır. Elemanda büyük hasarlar meydana geldiği için deneye 11. çevrimde son

verilmiştir. Numune pozitif çevrimlerde maksimum 69.48 kN yatay yüke ulaşırken, negatif çevrimlerde maksimum -68.41 kN yatay yüke ulaşmıştır. Deney esnasında R3-S3 elemanında oluşan hasarların, hangi çevrimlerde meydana geldiği Tablo 4.12’de gösterilmiştir.

Tablo 4.12. R3-S3 numunesinin çevrimlerine göre oluşan çatlakların dağılımı

Çevrim No	Tepe Deplasmanı (mm)	Yatay Yük (kN)	Oluşan Çatlak Numarası
+1	+1.11	+26.11	1,2,3
-1	-1.18	-27.24	
+2	+2.95	+32.27	4,5
-2	-2.83	-32.19	-1,-2,-3
+3	+5.63	44.57	6,7,8,9,10,11
-3	-5.60	-47.24	-4,-5,-6,-7
+4	+11.26	+61.98	12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22
-4	-11.21	-65.21	-8,-9,-10,-11,-12,-13
+5	+22.54	+69.48	23
-5	-22.43	-68.41	-14,-15,-16,-17-18, -19,-20,-21,-22,-23
+6	+33.77	+67.66	24,25,26
-6	-34.23	-63.11	
+7	+45.10	+68.06	
-7	-45.76	-63.39	
+8	+56.34	+65.94	
-8	-56.15	-61.53	
+9	+67.56	58.18	
-9	-68.17	-53.53	
+10	+78.81	51.46	
-10	-78.85	-53.33	
+11	+92.47	+46.82	
-11	-89.97	-49.83	

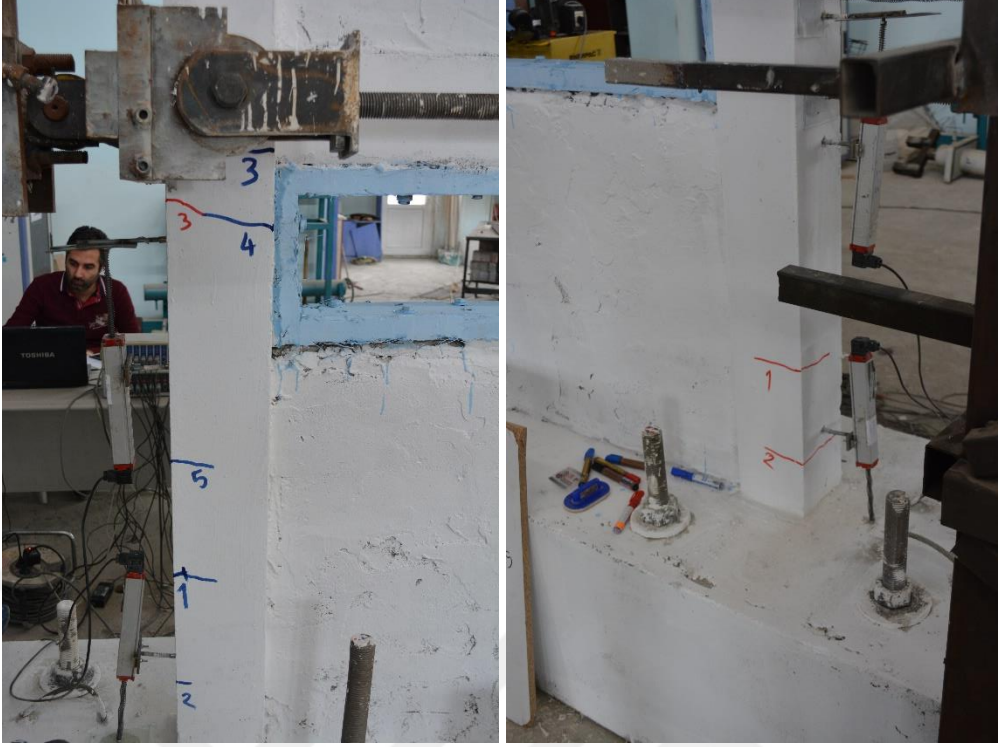
Deney sırasında R3-S3 elemanında oluşan çatlakların görüntüleri Şekil 4.174, Şekil 4.175, Şekil 4.176, Şekil 4.177, Şekil 4.178, Şekil 4.179, Şekil 4.180, Şekil 4.181, Şekil 4.182 ve Şekil 4.183’te verilmiştir. Pozitif yöndeki çevrimlerde oluşan çatlaklar mavi renk ile işaretlenirken, negatif yöndeki çevrimlerde oluşan çatlaklar kırmızı renk ile işaretlenmiştir. R3-S3 numunesinin deney sonu görüntüsü Şekil 4.184’te verilmiştir.



Şekil 4.174. R3-S3 numunesinin +1 çevriminde oluşan çatlaklar



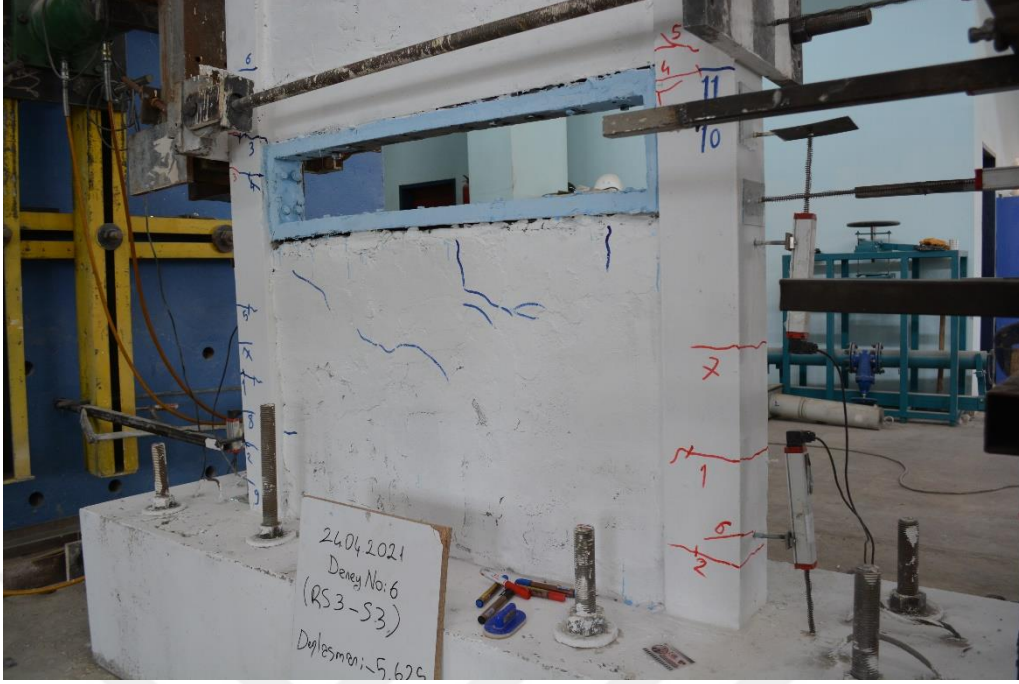
Şekil 4.175. R3-S3 numunesinin +2 çevriminde oluşan çatlaklar



Şekil 4.176. R3-S3 numunesinin -2 çevriminde oluşan çatlaklar



Şekil 4.177. R3-S3 numunesinin +3 çevriminde oluşan çatlaklar



Şekil 4.178. R3-S3 numunesinin -3 çevriminde oluşan çatlaklar



Şekil 4.179. R3-S3 numunesinin +4 çevriminde oluşan çatlaklar



Şekil 4.180. R3-S3 numunesinin -4 çevriminde oluşan çatlaklar



Şekil 4.181. R3-S3 numunesinin +5 çevriminde oluşan çatlaklar



Şekil 4.182. R3-S3 numunesinin -5 çevriminde oluşan çatlaklar

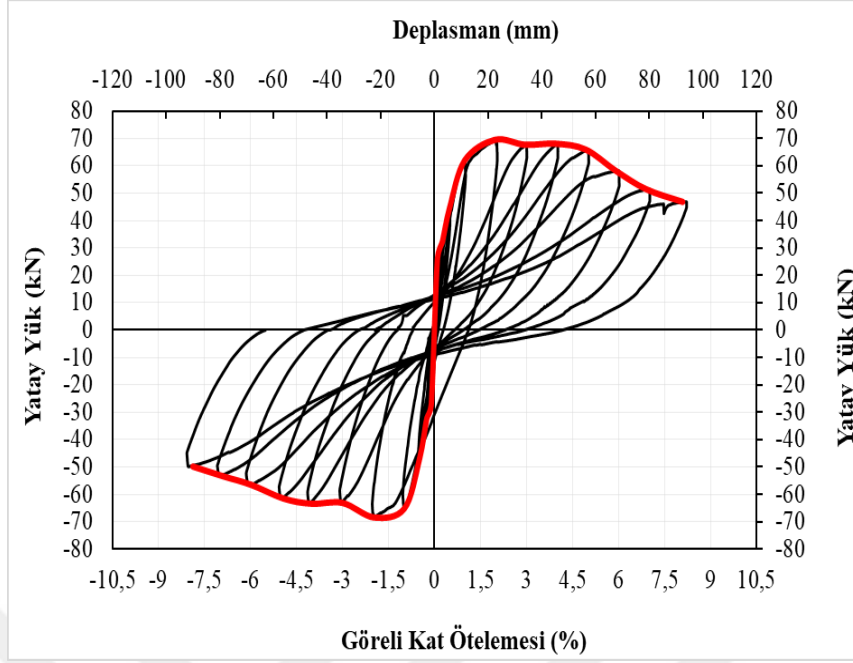


Şekil 4.183. R3-S3 numunesinin +6 çevriminde oluşan çatlaklar

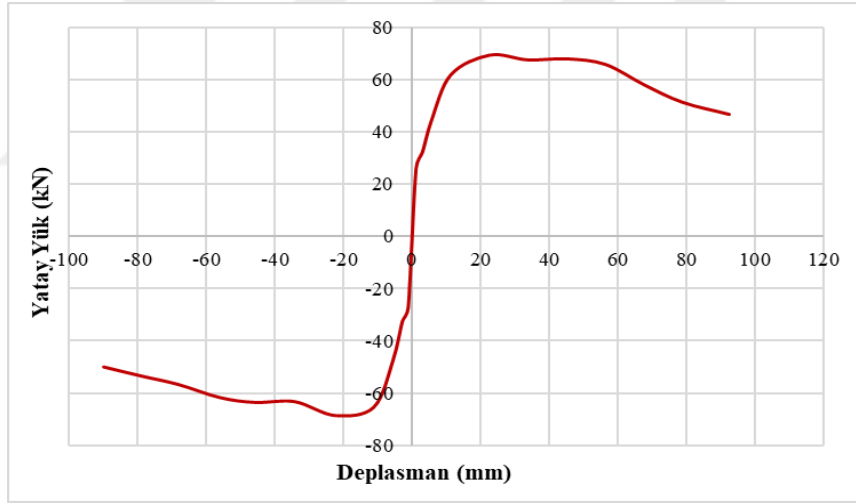


Şekil 4.184. R3-S3 numunesinin deney sonu görünümü

R3-S3 numunesinin yatay yönde maruz kaldığı maksimum yatay yük pozitif yönde 69.48 kN ve bu yükteki deplasmanı 22.54 mm iken, negatif yöndeki maksimum yatay yük - 68.41 kN ve bu yükteki deplasmanı -22.43 mm'dir. Numuneye ait çevrimsel yatay yük-tepe deplasmanı histerezis eğrisi Şekil 4.185'te, bu histerezis eğrisine ait dayanım zarfı eğrisi Şekil 4.186'da verilmiştir.

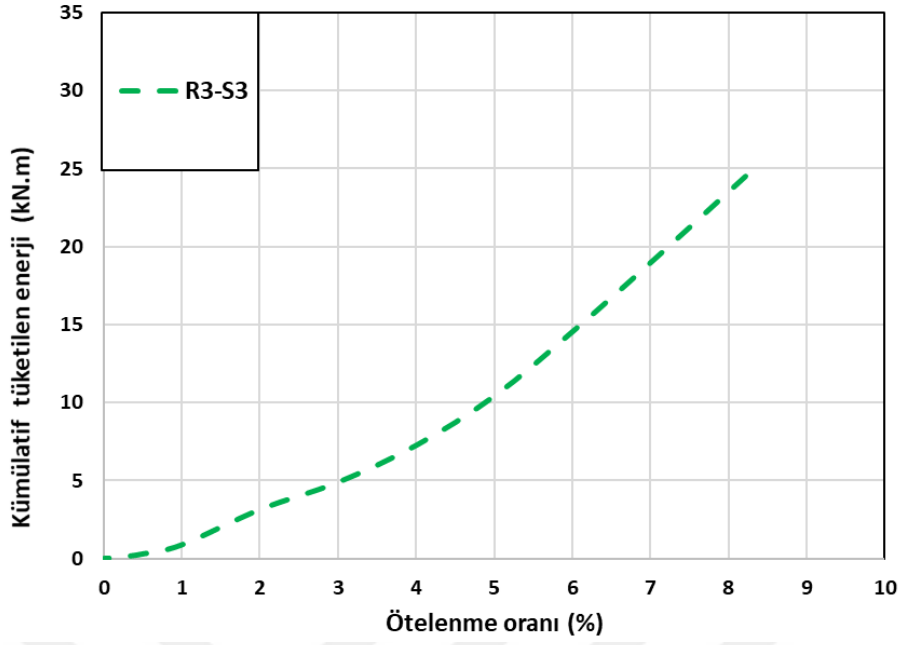


Şekil 4.185. R3-S3 numunesinin histerezis eğrisi



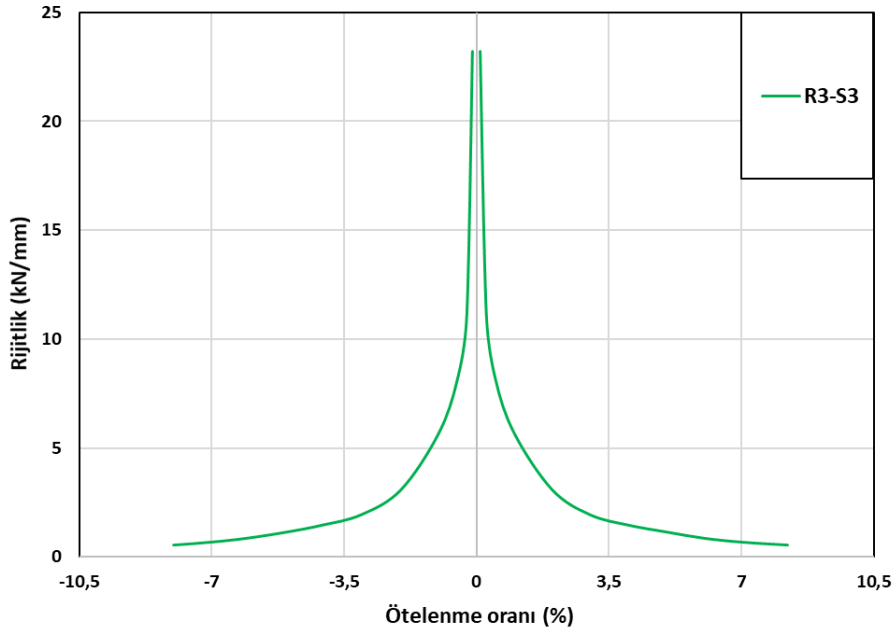
Şekil 4.186. R3-S3 numunesinin dayanım zarfı eğrisi

Elemanın histerezis eğrisinin altında kalan alanın hesaplanması ile enerji tüketme kapasitesi bulunabilir. Tüketilen kümülatif enerjinin ötelenme oranına göre çizilen grafiği Şekil 4.187’de verilmiştir.



Şekil 4.187. R3-S3 numunesinin tüketilen kümülatif enerji eğrisi

Her bir çevrimde elde edilen maksimum yatay yükün, karşılık gelen yatay deplasmana oranından yola çıkarak her bir çevrimde elde edilen rijitlik değerleri hesap edilmiştir (Şekil 4.188).



Şekil 4.188. R3-S3 numunesinin rijitlik eğrisi

4.1.13. SIFCON'lu Deney (R4-S3)

R4-S3 deney numunesi üst katı tamamen, alt katı 1/2 oranında tuğla duvar ile örölü, alt katta duvar örülmeyen bölgenin kenarlarında SIFCON paneller kullanılan iki katlı tek açıklıklı çerçeveden oluşmaktadır. Bu deney elemanı, güçlendirilmemiş numuneler arasındaki farkları incelemek için tersinir tekrarlanır yükler altında test edilmiştir. Referans çerçevenin deney öncesi görünümü Şekil 4.189'da görülmektedir.



Şekil 4.189. R4-S3 numunesinin deney öncesi görünümü

Deneyler deplasman kontrollü olarak tersinir tekrarlanır şekilde yapılmıştır. R4-S3 elemanı maksimum yüke 4. çevrimde ulaşmıştır ve bu çevrimden sonra yük azalmaya başlamıştır. Elemanda büyük hasarlar meydana geldiği için deneye 11. çevrimde son verilmiştir. Numune pozitif çevrimlerde maksimum 64.90 kN yatay yüke ulaşırken, negatif

çevrimlerde maksimum -64.72 kN yatay yüke ulaşmıştır. Deney esnasında R4-S3 elemanında oluşan hasarların, hangi çevrimlerde meydana geldiği Tablo 4.13'te gösterilmiştir.

Tablo 4.13. R4-S3 numunesinin çevrimlerine göre oluşan çatlakların dağılımı

Çevrim No	Tepe (mm)	Deplasmanı	Yatay Yük (kN)	Yük	Oluşan Çatlak Numarası
+1		+2.80		+7.56	1
-1		-2.92		-22.02	-1
+2		+5.60		+24.26	2,3,4
-2		-5.54		-38.56	-2,-3,-4,-5
+3		+11.27		+61.56	5,6,7,8,9,10,11
-3		-11.41		-60.93	-6
+4		+17.91		+64.90	12,13,14,15,16,17,18
-4		-22.45		-64.72	-7,-8,-9,-10,-11, -12,-13,-14,-15
+5		+33.74		+57.14	19
-5		-33.59		-62.94	-17-18
+6		+44.96		+51.42	
-6		-44.97		-60.51	
+7		+56.23		+47.32	
-7		-56.33		-57.76	
+8		+67.81		+45.46	
-8		-67.42		-55.58	
+9		+78.62		+42.95	
-9		-78.55		-53.81	
+10		+90.07		+40.26	
-10		-90.16		-51.65	
+11		+101.37		+36.99	
-11		-100.88		-46.47	

Deney sırasında R4-S3 elemanında oluşan çatlakların görüntüleri Şekil 4.190, Şekil 4.191, Şekil 4.192, Şekil 4.193, Şekil 4.194, Şekil 4.195, Şekil 4.196, Şekil 4.197, Şekil 4.198 ve Şekil 4.199'da verilmiştir. Pozitif yöndeki çevrimlerde oluşan çatlaklar mavi renk ile işaretlenirken, negatif yöndeki çevrimlerde oluşan çatlaklar kırmızı renk ile işaretlenmiştir. R4-S3 numunesinin deney sonu görüntüsü Şekil 4.200'de verilmiştir.



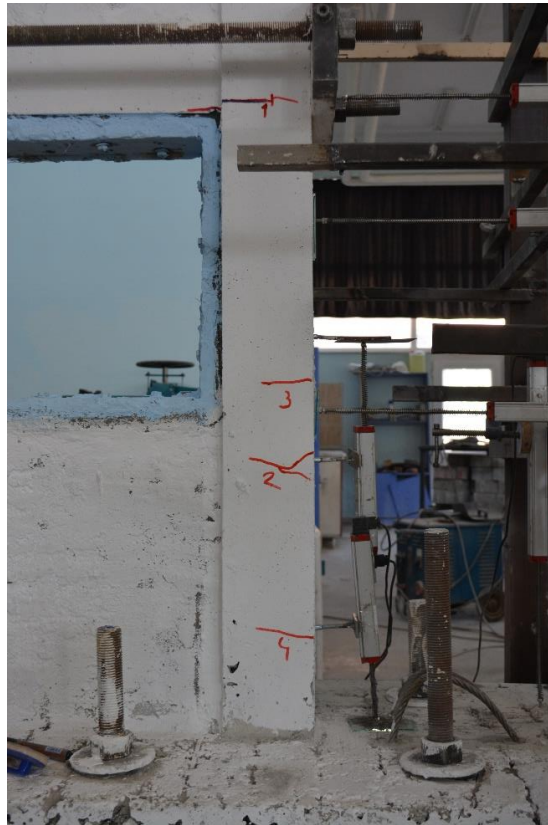
Şekil 4.190. R4-S3 numunesinin +1 çevriminde oluşan çatlaklar



Şekil 4.191. R4-S3 numunesinin -1 çevriminde oluşan çatlaklar



Şekil 4.192. R4-S3 numunesinin +2 çevriminde oluşan çatlaklar



Şekil 4.193. R4-S3 numunesinin -2 çevriminde oluşan çatlaklar



Şekil 4.194. R4-S3 numunesinin +3 çevriminde oluşan çatlaklar



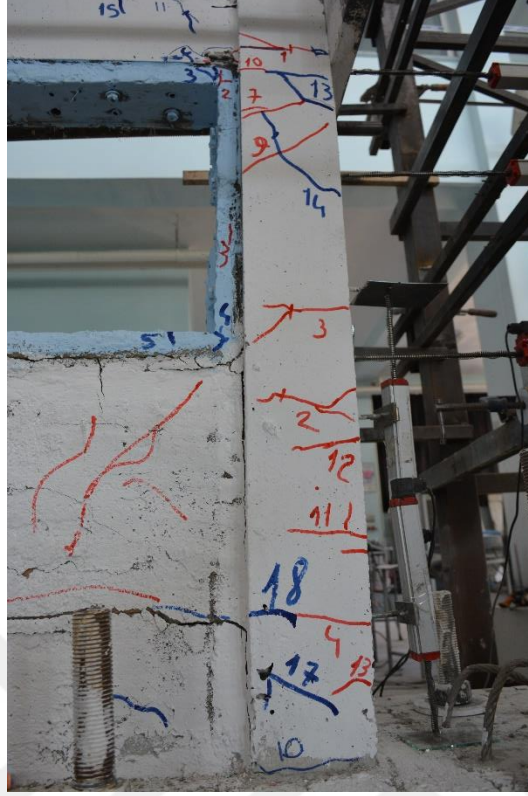
Şekil 4.195. R4-S3 numunesinin -3 çevriminde oluşan çatlaklar



Şekil 4.196. R4-S3 numunesinin +4 çevriminde oluşan çatlaklar



Şekil 4.197. R4-S3 numunesinin -4 çevriminde oluşan çatlaklar



Şekil 4.198. R4-S3 numunesinin +5 çevriminde oluşan çatlaklar

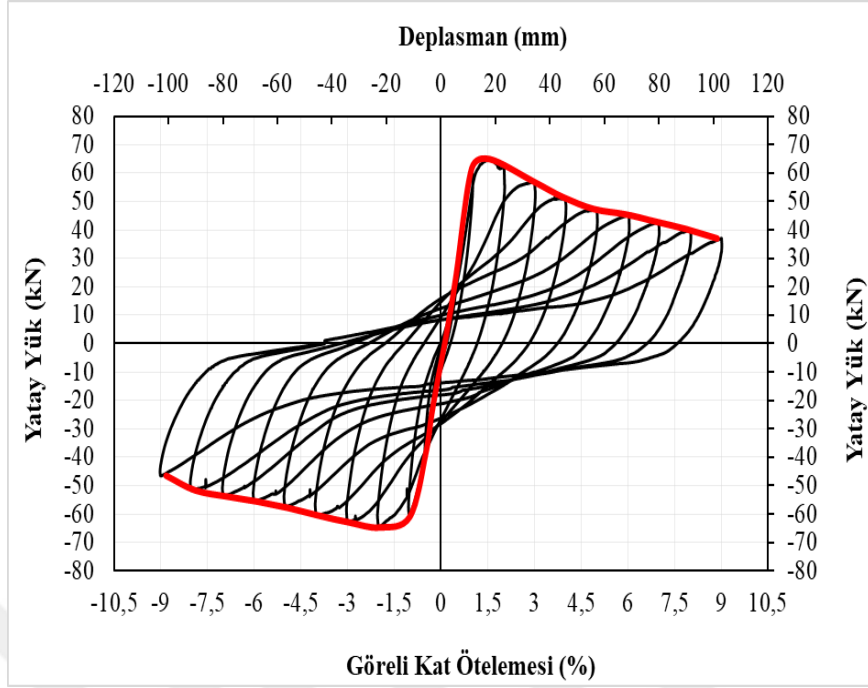


Şekil 4.199. R4-S3 numunesinin -5 çevriminde oluşan çatlaklar

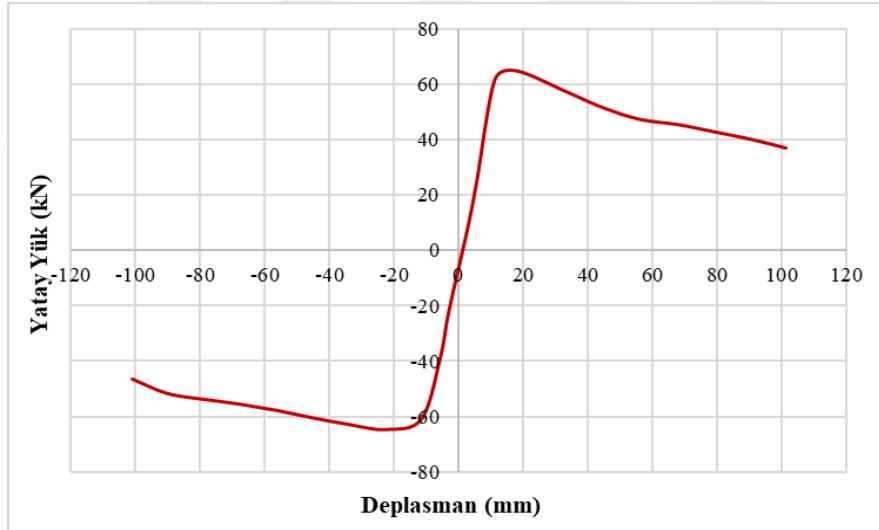


Şekil 4.200. R4-S3 numunesinin deney sonu görünümü

R4-S3 numunesinin yatay yönde maruz kaldığı maksimum yatay yük pozitif yönde 64.90 kN ve bu yükteki deplasmanı 17.91 mm iken, negatif yöndeki maksimum yatay yük - 64.72 kN ve bu yükteki deplasmanı -22.45 mm'dir. Numuneye ait çevrimsel yatay yük-tepe deplasmanı histerezis eğrisi Şekil 4.201'de, bu histerezis eğrisine ait dayanım zarfı eğrisi Şekil 4. 202'de verilmiştir.

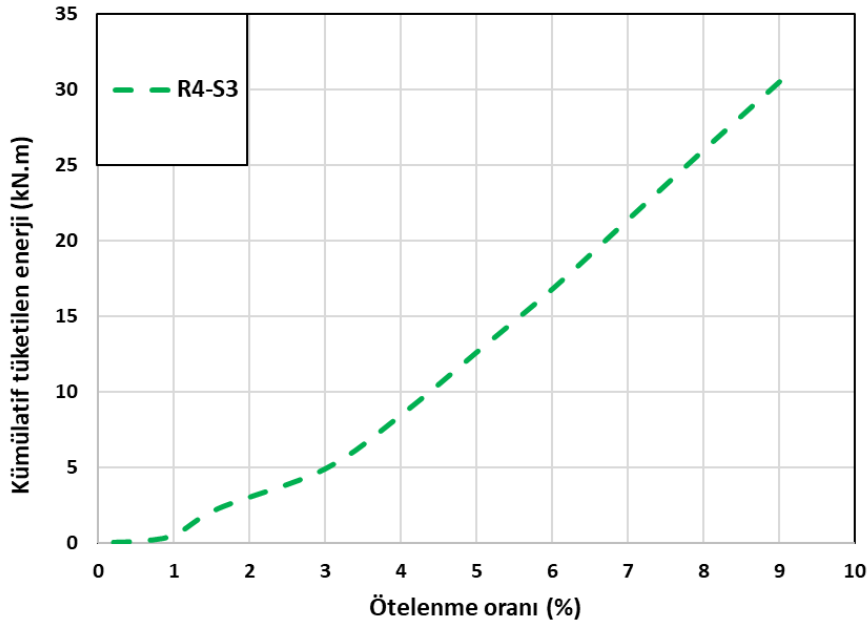


Şekil 4.201. R4-S3 numunesinin histerezis eğrisi



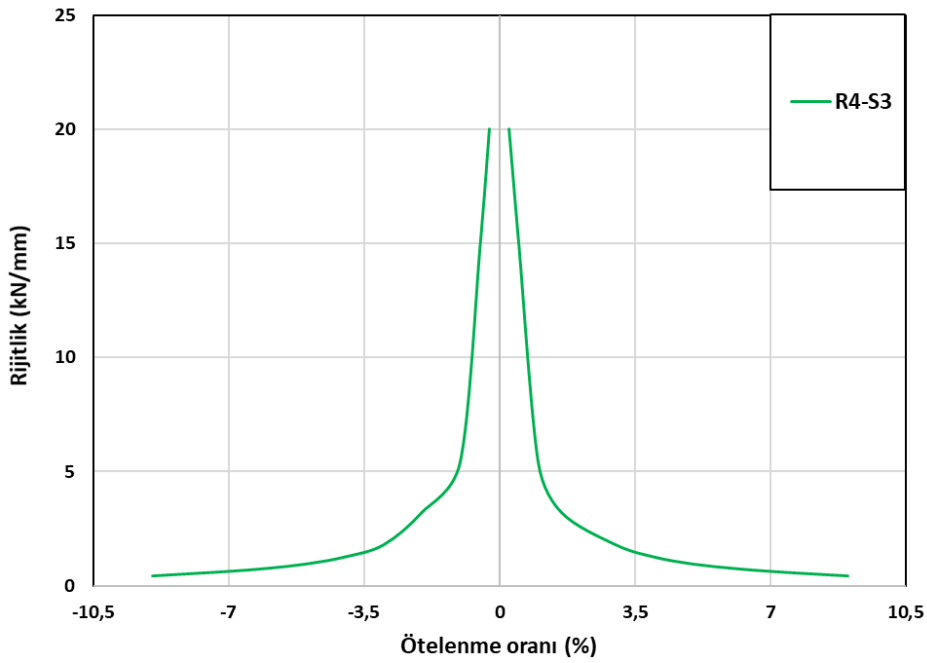
Şekil 4.202. R4-S3 numunesinin dayanım zarfı eğrisi

Elemanın histerezis eğrisinin altında kalan alanın hesaplanması ile enerji tüketme kapasitesi bulunabilir. Tüketilen kümülatif enerjinin ötelenme oranına göre çizilen grafiği Şekil 4.203'te verilmiştir.



Şekil 4.203. R4-S3 numunesinin tüketilen kümülatif enerji eğrisi

Her bir çevrimde elde edilen maksimum yatay yükün, karşılık gelen yatay deplasmana oranından yola çıkarak her bir çevrimde elde edilen rijitlik değerleri hesap edilmiştir (Şekil 4.204).



Şekil 4.204. R4-S3 numunesinin rijitlik eğrisi

4.1.14. SIFCON'lu Deney (R5-S3)

R5-S3 deney numunesi üst katı tamamen, alt katı 1/4 oranında tuğla duvar ile örölü, alt katta duvar örülmeyen bölgenin kenarlarında SIFCON paneller kullanılan iki katlı tek açıklıklı çerçeveden oluşmaktadır. Bu deney elemanı, güçlendirilmemiş numuneler arasındaki farkları incelemek için tersinir tekrarlanır yükler altında test edilmiştir. Referans çerçevenin deney öncesi görünümü Şekil 4.205'te görülmektedir.



Şekil 4.205. R5-S3 numunesinin deney öncesi görünümü

Deneyler deplasman kontrollü olarak tersinir tekrarlanır şekilde yapılmıştır. R5-S3 elemanı maksimum yüke 5. çevrimde ulaşmıştır ve bu çevrimden sonra yük azalmaya başlamıştır. Elemanda büyük hasarlar meydana geldiği için deneye 12. çevrimde son verilmiştir. Numune pozitif çevrimlerde maksimum 56.49 kN yatay yüke ulaşırken, negatif çevrimlerde maksimum -56.56 kN yatay yüke ulaşmıştır. Deney esnasında R5-S3 elemanında oluşan hasarların, hangi çevrimlerde meydana geldiği Tablo 4.13'te gösterilmiştir.

Tablo 4.14. R5-S3 numunesinin çevrimlerine göre oluşan çatlakların dağılımı

Çevrim No	Tepe (mm)	Deplasmanı	Yatay (kN)	Yük	Oluşan Numarası	Çatlak
+1		+1.11		+14.87		1
-1		-1.18		-19.70		-1,-2,-3
+2		+2.95		+22.98		2,3,4,5,6
-2		-2.83		-26.17		-4,-5
+3		+5.63		+36.23		7,8,9
-3		-5.60		-38.40		-6,-7,-8,-9
+4		+11.26		+50.39		10,11,12,13,14,15,16
-4		-11.21		-53.01		-10,-11,-12,-13,-14,-15
+5		+22.54		+56.49		17,18,19,20,21
-5		-22.43		-55.62		-16,-17-18,-19
+6		+33.65		+52.52		
-6		-33.90		-56.56		-20,-21
+7		+44.81		+50.34		
-7		-45.02		-56.23		
+8		+55.60		+48.33		
-8		-55.55		-54.18		
+9		+72.94		+43.69		
-9		-67.34		-52.93		
+10		+78.65		+38.15		
-10		-78.94		-49.71		
+11		+89.90		+34.59		
-11		-89.89		-47.91		
+12		+101.43		+31.22		
-12		-100.93		-43.09		

Deney sırasında R5-S3 elemanında oluşan çatlakların görüntüleri Şekil 4.206, Şekil 4.207, Şekil 4.208, Şekil 4.209, Şekil 4.210, Şekil 4.211, Şekil 4.212, Şekil 4.213, Şekil 4.214, Şekil 4.215 ve Şekil 4.216'da verilmiştir. Pozitif yöndeki çevrimlerde oluşan çatlaklar mavi renk ile işaretlenirken, negatif yöndeki çevrimlerde oluşan çatlaklar kırmızı renk ile işaretlenmiştir. R5-S3 numunesinin deney sonu görüntüsü Şekil 4.217'de verilmiştir.



Şekil 4.206. R5-S3 numunesinin +1 çevriminde oluşan çatlaklar



Şekil 4.207. R5-S3 numunesinin -1 çevriminde oluşan çatlaklar



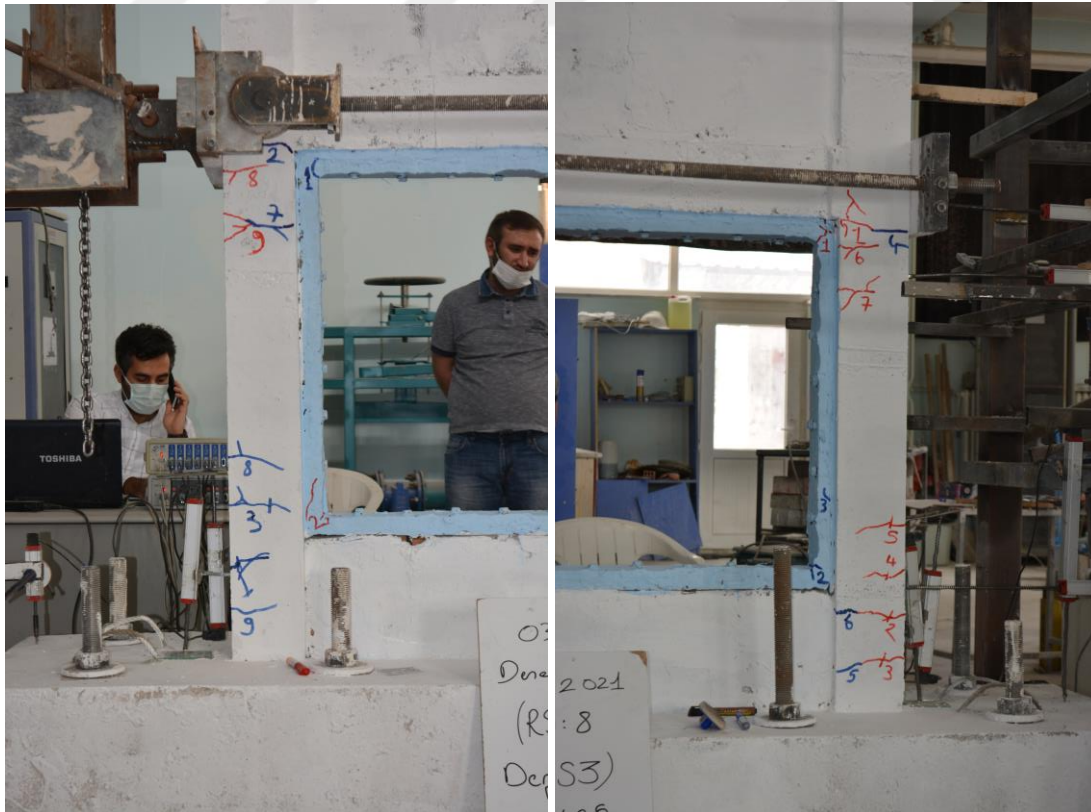
Şekil 4.208. R5-S3 numunesinin +2 çevriminde oluşan çatlaklar



Şekil 4.209. R5-S3 numunesinin -2 çevriminde oluşan çatlaklar



Şekil 4.210. R5-S3 numunesinin +3 çevriminde oluşan çatlaklar



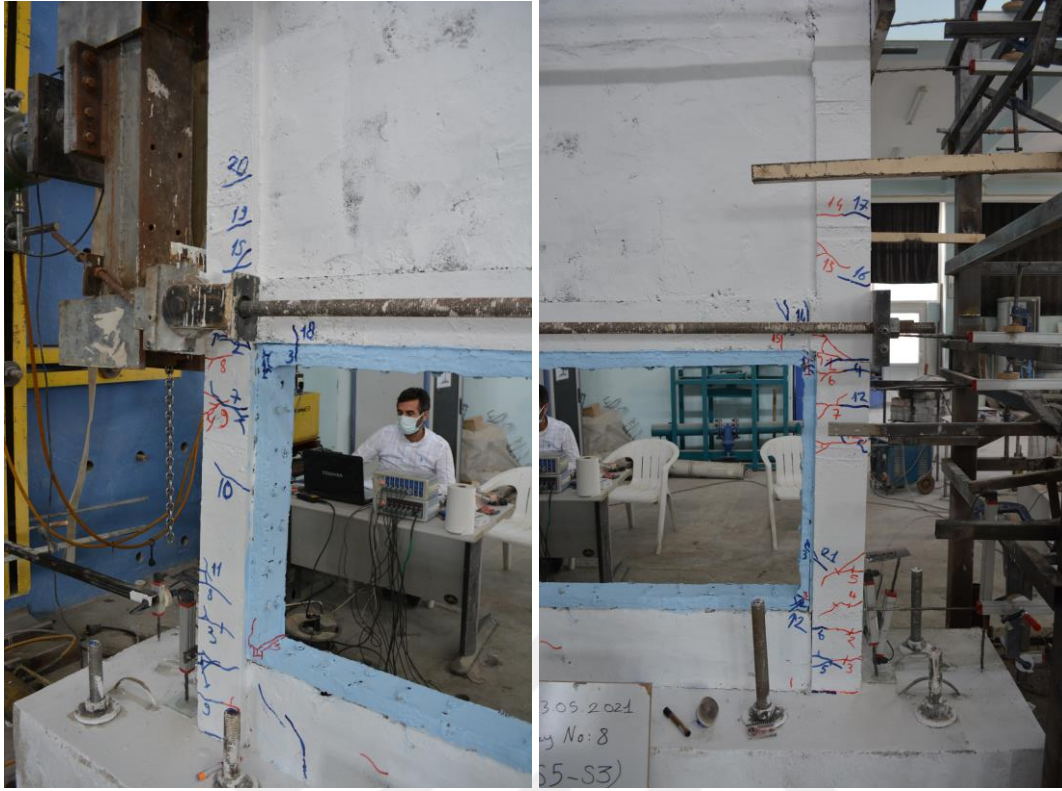
Şekil 4.211. R5-S3 numunesinin -3 çevriminde oluşan çatlaklar



Şekil 4.212. R5-S3 numunesinin +4 çevriminde oluşan çatlaklar



Şekil 4.213. R5-S3 numunesinin -4 çevriminde oluşan çatlaklar



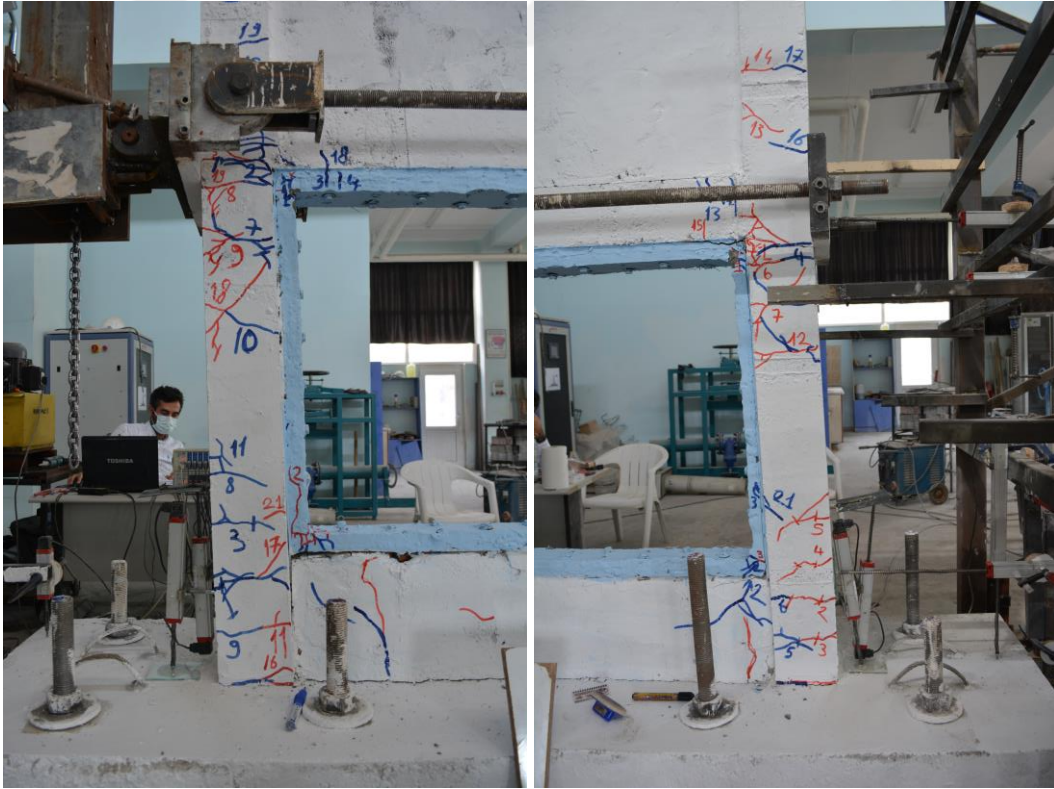
Şekil 4.214. R5-S3 numunesinin +5 çevriminde oluşan çatlaklar



Şekil 4.215. R5-S3 numunesinin -5 çevriminde oluşan çatlaklar



Şekil 4.216. R5-S3 numunesinin +6 çevriminde oluşan çatlaklar

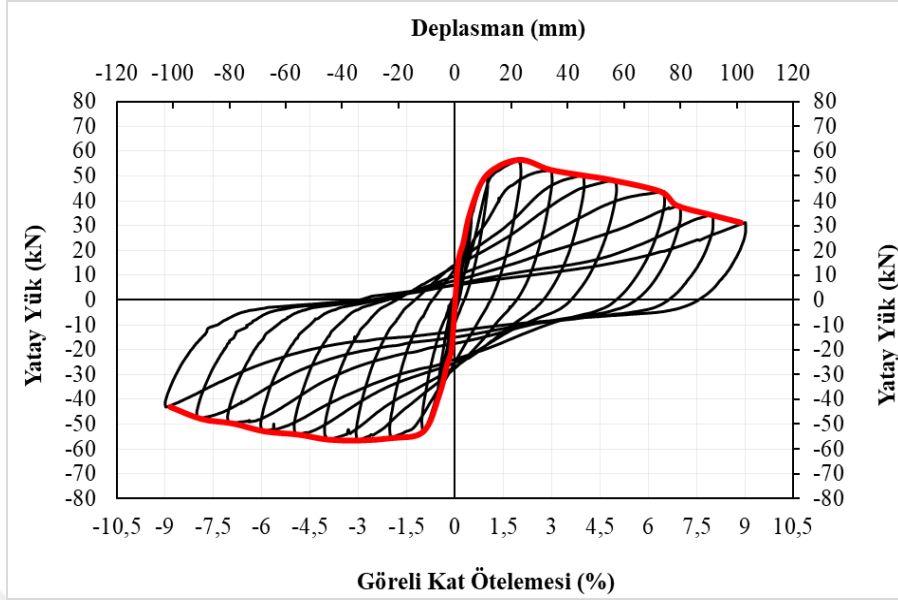


Şekil 4.217. R5-S3 numunesinin -6 çevriminde oluşan çatlaklar

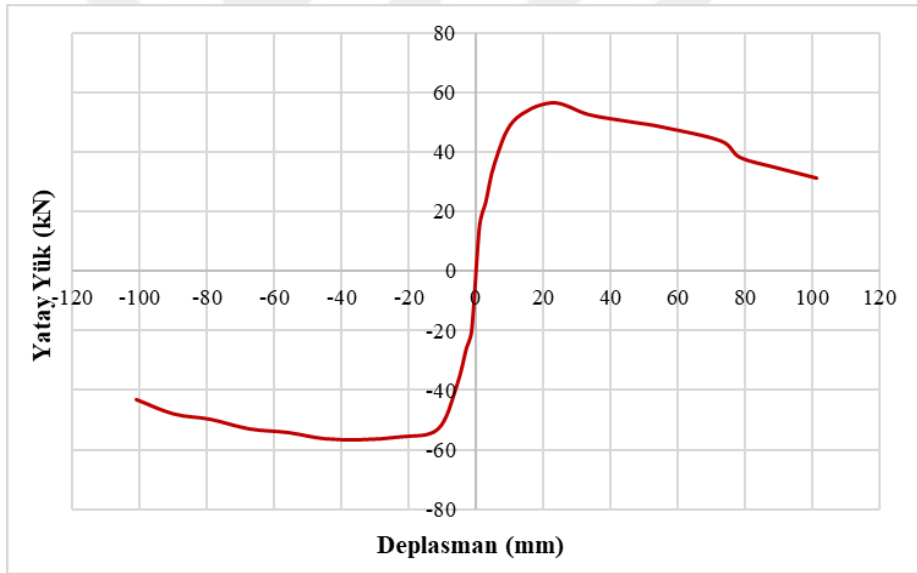


Şekil 4.218. R5-S3 numunesinin deney sonu görünümü

R5-S3 numunesinin yatay yönde maruz kaldığı maksimum yatay yük pozitif yönde 56.49 kN ve bu yükteki deplasmanı 22.54 mm iken, negatif yöndeki maksimum yatay yük - 56.56 kN ve bu yükteki deplasmanı -33.90 mm'dir. Numuneye ait çevrimsel yatay yük-tepe deplasmanı histerezis eğrisi Şekil 4.219'da, bu histerezis eğrisine ait dayanım zarfı eğrisi Şekil 4. 220'de verilmiştir.

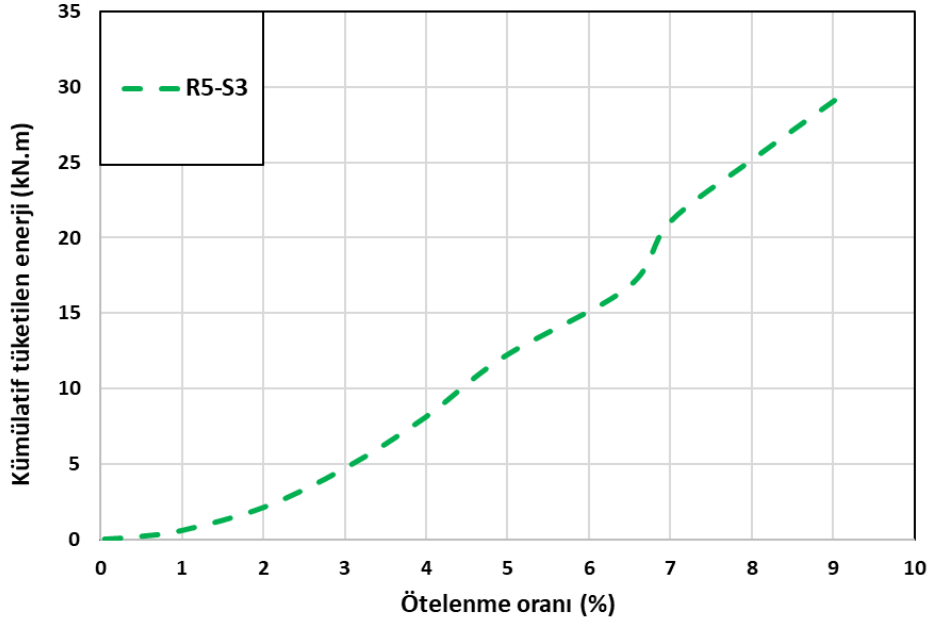


Şekil 4.219. R5-S3 numunesinin histerezis eğrisi



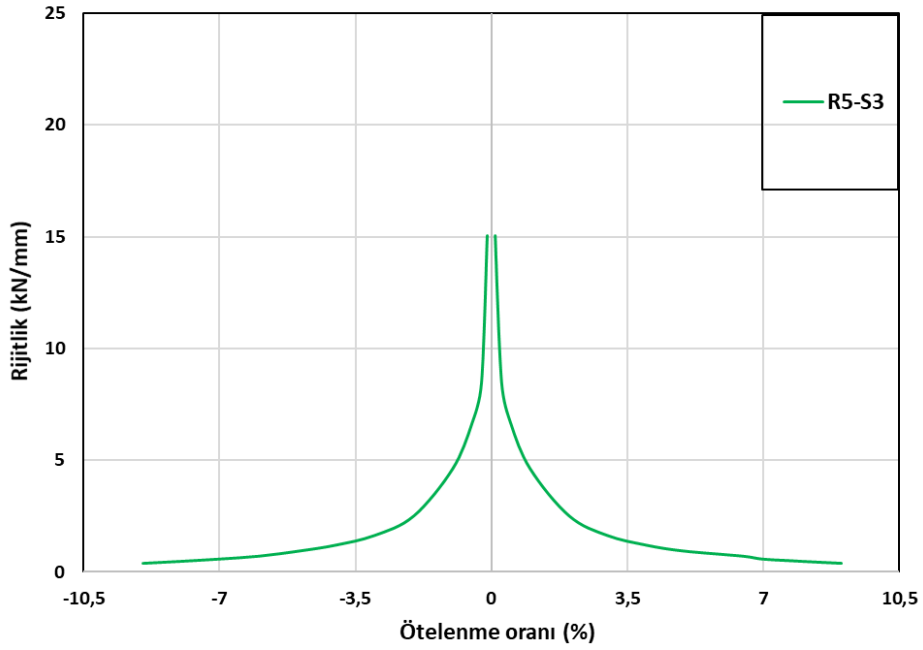
Şekil 4.220. R5-S3 numunesinin dayanım zarfı eğrisi

Elemanın histerezis eğrisinin altında kalan alanın hesaplanması ile enerji tüketme kapasitesi bulunabilir. Tüketilen kümülatif enerjinin ötelenme oranına göre çizilen grafiği Şekil 4.221’de verilmiştir.



Şekil 4.221. R5-S3 numunesinin tüketilen kümülatif enerji eğrisi

Her bir çevrimde elde edilen maksimum yatay yükün, karşılık gelen yatay deplasmana oranından yola çıkarak her bir çevrimde elde edilen rijitlik değerleri hesap edilmiştir (Şekil 4.222).



Şekil 4.222. R5-S3 numunesinin rijitlik eğrisi

4.2. Deney Sonu Gözlemler





Deneylerde itme (+) ve çekme (-) olarak her iki yönde de yükleme yapılmıştır. Numuneler yalnızca yatay yüke maruz bırakılmıştır. Yapılan tüm deneyler deplasman kontrollü yükleme ile gerçekleştirilmiş, itme ve çekme için belirlenen deplasman değerlerine bağlı yükleme uygulanmıştır. Numunelerde büyük hasarın meydana geldiği çevrimde deney sonlandırılmıştır. Tüm deneyler yaklaşık 12 çevrimde tamamlanmış, numunelerde özdeş olarak her çevrim için aynı deplasman seviyesine gidilmiştir. Deplasmanlar belirlenirken betonarme elemanların yavaş sismik yükleme testlerinin yapılmasında uygulanan kılavuz olan ACI-374 (2013)'te yer alan ötelenme oranları kullanılmıştır. Yükleme %0,1 ötelenme oranı ile başlamış, her çevrimde pozitif ve negatif yönde yükleme yapılmış ve maksimum %9 ötelenme oranına karşılık gelen 101,250 mm deplasman ile deneyler sonlandırılmıştır.




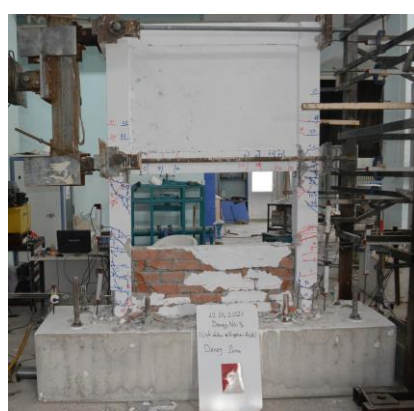
14 adet deney numunesinden R1, R2, R3, R4 ve R5 isimli 5 adet deney numunesi çalışma için referans numunelerdir. Bu numunelerde SIFCON panel güçlendirme detaylandırması yapılmamış, SIFCON panellerin davranışa etkisini gözlemek için karşılaştırma numunesi olarak üretilmiştir. R1 deney numunesi; üst kat tam dolu dolgu duvar, alt kat ise boş, R2 numunesinde ise hem alt hem de üst kat tam dolu, R3 üst kat tam dolu alt kat %75 dolu, R4 üst kat tam dolu alt kat %50 dolu ve R5 ise üst kat tam dolu alt kat %25 dolu tuğla dolgu duvar olarak imal edilmiştir. Çerçeve beton basınç dayanımları 25 MPa aralığında bulunmuştur. Bu çerçeveler üzerinde yapılan deneyler sonucunda alt kat dolgu duvarlar üzerinde belirgin hasarlar ile çerçeve duvar ayrılmaları gözlemlenmiştir. Özellikle alt kat yarım tuğla duvar olan numunelerde, duvar ve kiriş hizası arasında kalan kolon boyunca kısa kolon oluşumları görülmüştür. Kısa kolon bölgesinde ve temel-kolon birleşim bölgesinde kabuk betonda ve kısmen çekirdek betonda dökülmeler, boyuna donatı burkulmaları gözlemlenmiştir.

14 adet deney numunesinden 9 adet numune ise SIFCON panel bloklarla güçlendirilmiş numunelerdir. Bunlardan R3-S1-S2-S3 numuneleri R3 referans numunesinin, R4-S1-S2-S3 numuneleri R4 referans numunesinin ve R5-S1-S2-S3 numuneleri R5 referans numunesinin kısa kolon potansiyeli olan bölgelere 3 farklı tipteki SIFCON panellerin yerleştirildiği deney elemanlarıdır. Çalışmada SIFCON güçlendirme panellerinin olumlu sonuç vermesi durumunun yanı sıra hangi panel tipinin optimum sonuç verdiği de araştırılacağı için çerçeve üzerinde farklı boyutlarda SIFCON elemanlar denenmiştir. S1





SIFCON panellerle güçlendirilmiş tipteki numunelerde alt katta dolgu duvar bulunmayan kolon yüzeyinde, kiriş-kolon ve duvar-kolon birleşim bölgelerinde sadece köşe noktalarda L tipi panel tatbik edilmiş ve bu panelin kısa kolon güçlendirmeler için nispeten yeterli olmadığı görülmüştür. S2 SIFCON panellerle güçlendirilmiş tipteki numunelerde alt katta dolgu duvar bulunmayan kolon yüzeyinde, duvardan kiriş yüzeyine kadar U tipi paneller yerleştirilmiş ve S1 uygulamasına göre daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir. S3 numunelerinde ise duvar ve kiriş arasında kalan kolon yüzü tamamen panel ile kaplanmış ve en ideal panel tipi olduğu gözlemlenmiştir. S3 tipi SIFCON panellerin güçlendirme elemanı olarak kullanıldığı çerçevelerde kısa kolon oluşumuna bağlı hasar mekanizmaları görülmemiştir. Tüm deneylerde SIFCON panel yüzeylerinde ciddi bir hasara rastlanmamıştır. Yapılan deneylerde deney sonu numunelerdeki gözlemler Tablo 4.15'te verilmiştir.





Tablo 4.15. Deney sonu numunelerdeki gözlemler





Numune	Deney başlangıç	Deney sonu	Gözlemler
R1			<ul style="list-style-type: none"> • Ötelenme oranı %0,1, %0,25, %0,5 olan ilk üç çevrimde kılcal düzeyde (0.1 mm) çatlaklar oluşmuş, hedef deplasmanın 11.25 mm olduğu dördüncü çevrimden sonra çatlaklar genişlemiştir. • Beşinci çevrimde (%2 ötelenme) ise kolon-temel birleşim bölgelerinde ayrılmalar meydana gelmiştir. • %3 ötelenmede basınç ezilmeleri meydana gelmiş, %4 ötelenme seviyesinde kolon kabuk betonda dökülmeler başlamış, donatı açığa çıkmıştır. %6 ötelenmeden sonra ise kolon boyuna donatılarda burkulma görülmüştür. • Maksimum yük pozitif çevrimde %4 ötelenme oranında +29.03 kN negatif çevrimde %6 ötelenmede -28.41 kN olarak ölçülmüştür. • Deney sonu incelemelerde alt kat kolon üst ve alt uçlarında hasarların yoğunlaştığı görülmüştür.
R2			<ul style="list-style-type: none"> • %0,25 ötelenme oranı ikinci çevrimde alt kat dolgu duvarda ilk çatlak oluşmuş, altıncı çevrimde ise tuğlalar dökülmüş, üst kat dolgu duvar-çerçeve ayrımı görülmüştür. Deney sonunda ise alt kat dolgu duvarın %80'lik kısmı tamamen parçalanmıştır. • Yedinci çevrimde (%4 ötelenme) ise kolon-kiriş birleşim bölgesinde betonda şişme, kolon-temel birleşimi plastik mafsallık bölgesinde kolonda kabuk beton dökülerek donatı açığa çıkmıştır. • %6 ötelenme oranı dokuzuncu çevrimde kolon-kiriş birleşim bölgesinde kabuk betonda dökülme görülmüştür. Onuncu çevrimde (%7 ötelenme) kolon boyuna donatılarında burkulma görülmüştür. • Numune üzerinde maksimum yük pozitif çevrimde %1 ötelenme oranında +49.74 kN negatif çevrimde %1 ötelenmede -49.84 kN olarak ölçülmüştür.





R3			<ul style="list-style-type: none"> • %1 ötelenme düzeyinde kolon duvar birleşim alt bölgede 0.6 mm düzeyinde kılcal çatlak oluşmuş %3 ötelenmede çatlak genişliği artmış ve kesme hasarı düzeyine ulaşmıştır. Kolonun dolu duvarsız boşluklu bu kısmında kısa kolon davranışı gözlemlenmiştir. • %3 ötelenme düzeyinde kolon-kiriş birleşim bölgesinde betonda dökülmeler görülmüş, donatı akmıştır. %4 ötelenmede ise bu bölgede kabuk beton tamamen dökülerek donatı açığa çıkmıştır. • Deney sonunda dolgu duvarda hasar oluşmuş, duvar-çerçeve ayrımı gözlemlenmiştir. • Numune üzerinde maksimum yük pozitif çevrimde yaklaşık %1 ötelenme oranında +43.01 kN negatif çevrimde %3 ötelenmede -49.66 kN olarak ölçülmüştür. • Alt kat duvarında bırakılan boşlukların hizalarında hasarlar meydana gelmiş, çatlak genişlikleri diğer çatlaklara göre oldukça artmış ve kısa kolon etkisi görülmüştür.
R4			<ul style="list-style-type: none"> • İlk dört çevrimde belirgin olarak hasar gözlemlenmemiş, %1 ötelenme oranından sonra kolon-kiriş ve kolon-temel birleşim bölgelerinde 0.4 mm düzeyinde kılcal çatlaklar oluşmaya başlamış, %2 ötelenmeden sonra bu çatlaklar genişleyerek daha belirgin hale gelmiştir. • %2 ötelenme oranında donatı akmıştır. • Yine %2 ötelenmede duvar sıvalarında dökülme, %3 ötelenmede ise duvarda yarıklar başlamış, deney sonuna doğru genişlemiş fakat deney sonunda duvar düzleminde kalmış, yıkılma gerçekleşmemiştir. • Numune alt kat dolgu duvarsız boş çerçeve üzerinde kolon üst kotlarında boyuna donatıda burkulmalar, kabuk betonda dökülme gözlemlenmiştir. • Numune üzerinde maksimum yük pozitif çevrimde %1 ötelenme oranında +35.31 kN negatif çevrimde %3 ötelenmede -37.03 kN olarak ölçülmüştür. • Alt kat duvarında bırakılan boşlukların hizalarında hasarlar meydana gelmiş, çatlak genişlikleri diğer çatlaklara göre oldukça artmış ve kısa kolon etkisi görülmüştür.

R5			<ul style="list-style-type: none"> • %1 ötelenme düzeyinde alt kat kolon alt duvar birleşim bölgesinde kılcal çatlak oluşmaya başlamış, %4 ötelenme düzeyinde kolondaki çatlaklar genişlemiş, %5 ötelenmede ise kolon alt bölgesinde betonda şişme, boyuna donatıda burkulma görülmüştür. • %1 ötelenmede duvarda çatlak oluşmaya başlamış, %8 ötelenme oranında daha da belirginleşmiştir. • Deney sonunda alt kat kolon üst ve alt kısmında hasarlar yayılmıştır. • Numune üzerinde maksimum yük pozitif çevrimde %4 ötelenme oranında +30.93 kN negatif çevrimde %2 ötelenmede -33,55 kN olarak ölçülmüştür. • Alt kat duvarında bırakılan boşlukların hizalarında hasarlar meydana gelmiş, çatlak genişlikleri diğer çatlaklara göre oldukça artmış ve kısa kolon etkisi görülmüştür.
R3 S1			<ul style="list-style-type: none"> • Numune alt kat kolonunda %1 ötelenme düzeyinde kolon alt bölgesinde 0.8 mm kılcal çatlak görülmüş, kolon üst bölgesinde ise %5 ötelenmede 3.5 mm'yi bulan çatlak genişlikleri gözlemlenmiştir. • Alt kat dolgu duvarda deney sonunda büyük oranda tuğlalarda dökülme görülmüştür. • SIFCON panellerin yerleştirildiği kolon bölgesinde de hasar meydana gelmiş, kolon boyuna donatıları burkulmuştur. • Numune üzerinde maksimum yük pozitif çevrimde yaklaşık %1.5 ötelenme oranında +61.27 kN negatif çevrimde %1 ötelenmede -61.99 kN olarak ölçülmüştür. • Referans numunede meydana gelen kısa kolon etkisinin oldukça azaldığı, çatlakların sadece bir bölgede yoğunlaşmayarak kolon boyunca yayıldığı gözlemlenmiştir.

R3 S2			<ul style="list-style-type: none"> • %1 ötelenme düzeyinde kolon alt kısmında kılcal düzeyde 0.5 mm düzeyinde çatlak oluşmaya başlamış, kolon-temel birleşimi ve kolon-kiriş birleşim bölgelerinde mafsallaşma olmuş, beton ve donatıda hasar meydana gelmiştir. • Alt kat dolgu duvarda tuğlalarda dökülme görülmüştür. • Numune üzerinde maksimum yük pozitif çevrimde %2 ötelenme oranında +67.35 kN negatif çevrimde %1 ötelenmede -65.30 kN olarak ölçülmüştür. • Referans numunede meydana gelen kısa kolon etkisinin oldukça azaldığı, çatlakların sadece bir bölgede yoğunlaşmayarak kolon boyunca yayıldığı gözlemlenmiştir.
R3 S3			<ul style="list-style-type: none"> • %2 ötelenme oranında alt kat kolon alt bölgesinde 1.1 mm çatlak oluşmuş, yine aynı bölgede betonda dökülmeler gözlemlenmiştir. • %3 ötelenme düzeyinde ise kolonda çatlak genişlikleri artmış, betonda şişme ve dökülmeler görülmüştür. %4 ötelenmede kolon-temel birleşim bölgesinde boyuna donatıda burkulma görülmüştür. • 4.çevrim %1 ötelenme oranında alt kat dolgu duvar yüzeyinde hasarlar oluşmaya başlamış, 5. çevrimde duvar yüzeyinde sıva dökülmeleri, %9 ötelenmeye ulaşınca da tuğlalarda dökülme ve duvarda geniş çatlaklar oluşmuştur. • SIFCON panel yerleştirilen kolon yüzeylerinde belirgin bir hasara rastlanmamıştır. • Referans numunede meydana gelen kısa kolon etkisinin giderildiği, çatlakların sadece bir bölgede yoğunlaşmayarak kolon boyunca yayıldığı gözlemlenmiştir. • Numune üzerinde maksimum yük pozitif çevrimde %2 ötelenme oranında +69.48 kN negatif çevrimde %2 ötelenmede -68.41 kN olarak ölçülmüştür.

R4 S1			<ul style="list-style-type: none"> • Kolonda %1 ötelenme oranında alt kat alt bölgede 0.8 mm kılcal çatlaklar görülmüş, ilerleyen çevrimlerde ise bu bölgelerde kabuk betonda dökülme ile birlikte donatı açığa çıkmış, kesme hasarları gözlemlenmiştir. • Kolon duvar birleşim bölgesinde ve kolon-kiriş birleşim noktalarına yakın kolon üst bölgesinde donatı açığa çıkmıştır. • Alt kat dolgu duvarda deney sonunda hasar ve tuğlalarda dökülmeler görülmüştür. • Numune üzerinde maksimum yük pozitif çevrimde %1.5 ötelenme oranında +57.81 kN negatif çevrimde %2 ötelenmede -57.67 kN olarak ölçülmüştür. • Referans numunede meydana gelen kısa kolon etkisinin oldukça azaldığı, çatlakların sadece bir bölgede yoğunlaşmayarak kolon boyunca yayıldığı gözlemlenmiştir.
R4 S2			<ul style="list-style-type: none"> • Numunede %1 ötelenme oranında alt kolon alt yüzeylerinde 1.0 mm çatlak oluşmuş, deney sonunda bu bölgede betonda dökülme, boyuna donatıda burkulma gözlemlenmiştir. • Numunede deney sonunda dolgu duvarda dökülmeler, çerçeve-duvar ayrımları görülmüştür. • SIFCON panel ile güçlendirilen kolon bölgesinde bir kolonda beton dökülmeleri görülmüş, donatıda herhangi bir hasara rastlanmamıştır. • Numune üzerinde maksimum yük pozitif çevrimde yaklaşık %2 ötelenme oranında +64.20 kN negatif çevrimde %2 ötelenmede -62.60 kN olarak ölçülmüştür. • Referans numunede meydana gelen kısa kolon etkisinin giderildiği, çatlakların sadece bir bölgede yoğunlaşmayarak kolon boyunca yayıldığı gözlemlenmiştir.

<p style="text-align: center;">R4 S3</p>			<ul style="list-style-type: none"> • Numunede ilk çevrimlerde kılcal çatlak %1 ötelenme düzeyinde kolon alt yüzeylerinde görülmüştür. %3 ötelenme oranında kolon yüzündeki bu çatlaklar genişleyerek 1.8 mm olarak ölçülmüş yine kolon yüzeyinde kabuk betonda dökülmeler başlamıştır. • 7. çevrimde %4 ötelenme düzeyinde alt kat dolu duvarda tuğlalarda dökülmeler başlamış, deney sonunda ise duvar-çerçeve ayırımı gözlemlenmiştir. • Deney sonunda kolon-temel birleşim bölgelerine yakın kolonlarda kabuk betonda dökülme, boyuna donatısında burkulma gözlemlenmiştir. Aynı kolonların kiriş birleşim bölgesine yakın SIFCON panel ile güçlendirilmiş üst bölgelerinde ise belirgin geniş çatlaklar gözlenmemiştir. • Numune üzerinde maksimum yük pozitif çevrimde %1.5 ötelenme oranında +64.90 kN negatif çevrimde %2 ötelenmede -64.72 kN olarak ölçülmüştür. • Referans numunede meydana gelen kısa kolon etkisinin giderildiği, çatlakların sadece bir bölgede yoğunlaşmayarak kolon boyunca yayıldığı gözlemlenmiştir.
<p style="text-align: center;">R5 S1</p>			<ul style="list-style-type: none"> • %2 ötelenme düzeyinde çerçeve betonunda ezilmeler başlamış, kolon-temel birleşim bölgesinde açılmalar görülmüştür. • Numunede SIFCON panel yerleştirilen köşe noktalardan panel yüksekliğinin sonlandığı bölgelerden başlayarak kolon boyunda hasarlar gözlemlenmiştir. Bu hasar betonda ezilme ve dökülmeler, donatının açığa çıkması şeklindedir. Boyuna donatıda burkulmalar gözlenmemiştir. • Deney sonunda dolgu duvarda bir miktar çerçeveden ayrılmış, bunun dışında duvar üzerinde herhangi bir hasar görülmemiştir. • Numune üzerinde maksimum yük pozitif çevrimde %2 ötelenme oranında +49.04 kN negatif çevrimde %2 ötelenmede -50.01 kN olarak ölçülmüştür. • Referans numunede meydana gelen kısa kolon etkisinin oldukça azaldığı, çatlakların sadece bir bölgede yoğunlaşmayarak kolon boyunca yayıldığı gözlemlenmiştir.

R5 S2			<ul style="list-style-type: none"> • Deney sonunda kolon-alt kat kiriş birleşim bölgesinde donatı da burkulma gözlenmiştir. • Numunede alt kat kolonları SIFCON panelsiz dolgu duvarlı bölgede basınç ezilmesi, boyuna donatıda burkulma gözlemlenmiş, panel yerleştirilen bölgede ise kolon boyunda belirgin bir hasar oluşmamıştır. • Numune üzerinde maksimum yük pozitif çevrimde %1 ötelenme oranında +54.16 kN negatif çevrimde %1 ötelenmede -54.69 kN olarak ölçülmüştür. • Referans numunede meydana gelen kısa kolon etkisinin giderildiği, çatlakların sadece bir bölgede yoğunlaşmayarak kolon boyunca yayıldığı gözlemlenmiştir.
R5 S3			<ul style="list-style-type: none"> • %1 ötelenme oranında numune üzerinde kılcal çatlak oluşumu başlamış, maksimum çatlak genişliği 3.5 mm olarak %8 ötelenmede alt kat kolon temel birleşim bölgesinde görülmüştür. • Deney sonunda alt katta SIFCON panelin bittiği bölgedeki kolon alt yüzeyinde boyuna donatıda burkulma görülmüştür. Aynı kolonun panel ile güçlendirilen bölgesinde belirgin hasara rastlanmamıştır. • Deney sonunda alt kat dolgu duvar düzleminde kalmış sıva katmanı ve köşe bölgelerdeki tuğlalar dökülmüştür. • Numune üzerinde maksimum yük pozitif çevrimde %2 ötelenme oranında +56.49 kN negatif çevrimde %3 ötelenmede -56.56 kN olarak ölçülmüştür. • Referans numunede meydana gelen kısa kolon etkisinin giderildiği, çatlakların sadece bir bölgede yoğunlaşmayarak kolon boyunca yayıldığı gözlemlenmiştir.

Deneyler sonunda çerçeve numunelerde belirgin derecede hasarlar gözlemlenmiştir. Boyuna donatılarda burkulma-sıyrılmaya, kabuk betonunda dökülmeler gözlemlenen hasarlardan en belirgin olanlarıdır. Şekil 4.223'te R1, R3 ve R5 numunelerine ait kolon boyuna donatılarında oluşan burkulmalar ve kabuk beton dökülmeleri farklı açılardan gösterilmiştir. Şekil 4.224'te çerçevelerdeki alt kat dolgu duvar hasarlarına yer verilmiştir. Şekil 4.225'te ise alt kat boş çerçevede oluşan kalıcı ötelenme gösterilmiştir.



(a)



(b)

(c)

(d)

Şekil 4.223. (a) Boyuna donatılarda burkulma- kabuk betonda dökülme R1 numunesi, (b) R3 numunesi, (c) R5 numunesi, (d) R4 numunesi



Şekil 4.224. Dolgu duvar hasarları (R2 numunesi)



Şekil 4.225. Taşıyıcı sistemde kalıcı ötelenme (R1 numunesi)

Şekil 4.226, Şekil 4.227 ve Şekil 4.228’de ise referans numune ve aynı nitelikte çerçeve üzerinde yerleştirilen farklı SIFCON panel tipleri ile oluşturulan güçlendirilmiş numunelerde aynı bölgelerde deney sonu gözlemlenen hasarlar görsellerine yer verilmiştir. Şekil 4.226’da R3 çerçeve modeli referans ve güçlendirilmiş numuneler üzerinde deney sonu kritik kat görüntüleri verilmiştir. R3 referans çerçevesinde kısa kolon oluşumu ve buna bağlı kesme hasarları görülmektedir. Aynı çerçeve üzerinde S3 tipi panel tipi ile güçlendirme yapıldıktan sonra ise kısa kolon oluşumu görülmemektedir. Şekil 4.227’de gösterilen R4 çerçeve modeli üzerinde referans numune ve S1 tipli panelle güçlendirilen numunelerde kolon üst bölgesinde kısa kolon oluşumuna bağlı kesme hasarları görülmekte, S3 tip panel güçlendirme ile bu hasar oluşumunun önüne geçilmektedir. Şekil 4.228’de gösterilen R5 çerçeve modelinde de benzer şekilde referans numune ve S1 tip panel ile güçlendirilmiş numunede alt kat kolon üst bölgelerinde ileri düzey hasarlar görülmekte, S2 ve S3 tip SIFCON panel güçlendirmelerin ise kolonlarda hasarı minimize ettiği görülmektedir. Deney sonu numune görüntüleri de göstermektedir ki S3 tipi SIFCON panel ile güçlendirilen bölgede rijitlik artırılarak farklı yanal ötelenmelerin önüne geçilerek kısa kolon oluşumu önlenmekte, buna bağlı oluşacak ciddi düzeydeki kesme hasarları da engellenmektedir.



R3



R3-S1



R3-S2



R3-S3

Şekil 4.226. Referans ve SIFCON panel ile güçlendirilen numune deney sonu hasar karşılaştırma (R3 çerçeve)



R4



R4-S1



R4-S2



R4-S3

Şekil 4.227. Referans ve SIFCON panel ile güçlendirilen numune deney sonu hasar karşılaştırma (R4 çerçeve)



R5



R5-S1



R5-S2

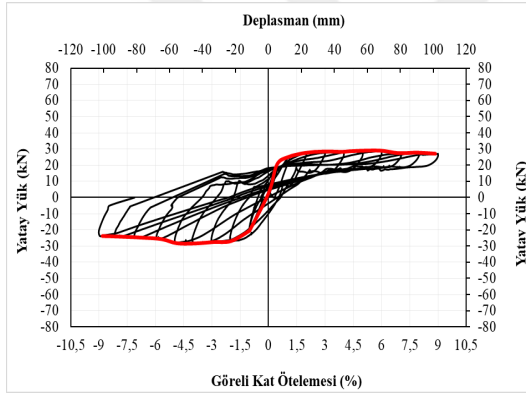


R5-S3

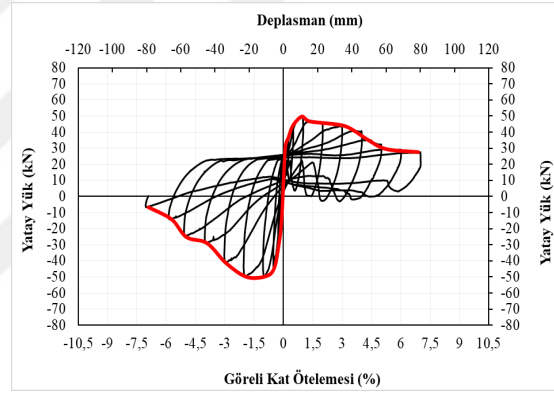
Şekil 4.228. Referans ve SIFCON panel ile güçlendirilen numune deney sonu hasar karşılaştırma (R5 çerçeve)

4.2. Deney Sonuçları

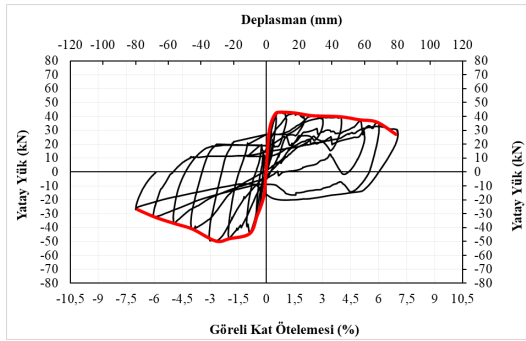
14 adet SIFCON paneller ile güçlendirilmiş/güçlendirilmemiş betonarme çerçeve deneylerinden elde edilen yatay yük ve yatay deplasman verilerine göre her bir numune için yük-deplasman/ötelenme oranı grafikleri (kapasite eğrileri) histerisis eğrileri ile zarf eğrileri birlikte çizdirilmiştir (Şekil 4.229). Yatay yük-yatay deplasman eğrilerinde ileri pozitif ve geri negatif çevrimlerde ayrı ayrı değerler alındığı için grafiğin üst ve alt kısmında sürekli devam eden bir çevrimsel eğri oluşmuştur. Uygulanan toplam yatay yük-yatay tepe deplasman eğrilerine ait dayanım zarf eğrileri her bir çevrimde elde edilen maksimum yük noktalarının birleştirilmesi ile oluşturulmuştur.



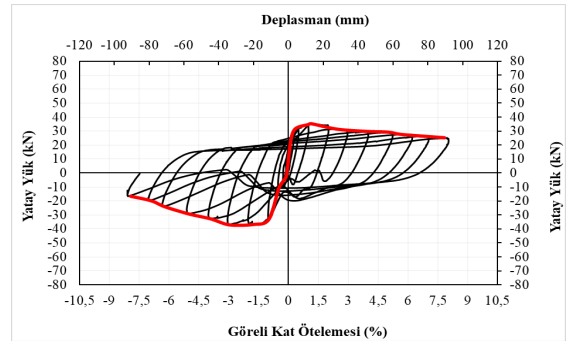
(a)



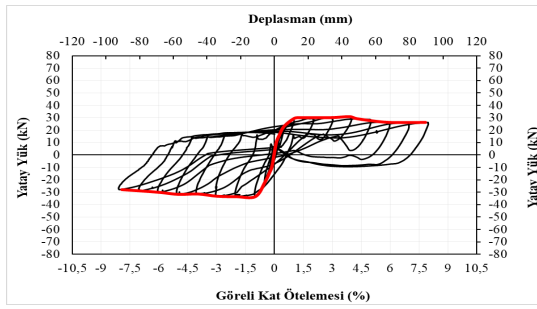
(b)



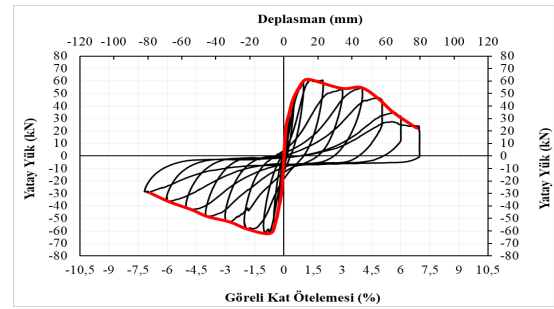
(c)



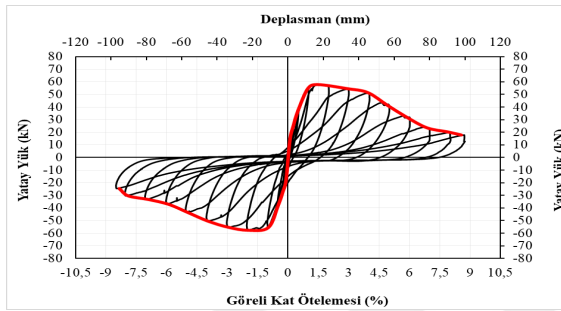
(d)



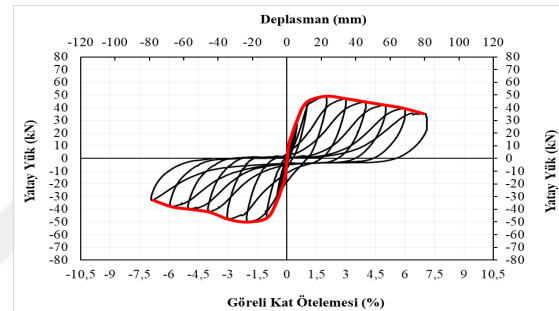
(e)



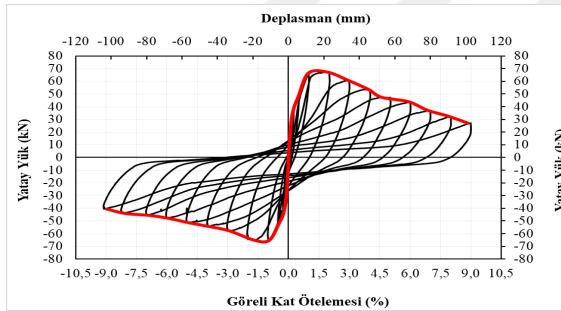
(f)



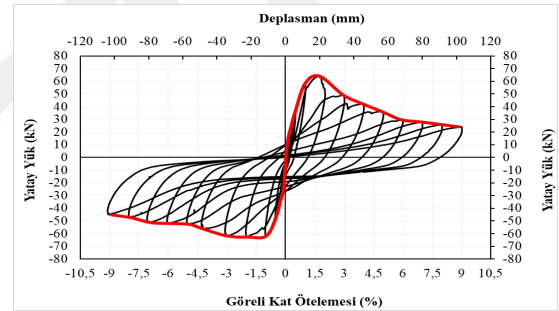
(g)



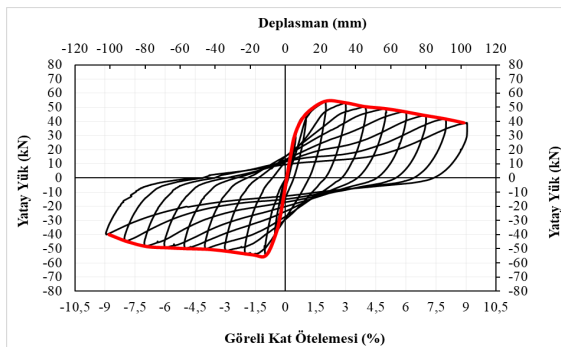
(h)



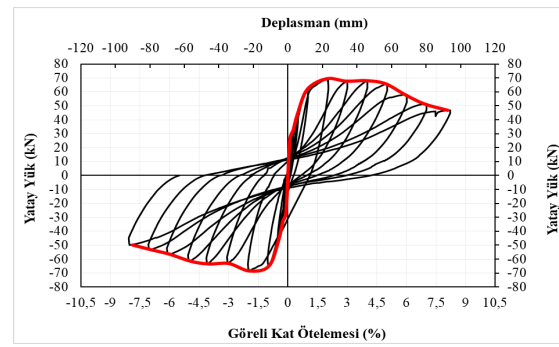
(i)



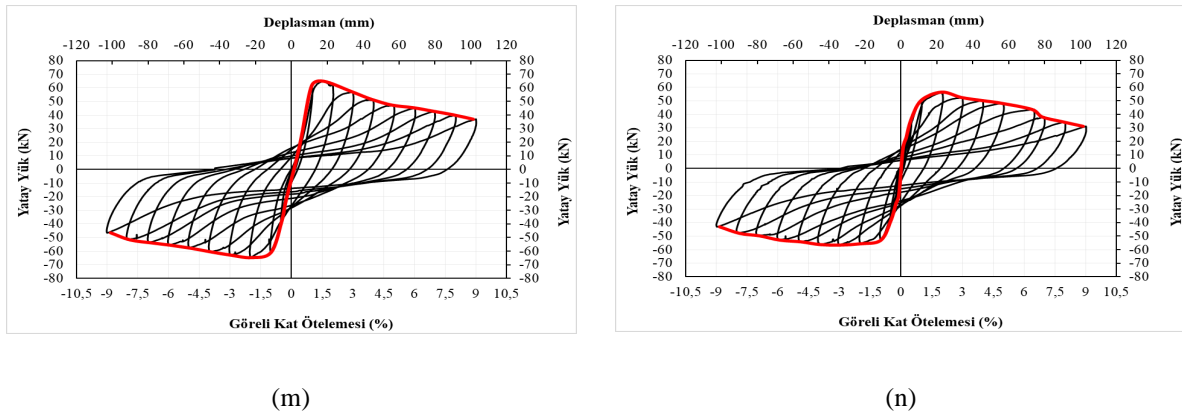
(j)



(k)



(l)



Şekil 4.229. (a) Deneysel numunelerin histerezis ve zarf eğrileri, (a) R1 numunesi, (b) R2 numunesi, (c) R3 numunesi, (d) R4 numunesi, (e) R5 numunesi, (f) R3-S1 numunesi, (g) R4-S1 numunesi, (h) R5-S1 numunesi, (i) R3-S2 numunesi, (j) R4-S2 numunesi, (k) R5-S2 numunesi, (l) R3-S3 numunesi, (m) R4-S3 numunesi, (n) R5-S3 numunesi

Çevrimsel yüklemelerde numuneler için maksimum yükün %85'ine karşılık gelen yük değeri ve bu değere karşılık gelen ötelenme oranı hesaplanmıştır. $0.85 F_{max}$ 'a karşılık gelen ötelenme oranına bağlı olarak deplasman, kümülatif enerji ve rijitlik değerleri hesaplanarak Tablo 4.16'da gösterilmiş, bu değerlere bağlı olarak numune performansları ve güçlendirme yönteminin etkinliği ile ilgili değerlendirmeler yapılmıştır.

Referans numunelerden R3 çerçevesinde ulaşılan maksimum yük pozitif çevrimlerde 43.01 kN'dur. Negatif çevrimlerde ise ulaşılan maksimum yük -49.66 olmuştur. Bu veriler sonucunda referans numuneye göre SIFCON paneller ile güçlendirilmiş R3-S1-S2-S3 numunelerinde maksimum yük 61.27-69.48 kN düzeylerine yükselmiş, dayanımda yaklaşık %40'luk bir artış olmuştur. Aynı şekilde R4 referans numuneden elde edilen sonuçlar ile güçlendirilmiş R4-S1-S2-S3 numuneleri karşılaştırıldığında da dayanımda %75 düzeyinde, R5 referans numuneden elde edilen sonuçlar ile güçlendirilmiş R5-S1-S2-S3 numuneleri karşılaştırıldığında ise dayanımda %67'lik bir artış gözlemlenmiştir. Sonuçlardan SIFCON panellerin numunelerin çerçeve dayanımlarına katkı sağladığı görülmektedir. Yatay yer değiştirme düzeyleri incelendiğinde ise R3 referans numunesinin pozitif çevrimde maksimum yüke % 5.64 ötelenme oranında ulaştığı, R4 referans numunesinde % 3.78, R5 numunesinde % 6.57 ötelenme oranında maksimum yüke ulaştığı görülmüştür. Aynı elemanların SIFCON paneller ile güçlendirilmiş numunelerinde ise maksimum yüke ulaştığı andaki ötelenme oranları referans numunelerine göre daha minimum değerlerdedir.

Tablo 4.16. Numune performansı için deformasyon, enerji ve rijitlik değerleri

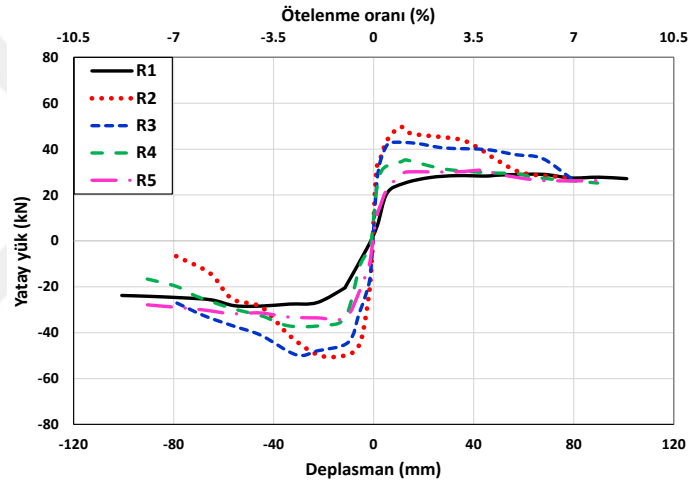
Numune	Maksimum Yük (Fmax) (kN)	0.85 Fmax (kN)	0.85 Fmax'a karşılık gelen				
			Ötelenme oranı (%)	Deformasyon (mm)	Kümülatif Enerji (kN.m)	Rijitlik (kN/mm)	Süneklik
R1	29.03	24.68	9.00	101.22	11.85	0.25	8,37
R2	49.74	42.28	3.41	38.34	5.48	0.98	8,27
R3	43.01	36.56	5.64	63.48	10.37	0.56	13,43
R4	35.31	30.01	3.78	42.54	4.46	0.75	13,07
R5	30.93	26.29	6.57	73.94	11.95	0.37	10,59
R3-S1	61.27	52.08	4.30	48.50	7.31	1.03	6,95
R4-S1	57.81	49.14	4.23	47.67	6.97	1.04	5,20
R5-S1	49.04	41.68	5.21	58.71	9.48	0.70	5,83
R3-S2	67.35	57.25	3.49	39.34	6.95	1.48	7,18
R4-S2	64.20	54.57	2.55	28.70	3.94	2.12	6,94
R5-S2	54.16	46.04	6.35	71.57	18.38	0.66	9,06
R3-S3	69.48	59.06	5.88	66.29	14.06	0.87	7,38
R4-S3	64.90	55.16	3.35	37.63	6.09	1.59	5,87
R5-S3	56.49	48.01	5.04	56.80	12.38	0.90	8,15

Deney numunelerinin maksimum yük-deplasman eğrilerinden elde edilen zarf eğrileri karşılaştırmalı olarak Şekil 4.230-4.233'te gösterilmiştir. İlk olarak Şekil 4.230'da referans numuneler karşılaştırılmıştır. Referans numunelerde dolgu duvarın bulunup/bulunmaması ve farklı yükseklikte dolgu duvar teşkili durumuna göre karşılaştırılan grafiklerde Tablo 4.16'da verilen nihai ötelenme değerleri dikkate alındığında tam dolu çerçeve olan R2 numunesi en yüksek dayanım değerine, alt kat boş çerçeve olan R1 numunesi ise en iyi süneklik davranışına sahiptir. Referans çerçeve tiplerine ait zarf eğrilerinden de görüleceği üzere çerçevelerde dolgu duvar uygulaması yük taşıma kapasitesine katkı sunmakta, öte yandan rijitliği artırarak yanal ötelenmeye engel olmaktadır.

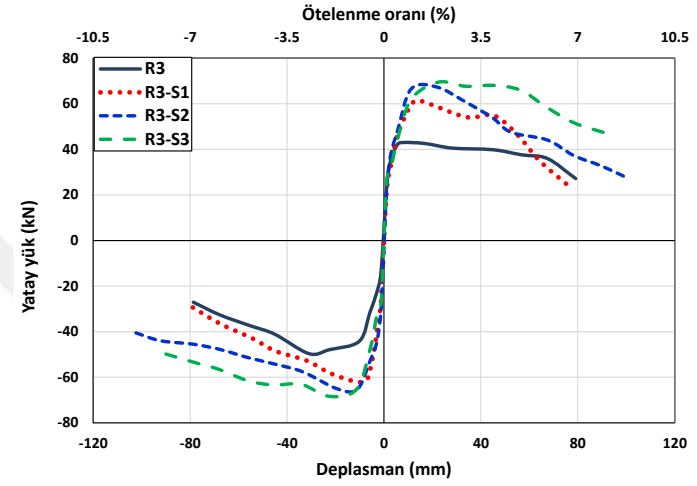
Deney numunelerinden farklı bölgelerde ve ebatlarda SIFCON panellerin uygulandığı numuneler referans çerçeveler ile zarf eğrileri üzerinden kıyaslanmış, SIFCON güçlendirmenin etkisi ve en etkin panel modeli gözlemlenmiştir. Şekil 4.231’de üst kat tam dolu alt kat %75 oranında tuğla duvar dolgulu R3 referans numunesi ile farklı tip SIFCON panellerle güçlendirilmiş R3-S1, R3-S2 ve R3-S3 numuneleri karşılaştırmalı zarf eğrileri çizdirilmiştir. Grafiklerden ve Tablo 4.16’den görüldüğü üzere dayanım ve süneklik kapasitesi için en etkin modelin S3 SIFCON panel modeli olduğu gözlemlenmiştir. Yalnızca köşe noktalara uygulanan L panellerden ziyade kısa kolon bölgesindeki tüm boşluğun panelle kaplandığı modelde davranışın daha iyileştiği görülmüştür. Şekil 4.232’de ise üst kat tam dolu alt kat %50 oranında tuğla duvar dolgulu R4 referans numunesi ile bu numuneye benzer üretilen ve farklı panel tipleri ile güçlendirilen R4-S1, R4-S2 ve R4-S3 numuneleri karşılaştırmalı zarf eğrileri çizdirilmiştir. Güçlendirilen numunelerde nihai ötelenme oranlarına göre süneklik değerleri benzer gözükse de yük taşıma kapasitesi ve yükteki azalma oranları dikkate alındığında yine S3 panel tipinin R4 çerçeve modellerinde davranış olarak daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Şekil 4.233’te ise üst kat tam dolu alt kat %25 oranında tuğla duvar dolgulu R5 referans numunesi ile bu numuneye benzer üretilen ve farklı SIFCON panel tipleri ile güçlendirilen R5-S1, R5-S2 ve R5-S3 numuneleri karşılaştırmalı zarf eğrileri çizdirilmiştir. Güçlendirilen numunelerde S2 ve S3 panel tiplerine ait numunelerden benzer sonuçlar elde edilmiş fakat S3 modelinde dayanım kısmen daha fazla olmuştur.

Deney numuneleri için hesap edilen tüketilen kümülatif enerjinin ötelenme oranına göre grafikleri Şekil 4.234-4-237’de gösterilmiştir. Grafiklerden ve Tablo 4.16’den R5-S2 numunesinde tüketilen enerji miktarının en fazla olduğu görülmektedir.

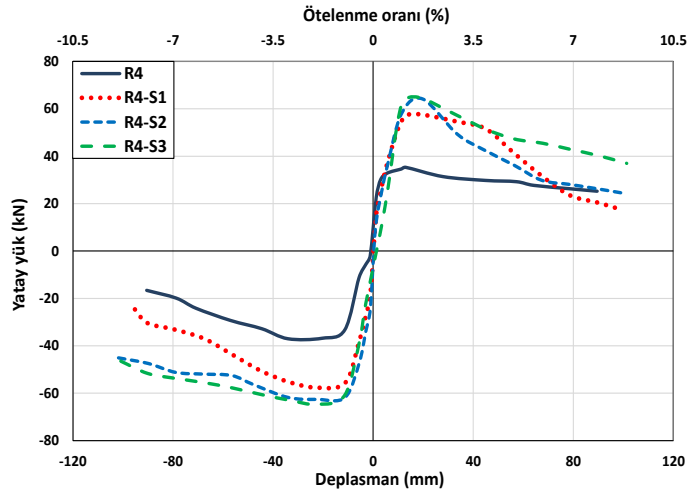
Numuneler için ileri (+) ve geri (-) çevrimlerde rijitlik azalmaları ötelenme oranlarına bağlı olarak Şekil 4.238-4.241’deki eğriler ile gösterilmiştir. Yapılan deneylerde güçlendirilmiş numunelerde rijitliklerin daha fazla olduğu, SIFCON panellerin güçlendirme elemanı olarak çerçeve rijitliğine katkı sağladığı görülmektedir. R4-S2 numunesi en rijit numune olmuş, duvar örtüsünün ve kolon yüzeyinde kullanılan panellerin birlikte kullanımı ile numune rijitliği artmıştır.



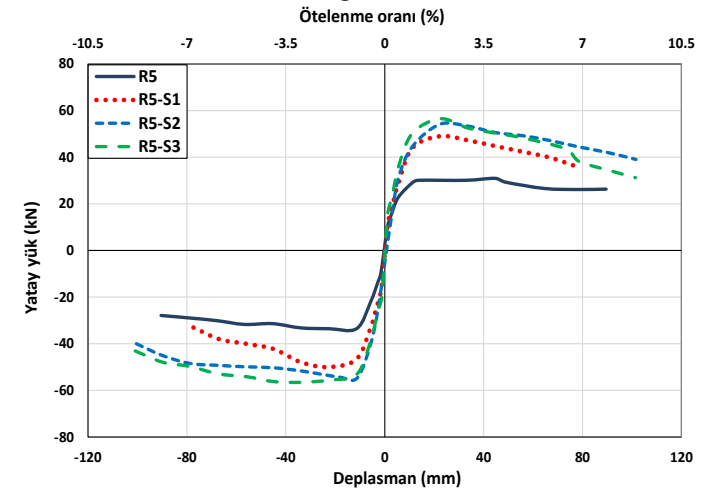
Şekil 4.230. Referans numuneler karşılaştırmalı zarf eğrileri



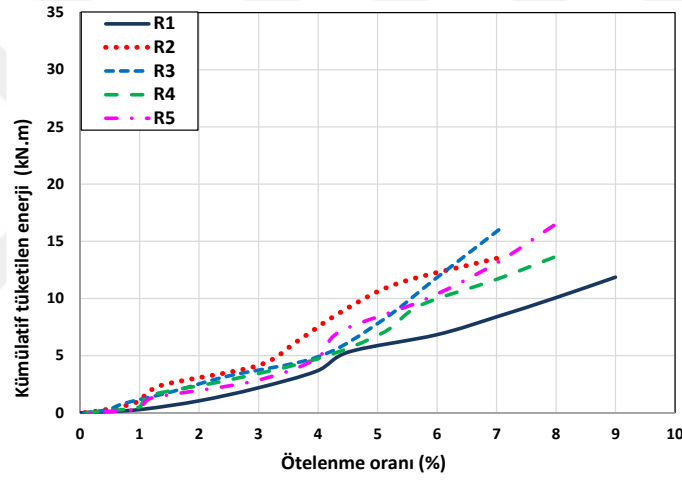
Şekil 4.231. R3, R3-S1-S2-S3 numuneleri karşılaştırmalı zarf eğrileri



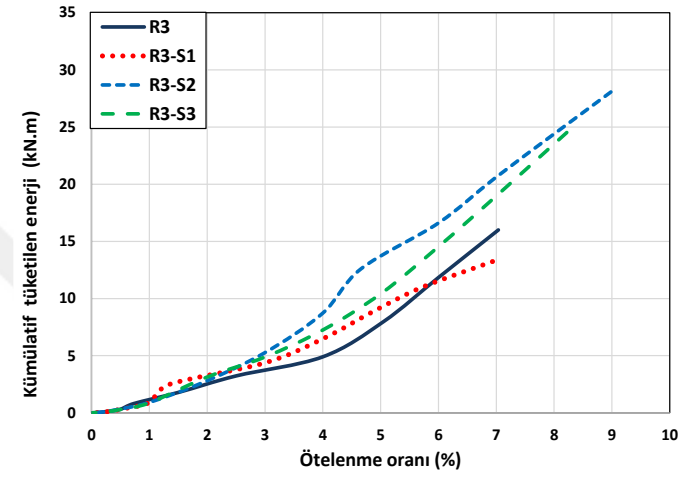
Şekil 4.232. R3, R4-S1-S2-S3 numuneleri karşılaştırmalı zarf eğrileri



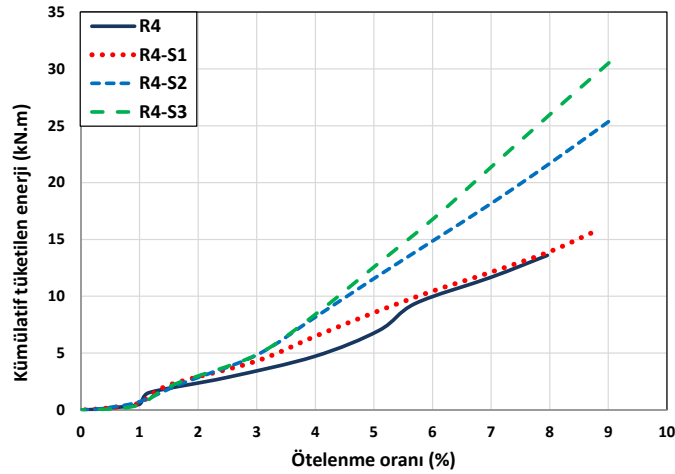
Şekil 4.233. R5, R5-S1-S2-S3 numuneleri karşılaştırmalı zarf eğrileri



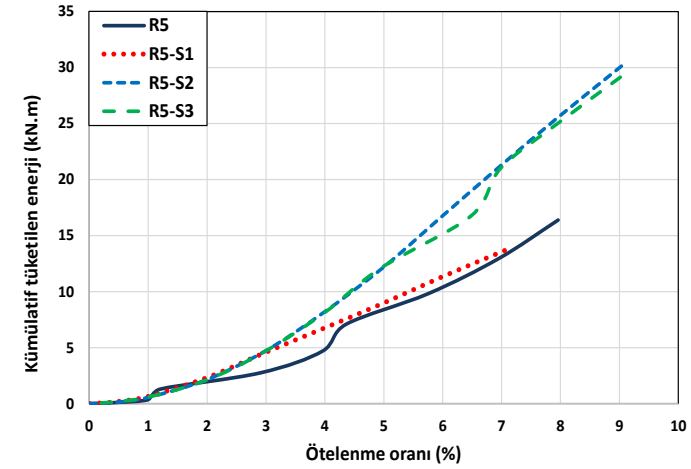
Şekil 4.234. Referans numuneler karşılaştırmalı kümülatif enerji grafikleri



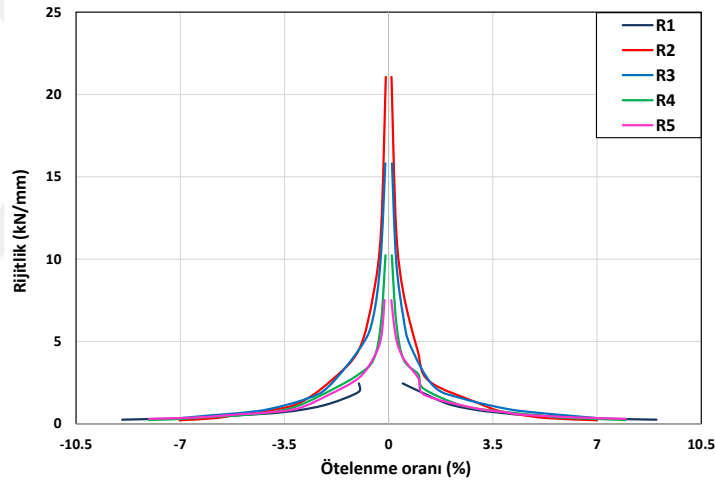
Şekil 4.235. R3, R3-S1-S2-S3 numuneleri karşılaştırmalı kümülatif enerji grafikleri



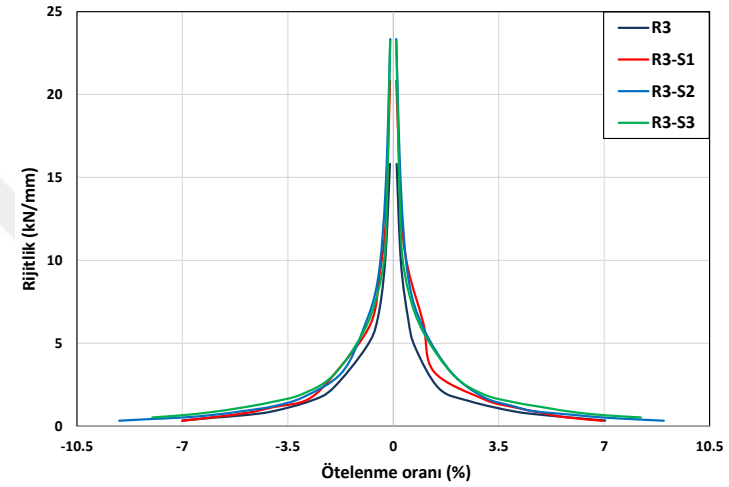
Şekil 4.236. R3, R4-S1-S2-S3 numuneleri karşılaştırmalı kümülatif enerji grafikleri



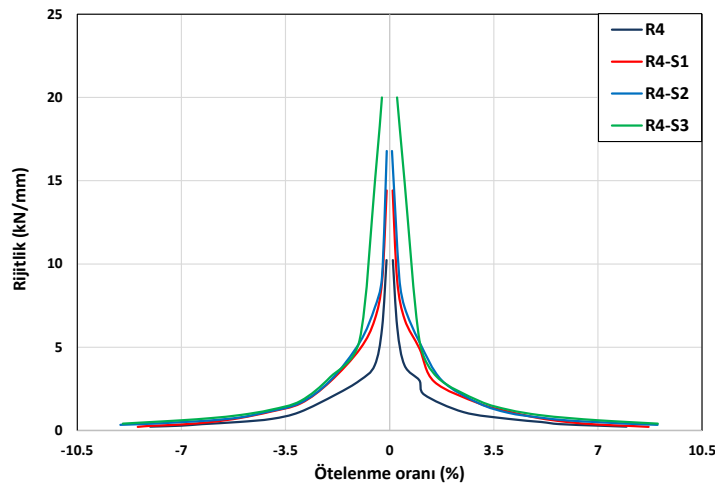
Şekil 4.237. R5, R5-S1-S2-S3 numuneleri karşılaştırmalı kümülatif enerji grafikleri



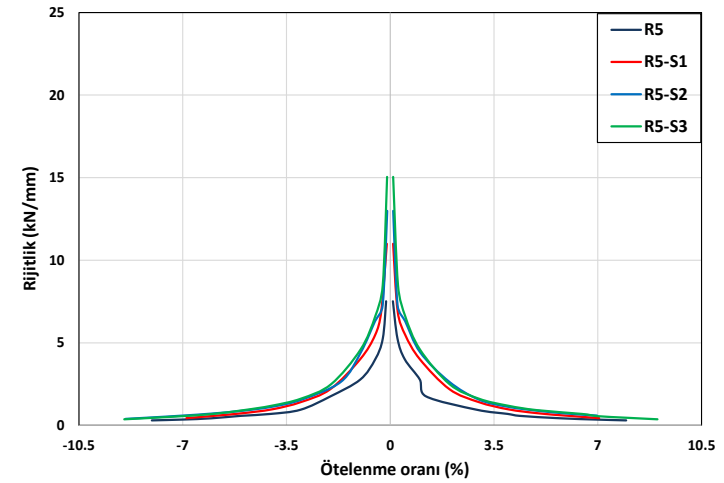
Şekil 4.238. Referans numuneler karşılaştırmalı rijitlik grafikleri



Şekil 4.239. R3, R3-S1-S2-S3 numuneleri karşılaştırmalı rijitlik grafikleri



Şekil 4.240. R3, R4-S1-S2-S3 numuneleri karşılaştırmalı rijitlik grafikleri



Şekil 4.241. R5, R5-S1-S2-S3 numuneleri karşılaştırmalı rijitlik grafikleri

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Bu çalışmada gerçekleştirilen deneylerde ultra performanslı beton türlerinden olan SIFCON betonlar ile üretilen çeşitli panel tiplerinin kısa kolon davranışına etkisi araştırılmış ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

1) SIFCON paneller yeni bir güçlendirme yöntemi olarak betonarme çerçeveler üzerinde denenmiş, kısa kolon oluşumu ile meydana gelen hasar mekanizmasını engellemek için oldukça olumlu sonuçlar vermiştir.

2) SIFCON betonların kesme gerilmelerini karşılamada etkin olduğu bilinmektedir. Bu çalışmada da SIFCON paneller ile etkin kesme alanları artırılarak kolon kesme kapasiteleri artırılmış, kısa kolon bölgesinde olası kesme hasarları engellenmiştir.

3) Çalışmada S1, S2 ve S3 olmak üzere üç tip güçlendirme elemanı kullanılmış ve kısa kolon hasarını engellemek üzere en etkin güçlendirme tipinin S3 panel olduğu görülmüştür. Panel uzunluğu yatay yük altında davranışı etkileyen en önemli parametre olmuştur. S3 panel tipi kullanılan güçlendirilmiş deney elemanlarında meydana gelen rijitlik artışı ile kısa kolon oluşan bölgede kolonun farklı oranda yanal ötelenme yapması engellenmiş, bu sayede kısa kolon oluşumuna bağlı kesme hasarları görülmemiştir. Elde edilen bu sonuç neticesinde S3 tipli SIFCON panel güçlendirmelerinin gerçek binalarda uygulaması mümkün olabilecektir.

4) Güçlendirme elemanı olan SIFCON panellerin betonarme çerçevelerde dayanımı artırdığı görülmektedir. SIFCON paneller ile güçlendirilmiş R3-S1-S2-S3 numunelerinde referans R3 numunesine oranla dayanımda yaklaşık %40'lık bir artış olmuştur. Aynı şekilde R4 referans numuneden elde edilen sonuçlar ile güçlendirilmiş R4-S1-S2-S3 numuneleri karşılaştırıldığında da dayanımda %75 düzeyinde, R5 referans numuneden elde edilen sonuçlar ile güçlendirilmiş R5-S1-S2-S3 numuneleri karşılaştırıldığında ise dayanımda %67'lik bir artış gözlemlenmiştir.

5) Panellerin kullanıldığı çerçeveler daha rijit davranmıştır. Güçlendirilen numunelerin başlangıç rijitliği referans numunelere göre belirgin oranda artmış, ötelenme oranı arttıkça numuneler daha rijit kalabilmiştir. Alt kat dolgu duvar alanının

%50 olduğu ve paneller ile güçlendirilen R4-S2 ve R4-S3 numunelerinde rijitlik daha fazladır.

6) Güçlendirilmiş numunelerinin enerji yutma kapasiteleri nispeten daha yüksektir. Paneller ile kesme hasarları önlenmiş, bu sebeple numunelerde enerji düşüşleri azalmıştır. R5-S2, R3-S3 ve R5-S3 numuneleri kümülatif enerjinin en fazla olduğu deney elemanlarıdır.

7) Literatürde yer alan kabul görmüş ve pratikte de uygulanan birçok güçlendirme çalışmasında binaların boşaltılması ve iş yerlerinin işleyişinin durdurulması gerekmektedir. Ancak bu tez çalışmasında geliştirilen güçlendirme tekniğine göre; binalar boşaltılmadan dıştan bir güçlendirme yapmak mümkün olmaktadır. Dışarıda üretilen SIFCON paneller epoksi ve ankraj çubukları yardımıyla olası hasar alanı olan kısa kolon boyunca yerleştirilerek güçlendirme yapılabilecektir.

8) Kısa kolon hasarlarına karşı geliştirilen bu güçlendirme yönteminde binanın mimarisi bozulmadan güçlendirme yapmak mümkündür. Binalarda bulunan bant pencereler çıkarılarak yerine SIFCON paneller yerleştirilecek, daha sonra SIFCON panellerin iç kısmı yine bant pencere olacak şekilde tasarlanacaktır. Böylece kısa kolon oluşabilecek bina bir yandan kısa kolon oluşumuna karşı güçlendirilirken diğer yandan da eski mimari tasarımını koruyacaktır.

9) Çalışmada kullanılan güçlendirme yönteminin gerçek binalara uygulanması durumunda, üretimde malzemelerin kolay elde edilebilir olması, uygulamada ise özel işçilik gerektirmemesi sebebiyle alternatif güçlendirme yöntemlerine göre avantaj sağlamaktadır.

10) Çalışmada %25 duvar yüksekliğine sahip çerçevelerde kısa kolon etkisi görülmemiştir.

5.2 Öneriler

Çalışmanın devamı olarak; kısa kolon hasarlarında olumlu sonuç veren bu yöntemin diğer betonarme yapı elemanlarında kritik hasar bölgelerinde uygulanması da laboratuvar çalışmaları ile test edilebilir ve bu konu kapsamında yeni projeler geliştirilebilir. Aynı deneyler farklı beton dayanımına sahip betonarme çerçevelerle gerçekleştirilip, beton dayanımının güçlendirmedeki etkisi incelenebilir. Darbe etkisine maruz kalabilecek yapıların modellenmesi amacıyla, SIFCON panellerle güçlendirilen

betonarme çerçevelerin, darbe yükü etkisi altındaki davranışı araştırılabilir. FRP ile güçlendirme yapılabilecek binalarda alternatif olarak SIFCON paneller kullanılabilir. Bunlara ilave olarak kiriş çekme bölgelerinin güçlendirilmesi, kolon-kiriş birleşim bölgelerinin güçlendirilmesi, kiriş kesme bölgelerinin güçlendirilmesi için SIFCON paneller kullanılabilir.

Bu çalışmada bant pencerelere montajı yapılan SIFCON paneller hasar bölgesine hasar oluşmadan önce montajlanmıştır, SIFCON paneller hasar oluştuktan sonra montajı ve kolona olan etkisi araştırılabilir.



KAYNAKLAR

- Abdollahi B., Bakhshi M, Mirzaee Z., Shekarchi M., Motavalli M., 2012, “SIFCON strengthening of concrete cylinders in comparison with conventional GFRP confinement method”, *Construction and Building Materials* 36 (2012) 765–778.
- ACI (American Concrete Institute) PRC-374.2-13, 2013, “Guide for Testing Reinforced Concrete Structural Elements Under Slowly Applied Simulated Seismic Loads”, Farmington Hills, MI: ACI
- Altın S., Anıl Ö., Kara M. E. 2008. “Strengthening of RC nonductile frames with RC infills: An experimental study”, *Cement and Concrete Composites*, 30, 612-621.
- Anıl Ö., Altın S., 2007, “An experimental study on reinforced concrete partially infilled frames”, *Engineering Structures*, 29, 449-460.
- Aydın F., 2019, “Farklı Sıcaklıkların SIFCON Betonunun Mekanik özelliklerine Etkisinin İncelenmesi”, 7th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science, 22-24 November 2019 (ISITES2019), SanliUrfa-Turkey
- Bahadır F., 2012. “Düzlem dışı perde duvarla güçlendirilmiş deprem davranışı yetersiz betonarme çerçevelerin davranışına pencere boşluklarının etkisi” Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 318.
- Balaji S., Thirugnanam G. S., 2015, Behaviour of Reinforced Concrete Beams with SIFCON at Various Locations in the Beam”, *KSCE Journal of Civil Engineering* (2018) 22(1):161-166, DOI 10.1007/s12205-017-0498-9.
- Balaji S., Thirugnanam G. S., 2017, “Study on Exterior RC Beam-Column Joints Upgrade with SIFCON in Joint Core Under Reversed Cyclic Loading”, *KSCE Journal of Civil Engineering* (2017) 21(1):346-352, DOI 10.1007/s12205-016-0643-x.
- Balık F. S., 2012. “Betonarme dolgu duvarla güçlendirilmiş deprem davranışı yetersiz betonarme çerçevelerin davranışına pencere boşluklarının etkisi” Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 245.
- Başegmez İ. H., 2007, “Kesme Açısından Yetersiz Betonarme Kısa Kolonların Lifli Polimerler İle Depreme Karşı Güçlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.

- CEN "EN 14651, 2005, "Test method for metallic fibre concrete – Measuring the flexural tensile strength", CEN, Brussels, Belgium, 2005.
- Çakır C., 2013, "Makrosentetik Ve Çelik Lif Donatılı Betonların Mekanik Davranışı", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul-Türkiye.
- Demir S., 2013, "Mevcut Betonarme Yapılarda Kısa Kolon Davranışlarının İyileştirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi.
- Dirikgil T., 2021, " Experimental investigation of the effects of concrete strength and axial load ratio on the performances of CFRP-wrapped and externally collared RC short columns", Engineering Structures 230(1).
- Duran B., Tunaboyu O., Avşar Ö., 2020, "Structural Failure Evaluation of a Substandard RC Building due to Basement Story Short-Column Damage", Journal of Performance of Constructed Facilities, 34(4).
- Elnono, M.A., Salem, H. M., Farahat, A. M., Elzanaty, A. H., 2009, "Use of Slurry Infiltrated Fiber Concrete in Reinforced Concrete Corner Connections Subjected to Opening Moments", Journal of Advanced Concrete Technology, Vol.7, No. 1, 51-59.
- Farnam Y., Moosavi M., Shekarchi M., Babanajad S.K., Bagherzadeh A., 2010, "Behaviour of slurry infiltrated fibre concrete (SIFCON) under triaxial compression", Cement and Concrete Research, Volume 40, Issue 11, , pp: 1571-158.
- İpek M., Canbay M., Yılmaz K., 2015, "Çelik ve polipropilen liflerin yalın ve kombinasyonlu olarak kullanılmasının SIFCON'un mekanik ve fiziksel özelliklere etkisi", SAÜ Fen Bil Der 19. Cilt, 1. Sayı, s. 41-52, 2015
- Kara M. E., Altın S., 2006, "Behavior of Reinforced Concrete Frames with Reinforced Concrete Partial Infills", ACI Structural Journal, pp: 701-709.
- Koçak A., 2015, "Earthquake performance of FRP retrofitting of short columns around band-type windows "Structural Engineering and Mechanics, Vol. 53, No. 1, pp:1-16.
- Mısır S., 2011, "Betonarme Yapıların Deprem Davranışının İyileştirilmesinde Çimento Şerbeti Emdirilmiş Lifli Beton (SIFCON) Kullanımı", Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi.

- Mısır S., Kahraman S., 2013, “Strengthening of non-seismically detailed reinforced concrete beam–column joints using SIFCON blocks”, *Sadhana*, Vol. 38 (1), pp. 69–88, Indian Academy of Sciences.
- Rao H. S., Vaishali G., Ghorpad V. G., Ramana N.V., Gnaneswar K., 2009, “Response of SIFCON two-way slabs under impact loading”, *International Journal of Impact Engineering* 37 (2010) 452–458.
- Rao, H.S., Ramana, N.V., 2005, “ Behaviour of Slurry Infiltrated Fibrous Concrete (SIFCON) simply supported two way slabs in flexure”, *Indian Journal of Engineering& Materials Sciences*, Vol.12, pp 427-433.
- Salih, S.A., Frayyeh, Q.J., Ali, M. A. A., 2018,“Flexural Behavior Of Slurry Infiltrated Fiber Concrete (Sifcon) Containing Supplementary Cementitious Materials”, *Journal of Engineering and Sustainable Development* Vol. 22, No. 2 (part-3).
- Shannag J., Barakat S., Jaber F., 2001, “Structural repair of shear-deficient reinforced concrete beams using SIFCON”, *Magazine of Concrete Research*, Volume 53 Issue 6, , pp. 391-403.
- Shehata L A. E. M., Carneiro L. A. V., Shehata L. C. D., 2002, “Strength of short concrete columns confined with CFRP sheets” *Materials and Structures/Matériaux et Constructions- Technical Report*, Vol. 35, , pp 50-58.
- Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) 2018, “Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı için Esaslar”, TC Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara, Türkiye
- Türk Standartı 500, 2000, “Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- Thamilselvi P., Manoharan P.D., 2008, “ Study of Behaviour of Reinforced Concrete Frames with Using SIFCON in Beam Column Joints”, *Journal of Engineering and Applied Sciences* 3 (1): 104-108.
- Ünal A. 2012. “TDY 2007’YE Göre Tasarlanmamış Betonarme Çerçevelerin Düzlem Dışı Perde Duvarla Güçlendirilmesi”, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 365.