



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**Yenilikçi Bir Teknik Olan Mekanik Çelik
Dikişlerle Güçlendirilmiş Kesme Kapasitesi
Yetersiz Betonarme Elemanların Depreme
Benzeştirilen Çevrimsel Yükler Altındaki
Davranışları**

Youssoufa Mahamadou SIDIBE

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran-2025
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Youssoufa Mahamadou SIDIBE tarafından hazırlanan “**Yenilikçi Bir Teknik Olan Mekanik Çelik Dikişlerle Güçlendirilmiş Kesme Kapasitesi Yetersiz Betonarme Elemanların Depreme Benzeştirilen Çevrimsel Yükler Altındaki Davranışları**” adlı tez çalışması 16/06/2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Prof. Dr. Ercan IŞIK
(Bitlis Eren Üniversitesi)

Danışman

Doç. Dr. Ceyhan AKSOYLU
(Konya Teknik Üniversitesi)

Üye

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

İmza

.....

.....

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Mevlüt UYAN
Enstitü Müdürü

Bu tez çalışması TÜBİTAK tarafından 122M091 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.

Youssoufa Mahamadou SIDIBE

Tarih: 16/06/2025

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YENİLİKÇİ BİR TEKNİK OLAN MEKANİK ÇELİK DİKİŞLERLE GÜÇLENDİRİLMİŞ KESME KAPASİTESİ YETERSİZ BETONARME ELEMENLARIN DEPREME BENZEŞTİRİLEN ÇEVİRİMSSEL YÜKLER ALTINDAKİ DAVRANIŞLARI

Youssoufa Mahamadou SIDIBE

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

**Danışman: Doç. Dr. Ceyhun AKSOYLU
İkinci Danışman: Doç. Dr. Boğaçhan BAŞARAN**

2025, 235 Sayfa

**Jüri
Doç. Dr. Ceyhun AKSOYLU
Prof. Dr. Ercan IŞIK
Prof. Dr. Musa Hakan ARSLAN**

Bu çalışmada, yetersiz kesme kapasitesine sahip betonarme konsol kirişler, mekanik çelik dikişlerle (MÇD/MSS) güçlendirilmiştir. Çalışma, esas olarak MÇD ile güçlendirilmiş yetersiz kesme kapasitesine sahip betonarme konsol kirişlerin tersinir-tekrarlanır çevrimsel yüklerin etkisi altındaki davranışının incelenmesine odaklanmıştır. Her bir numuneye 45° X şeklinde MÇD'ler uygulanarak güçlendirmenin etkinliğini araştırılmıştır. Çalışma kapsamında, 8 gruba ayrılan toplam 26 adet betonarme konsol kiriş numunesi, depremi simüle eden tersinir ve tekrarlanır yüklere maruz bırakılmıştır. Deney gruplarında sırasıyla MÇD çapı, etriye aralığı, kiriş boyuna donatı çapı, hedef betonun basınç dayanımı, kesme açıklığı/ faydalı yükseklik oranı ve betonarme kiriş geometrisinin yükseklik parametreleri analiz edilmiştir. 1/2 geometrik ölçekli konsol kirişler yatay yükleme noktasından temel üst kotuna kadar olan mesafesi sırasıyla 540 mm, 701 mm ve 1049 mm'dir. Çalışma, özellikle birçok betonarme binanın yetersiz kesme kapasitesine sahip olduğu Türkiye gibi deprem açısından aktif bölgeler için yenilikçi, pratik ve uygun maliyetli çözümler geliştirme vizyonunun bir parçası olabilir. MÇD yöntemi ile mevcut yapıların hızlı ve daha az maliyetli bir çözüm sunması sağlanabilir. Deneysel sonuçlar, farklı numunelerin yapısal performansının karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesini sağlamak için yük-deplasman eğrilerini, rijitlik değerlerini, kümülatif enerji tüketimi ve süneklik değerlerini içermektedir. Deneylerin ayrı ayrı sonuçları analiz edildikten sonra, her gruptaki farklı sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılmış ve deneysel sonuçlar buna göre yorumlanmıştır. Sonuç olarak 45°açılı X şeklinde MÇD ile güçlendirme yöntemi, yetersiz kesme kapasitesine sahip betonarme konsol kirişlerin tersinir-tekrarlanır çevrimsel yüklerin etkisi altında etkili bir yöntemi olduğu anlaşılmıştır. Bu yöntem özellikle düşük a/d oranına sahip kirişlerin kesme kapasitesini ve enerji tüketim performansını artırmak amacıyla oldukça etkili bir çözüm sunmaktadır. Ancak, bu yöntemi uygulanması sırasında kiriş yüksekliği ve MÇD çapı gibi parametrelerin dikkatlice değerlendirilmesi önem taşımaktadır.

Anahtar Kelimeler: Güçlendirme, kesme hasarı, konsol kiriş, mekanik çelik dikiş

ABSTRACT

MS THESIS

BEHAVIOR OF REINFORCED CONCRETE MEMBERS WITH INSUFFICIENT SHEAR CAPACITY STRENGTHENED WITH MECHANICAL STEEL STITCHES, AN INNOVATIVE TECHNIQUE, UNDER EARTHQUAKE SIMULATED CYCLIC LOADS

Youssoufa Mahamadou SIDIBE

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

**Advisor: Assoc. Prof. Dr. Ceyhun Aksoylu
Co- Advisor: Assoc. Prof. Dr. Boğaçhan BAŞARAN**

2025, 235 Page

**Jury
Assoc. Prof. Dr. Ceyhun Aksoylu
Prof. Dr. Ercan IŞIK
Prof. Dr. Musa Hakan ARSLAN**

In this study, reinforced concrete cantilever beams with insufficient shear capacity were reinforced with mechanical steel stitches (MÇD/MSS). The study mainly focused on the study of the behavior of reinforced concrete cantilever beams with insufficient shear capacity reinforced with MÇD under the influence of reversible-repetitive cyclic loads. The effectiveness of reinforcement was investigated by applying 45° X-shaped MÇDs to each sample. Within the scope of the study, a total of 26 reinforced concrete cantilever beam samples, divided into 8 groups, were exposed to reversible and repetitive loads simulating earthquakes. In the experimental groups, the diameter of the MÇD, stirrup spacing, beam longitudinal reinforcement diameter, compressive strength of the target concrete, shear span/useful height ratio and height parameters of the reinforced concrete beam geometry were analyzed, respectively. The distance from the horizontal loading point to the top elevation of the foundation in the 1/2 geometric scale cantilever beams is 540 mm, 701 mm, and 1049 mm, respectively. The study could be part of a vision to develop innovative, practical and cost-effective solutions, especially for earthquake-active regions such as Turkey, where many reinforced concrete buildings have insufficient shear capacity. With the MÇD method, it can be ensured that existing structures offer a fast and less costly solution. Experimental results include load-displacement curves, stiffness values, cumulative energy consumption, and ductility values to enable a comparative evaluation of the structural performance of different samples. After analyzing the results of the experiments separately, the different results in each group were compared with each other and the experimental results were interpreted accordingly. As a result, it has been understood that the reinforcement method with 45° angled X-shaped MCD is an effective method of reinforced concrete cantilever beams with insufficient shear capacity under the effect of reversible-repetitive cyclic loads. This method offers a very effective solution to increase the cutting capacity and energy consumption performance of beams with a low a/d ratio. However, it is important to carefully evaluate parameters such as beam height and MÇD diameter during the application of this method.

Keywords: Cantilever beam, mechanical steel stitches, reinforcement, shear damage

ÖNSÖZ

Bu yüksek lisans tezini çok sayıda insanın desteği olmadan asla tamamlayamazdım. Cömertlikleri, iyi niyeti ve araştırmama gösterdikleri ilgi bu çalışmayı tamamlamamı sağlamıştır. Her şeyden önce, değerli hocam ve tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Ceyhun AKSOYLU'ya, verdiği çok kıymetli bilgiler, gösterdiği büyük ulaşılabilirlik ve sürekli coşkusu için en içten teşekkürlerimi sunmak isterim. Onun rehberliği bir ilham kaynağı olmuş ve bu çalışmanın kalitesine büyük katkı sağlamıştır. Ayrıca ikinci danışmanım olan Sayın Doç. Dr. Boğaçhan BAŞARAN'a tezim boyunca gösterdikleri özenli destek ve ulaşılabilirlik için teşekkür etmek isterim.

Bilgi ve tecrübeleriyle bana yol gösteren, her zaman yardımcı olan Sayın Prof. Dr. Musa Hakan ARSLAN, Doç. Dr. Yasin Onuralp ÖZKILIÇ ve Arş. Gör. Yusuf UYSAL'a en içten teşekkürlerimi sunarım. Bu çalışmanın deneysel aşamalarında yardımcı olan Konya Teknik Üniversitesi Yapı ve Deprem Araştırma Laboratuvarı emekli teknisyeni Sayın Yüksel ÇİFTÇİ başta olmak üzere tüm laboratuvar çalışanlarına da deneysel çalışmalar boyunca gösterdikleri yardım için teşekkür ederim. Ayrıca Yardımcı Prefabrik Yapı Elemanları A.Ş., Haşçelik San. ve Tic.A.Ş. ve Konya Çimento San. A.Ş.'ye destekleri için teşekkürlerimi sunarım.

Bu tezin hayata geçirilmesine yönelik önemli katkılarından dolayı, TÜBİTAK-3501 Kariyer Geliştirme Programı (Proje No: 122M091) kapsamında sağladığı destek için Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na teşekkür ederim.

Ayrıca, yükseköğrenim sürecim boyunca sunduğu burs desteğiyle YTB Türkiye Bursları Kurumu'na da şükranlarımı sunarım.

Son olarak, en basit kelimeler genellikle en güçlü olanlardır, bu yüzden vazgeçilmez ve koşulsuz destekleri için aileme minnettarlığımı sunmak isterim. Babam, annem, kız kardeşlerim ve amcalarım, en zor zamanlarda bile ilerlemem için beni her zaman cesaretlendirdiler. Onların sevgisi ve güveni bu yolculuk boyunca en büyük gücüm olmuştur.

Youssoufa Mahamadou SIDIBE
KONYA-2025

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı.....	2
1.2. Tezin Önemi	3
1.3. Tezin İçeriği.....	4
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	5
2.1. Kirişlerde Kesme Kırılması ile İlgili Çalışmalar	5
2.2. Konsol Kiriş ile İlgili Çalışmalar.....	11
2.3. Mekanik Dikiş Yöntemi ile İlgili Çalışmalar	15
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	22
3.1. Deney Numuneleri ve Deney Mekanizması	22
3.1.1. Yükleme protokolü	24
3.2. Kiriş Numunelerinin Numaralandırılması	25
3.3. Deneysel Kiriş Grupları	26
3.3.1. 0. Grup Deneyler Ön- Deneyler.....	27
3.3.2. 1. Grup Kiriş Deneyler.....	29
3.3.3. 2. Grup Kiriş Deneyler.....	32
3.3.4. 3. Grup Kiriş Deneyler.....	35
3.3.5. 4. Grup Kiriş Deney Listesi	38
3.3.6. 5. Grup Kiriş Deney Listesi	40
3.3.7. 6. Grup Kiriş Deney Listesi	43
3.3.8. 7. Grup Kiriş Deney Listesi	47
3.4. Deney Numunelerinin Hazırlanması	51
3.4.1. Kalıpların ve Donatıların Hazırlanması	51
3.4.2. Betonun Hazırlanması ve Dökülmesi	57
3.5. Deney Malzemelerinin Mekanik Özellikleri	58
3.5.1. Beton	58
3.5.2. Donatı ve Mekanik Çelik Dikiş (MÇD)	60
3.6. Güçlendirme Metodolojisi	62
3.6.1. Mekanik Çelik Dikişlerin (MÇD) Hazırlanması	63
3.6.2. Ankraj Deliklerinin Açılması.....	63
3.6.3. Ankraj Deliklerinin Epoksi ile Doldurulması	64
3.6.4. MÇD'lerin Ankraj Deliklerine Yerleştirilmesi.....	65

3.7.	Deney Numunelerinin Mekanik Özelliklerinin Araştırılması	67
3.7.1.	Yük-Deplasman Grafiği.....	67
3.7.2.	Rijitlik Değerinin Hesaplaması.....	68
3.7.3.	Enerji Tüketim Kapasitelerinin Hesaplaması	68
3.7.4.	Süneklik Hesaplaması.....	69
4.	ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	71
4.1.	Numunelerin Yatay Yük Altındaki Deneysel Test Sonuçları.....	71
4.1.1.	0. Grup Numuneler	71
4.1.2.	1. Grup Numuneler	79
4.1.3.	2. Grup Numuneler	96
4.1.4.	3. Grup Numuneler	118
4.1.5.	4. Grup Numuneler	140
4.1.6.	5. Grup Numuneler	151
4.1.7.	6. Grup Numuneler	172
4.1.8.	7. Grup Numuneler	188
4.2.	Konsol Kiriş Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	207
4.2.1.	0. Grup Deneylerin Karşılaştırılması	207
4.2.2.	1. Grup Deneylerin Karşılaştırılması	209
4.2.3.	2. Grup Deneylerin Karşılaştırılması	211
4.2.4.	3. Grup Deneylerin Karşılaştırılması	214
4.2.5.	4. Grup Numunelerin Karşılaştırılması.....	217
4.2.6.	5. Grup Numunelerin Karşılaştırılması.....	219
4.2.7.	6. Grup Numunelerin Karşılaştırılması.....	221
4.2.8.	7. Grup Deneylerin Karşılaştırılması	223
4.2.9.	Güçlendirme etkilerinin basınç dayanımı değişimine göre karşılaştırılması.....	227
4.2.10.	Güçlendirme etkilerinin a/d oranı değişimine göre karşılaştırılması....	228
5.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	230
5.1.	Sonuçlar	230
5.2.	Öneriler	233
KAYNAKLAR	234	

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

a : Kiriş kesme açıklığı

b_w : Kiriş genişliği, mm

h : Kiriş yüksekliği, mm

s : Etriye ve MÇD aralığı, mm

d : Kesitin faydalı yüksekliği

d' : Paspayı, mm

$\emptyset$: Donatı çapı, mm

α : MÇD'nin dikiş açısı

P_{max} : Maksimum yük değeri, kN

P_y : Akma noktasındaki yük değerini, kN

δ_{max} : Maksimum yükte meydana gelen deplasman, mm

δ_y : Akma deplasmanı, mm

δ_u : $0.85P_{max}$ yükte meydana gelen deplasman, mm

μ : Süneklik oranı (δ_u / δ_y)

S_y : Akma anındaki rijitlik, kN/mm

S_{max} : Maksimum yükteki rijitlik, kN/mm

E_y : Akma yükü ($0.85P_{max}$) noktasında enerji tüketimi, kJ

$E_{p,max}$: Maksimum yük noktasındaki enerji tüketme kapasitesi, kJ

E_t : Nihai deplasman altında (göçme deplasmanı) enerji tüketme kapasitesi, kJ

kJ : Kilojoule

f_c : Beton basınç dayanımı, MPa

ρ' : Basınç donatısı oranı

ρ : Çekme donatısı oranı

ρ_b : Dengeli donatı oranı

C5: 28 gün ortalama silindir basınç dayanımı 5 MPa olan beton

C10: 28 gün ortalama silindir basınç dayanımı 10 MPa olan beton

C15: 28 gün ortalama silindir basınç dayanımı 15 MPa olan beton

C20: 28 gün ortalama silindir basınç dayanımı 20 MPa olan beton

C25: 28 gün ortalama silindir basınç dayanımı 25 MPa olan beton

Kısaltmalar

CFRP: Karbon fiber Takviyeli Polimer

GFRP: Cam fiber Takviyeli Polimer

FRP: Fiber Takviyeli Polimer

MÇD: Mekanik Çelik Dikiş

MPa: Mega Paskal

kN: KiloNewton

TBDY 2018: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği-2018

ACI: Amerikan Beton Enstitüsü

IO: Hemen Kullanım (Immediate Occupancy)

LS: Can Güvenliği (Life Safety)

CP: Göçme Öncesi (Collapse Prevention)

Öz: Özellikler

1. GİRİŞ

İnşaat mühendisliği alanındaki farklı yapıların inşasında yaygın olarak betonarme, ahşap ve çelik gibi malzeme türleri tercih edilmektedir. Özellikle bina, köprü vb. yapıların tasarımında, dayanıklılığı, esnekliği ve maliyetinin düşük olması nedeniyle betonarme en çok kullanılan malzeme olmaktadır. Betonarmenin kökeni, Alexander Payne ve Thaddeus Hyatt'ın 1870'lerin başında betonda donatı kullanımını keşfettikleri İngiltere'ye dayanmaktadır. William E. Ward ve Ernest Leslie Ransome daha sonra 1880'lerde çelik donatı kullanımını geliştirerek inşaatlarda betonarmenin yaygın olarak benimsenmesini sağlamıştır (Ngo, 2016).

Günümüzde betonarmenin önemi devam etmesiyle birlikte, birçok eski yapı artan zorluklarla karşı karşıyadır. Hızlı kentleşme ve sürekli artan nüfusla birlikte, bu eski yapılar giderek daha ağır yüklere maruz kalmaktadır. Ancak bu binalar geçmişte iyi tanımlanmış yükler için tasarlanmış olsa da özellikle depreme dayanıklılık ve çevresel gereksinimler açısından artık günümüz standartlarını karşılayamamaktadır. Ayrıca, malzemeler nem ve kimyasallar gibi çevresel faktörler nedeniyle daha hızlı bozulmaya maruz kalmakta ve bu da yapıların ömrünü kısaltmaktadır. Bu zorluklarla karşı karşıya kalan mevcut altyapının güçlendirilmesi ve yeniden inşası, kullanıcı güvenliğini garanti altına almak için çok önemli hale gelmektedir. Asil tasarımların bütünlüğünü korurken, kullanım ömürlerini uzatmak ve günümüzdeki güvenlik standartlarını karşılamak için bu yapıları mevcut yüklere uyarlamak zorunludur (Ngo, 2016).

En önemli yapı elemanlarından biri olan kirişler, betonarme yapılarda çok önemli bir rol oynar ve depremler sırasında en fazla hasar gören yapı elemanları arasındadır. Bu elemanlar düşey yönde eğilme momentine maruz kalmasıyla birlikte normal kuvvet, kesme kuvveti ve burulma momentine de maruz kalabilmektedir. Ancak normal kuvvete maruziyetleri oldukça düşük yapı elemanları olarak da bilinmektedir. Betonarme kirişlerin tipik hasar modları sünek eğilme ve eğik kesmedir. Betonarme kirişlerde kesme, betonun mukavemeti, enine ve boyuna donatıların konfigürasyonu ve uygulanan yüklerin dağılımı gibi birçok etkili parametre nedeniyle karmaşık bir sorundur. Bu karmaşıklık bazen standartlar tarafından belirlenen teorik tahminler ile deneysel gözlemler arasında uyumsuzluklara yol açmaktadır. Eğilme göçmesi daha öngörülebilir ve daha güvenli olduğundan, tasarım aşamasında kirişin kesme dayanımının eğilme dayanımından daha yüksek olması gerekmektedir. Betonarme kirişler, betonun çekme kapasitesi sayesinde kesme dayanımı gösterebilir, ancak ek yükleri taşıyabilmeleri için ve varsa zayıflık

belirtilerini giderebilmek için kesme donatısına ihtiyaçları vardır. Eğer kesme donatısı yetersiz ise bu kirişlerin güçlendirilmeleri gereklidir. Türkiye'de yakın zamanda meydana gelen depremler, özellikle de 6 Şubat 2023'te meydana gelen deprem, çok sayıda betonarme binanın hasar görmesine/yıkılmasına neden olmuş ve mevcut binaların olası depremlere karşı artık yeterince dayanıklı olmadıklarını göstermiştir. Diğer bir ifade ile asrın felaketi olarak gerçekleşen Kahramanmaraş merkezli depremler mevcut yapı stoğunun olumsuz davranışını bir kez daha göstermiştir.

Yapıları güçlendirmeye yönelik mevcut yöntemler, deprem enerjisini çökmeden absorbe edebilmeleri için direnç/dayanım ve rijitliklerini artırmayı amaçlamaktadır. Kirişler, hasarın bir kısmını absorbe ederek kolonları ve düşey taşıyıcı duvarları korudukları için bu süreçte önemli bir rol oynamaktadır. Bu nedenle deprem yönetmelik kuralları, kolonların stabilitesini korurken hasarı kirişlere yönlendirmektedir (Wardeh ve ark, 2017; Esen ve ark, 2022; Abidine, 2021).

Betonarme yapıların dıştan güçlendirilmesi; malzeme hasarı, tasarım veya uygulama hataları olan ya da ek yüklemenin güvenlikte bir iyileşme gerektirdiği yapıların direncini rehabilite etmek veya güçlendirmek için kullanılan bir yaklaşımdır. Bu teknik, hasarlı malzemelerin değiştirilmesini ve/veya genellikle yapıya orijinal kesitinden daha yüksek performanslı yeni malzemelerin eklenmesini ve beton gibi malzemeler eklenerek kesitin artırılmasını içerir. Aynı zamanda bu teknik, çeliklerin yüksek performanslarından yararlanılarak dış takviye olarak kullanılmasını da içerir. Ancak bu çeliklerin korozyon, yüksek ağırlık ve yapının karmaşık bölümlerine zor adaptasyon gibi dezavantajları olabilir. Alternatif olarak, kompozit malzemeler düşük ağırlıkları, yüksek çekme mukavemetleri ve korozyon dirençleri nedeniyle çeşitli yapısal bölümlere adaptasyon kolaylığı sunar. Ancak maliyetleri önemli bir ekonomik engel teşkil edebilir (Koçer, 2013).

1.1. Tezin Amacı

Yapılan bibliyografik çalışmalara göre, kiriş güçlendirme yöntemleri; kirişin mukavemetini, sünekliğini ve enerji yutma kapasitesini artırmalıdır. Mevcut kullanılan yöntemlerin çeşitli avantajları olsa da ekonomik açıdan dezavantajları da vardır. Bu nedenle yeni, daha az maliyetli ve etkili güçlendirme yöntemleri araştırmacılar için öncelikli olmalıdır. Bu çalışmada, kesmeye karşı yetersiz kapasiteye sahip konsol kirişler, Mekanik Çelik Dikiş (MÇD) yöntemi kullanılarak güçlendirilmiştir. Yani kısaca,

çalışmanın ana amacı çevrimsel yüklerin etkisi altında MÇD' nin kesmeye karşı göstermiş olduğu davranışı belirlemektir.

Farklı araştırmacılar tarafından daha önce yapılan çalışmalarla kıyas edildiğinde bu tez çalışmasında kullanılan güçlendirme tekniği yenilikçi bir yöntem olarak görülmektedir. Ayrıca düşük kesme dayanımı ve/veya düşük beton dayanımı olan mevcut betonarme kirişlerin kesme bölgelerinin güçlendirilerek diğer yöntemlerden daha az maliyetli ve daha etkili güçlendirme sağladığını ortaya çıkarması ile dikkat çekmektedir.

1.2. Tezin Önemi

Yapısal güçlendirme üzerine yapılan araştırmalar, modern yapı mühendisliği alanında büyük önem taşımaya devam etmektedir. Bu araştırma, betonarme alanında yeni ve yenilikçi bir güçlendirme yöntemini incelemektedir. Bu yöntemin yeniliği, yapının önemli elemanlarından olan betonarme kirişlerin mukavemetini ve dayanıklılığını artırma potansiyelinde yatmaktadır. Genellikle ağır ve maliyetli müdahaleler gerektiren diğer geleneksel yöntemlerle karşılaştırıldığında, mekanik çelik dikişler kullanılarak yapılan güçlendirme daha verimli ve ekonomik bir seçenek sunmaktadır. Teknik düzeyde bu mekanik çelik dikişlerin konsol kirişlerin yapısal davranışını nasıl etkilediğinin, özellikle de çevrimsel yükleme altında bu güçlendirme yönteminin kesme hasarını nasıl önleyeceğinin daha iyi anlaşılmasını sağlamaktadır.

Son olarak, bu tezin sınırı sadece teknolojiye ve pratiğe katkısı olmayıp, aynı zamanda betonarme yapıların kesmeye karşı güçlendirilmesi konusunda gelecekteki araştırmalar için yeni bir pencere açmasıdır. Elde edilen sonuçlar bir referans olabilir ve güçlendirme yöntemlerinin optimizasyonu ve sürekli değişen kentsel çevrede yapısal dayanıklılığın artan zorlukları için yenilikçi çözümlerin araştırılması konusunda daha fazla çalışmayı teşvik edebilir. Kısaca bu tez çalışması, modern inşaat mühendisliğine önemli bir katkı sunmakta ve sadece mevcut yapıların performansını iyileştirmekle kalmayıp, aynı zamanda modern kentsel inşaatта yenilik ve sürdürülebilirlik için yeni yollar açması bakımından oldukça önemlidir.

1.3. Tezin İçeriği

Bu tez çalışması MÇD'nin tersinir-tekrarlanır çevrimsel yük etkisi altındaki davranışının incelenmesi adına literatürdeki ilk çalışmayı temsil etmektedir. Tez çalışmasının;

1. Bölümünde betonarme, kirişlerin önemi, betonarme yapıların güçlendirilmesinin yöntemleri, tezin amacı ve öneminden bahsedilmiştir.
2. Bölümde literatürdeki güçlendirilmiş kirişlerin yatay ve düşey yükler altında, özellikle MÇD ile güçlendirilen kirişlerin davranışları incelenmiştir.
3. Bölümde yetersiz kesme dayanımına sahip olan konsol kirişler, MÇD'lerle güçlendirilerek depremi benzeştiren tersinir tekrarlanır yükler altında deneysel çalışmaları gerçekleştirilmiştir.
4. Bölümde deneysel çalışma sonuçları ve karşılaştırmalar detaylandırılmıştır.
5. Bölümde ise MÇD'nin, tersinir tekrarlanır çevrimsel yükler altında, konsol kiriş kesme kapasitesine etki aralığı belirlenerek spesifik sonuçları ve gelecek çalışmalar için önerilerde bulunulmuştur.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

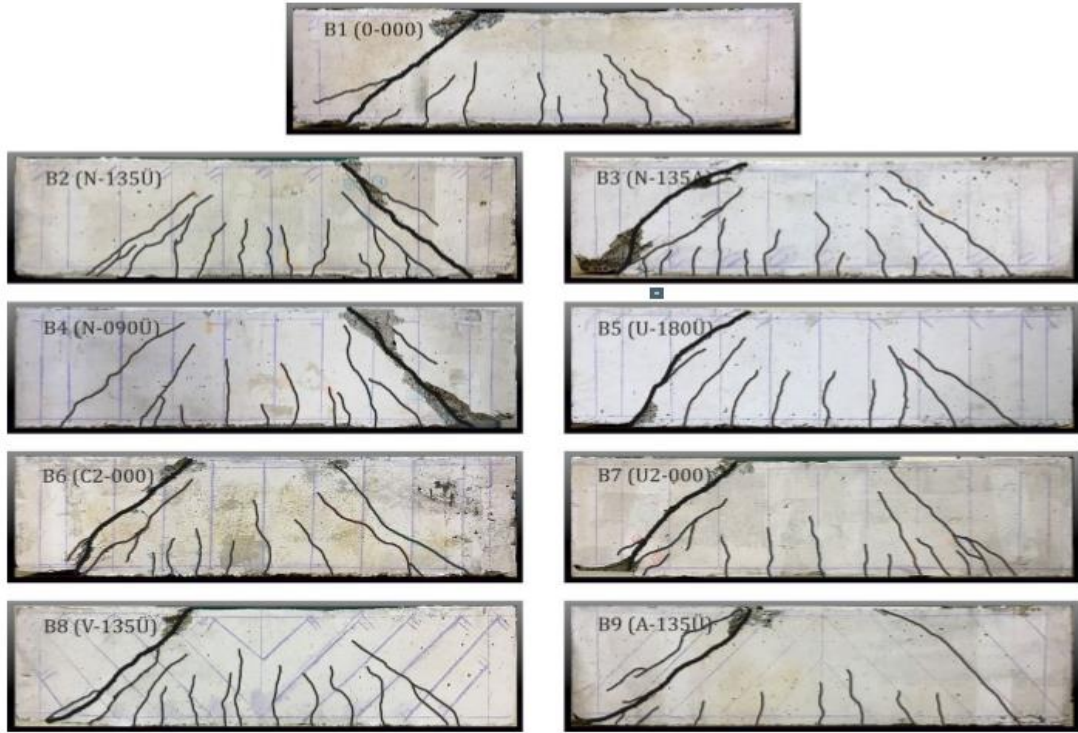
Bu bölümde, inşaat mühendisliği alanında var olan farklı güçlendirme malzemeleri kullanılarak gerçekleştirilen güçlendirme yöntemleri sunulmaktadır. Uygulanan güçlendirme yöntemleri betonarme (BA) kiriş ve konsol kirişleri kapsamaktadır. İncelenen çalışmalar kirişlerin düşey yük ve deprem yükleri altındaki davranışlarını araştırmaya yönelik gerçekleşmiştir. Genel olarak, betonarme kiriş elemanın dış yüzeyinden yapılan uygulama ile gerçekleştirilen kesmeye karşı güçlendirme için en sık kullanılan 3 ana güçlendirme türü vardır:

- kompozit malzemeler ile güçlendirme yöntemi,
- elemanın dış yüzeyinde çelik levhalar kullanarak güçlendirme yöntemi,
- mantolama tekniği ile güçlendirme yöntemi şeklindedir.

Yapılan kapsamlı literatür araştırmasında öncelikle bu üç yönetime yönelik yapılan çalışmalar sunulmuştur. Son bölümde ise, bu tez çalışmasını da destekleyen ancak literatürde sınırlı sayıda çalışma olan MÇD tekniğinin etkinliği anlatılmaktadır. Bu sayede yapılan tez çalışmasının literatürdeki bir boşluğu doldurduğu kolaylıkla görülebilecektir.

2.1. Kirişlerde Kesme Kırılması ile İlgili Çalışmalar

Literatür incelendiğinde Özkal (2017), yaptığı çalışmada küçük kesme açıklığına sahip betonarme kirişlerin davranışı üzerine deneysel bir çalışma gerçekleştirmiştir. Yapılan çalışmada, kirişlerde kesme davranışının ve oluşan gergili kemer davranışının etkileri araştırmıştır. Ayrıca, kirişler içerisinde kullanılan etriyelerin gergili kemer davranışına etkisini görmek için farklı yerleşimleri kullanılmıştır. Sekil 2.1’de görüldüğü üzere farklı etriye konfigürasyonları dikkate alınarak 250x400x1500 mm boyutlarında 9 tane betonarme kiriş hazırlanmış olup dört noktalı yükleme deneyi altında test edilmiştir. Sonuç olarak, etriyesiz kirişler, tasarım kesme kapasitelerini aşan kırılma yükleri ile gergili kemer etkisinin varlığını kanıtlamıştır. Etriyeleli kirişlerde ise eğilme kapasitesine daha yakın sonuçlar elde edilmiştir. Kirişlerde etriyeler, hem kesmeden kaynaklanan asal çekme gerilmelerini karşılamada hem de beton-donatı kenetlenmesinde farklı davranışlar sergilemiştir. Kancaları 135° olan etriyeler, kancaları 90° veya 180° olan etriyelere göre daha iyi performans göstermiş, daha dayanıklı ve daha sünek olmuştur.



Şekil 2.1. Deney numunelerinin çatlak dağılımları (Özkal. 2017)

Panda ve ark. (2013), yaptığı çalışmada T şekilli betonarme kiriş üzerinde deneysel çalışmalar gerçekleştirmiştir. Tüm kirişlerin uzunluğu 2500 mm, tabla genişliği 250 mm, yüksekliği 260 mm ve genişliği 100 mm boyutlarındadır. Çalışmada 18 adet betonarme T-kiriş bulunmaktadır. Bu kirişler dokuz kontrol kirişi ve dokuz güçlendirilmiş kiriş olarak iki gruba ayrılmıştır. Kontrol kirişleri üç ayrı seri halinde test edilmiştir. İlk seride mesnetlerde ve yükleme noktalarında yalnızca etriyeler bulunurken, ikinci ve üçüncü serilerde etriyeler sırasıyla 300 mm ve 200 mm aralıklarla yerleştirilmiştir. Güçlendirilmiş kirişler GFRP ile üç konfigürasyonda uygulanmıştır. Bunlar sırasıyla yanal yapıştırma, U-şekilli sargı ve ankrajlı U-şekilli sargıdır. Yapılan çalışma sonuçları, GFRP ile güçlendirilen tüm kirişler için kesme kapasitesinde önemli bir kazanç olduğunu açıkça göstermiştir. Çalışılan konfigürasyonlardan ankrajlı U şeklinin, ankrajsız U şeklinden ve yanal yapıştırma konfigürasyonlardan daha etkili olduğu görülmüştür. GFRP'nin kesmeye katkısı üzerindeki etkisinin, artan enine donatı içeriği ile azaldığı görülmüştür. Ayrıca, güçlendirilmiş kirişler, güçlendirilmemiş kirişlere kıyasla enine donatılarda daha az deformasyon göstermiştir. Boyuna donatıların deformasyonları analiz edildiğinde, ankrajlı U-şekilli GFRP ile güçlendirilen kirişlerin, ankrajsız U-şekilli GFRP ile güçlendirilenlere göre daha düşük deformasyonlara sahip olduğu görülmüştür. Son olarak GFRP kullanımının kirişlerin kesme davranışını,

kirişlerin karşılaştırmalı yük-deplasman eğrilerinde, gevrek kırılmadan daha sünek davranışa dönüştürdüğü sonucuna varılmışlardır.

Li ve ark. (2017) yaptığı çalışmada, U şeklinde yerleştirilen CFRP şeritlerle güçlendirilmiş betonarme kirişlerin kesme davranışına kesme açıklığı ve faydalı yükseklik oranının (a_v/d) etkisini incelenmiştir. Deneysel çalışmada, toplamda 12 adet betonarme kiriş test edilmiştir. Bu kirişler, uzunlukları 2000 mm ve 2400 mm arasında değişen ve a_v/d oranları 1.0 ile 3.5 arasında değişen kirişlerden oluşmaktadır. a_v/d oranları 1.0, 1.5, 2.0 ve 2.5 olan kirişlerin açıklıkları 2000 mm olarak tasarlanmışken, a_v/d oranları 3.0 ve 3.5 olan kirişlerin açıklıkları ise 2400 mm olarak tasarlanmıştır. Bu kirişler altı kontrol kirişi ve altı güçlendirilmiş kiriş olarak iki gruba ayrılmıştır. İlk grup güçlendirilmemiş referans betonarme kirişler oluşturmakta, diğer grup ise 150 mm aralıklarla yerleştirilen ve 60 mm genişliğinde U şeklinde CFRP şeritlerle güçlendirilmiştir. Yapılan çalışma sonuçları CFRP'lerin betonarme kirişlerin kesme dayanımına katkısı, a_v/d oranından büyük ölçüde etkili olduğunu göstermiştir. Ayrıca CFRP şeritler a_v/d oranı 2 ve 2.5 olduğunda en iyi şekilde çalışır, ancak çok düşük veya çok yüksek olduğunda daha az etkili olduğunu belirlenmiştir.

Gemi ve ark. (2019) yaptığı çalışmada, 3200 mm uzunluğundaki inceltilmiş uçlu aşık kirişlerinde karbon fiber takviyeli polimer (CFRP) kompozitler kullanarak güçlendirmenin aşık kirişler üzerindeki etkinliğini anlamaya yönelik bir dizi deneysel çalışma gerçekleştirmiştir. Güçlendirilmemiş bir referans numune ve farklı CFRP konfigürasyonları ile güçlendirilmiş dört numune olmak üzere toplam beş numune test edilmiştir (Şekil 2.2). Güçlendirilmiş numuneler farklı CFRP güçlendirme konfigürasyonları ile birbirinden ayrılmıştır. P2 ve P3 tipleri her iki uçta da tam veya yarım CFRP sargısına sahiptir. P4 ve P5 tipleri için, CFRP sargısı iki uçta sırasıyla kısmen ve tamamen sarılmıştır. Ayrıca uygulanan sargılama kiriş eğilme bölgesini de kapsamaktadır. Sonuçlar, CFRP ile güçlendirmenin P2 için %47 ve P3 için %39'luk bir artışla kirişlerin kesme kapasitesini önemli ölçüde artırdığını göstermiştir. Özellikle, P3 numunesi optimum sünek davranış gösterirken, eğilme bölgesinde aşırı CFRP uygulaması (P4 ve P5) daha gevrek davranışa yol açmıştır.



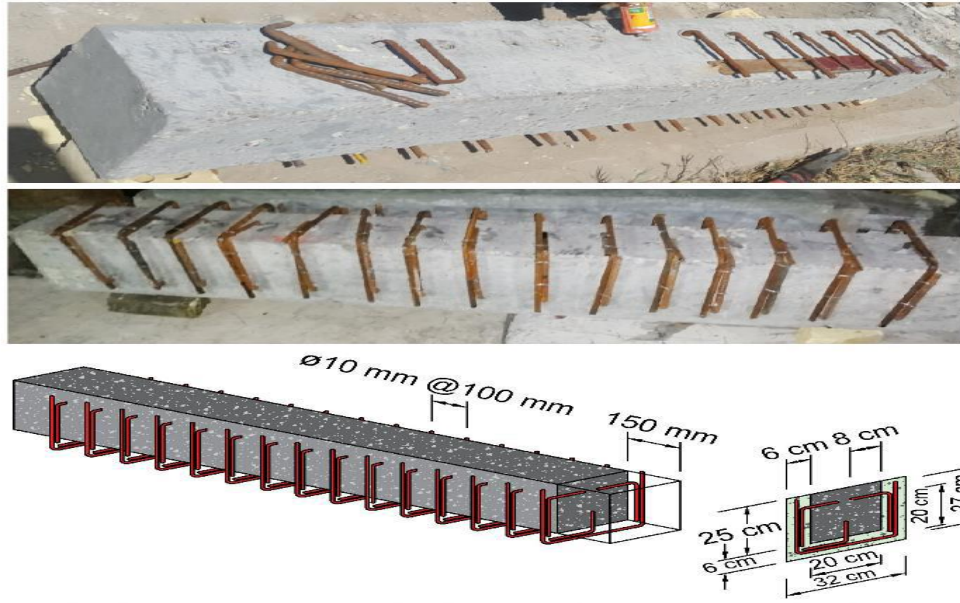
Şekil 2.2. CFRP ile kesme bölgesi güçlendirilen aşıklar ve deney düzeneği (Gemi ve ark., 2019)

Esen ve ark. (2022) yaptığı çalışmada beton dayanımı, etriye aralığı ve çekme donatısı miktarının betonarme kirişlerin kesme kapasitesi üzerindeki etkisini incelenmiştir. Çalışma kapsamında 150 x 300 x 2200 mm boyutlarında 16 adet kiriş yapılmış olup 3 noktalı yükleme düzeneğinde düşey yüke tabi tutulmuştur. Kirişler, beton sınıfı 5, 7, 9 ve 20 MPa, çekme donatısı 2Ø12 ve 3Ø12, etriye aralığı ise 100 mm ve 300 mm olacak şekilde üretilmiştir. Yapılan çalışma sonuçları, etriye sıklaştırmasının 5 MPa beton sınıfına sahip olan kirişlerin davranışı üzerinde çok az etkisi olduğunu göstermiştir. Ancak, 7 ve 9 MPa beton dayanımına sahip numunelerde, etriye sıklaştırmasının etkisinin daha belirgin olduğu görülmüştür. Beton dayanımı arttıkça, kirişlerin yük taşıma kapasitesi, sünekliği, enerji tüketme kapasitesi ve rijitliğinde bir iyileşme görülmüştür. Etriye aralığı azaldıkça kirişin yük taşıma kapasitesi ve rijitliğinde, süneklik ve enerji tüketim miktarında daha belirgin bir artış gözlemlenmiştir.

Özbek (2008) yaptığı çalışmada, betonarme T-kirişlerin delikli, çelik levhalar ve bulon destekli uç yan levhaları ile güçlendirilmesine yönelik çalışma yapmıştır.

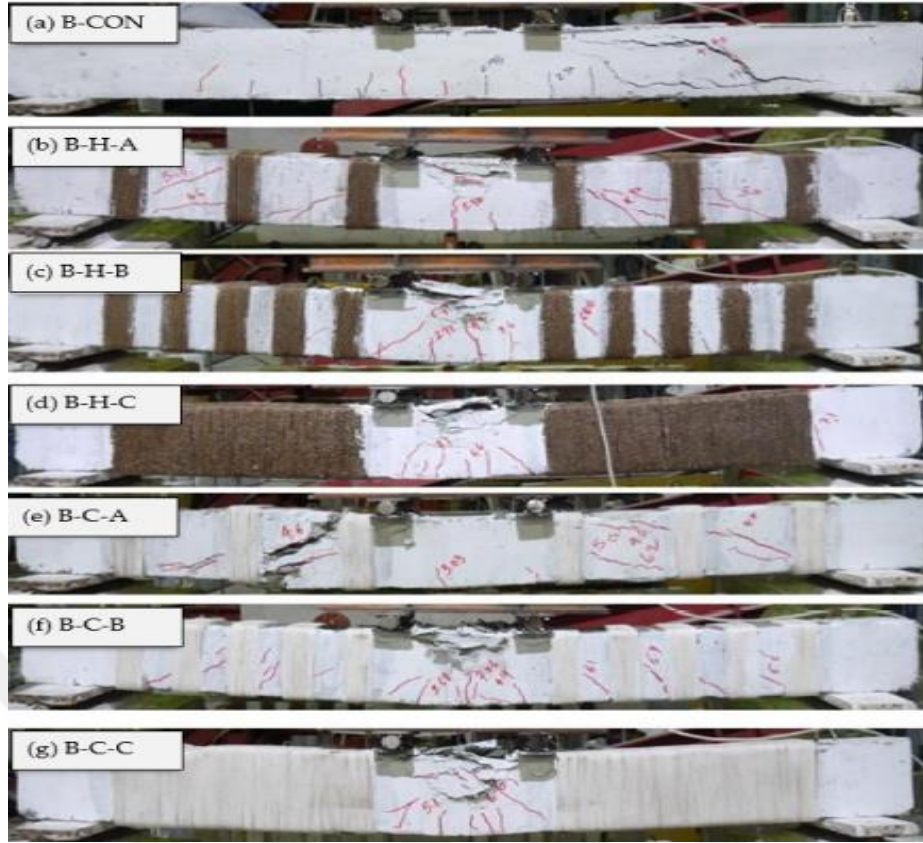
Çalışmanın amacı, güçlendirilmiş kirişlerin sünekliğini herhangi bir mukavemet kaybı olmadan iyileştirmek için basit ve pratik bir uç bağlantısı geliştirmektir. Deneysel çalışmada 1/1 ölçekli, iki referans olmak üzere toplam 8 adet betonarme kiriş, üretilmiştir. Üç kiriş eğilmeye karşı güçlendirilmiştir. Diğer üç kiriş ise hem eğilmeye hem de kesmeye karşı güçlendirilmiştir. Eğilmeye karşı güçlendirilen numunelerde levha tipi (delikli, düz), yapıştırıcı (epoksili, epoksisiz), basınç levhası (içeren ve içermeyen) gibi değişkenler bulunmaktadır. Kesmeye karşı güçlendirilen numunelerde ise güçlendirme tekniği sabit tutularak eğilme numunelerindeki bu değişkenler tekrarlanmıştır, böylece genel yapı korunmuştur. Numuneler daha sonra düşey yükler altında test edilmiştir. Deney sonuçları analiz edilmiş ve dayanım, süneklik, enerji tüketimi ve rijitlik açısından karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, memnun edici şekilde sünekliğin korunmasını sağlarken, güçlendirmeden sonra dayanımda yaklaşık üç kat artış olduğunu göstermiştir. Ayrıca, yükleri plakadan kirişe aktarmak için bulonların etkili bir araç olduğu ve epoksi reçine yapıştırmadan daha verimli olduğu belirlenmiştir.

Ojaimi (2021) yaptığı çalışmada, farklı beton mantolama teknikleri kullanarak betonarme kirişlerin kesme kuvveti ile güçlendirilmesi üzerine deneysel bir çalışma yapmıştır. Çalışmada 200 x 250 x 1700 mm boyutlarına sahip, bir referans kiriş ve 4 güçlendirilmiş kiriş olmak üzere toplam 5 adet betonarme kiriş üretilmiştir. Numunelerin kesme açıklığı/faydalı yükseklik oranı ikiye eşit olacak şekilde ($a/d = 2$), dört noktalı yükleme deneyi altında teste tabi tutulmuştur. Kesme kapasitesi yetersiz olan kirişlerin davranışını iyileştirmek için etriyesiz çelik liflerle güçlendirilmiş kendiliğinden yerleşen beton mantolama, etriyeli kendiliğinden yerleşen beton mantolama, ferrocement mantolama ve dış takviye çelik çubukları ile ferrocement mantolama olmak üzere toplam dört beton mantolama tekniği kullanılmıştır. Şekil 2.3'te kiriş detayları gösterilmiştir. Bu teknikler, referans kirişe kıyasla test edilen kirişlerde %6-%59 aralığında kapasite artışı olduğunu ortaya koyulmuştur. Etriye kendiliğinden yerleşen ile güçlendirilmiş kiriş, rijitlik ve taşıma kapasitesi açısından en iyi performansı gösterirken, ferrocement kaplama kesme kapasitesini çatlama yükü açısından iyileştirmek için en uygun kaplama tekniği olduğunu kanıtlamıştır.



Şekil 2.3. Kiriş detayları (Ojaimi 2021)

Hussain ve ark. (2022) yaptığı çalışmada, doğal lif takviyeli polimer kompozitlerin (NFRRP) betonarme kirişlerin kesme mukavemetini artırmadaki etkinliğini araştırmıştır. Çalışmada düşük maliyetli kenevir ve pamuk ipinden iki tip NFRRP kompoziti üretilmiştir. Yazar, bu kompozitlerle güçlendirilen betonarme kirişlerin kesme dayanımı, enerji yayılımı ve deformasyon kapasitelerindeki iyileşmeyi araştırmıştır. Çalışmada, düşük kesme dayanımına sahip, 1500 mm x 120 mm x 150 mm boyutlarında toplam, yedi betonarme kiriş numunesi (1 referans ve 6 güçlendirilmiş) kullanılmıştır. Güçlendirilmiş numuneler, üç farklı donatı konfigürasyonunda iki tip NFRRP kompozit (kenevir ve pamuk) ile güçlendirilmiştir. Sonuçlar, NFRRP ile güçlendirilmiş kirişlerin referans kirişine kıyasla kesme mukavemeti, deformasyon kapasitesi ve enerji tüketmede önemli bir iyileşme gösterdiğini ortaya koymuştur. Güçlendirme konfigürasyonları ve elyaf türleri (kenevir ve pamuk) kiriş performansını etkilemiştir. Gerçekleştirilen sonlu elemanlar analizi, deneysel sonuçları doğrulayarak NFRRP ile güçlendirilmiş kirişlerin davranışını tahmin etmek için kullanılan modellerin güvenilirliğini ortaya koymuştur. Kirişlerin kırılma şekillerinin görüntüsü Şekil 2.4'te gösterilmiştir.



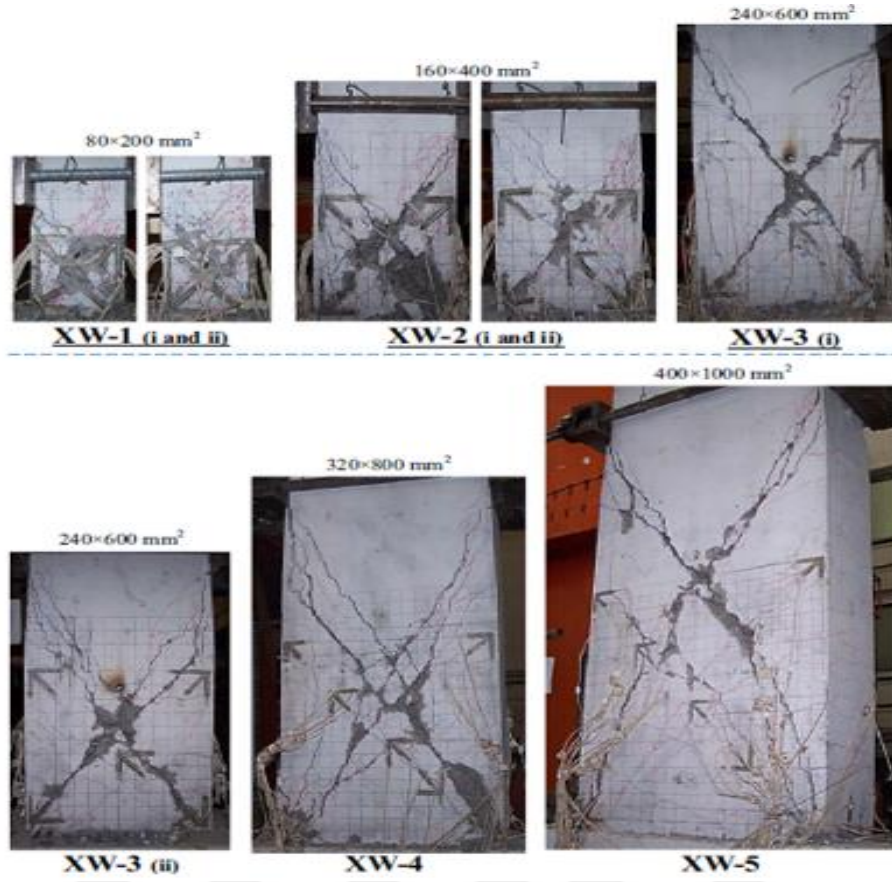
Şekil 2.4. Kirişlerin kırılma şekillerin görüntüsü (Hussain, 2022)

2.2. Konsol Kiriş ile İlgili Çalışmalar

Literatür incelendiğinde Aykaç ve ark. (2011) yaptığı çalışmada betonarme kirişlerin deprem yükleri altındaki davranışını incelemek amacıyla, yeni donatı olan bir beton katmanı ile iki yüzünden güçlendirilmiş kirişlerin deprem performansını araştırmıştır. Güçlendirme tekniği, mekanik ankraj ve epoksi yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmada, biri monolitik kiriş (M3) olmak üzere toplamda dört kiriş test edilmiştir. Diğer üç kirişin yeni boyuna donatıları, kolona sırasıyla sürekli, mekanik ve epoksili olarak ankrajı yapılmıştır. Test edilen kirişlerin boyutları 150 mm x 250 mm olup, üst yüzeylerinde 4Ø10, alt yüzeylerinde ise 2Ø10 boyuna donatı ile Ø6/100 mm enine donatı kullanılmıştır. Güçlendirilmiş kirişlerde ek olarak, üst yüzeyde 4Ø10, alt yüzeyde 2Ø10 ek donatı ve Ø6/100 mm aralıklarla yerleştirilmiş U-şekilli enine donatılar kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, güçlendirilmiş kirişlerin davranışlarında tatmin edici bir iyileşme gösterdiğini ve yeterli eğilme rijitliğini koruduğunu göstermiştir.

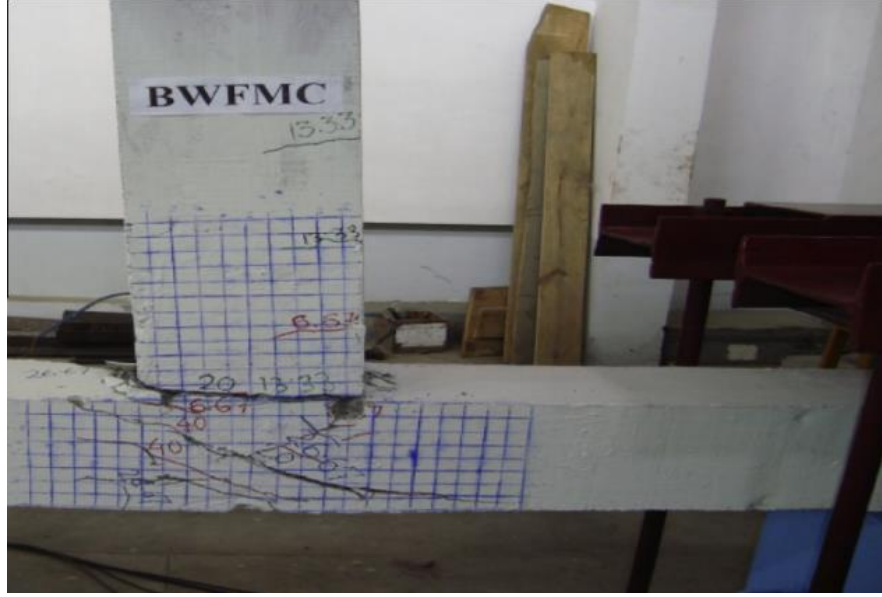
Ismail ve ark (2018), yaptığı çalışmada, farklı fiber türlerinin çevrimsel yatay yükler altındaki çimentolu kompozit (ECC) kiriş-kolon birleşimlerinin davranışı üzerindeki etkilerini araştırmaktadır. Çalışmada, 8 mm ve 12 mm polivinil alkol fiberler (PVA8 ve PVA12), 13 mm polipropilen fiberler (PP13) ve 13 mm çelik fiberler (SF13) kullanılarak üretilen ECC birleşimleri test edilmiştir. Karşılaştırma amacıyla, 10 mm büyük agrega ile yapılmış geleneksel bir normal beton (NC) kiriş-kolon birleşimi de değerlendirilmiştir. Test sonuçları, ECC'nin NC'ye kıyasla daha iyi süneklik, enerji tüketme kapasitesi ve çatlama davranışı sergilediğini göstermiştir. Özellikle, SF13 ile üretilen numunelerde en yüksek performans artışları gözlemlenmiş, daha kısa PVA fiberlerin (PVA12'ye kıyasla PVA8) döngüsel davranış üzerindeki etkisinin daha belirgin olduğu görülmüştür. ECC kiriş-kolon birleşimlerinin tümünde, NC birleşimine göre daha yüksek kesme mukavemeti ve daha iyi kırılma davranışı ortaya koymuştur.

Jin ve ark. (2016) yaptığı çalışmada, düşük çevrimsel yük altında kesme modunda başarısız olan kısa açıklıklı konsol kirişlerin davranışına ilişkin deneysel bir araştırma sunmuştur. Çalışmada, kesit yükseklikleri 200 mm ile 1000 mm arasında değişen ve düşük çevrimsel yüklemeye maruz kalan beş grup betonarme konsol kirişin kesme performansı, yük kapasitesi, süneklik, enerji tüketme ve kesme dayanımı açısından değerlendirilmiştir. Test edilen betonarme konsol kirişlerin kırılma modları ve özellikleri de araştırılmıştır. Şekil 2.5'te kırılma şekilleri gösterilmiştir. Yapılan çalışma sonuçlarına göre yapısal boyut arttıkça, betonarme kirişlerin kesme dayanımı belirgin şekilde azalmış olup ve benzer göçme modelleri gözlemlenmiştir. Ayrıca, boyut büyüdükçe kirişin süneklik kapasitesini düşüğü ve enerji tüketimi artırdığını gösterilmiştir. Özellikle konsol kirişlerde, kesme dayanımı üzerinde güçlü bir boyut etkisi bulunmuştur.



Şekil 2.5. Farklı yapı boyutlarına sahip kirişlerin kırılma modelleri (Jin ve ark. 2016)

Barbhuiya ve ark. (2015) yaptığı çalışmada, tekrarlı çevrimsel yükleme altında betonarme (RC) kiriş-kolon birleşimlerinde boyut etkisini incelemiştir. Yazarlar, uygulanan yüklerin etkisini dikkate alarak yapı elemanlarının boyutlarının performansları üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Çalışmada 9 konsol kiriş numunesi tasarlanmıştır. Numuneler eğilme ve kesmede zayıf kirişler ve kolonlar olmak üzere üç gruba ayrılmıştır. Her grup 1/1, 1/3 ve 2/3 ölçeli olmak üzere geometrik olarak benzer üç boyutta yapılmıştır. Deney sonuçları, boyut etkisinin değerlendirilebilmesi için bi-logaritmik grafikler kullanılarak analiz edilmiştir. Şekil 2.6'da deney sonucunda bir numune görüntüsü gösterilmiştir. Yapılan deney sonuçları, bi-logaritmik gerilme grafikleri incelenen tüm numuneler için Bāzant tarafından önerilen boyut etkisi yasasını takip ettiğini göstermiştir. Ayrıca, her yön değiştirme açısında D bölgesinde birim hacim başına kümülatif tüketilen enerji, bir boyut etkisinin var olduğunu doğrulamıştır.



Şekil 2.6. Deney sonucunda bir numune görüntüsü (Barbhuiya ve Ark. 2015)

Altın ve ark. (2002) yaptığı çalışmada kesme dayanımı yetersiz betonarme kirişlerin dışına yerleştirilen kelepçeler kullanılarak güçlendirilmesini araştırmışlardır. Araştırmada bu güçlendirme yönteminin tersinir-tekrarlı yüklemeler altında etkinliği incelenmiştir. Deney kapsamında toplam 5 adet konsol kiriş elemanı test edilmiştir. Her seviyede kesme dayanımı yetersiz olan deney numuneleri kelepçelerle güçlendirilmiştir. Güçlendirilmiş elemanların tüm testlerinde sünek eğilme davranışı gözlemlenmiştir. Kiriş göçene kadar kelepçeler görevini kaybetmemiştir. Deneysel sonuçlar, kesme direncini arttırmak için elemanın dışından kelepçeleme yöntemlerinin, tersinir ve tekrarlanan yüklemeler altında başarılı davranış sergilediğini göstermektedir.

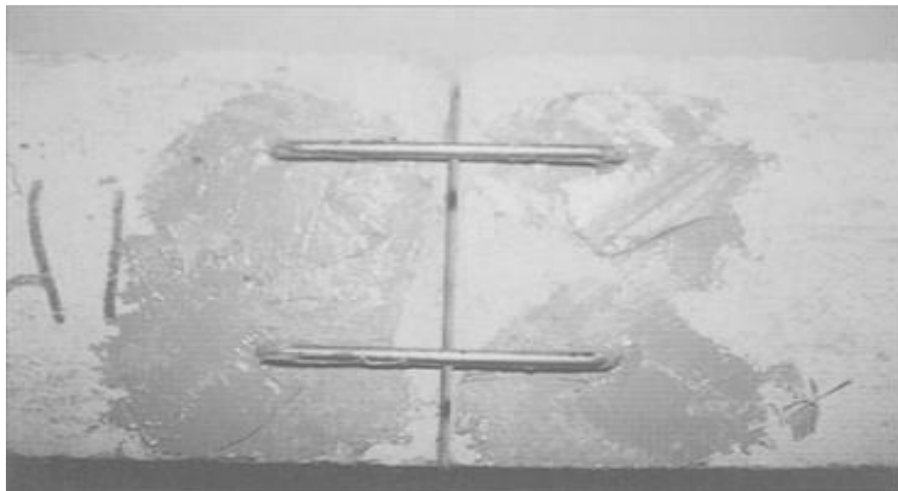
Kofoğlu (2019) yaptığı çalışmada kesme dayanımı yetersiz olan betonarme konsol kirişlerin güçlendirilmesi amacıyla yenilikçi bir yöntem kullanmıştır. Bu kapsamda, kirişler çelik kablolar ile sarılarak güçlendirilmiş ve çelik kabloların kesme dayanımı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Çalışmada, iki referans numunesi ve on adet güçlendirilmiş numune olmak üzere toplam on iki numune üretilmiş olup, numuneler az ve çok donatılı olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. Güçlendirme, 4 mm çapında çelik kablolar kullanılarak gerçekleştirilmiş ve tüm numuneler tersinir-tekrarlı yükler altında test edilmiştir. Yapılan deney sonuçları, çelik kablo ile güçlendirilen betonarme kirişlerin kesme dayanımında tatmin edici bir artış sağlanmıştır. Güçlendirilmiş numunelerin, referans numuneleriyle neredeyse aynı taşıma kapasitesine ulaştığını ortaya koymuştur.

Ayrıca, çelik kabloların kesme kuvvetini büyük oranda karşıladığı ve kablo kopmalarına rağmen yük taşımaya devam ettiği gözlemlenmiştir.

2.3. Mekanik Dikiş Yöntemi ile İlgili Çalışmalar

Literatür için oldukça yeni bir teknik olan MÇD ile ilgili çalışmalar bu bölümde detaylı olarak sunulmuştur. Bu sayede MÇD ile bugüne kadar yapılan tüm çalışmalar ortaya konulmuştur. Ayrıca, literatürde gerçekleştirilen deneysel çalışmalar yalnızca düşey (statik) yükler altında yapılmış olup, çevrimsel (tekrarlı) yükler altında herhangi bir test gerçekleştirilmemiştir.

Hamoush ve ark. (1997) tarafından yapılan çalışmada, betondaki çatlakların dikiş kullanılarak onarılması için analitik bir model sunulmuştur. Bu çalışma, betondaki çatlakların onarımında dikişlerin etkinliğini incelemek için kırılma mekaniğini kullanarak bir kılavuz sağlamayı amaçlamaktadır. Çalışmada, 150 x 150 x 600 mm ölçülerindeki üç beton kiriş numunesi eğilme testine maruz bırakılmıştır. İki kirişin ortasında 50 mm'lik bir derinlik/çentik, üçüncüsünde ise 75 mm'lik bir derinlik/çentik açılmıştır (şekil 2.7). Kirişler, çatlağa simetrik olarak dik yerleştirilen 3 mm çaplı çelik dikişlerle onarılmıştır. Dikişlerdeki kuvvetler kaydedilmiş ve teorik değerlerle karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, çatlak basınç bölgesine ulaşmadığı sürece, dikişler arasındaki aralığın artan çatlak uzunluğu ile azaldığını göstermektedir. Kırılma mekaniğindeki üst üste binme, çatlak yüzeylerindeki dikişlerin gerilme yoğunluğu faktörü için elde edilen değerleri önemli ölçüde azalttığını göstermektedir.



Şekil 2.7. Kirişteki çentiklerin demir dikişler ile onarılması (Hamoush ve ark, 1997)

Alshlash ve ark. (2019) yaptığı çalışmada, ön hasar görmüş betonarme kirişlerin çelik dikişlerle güçlendirilmesi için yeni bir yöntem sunmaktadır. Bu yöntemi, çatlak ilerlemesini önlemek için dikişler uygulayarak betonarme kiriş örnekleri üzerinde test etmişlerdir. Yazarlar, bir referans numune ve farklı seviyelerde (kesme kapasitesinin %50, %65 ve %85'i) ön hasar görmüş üç numune olmak üzere dört betonarme kiriş numunesi hazırlamıştır. Numunelerin boyutları 125 x250x2500 mm olup, kesme hasarının ortaya çıkması için etriyeler $\text{Ø}5/350$ mm aralık olarak yerleştirilmiştir. Boyuna donatı oranı, 0.0117 olarak kullanılmış ve kesme açıklığı ve faydalı yükseklik oranı yaklaşık 3.1'dir. Kirişler, çatlaklara yerleştirilen ve epoksi yapıştırıcı ile sabitlenen mekanik çelik dikiş ile güçlendirilmiştir. Dikiş sayısı hasar seviyesine göre değişmiştir. Numuneler dört noktalı yüklemeye tabi tutulmuştur. Sonuçlar, güçlendirilmiş kirişlerin kesme kapasitesinde önemli bir artış olduğunu göstermektedir (Şekil 2.8). %50, %65 ve %85'e kadar ön hasarlı kirişler için sırasıyla %17, %43 ve %50'lik kapasite artışları vardır. Ayrıca dikiş sayesinde, kirişlerin sünekliği, enerji tüketimi ve rijitliği referans numunelere kıyasla önemli ölçüde artmıştır.



Şekil 2.8. Ön hasarlı kirişlerin dikiş demirleri ile güçlendirilmesi (Alshlash ve ark., 2019; Uysal. 2024)

Aksoylu ve ark. (2022) yaptığı çalışmada, yetersiz kesme kapasitesine sahip betonarme kirişlerin güçlendirilmesinde mekanik çelik dikişlerin (MSS) kullanımına ilişkin deneysel bir çalışma sunmaktadır. “Mechanical Steel Stitches” (MSS) olarak

adlandırılan bu teknik, kesme açıklıkları boyunca kirişin her iki tarafına mekanik çelik dikişlerin uygulanmasından oluşmaktadır (Şekil 2.9). Yazarlar, bir referans kiriş (S0) ve MSS ile güçlendirilmiş beş kiriş (S1 ile S5) olmak üzere altı kiriş numunesini test etmiştir. Numuneler 125 mm x 250 mm x 2500 mm boyutlarında olup 350 mm aralıklı ve 6 mm çaplı etriyeler ile yetersiz enine donatıya sahiptir. S1'den S5'e kadar olan numunelere, çapları 6 mm ve uzunlukları 150 mm olan MSS uygulanmıştır (Şekil 3.9). MSS aralıkları ve sayısı, 220 mm ile 110 mm arasında değişen aralıklar ve 0.0020 ile 0.0041 arasında değişen hacimsel donatı oranlarına (ρ_{MSS}) sahip numuneler arasında değişiklik göstermiştir. S5 numunesi en yüksek MSS sayısına (15 adet) ve en dar aralığa (110 mm) sahiptir. Tüm testler dört noktalı eğilme yükleri altında gerçekleştirilmiştir. a_v/d oranı (kesme açıklığı/ faydalı yüksekliği oranı), S0 referans kirişinde kesme hasarının gözlemlenebilmesi için 3.11 olarak ayarlanmıştır. Sonuçlar, 90° açıyla MSS uygulamasının güçlendirilmiş kirişlerin kesme mukavemetini referans kirişe kıyasla %2 ile %31 oranında artırdığını, ancak güçlendirilmiş numunelerde sünekliğin önemli ölçüde iyileşmediğini göstermiştir. MSS ayrıca kesme çatlaklarının davranışını değiştirerek onları MSS'nin mevcut olduğu alanlara doğru yönlendirmiştir. MSS'nin kendisinde herhangi bir sıyrılma gözlenmemiştir, bu da 60 mm ankraj uzunluğunun yeterli olduğunu göstermektedir. Ayrıca, etriyelerde olduğu gibi MSS arasındaki mesafeler sık olduğunda, kirişler çatlamaya karşı daha dayanıklıdır. Bu nedenle daha önce yapılan 45° açılı MSS'nin güçlendirmede daha etkili olduğu vurgulanmıştır.



Şekil 2.9. 90° açılı MSS uygulaması (Aksoylu ve ark., 2022)

Uysal ve ark. (2022) yaptığı çalışmada, kirişlerin her iki yüzüne, kesme açıklıkları boyunca 45° ve 90° açılarla Mekanik Çelik Dikişler (MÇD veya MSS) uygulanmasını içermektedir. Amaç, betonarme yapıların güvenliği ve mukavemeti için çok önemli olan sünek davranışı korurken, kirişlerin yük kapasitesini ve enerji dağılımını iyileştirmektir. Güçlendirmeden sonra davranıştaki değişiklikleri gözlemlemek için dikey yükler altında dört noktalı eğilme testleri gerçekleştirilmiştir. Biri referans olarak üzere 125 x 250 x 2500 mm boyutlarında, ½ geometrik ölçeli olup toplam olarak 3 adet betonarme kiriş üretilmiştir (Şekil 2.10). Enine donatı, yeterli kesme kapasitesine sahip olmaması için Ø6/350 mm olarak seçilmiştir. MÇD'nin kesme kapasitesine katkısını değerlendirmek için çekme ve basınçta boyuna donatı seçilmiştir. Deneysel sonuçlar, 45° ve 90° güçlendirilmiş numunelerin referans numuneye kıyasla yük kapasitelerini sırasıyla %53.74 ve %14.76 oranında artırdığını göstermiştir. Toplam enerji dağıtma kapasitesi açısından, 45° güçlendirilmiş numune için %261.6'lık ve 90° güçlendirilmiş numune için %93.73'lük bir artış gözlenmiştir. Bu sonuçlar, MÇD'nin 45°'de uygulanmasının güçlendirme için daha etkili olduğunu göstermektedir.



Şekil 2.10. Mekanik dikiş ile güçlendirilmiş kirişlerin (Uysal ve ark., 2022; Baş, 2024)

Aksoylu ve ark. (2023) yaptığı çalışmada, kesme kapasitesi yetersiz betonarme kirişlerin 45 derecelik bir açıyla yerleştirilmiş mekanik çelik dikişler (MSS) kullanılarak güçlendirilmesine odaklanmaktadır. Yazarlar, bir referans kiriş ve farklı aralıklarda 6 mm çapında MSS ile güçlendirilmiş yedi kiriş olmak üzere sekiz numune kiriş üretmişlerdir. Kirişler 125x250x2500 mm boyutlarında olup, boyuna donatı oranı 0.0224 ve enine donatı oranı 0.0084 olmuştur. MSS, $d/5$ (45 mm) ile d (220 mm) arasında değişen aralıklarda uygulanmıştır; burada d kirişin etkili yüksekliğidir. Yapılan deney sonuçlarında en dar MSS aralığına ($d/5$) sahip kirişte kesme kapasitesinde %54'lük bir artış gözlenmiştir. Ayrıca nominal akma ve toplam enerji tüketim kapasiteleri referans kirişe kıyasla sırasıyla %144 ve %366 oranında artmıştır. Hasar, artan MSS aralığı ile çatlamadan diyagonal çekme hasarına dönüşmüştür ve kirişlerin burkulma rijitliği artan MSS aralığı ile azalmıştır (Şekil 2.11).



Şekil 2.11. Numunelerin deney sonu görüntüleri (Aksoylu ve ark, 2023)

Aslan ve ark. (2024) yaptığı çalışmada, karbon fiber takviyeli polimer (CFRP), çelik plakalar (SP) ve mekanik çelik dikişler (MSS) dahil olmak üzere önceden hasar görmüş betonarme kirişler için farklı güçlendirme tekniklerinin etkinliğini incelemektedir. Güçlendirilmiş kirişlerin eğilme ve kesmedeki güçlendirme sonrası performansı incelenmiştir. Çalışmanın amacı, bu kirişlerin güçlendirme sonrası performansını araştırmak ve en etkili ve ekonomik güçlendirme yöntemini belirlemek için bir maliyet analizi yapmaktır. Bu doğrultuda 125 x 250 mm boyutlarında ve 2500 mm açıklığında dikdörtgen kesitli 20 adet betonarme kiriş üretilmiştir. Kirişler, yarısı eğilme ve diğer yarısı kesme hasarına maruz kalacak şekilde iki gruba ayrılmıştır. Önceden hasar görmüş kirişler CFRP, SP ve MSS ile güçlendirilmiştir. Kirişler daha sonra, farklı hasar seviyeleri oluşturmak için dikey yükler uygulanarak dört noktalı eğilme testlerine tabi tutulmuştur. Son olarak, performansları yük kapasitesi, süneklik, rijitlik ve enerji tüketme kapasitesi açısından karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, CFRP'nin %3 ön hasar seviyesine sahip

eğilme kirişleri için daha etkili olduğunu, MSS'nin ise %85 ön hasar seviyesine sahip kesme kirişleri için daha etkili olduğunu göstermektedir. Maliyet açısından MSS'nin en ucuz güçlendirme yöntemi olduğu ve özellikle kesme hasarlı kirişler için daha ekonomik ve pratik bir alternatif sunduğu kanıtlanmıştır.

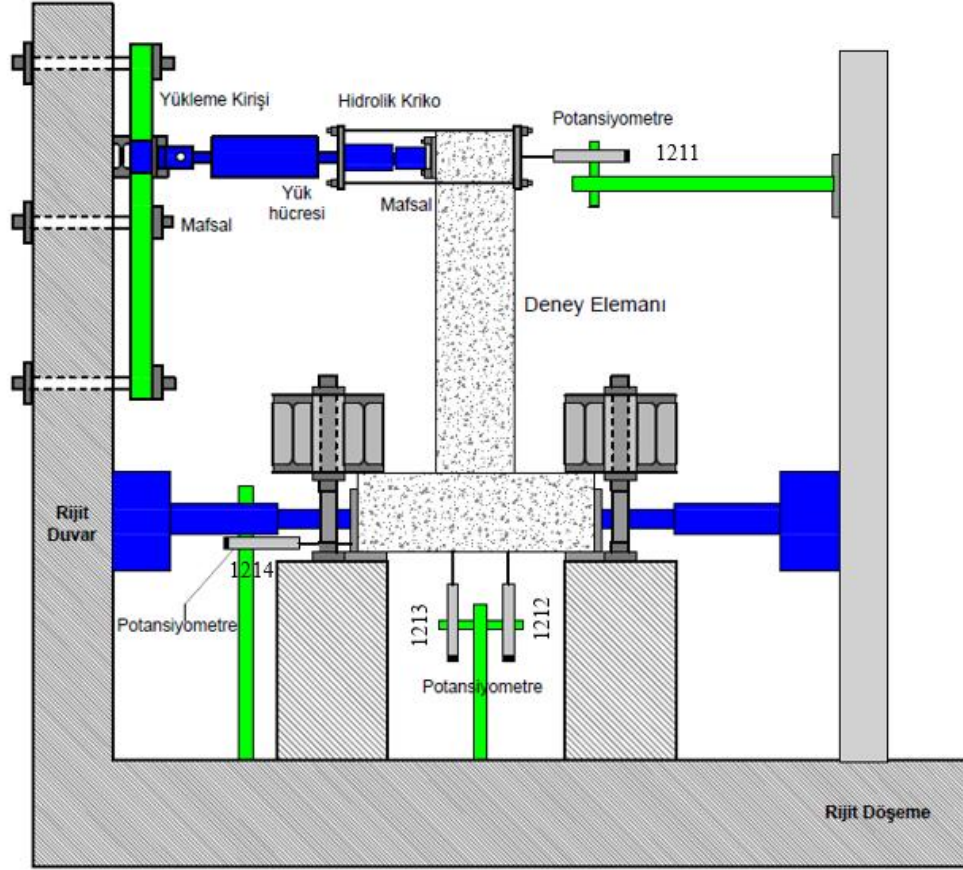


3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu deneysel çalışmada yetersiz kesme dayanımına sahip olan konsol kirişler, MÇD'lerle güçlendirilerek depremi benzeştiren tersinir tekrarlanır yükler altında test edilmiştir. Bu sayede MÇD'nin kesmeye karşı etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla, döngüsel deneylere tabi tutulan 26 adet betonarme konsol kiriş numunesi üretilmiştir.

3.1. Deney Numuneleri ve Deney Mekanizması

Çalışma kapsamındaki deneyler Konya Teknik Üniversitesi Yapı ve Deprem Araştırma Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Numunelerin geometrik boyutları ve donatı özellikleri laboratuvarda bulunan ekipmanlar dikkate alınarak belirlenmiştir. Çalışmada, depremi benzeştiren tersinir-tekrarlanır yüklere maruz bırakılan 26 adet betonarme konsol kiriş numunesi kullanılmıştır. Deneyler, Amerika deprem yönetmeliği (ACI 374, 2013) yükleme protokolü takip edilerek hidrolik bir krikoya bağlı mekanik bir pompa kullanılarak gerçekleştirilmiştir. P olarak temsil eden yük, hidrolik bir kriko aracılığıyla uygulanmış ve konsol kirişin ucunun belirli bir mesafesine (kesme açıkları) yerleştirilmiştir. Şekil 3.1'de bu deneyler için kullanılan yükleme cihazı gösterilmektedir. Tüm yük oranları için ACI 374 kesme kirişleri için kontrollü yer değiştirme yükleme protokolü takip edilmiştir. Her göreceli yükleme oranında (0.0015, 0.0020, 0.0030, 0.0050, 0.01, 0.02, 0.03, 0.04, 0.05, 0.06), konsol kiriş üzerinde ortaya çıkan çeşitli çatlakları tespit etmek ve işaretlemek için kısa bir ara verilmiştir. Yükleme sırasında kiriş numunelerinin yer değiştirmesini ölçmek için dört adet potansiyometre kullanılmıştır: biri tepe yer değiştirmesi (1211), biri temel yatay yer değiştirmesi (1214) ve ikisi temel düşey yer değiştirmesi (1212 ve 1213) içindir. Yatay yük 500 kN kapasiteli bir yük hücresi ile takıp edilmiştir. Yük-deplasman grafiklerini (histerezis eğrileri) aynı zamanda çizmek için bilgisayar destekli 8 kanallı bir veri toplama cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.2). Bu cihaz uygulanan yükün ve karşılık gelen deplasmanların değerlerini kaydetmektedir.



Şekil 3.1. Numunelerin test edildiği deney düzeneği



Şekil 3.2. 8 kanallı veri toplama cihazı

3.1.1. Yükleme protokolü

Deneyisel çalışmada 26 adet konsol kiriş, tersinir-tekrarlanır çevrimsel yükler altında test edilmiştir. Tüm deney elemanlarına (0.grup olan ön deneyler hariç) aynı yükleme (ACI-374) adımları uygulanmıştır. Bu yükleme adımları aşağıda gibidir:

- Numuneler 500 kN basınç ve 500 kN çekme kapasitesine sahip bir hidrolik silindir ile yüklenmiştir. Ayrıca, itme ve çekmede ± 500 kN kapasiteye sahip bir yük hücresi kullanmıştır.
- Her deney elemanına ileri ve geri yönde kabuk beton dökülene kadar tersinir-tekrarlanır çevrim uygulanmıştır.
- Deney sırasında yükleme hızı 0,50 mm/sn olarak ayarlanmıştır.
- Her numuneye, görelî kat ötelemesine göre aynı yükleme protokolü uygulanmıştır. Uygulanan yükleme protokolü, kesme açıklığı $a=540$ mm, $a=701$ mm ve $a=1049$ mm için Çizelge 3.1’de verilmiştir:

Çizelge 3.1. Yükleme protokolü

Çevrim No	Görelî kat ötelemesi (mm/mm)	$a= 701$ mm	$a=540$ mm	$a= 1049$ mm
		Deplasman (mm)		
1	0.0015	1.052	0.810	1.574
-1	0.0015	1.052	0.810	1.574
1	0.0015	1.052	0.810	1.574
-1	0.0015	1.052	0.810	1.574
2	0.0020	1.402	1.080	2.098
0-2	0.0020	1.402	1.080	2.098
2	0.0020	1.402	1.080	2.098
-2	0.0020	1.402	1.080	2.098
3	0.003	2.103	1.620	3.147
-3	0.003	2.103	1.620	3.147
3	0.003	2.103	1.620	3.147
-3	0.003	2.103	1.620	3.147
4	0.005	3.505	2.700	5.245
-4	0.005	3.505	2.700	5.245
4	0.005	3.505	2.700	5.245
-4	0.005	3.505	2.700	5.245
5	0.01	7.010	5.400	10.490
-5	0.01	7.010	5.400	10.490
5	0.01	7.010	5.400	10.490
-5	0.01	7.010	5.400	10.490
6	0.02	14.020	10.800	20.980

-6	0.02	14.020	10.800	20.980
6	0.02	14.020	10.800	20.980
-6	0.02	14.020	10.800	20.980
7	0.03	21.030	16.200	31.470
-7	0.03	21.030	16.200	31.470
7	0.03	21.030	16.200	31.470
-7	0.03	21.030	16.200	31.470
8	0.04	28.040	21.600	41.960
-8	0.04	28.040	21.600	41.960
8	0.04	28.040	21.600	41.960
-8	0.04	28.040	21.600	41.960
9	0.05	35.050	27.000	52.450
-9	0.05	35.050	27.000	52.450
9	0.05	35.050	27.000	52.450
-9	0.05	35.050	27.000	52.450
10	0.06	42.060	32.400	62.940
-10	0.06	42.060	32.400	62.940
10	0.06	42.060	32.400	62.940
-10	0.06	42.060	32.400	62.940

3.2. Kiriş Numunelerinin Numaralandırılması

Çalışmadaki kirişlerin isimlendirmeleri dört bölüm halinde düzenlenmiştir: İlk bölüm, ilk bölme işaretinden önce, elemanın ve betonun özelliklerini açıklar. Birinci ve ikinci bölme işaretleri arasındaki ikinci kısım, dikiş donatısının özelliklerini gösterir. İkinci ve üçüncü bölme işaretleri arasındaki üçüncü kısım kirişin özelliklerini detaylandırır. Dördüncü kısım, üçüncü bölme işaretinden sonra, yükleme özelliklerini belirtir. Çizelge 3.2’de numune numaralandırma sistemini gösterilmektedir.

Örneğin; “BC20/X3.3-T4-10-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3” numunesi için:

BC20: BC (Beam-Column) harfi numunenin konsol kiriş olduğunu; 20 sayısı ise bu numunenin beton sınıfının 20 MPa ile 25 MPa arasında olduğunu göstermektedir.

X3.3-T4-10-45: X harfi, x şeklinde dikiş olduğunu; 3.3 sayısı, dikiş aralığının d/3.3 olduğunu; T harfi, dikiş donatısının nervürlü (düz) olduğunu; 4 sayısı, dikiş çapının 4mm olduğunu; 10 sayısı, dikişin 10Ø derinliğinde ankrajlandığını; 45 sayısı ise dikiş donatısının kiriş eksenine 45 derecelik açı yaptığını göstermektedir.

125-250-0.6-2Ø16: 125 sayısı, kirişin genişliğini (mm); 250 sayısı kirişin yüksekliğini (mm); 0.6 sayısı ise etriye aralığının d/0.6 olduğunu, son olarak konsol kirişte çekme ve basınç donatısının 2Ø16 olduğunu göstermektedir.

3.3: 3.3 sayısı ise kirişte a/d oranının 3.3 olduğunu göstermektedir.

Çizelge 3.2. Deney numunelerinin numaralandırılması

Numune Açıklaması	Eleman ve Beton Öz./ Dikiş Öz./ Kiriş Öz. / Yükleme Öz.	
Eleman ve beton özellikleri	Eleman türü	BC (kiriş-kolon)
	Beton sınıfı	5 (5 MPa ile 10 MPa), 10 (10 MPa ile 15 MPa) 15 (15 MPa ile 20 MPa), 20 (20 MPa ile 25 MPa) arasındaki beton sınıfı
Dikiş özellikleri	Dikiş şekli	<i>N</i> (Dikiş yok), <i>X</i> (X dikiş),
	Dikiş aralığı*	$x=3.3 (d/x)$
	Dikiş deformasyonu	T (düz), N (dikiş yok)
	Dikiş çapı	4, 6, (mm)
	Dikiş ankraj derinliği	10, 15 (Ø)
	Dikiş açısı (α)	45 (°)
Kiriş özellikleri	Kiriş genişliği (b_w)	125 (mm)
	Kiriş yüksekliği (h)	250, 360 (mm)
	Etriye aralığı* (s)	$x=0.0, 0.6 (d/x)$
	Konsol kiriş çekme ve basınç donatısı	2Ø14, 2Ø16, 2Ø18
Yükleme özellikleri	a/d	2.51, 3.23, 3.26, 4.88
Örnek Numuneler	BC5/N0.0-N0-0-0/125-250-0.8-2Ø16/3.3 BC15/X3.3-T4-10-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3	

3.3. Deneysel Kiriş Grupları

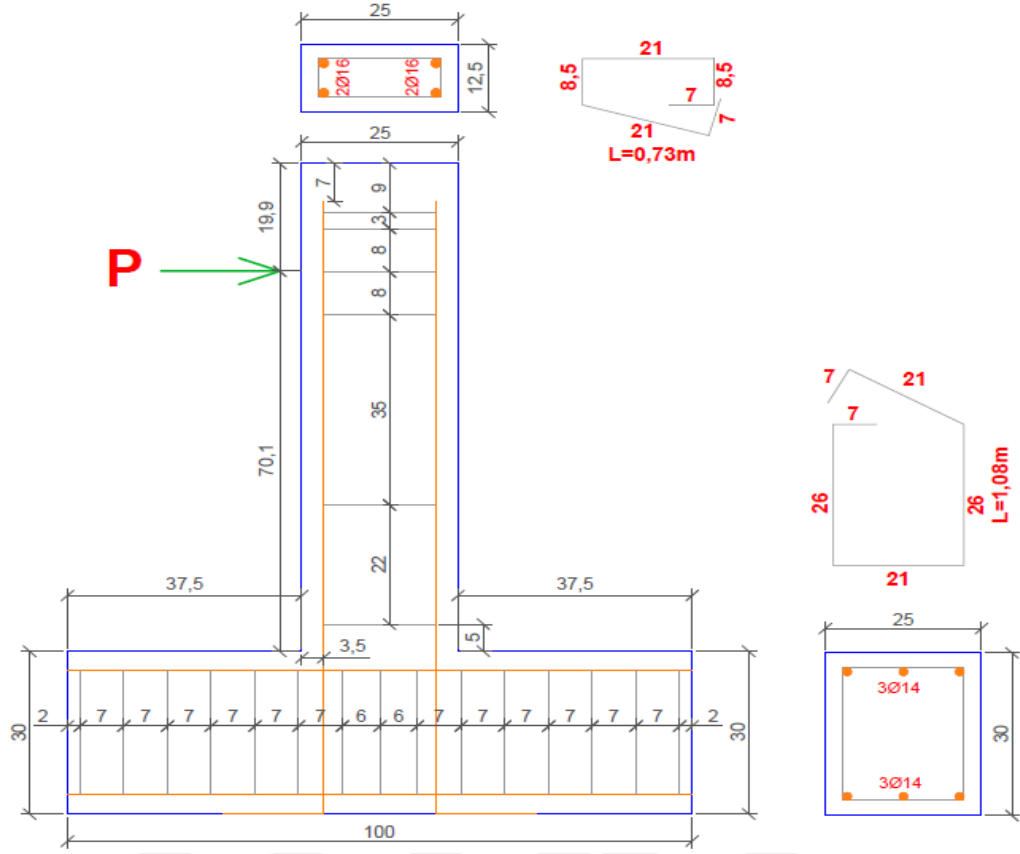
Tez çalışması kapsamında yapılan deney numuneleri, 8 grup halinde sunulmuştur. Kirişlerin kesme açıklıkları (a) 540 mm, 701 mm ve 1049 mm olup, geometrik ölçeği ½'dir. Numune boyutlarına karar verilirken Uysal (2024) tarafından gerçekleştirilen düşey yük altındaki kiriş deneylerinin sonuçları dikkate alınmış ve MÇD'nin 45°'lik açıyla uygulanmasının uygun olduğu belirtildiğinden tersinir-tekrarlanır deneylerin tamamında MÇD açısı 45° olarak ayarlanmıştır. Diğer bir ifade ile bu tez çalışmasında tersinir-tekrarlanır yük etkisi altında MÇD'nin etkinliği araştırılmış ve tüm numunelere 45°'lik X şeklinde MÇD güçlendirme uygulanmıştır. Deney gruplarında MÇD çapı, ettriye aralığı, kiriş boyuna donatı çapı, hedef beton basınç dayanımı, kesme açıklığı/faydalı yükseklik oranı ve betonarme kiriş geometrisine ait yükseklik parametreleri incelenmiştir. Böylece, MÇD'nin tersinir-tekrarlanır yük etkisi (yatay yükleme) altındaki davranışı/etkisi net bir şekilde ortaya konmuştur.

3.3.1. 0. Grup Deneyler Ön- Deneyler

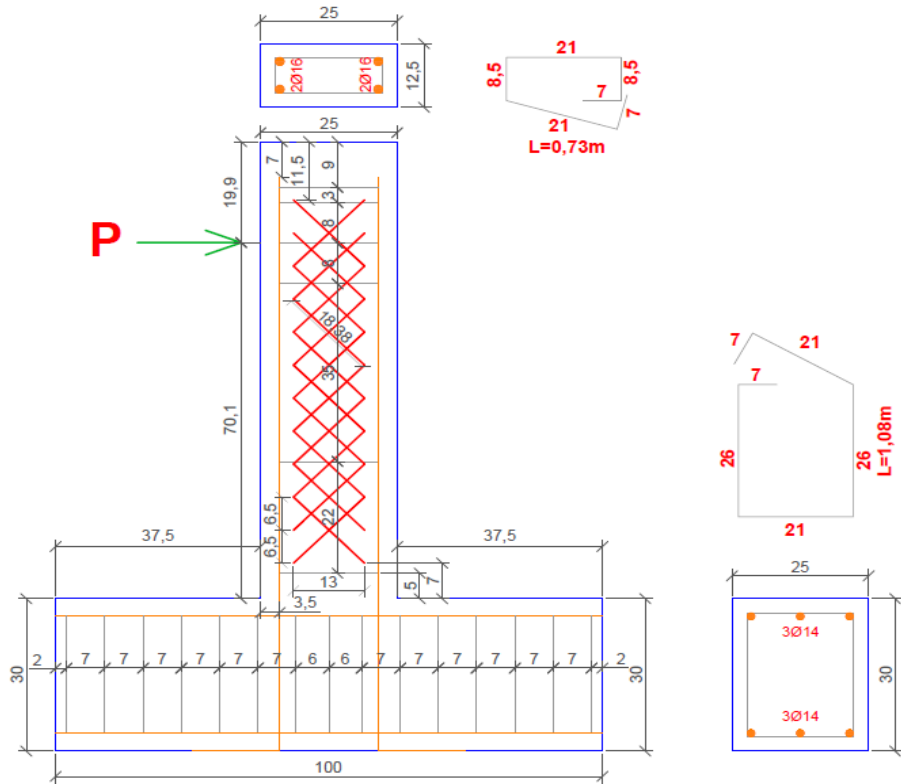
Tez çalışmasında, ilk olarak 45° açıyla yerleştirilen ve çapları 4 mm ile 6 mm olan MÇD'lerin etkisi araştırılmıştır. Yani, MÇD'lerin X şeklinde, 65 mm aralıklı yerleşimi ile yapılan güçlendirme etkisi incelenmiştir. Bu grup deneyleri, diğer gruplara yönelik bir ön deney niteliğinde gerçekleştirilmiştir. Bu grupta yapılan deneylerin listesi Çizelge 3.3'te gösterilmiştir. Bu grupta ilk olarak güçlendirilmemiş referans konsol kiriş test edilmiştir. Rijit temel, 250 x 300 x 1000 mm ve konsol kiriş, 125 x 250 x 900 mm ($a=701$ mm) ölçülerinde tasarlanmıştır. Temelde 70 mm aralıklı Ø6 mm çapında etriyeler ve temel-konsol kiriş birleşiminde 60 mm aralıklı Ø6 mm çapında etriyeler kullanılmıştır. İlk etriyeler, temelden 50 mm uzaklıkta yerleştirilmiş; ardından etriye aralıkları sırasıyla 220 mm, 350 mm, 80 mm, 80 mm ve 30 mm olarak belirlenmiştir. Bu sayede çevrimsel yükleme sonucunda konsol kirişte kesme hasarının oluşması hedeflenmiştir. Şekil 3.4 ve Şekil 3.5'te referans numune ile aynı özelliklere sahip olan ancak sırasıyla 4 mm ve 6 mm çapında MÇD ile güçlendirilmiş kirişler gösterilmiştir. MÇD uygulaması için, kiriş genişliği dikkate alınarak gerekli mesafe 45° lik açıya ayarlandıktan sonra, tek doğrultuda donatının bu açıda uygulanmasına izin veren 130 mm'lik bir aralık oluşturulmuş, ancak MÇD'ler X şeklinde uygulandığından bu aralık 65 mm'ye düşmüştür. 4mm MÇD için ankraj derinliği $15\phi=60$ mm iken, 6mm MÇD için ankraj derinliği $10\phi=60$ mm olarak ayarlanmıştır. Bu grup deney numuneleri üretilirken alınan küp numunelerin beton basınç dayanımı deney gününde ortalama silindir basınç dayanımına dönüştürülerek 23.64 MPa olarak elde edilmiştir. Bu grupta, bir referans kiriş test edilmiş ve ardından sırasıyla 4 mm ve 6 mm çaplı MÇD ile güçlendirilmiş iki kiriş daha test edilmiştir. Bu şekilde toplam üç test gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 3.3. 0. Grupta referans ve 4mm ve 6mm çaplı MÇD ile güçlendirilen kirişlerin tasarımsal özellikleri

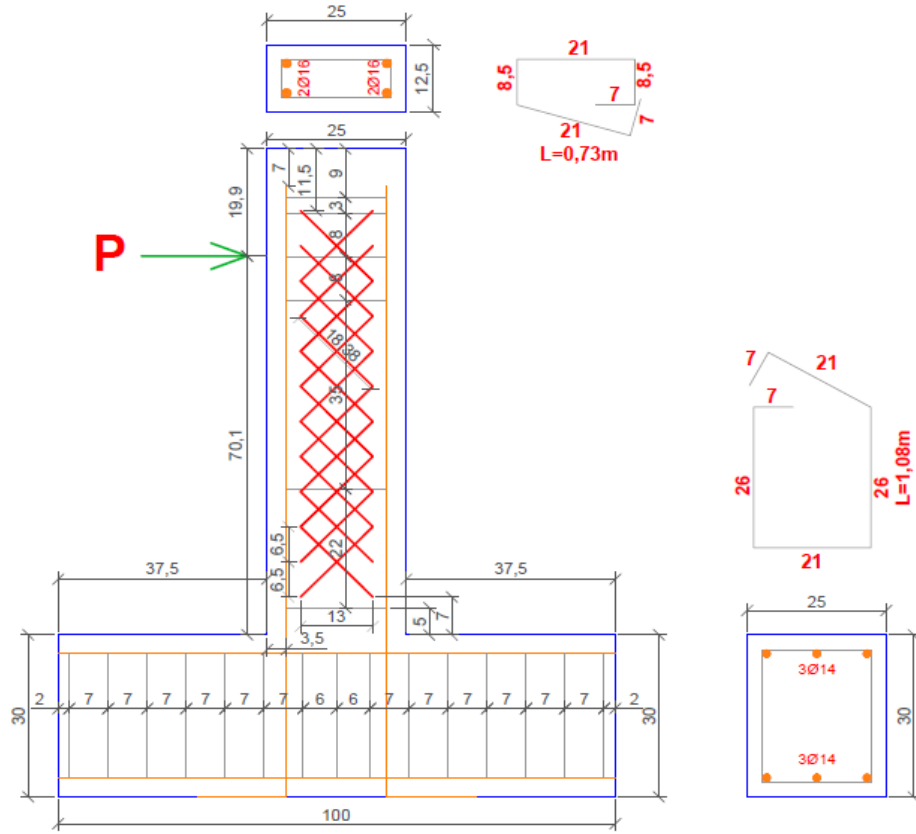
Numune	f_c (MPa)	a/d (mm/mm)	d (mm)	a (mm)	Kiriş boyuna donatısı (mm)	Kiriş etriye donatısı (mm)	Rijit temel donatısı (mm)	Rijit temel etriye donatısı (mm)
BC20/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/3.3	23.64	3.26	215	701	2Ø16	Temel yüzeyinden 270+350+80	6Ø14	Ø6/70
BC20/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3	23.64	3.26	215	701	2Ø16	Temel yüzeyinden 270+350+80	6Ø14	Ø6/70
BC20/X3.3-T6-10-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3	23.64	3.26	215	701	2Ø16	Temel yüzeyinden 270+350+80	6Ø14	Ø6/70



Şekil 3.3. BC20/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/3.3 numunesi donatı detayları, ölçüler cm'dir.



Şekil 3.4. BC20/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3 numunesi donatı detayları



Şekil 3.5. BC20/X3.3-T6-10-45/125-250-0.6-2016/3.3 3 numunesi donatı detayları

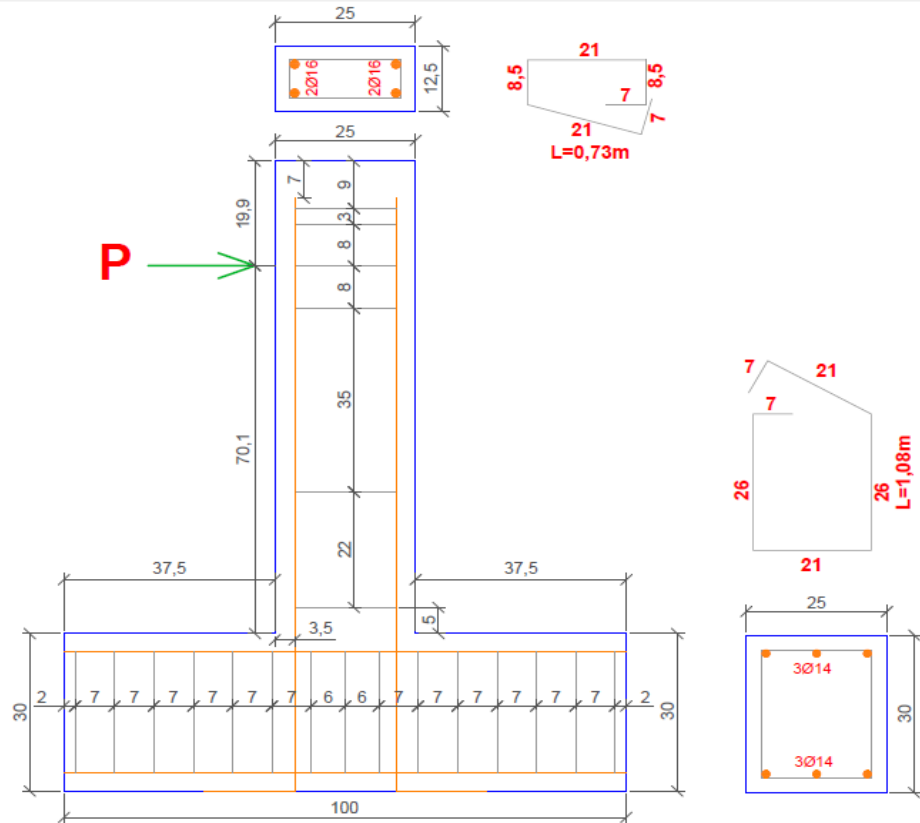
3.3.2. 1. Grup Kiriş Deneyler

0. Grup ön deneylerinin tamamlanmasının ardından elde edilen sonuçlar incelenerek MÇD ile güçlendirme çapı bundan sonraki grup deneyleri için 4 mm olarak tercih edilmiştir. Bu seçimin ardından 1. Grup deneylerine geçilmiştir. Bu grupta, 45° açıyla yerleştirilen 4 mm çapında MÇD'ler X şeklinde 15Ø=60mm ankraj derinliğine sahip olacak şekilde uygulanmıştır. Bu grupta yapılan deneylerin listesi Çizelge 3.3'te sunulmuştur. Rijit temel 250 x 300 x 1000 mm ve konsol kiriş 125 x 250 x 900 mm ($a=701$ mm) ölçülerinde tasarlanmıştır. Temelde 70 mm aralıklı Ø6 mm çapında etriye ve temel-konsol kiriş birleşiminde 60 mm aralıklı Ø6 mm çapında etriyeler kullanılmıştır. Bu grupta ilk olarak referans kiriş test edilmiştir (Şekil 3.6). Şekil 3.6 incelendiğinde, ilk etriyelerin temelden 50 mm uzaklıkta yerleştirildiği ve ardından etriye aralıklarının sırasıyla 220 mm, 350 mm, 80 mm, 80 mm ve 30 mm olduğu görülmüştür. İkinci olarak Şekil 3.7 incelendiğinde, 4 mm çapındaki MÇD ile güçlendirilmiş kiriş, referans numune ile aynı özelliklerde hazırlanmıştır. Son olarak Şekil 3.8 incelendiğinde, betonarme konsol kirişin etriye aralıklarının farklı olduğu görülmektedir. Burada, etriyeler temelden 50 mm uzaklıkta yerleştirilmiş, ardından aralıklar sırasıyla 626 mm, 50 mm ve 84 mm

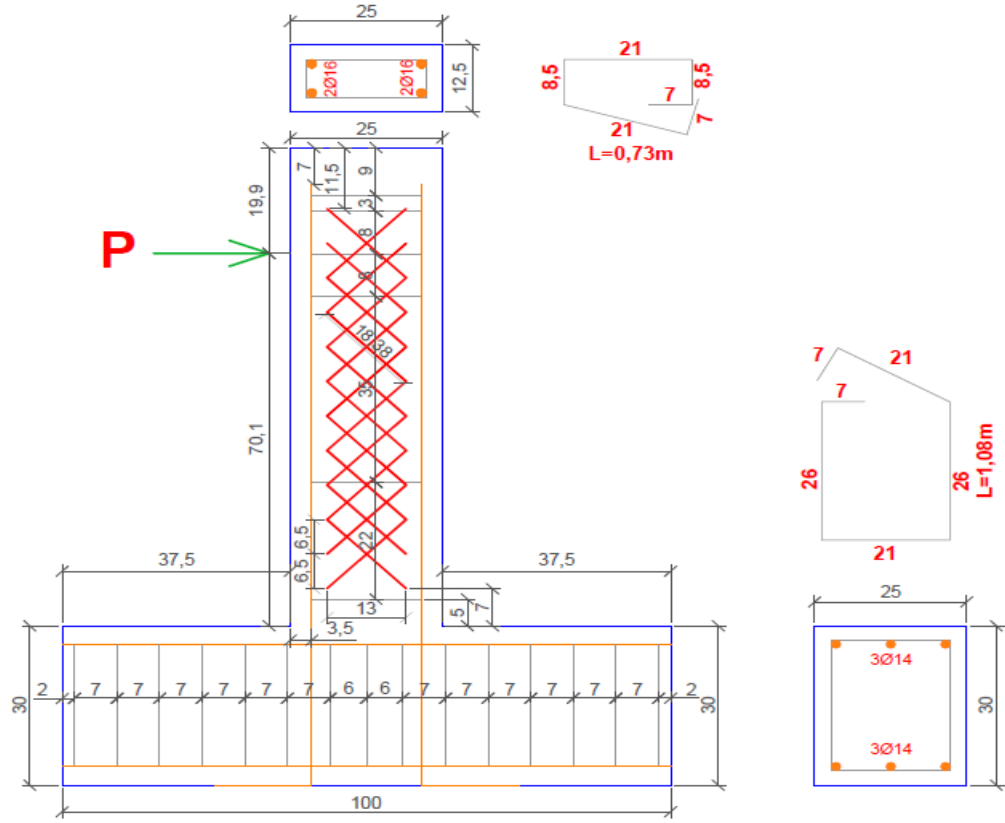
olarak ayarlanmıştır. Böylece etriye aralığındaki artışın MÇD'nin kesme kapasitesine olan katkısı araştırılmıştır. 1. Grup deneylerinde de 65 mm MÇD uygulama aralığı, 0. Grup deneylerindeki ile aynı şekilde belirlenmiştir. Küp numunelerin beton basınç dayanımı deney gününde ortalama silindir dayanımına dönüştürülerek 16.37 MPa olarak elde edilmiştir. Bu kapsamda, bu grupta bir referans kiriş, 4 mm MÇD ile güçlendirilmiş bir kiriş ve etriye aralığı artırılmış (etriyesi az olan) MÇD ile güçlendirilmiş bir kiriş test edilmiştir.

Çizelge 3.4. 1. Grupta referans ve MÇD ile güçlendirilen kirişlerin tasarımsal özellikleri

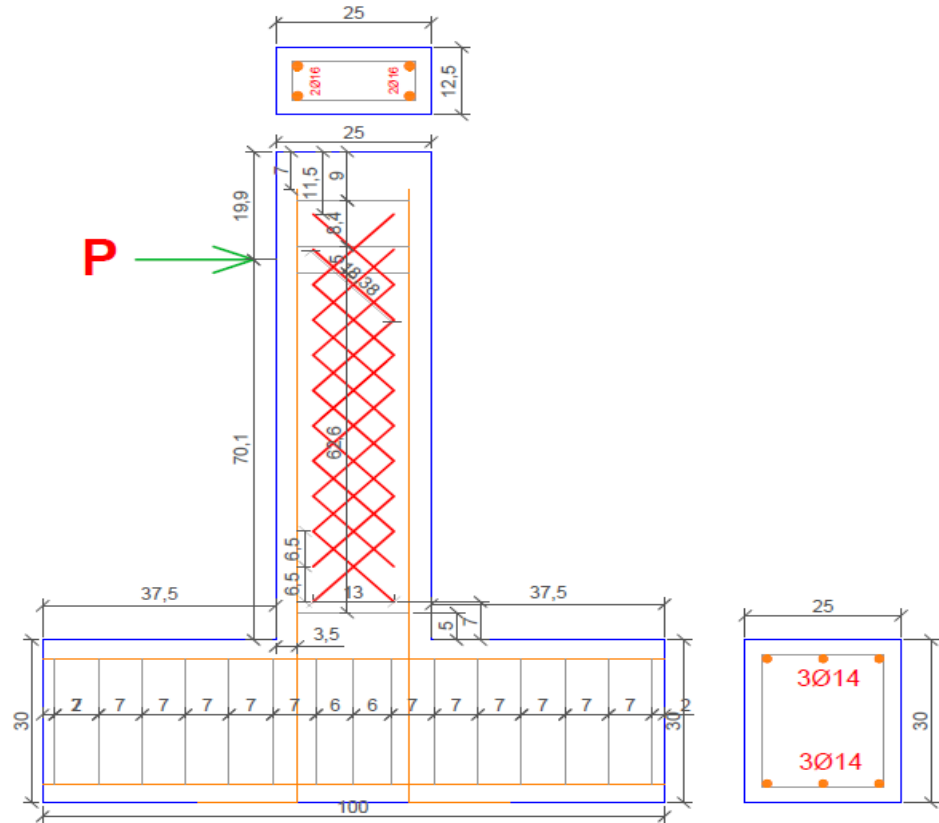
Numune	f_c (MPa)	a/d (mm/mm)	d (mm)	a (mm)	Kiriş boyuna donatısı (mm)	Kiriş etriye donatısı (mm)	Rijit temel donatısı (mm)	Rijit temel etriye donatısı (mm)
BC15/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/3.3	16.37	3.26	215	701	2Ø16	Temel yüzeyinden 270+350+80	6Ø14	Ø6/70
BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3	16.37	3.26	215	701	2Ø16	Temel yüzeyinden 270+350+80	6Ø14	Ø6/70
BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.0-2Ø16/3.3	16.37	3.26	215	701	2Ø16	Temel yüzeyinden 270+350+80	6Ø14	Ø6/70



Şekil 3.6. BC15/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/3.3 numunesi donatı detayları, ölçüler cm'dir.



Şekil 3.7. BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3 numunesi donatı detayları



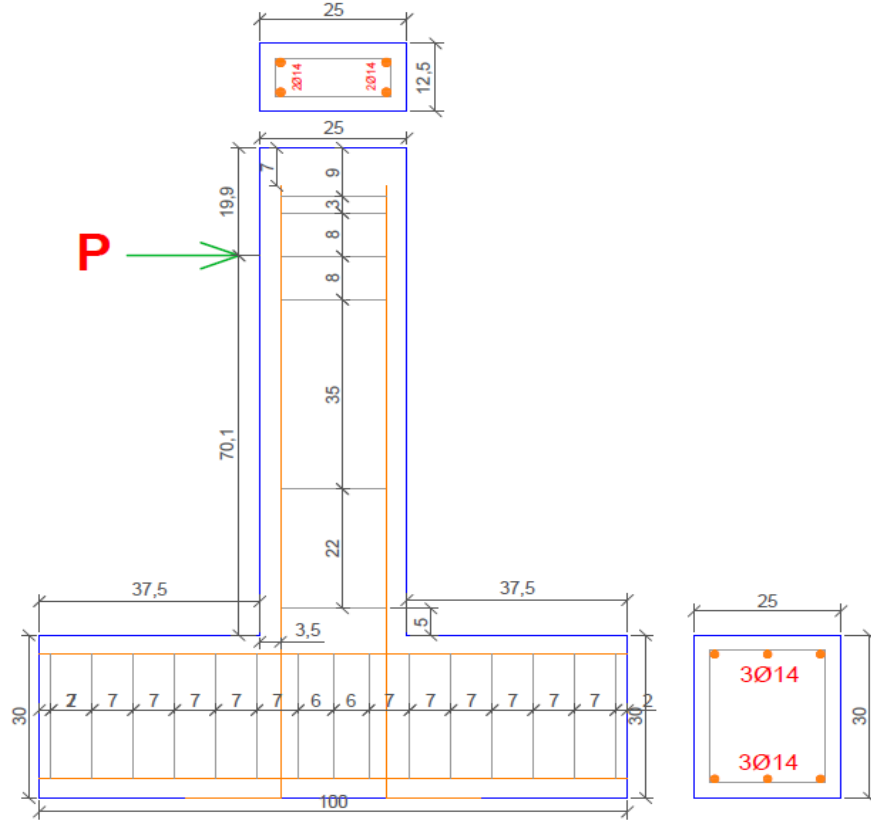
Şekil 3.8. BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.0-2Ø16/3.3 numunesi donatı detayları

3.3.3. 2. Grup Kiriş Deneyler

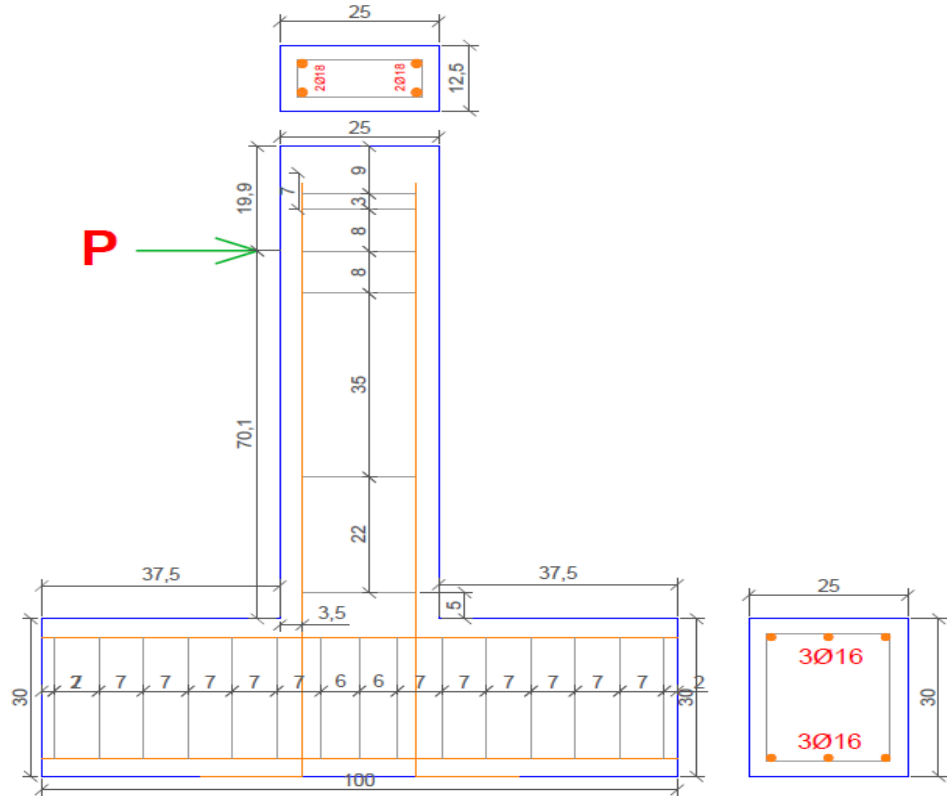
Bu grupta, 45° açıyla yerleştirilen 4 mm çapında MÇD'ler X şeklinde uygulanmıştır. Rijit temel, 250 x 300 x 1000 mm ve konsol kiriş 125 x 250 x 900 mm ($a=701$ mm) ölçülerinde tasarlanmıştır. Temelde 70 mm aralıklı Ø6 mm çapında etriyeler ve temel-konsol kiriş birleşiminde 60 mm aralıklı Ø6 mm çapında etriyeler kullanılmıştır. Konsol kiriş boyuna donatıları ise bu grup için 2Ø14 ve 2Ø18 olarak seçilmiştir. Bu grupta gerçekleştirilen deneylerin listesi Çizelge 3.5'te verilmiştir. İlk olarak, 2Ø14 ve 2Ø18 boyuna donatılı referans kirişler test edilmiştir (Şekil 3.9 ve Şekil 3.10). Bu referans kirişlerde, ilk etriyeler temelden 50 mm uzaklıkta yerleştirilmiş, ardından aralıklar sırasıyla 220 mm, 350 mm, 80 mm, 80 mm ve 30 mm olarak ayarlanmıştır. İkinci olarak, Şekil 3.11 ve Şekil 3.12 incelendiğinde, MÇD ile güçlendirilmiş kirişlerin referans numuneler ile aynı özelliklere sahip olduğu görülmektedir. Güçlendirme uygulamasında MÇD, 65 mm uygulama aralığına sahip olup, uygun şekilde yerleştirilmiştir. Küp numunelerin beton basınç dayanımı deney gününde ortalama silindirik dayanımına dönüştürülerek 17.80 MPa olarak elde edilmiştir. Bu doğrultuda, 2Ø14 boyuna donatılı bir referans kiriş, 2Ø18 boyuna donatılı bir referans kiriş ve her iki referans kirişin özelliklerine sahip kirişlerin 4 mm çaplı MÇD ile güçlendirilmiş halleri üzerinde deneyler gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 3.5. 2. Grup referans ve MÇD ile güçlendirilen kirişlerin tasarımsal özellikleri

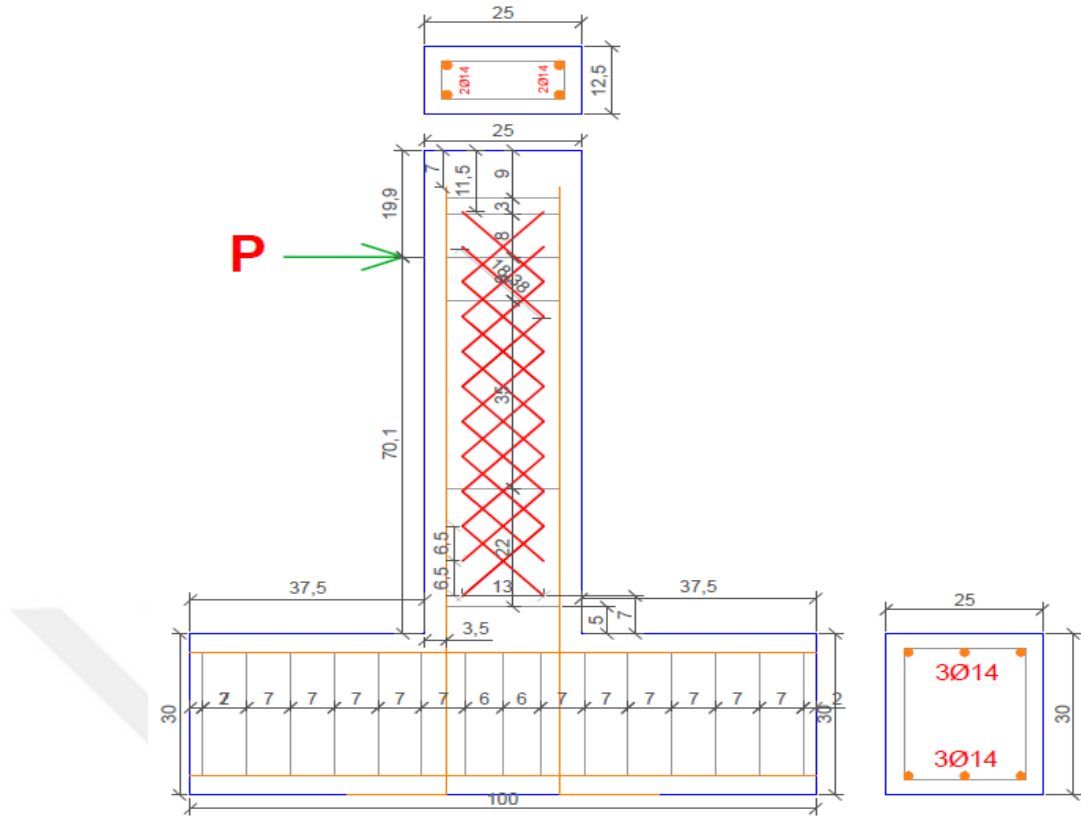
Numune	f_c (MPa)	a/d (mm/mm)	d (mm)	a (mm)	Kiriş boyuna donatısı (mm)	Kiriş etriye donatısı (mm)	Rijit temel donatısı (mm)	Rijit temel etriye donatısı (mm)
BC15/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø14/3.3	17.80	3.26	215	701	2Ø14	Temel yüzeyinden 270+350+80	6Ø14	Ø6/70
BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø14/3.3	17.80	3.26	215	701	2Ø14	Temel yüzeyinden 270+350+80	6Ø14	Ø6/70
BC15/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø18/3.3	17.80	3.26	215	701	2Ø18	Temel yüzeyinden 270+350+80	6Ø16	Ø6/70
BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø18/3.3	17.80	3.26	215	701	2Ø18	Temel yüzeyinden 270+350+80	6Ø16	Ø6/70



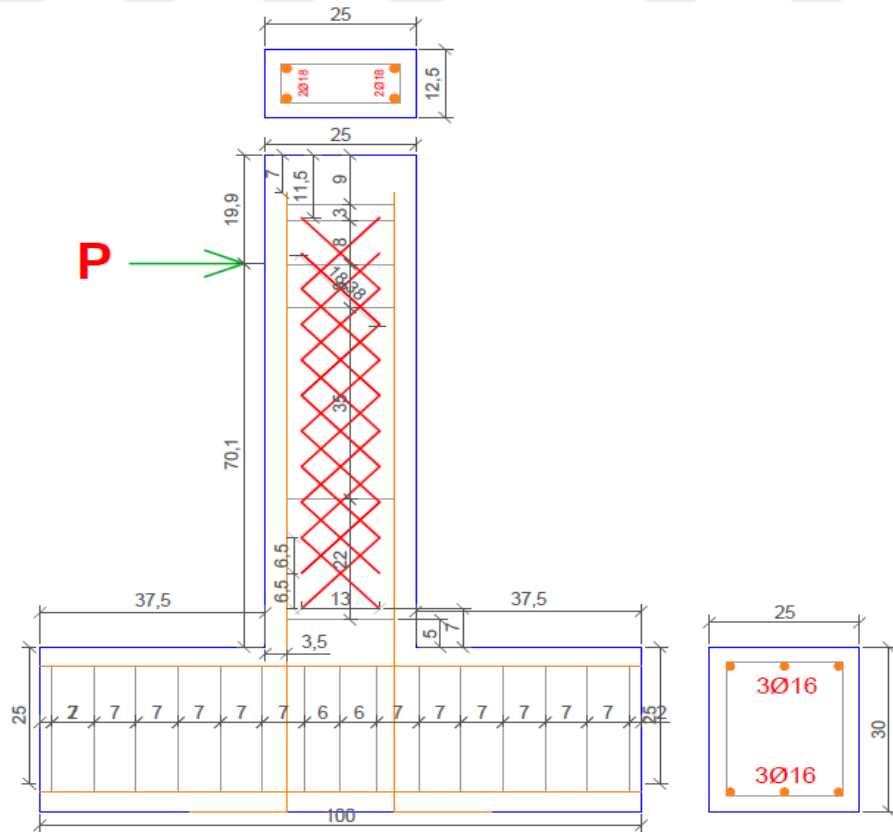
Şekil 3.9. BC15/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø14/3.3 numunesi donatı detayları, ölçüler cm'dir.



Şekil 3.10. BC15/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø18/3.3 numunesi donatı detayları



Şekil 3.11. BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø14/3.3 numunesi donatı detayları



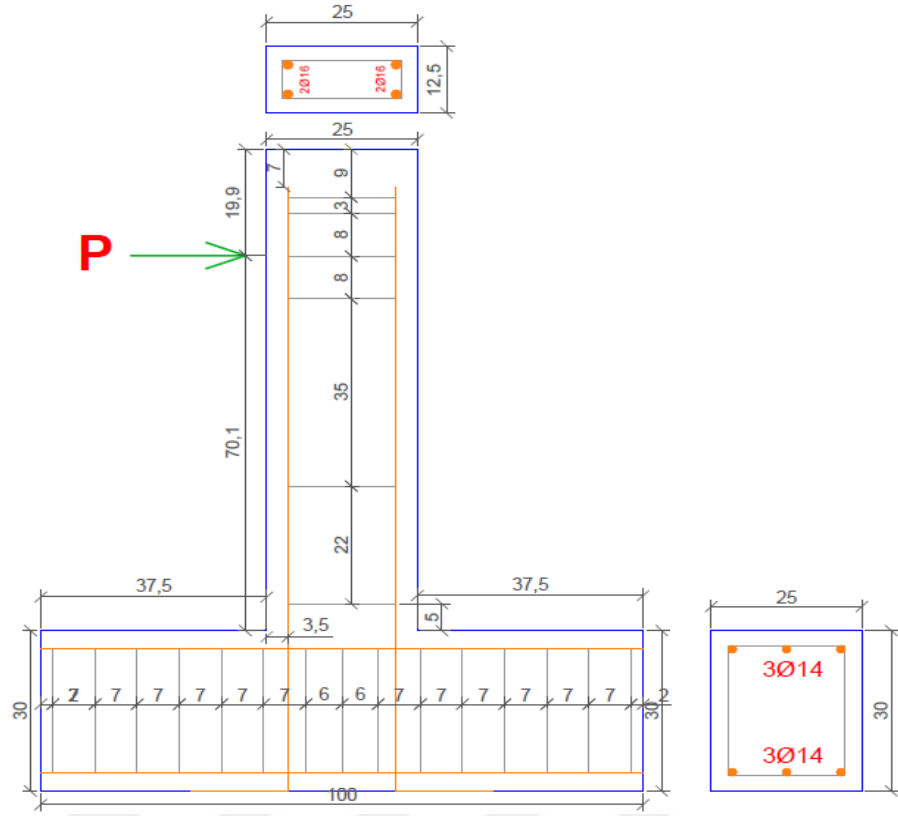
Şekil 3.12. BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø18/3.3 numunesi donatı detayları

3.3.4. 3. Grup Kiriş Deneyler

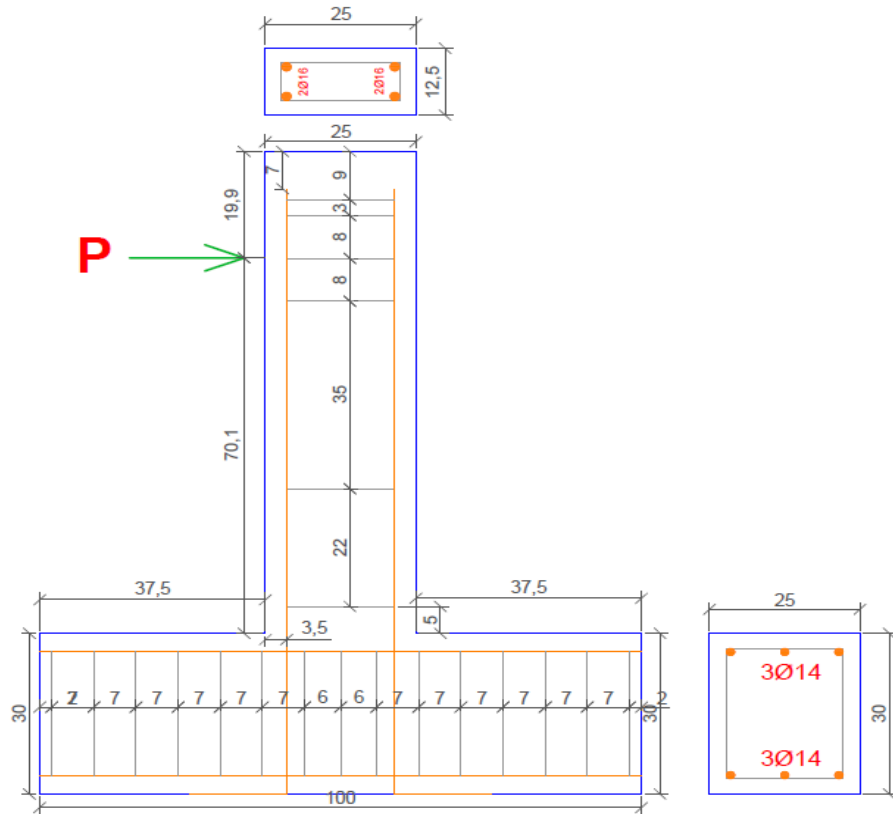
Bu deney grubunda deneyler, C5-10 (5-10MPa) ve C10-15 (10-15MPa) hedef basınç dayanımlarına sahip iki farklı beton sınıfı üzerinde gerçekleştirilmiştir. Her bir basınç dayanımı için bir referans kiriş ve referans kiriş ile aynı özelliklere sahip kirişlerin güçlendirilmiş hali olan numuneler hazırlanmıştır. Bu grupta, 45° açıyla yerleştirilen 4 mm çapında MÇD'ler X şeklinde uygulanmıştır. Deneylerin listesi Çizelge 3.6'da verilmiştir. Rijit temel, 250 x 300 x 1000 mm ve konsol kiriş 125 x 250 x 900 mm ($a=701$ mm) ölçülerinde tasarlanmıştır. Temelde 70 mm aralıklı Ø6 mm çapında etriyeler ve temel-konsol kiriş birleşiminde 60 mm aralıklı Ø6 mm çapında etriyeler kullanılmıştır. Bu grupta ilk olarak referans kirişler test edilmiştir (Şekil 3.13 ve Şekil 3.14). Şekil 3.13 ve Şekil 3.14 incelendiğinde ilk etriyeler, temelden 50 mm uzaklıkta yerleştirildikten sonra, etriye aralıkları sırasıyla 220 mm, 350 mm, 80 mm, 80 mm ve 30 mm olarak belirlenmiştir. İkinci olarak Şekil 3.15 ve Şekil 3.16 incelendiğinde güçlendirilmiş kirişler görülmektedir. MÇD ile güçlendirilen kirişler referans numuneler ile aynı özelliklere sahiptir. 3. Grup deneylerinde de 65mm MÇD uygulama aralığı 0. Gruptaki ile aynıdır. Küp numunelerin beton basınç dayanımı deney gününde ortalama silindir dayanımına dönüştürülerek C5-10 sınıf betonu için 7.56 MPa ve C10-15 sınıf betonu için 13.16 MPa olarak elde edilmiştir. Sonuç olarak, bu grupta basınç dayanımı C5-10 sınıfı olan bir referans kiriş, basınç dayanımı C10-15 olan bir diğer referans kiriş ve her iki referans kirişin 4 mm MÇD ile güçlendirilmiş halleri üzerinde deneyler gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 3.6. 3. Grup referans ve MÇD ile güçlendirilen kirişlerin tasarımsal özellikler

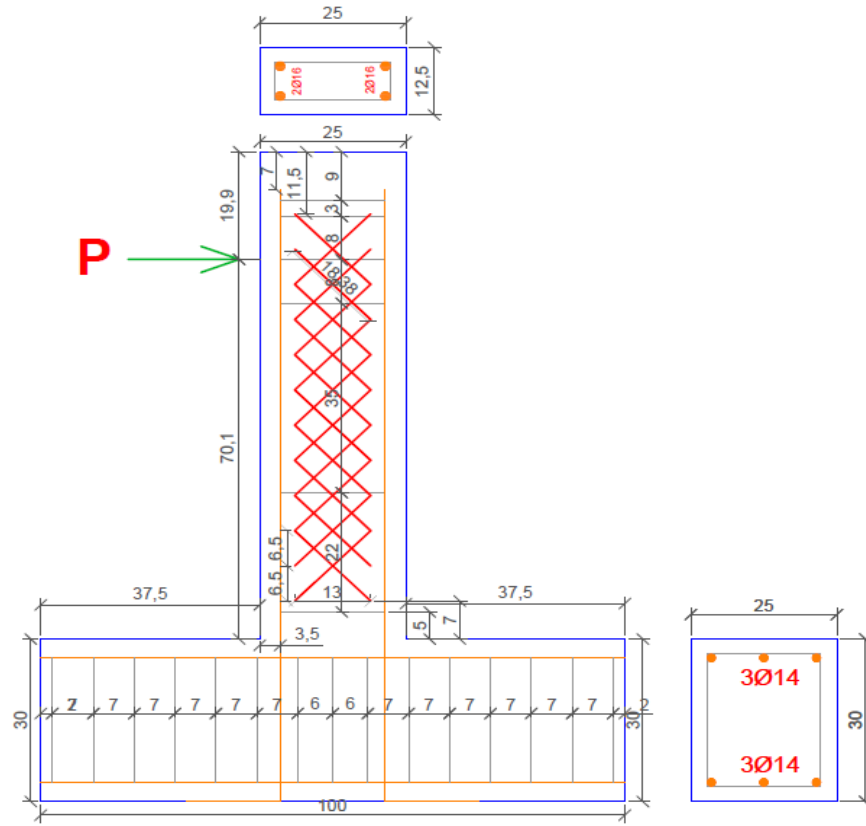
Numune	f_c (MPa)	a/d (mm/mm)	d (mm)	a (mm)	Kiriş boyuna donatısı (mm)	Kiriş ettriye donatısı (mm)	Rijit temel donatısı (mm)	Rijit temel ettriye donatısı (mm)
BC5/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/3.3	7.56	3.26	215	701	2Ø16	Temel yüzeyinden 270+350+80	6Ø14	Ø6/70
BC5/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3	7.56	3.26	215	701	2Ø16	Temel yüzeyinden 270+350+80	6Ø14	Ø6/70
BC10/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/3.3	13.16	3.26	215	701	2Ø16	Temel yüzeyinden 270+350+80	6Ø14	Ø6/70
BC10/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3	13.16	3.26	215	701	2Ø16	Temel yüzeyinden 270+350+80	6Ø14	Ø6/70



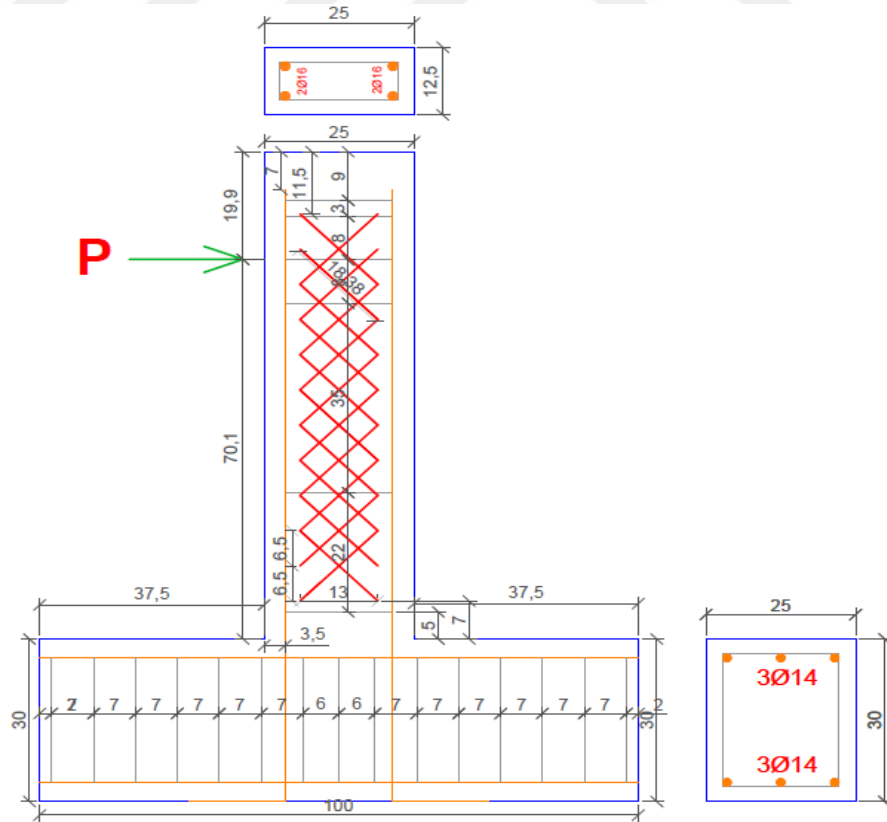
Şekil 3.13. BC5/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/3.3 numunesi donatı detayları, ölçüler cm'dir



Şekil 3.14. BC10/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/3.3 numunesi donatı detayları



Şekil 3.15. BC5/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3 numunesi donatı detayları



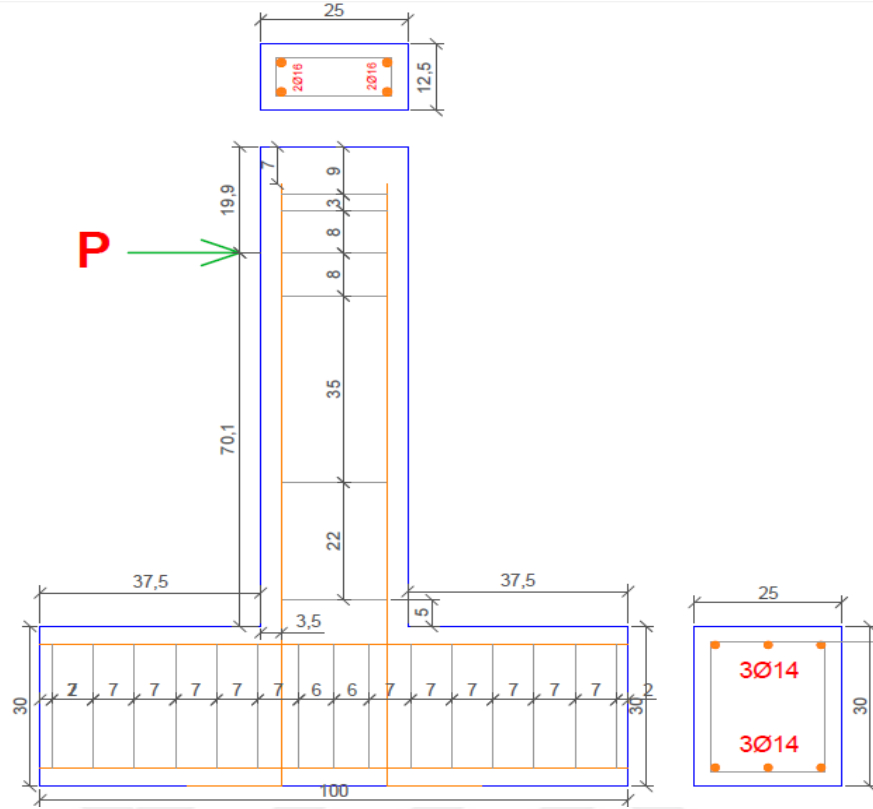
Şekil 3.16. BC10/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3 numunesi donatı detayları

3.3.5. 4. Grup Kiriş Deney Listesi

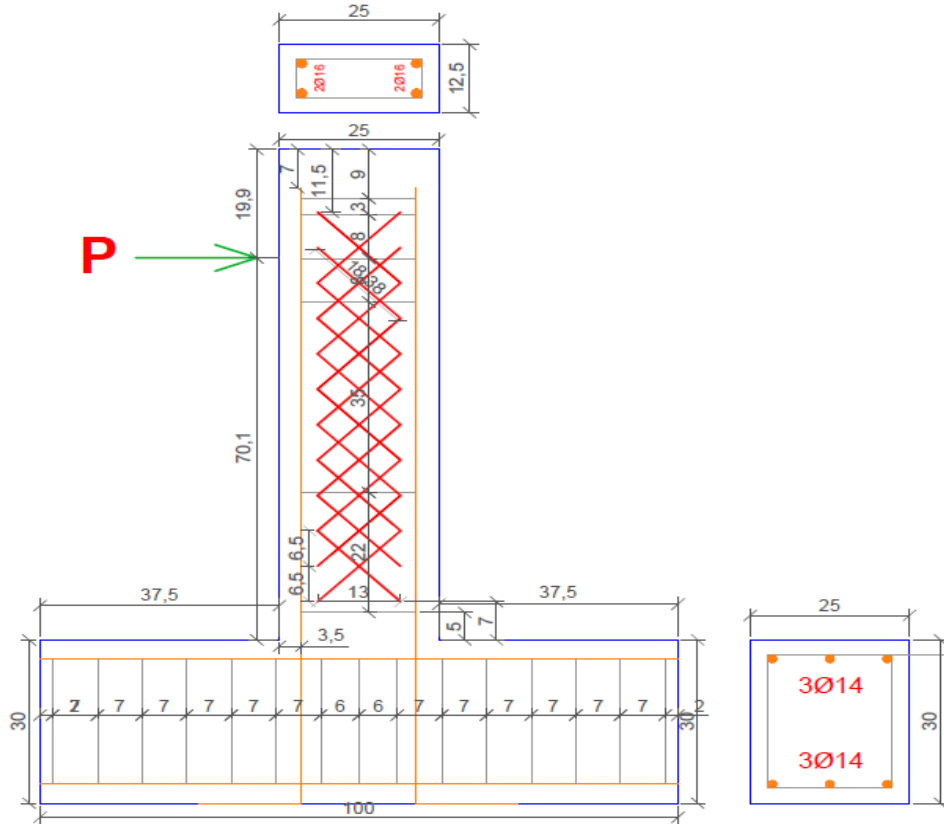
Bu deney grubunda, beton basınç dayanımı C20-25 sınıfı (20-25MPa) olan numuneler üzerinde iki test gerçekleştirilmiştir. Bu grupta bir referans kiriş ve 45° açıyla yerleştirilen 4 mm çapında MÇD'ler ile güçlendirilmiş bir kiriş test edilmiştir. Deneylerin listesi Çizelge 3.7'de verilmiştir. Rijit temel, 250 x 300 x 1000 mm ve konsol kiriş 125 x 250 x 900 mm ($a=701$ mm) ölçülerinde tasarlanmıştır. Temelde 70 mm aralıklı Ø6 mm çapında etriyeler ve temel-konsol kiriş birleşiminde 60 mm aralıklı Ø6 mm çapında etriyeler kullanılmıştır. Bu grupta ilk olarak referans kiriş test edilmiştir (Şekil 3.17). Şekil 3.17 incelendiğinde ilk etriyeler, temelden 50 mm uzaklıkta yerleştirildikten sonra, etriye aralıkları sırasıyla 220 mm, 350 mm, 80 mm, 80 mm ve 30 mm olarak ayarlanmıştır. Şekil 3.18 incelendiğinde güçlendirilen kiriş görülmektedir. Şekil 3.18'de 4 mm çapında MÇD ile güçlendirilen kirişler referans numune ile aynı özelliklere sahiptir. 4. Grup deneylerinde 65 mm MÇD uygulama aralığı 0. Gruptaki ile aynıdır. Küp numunelerin beton basınç dayanımı deney gününde ortalama silindirik dayanımına dönüştürülerek 23.22 MPa olarak elde edilmiştir. Sonuç olarak bu grupta bir referans kiriş ve referans kiriş ile aynı özelliklere sahip bir kirişin 4 mm MÇD ile bir güçlendirilmiş hali olmak üzere toplam iki kiriş deneyi gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 3.7. 4. Grup referans ve MÇD ile güçlendirilen kirişlerin tasarımsal özellikleri

Numune	f_c (MPa)	a/d (mm/mm)	d (mm)	a (mm)	Kiriş boyuna donatısı (mm)	Kiriş etriye donatısı (mm)	Rijit temel donatısı (mm)	Rijit temel etriye donatısı (mm)
BC20/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/3.3	23.22	3.26	215	701	2Ø16	Temel yüzeyinden 270+350+80	6Ø14	Ø6/70
BC20/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3	23.22	3.26	215	701	2Ø16	Temel yüzeyinden 270+350+80	6Ø14	Ø6/70



Şekil 3.17. BC20/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/3.3 numunesi donatı detayları, ölçüler cm'dir.



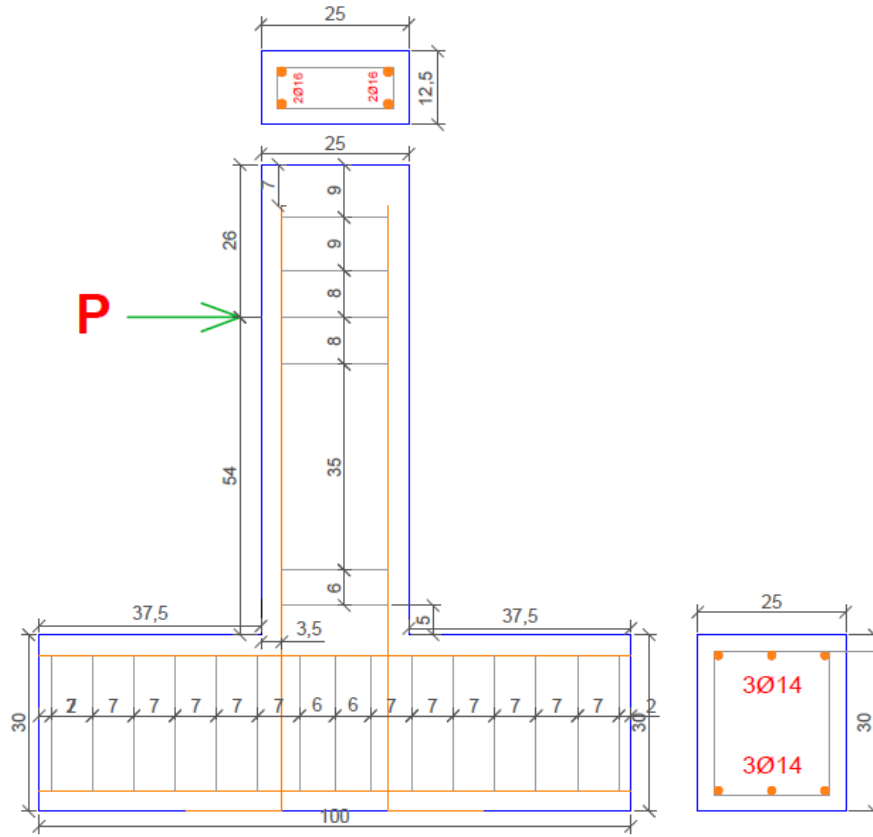
Şekil 3.18. BC20/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3 numunesi donatı detayları

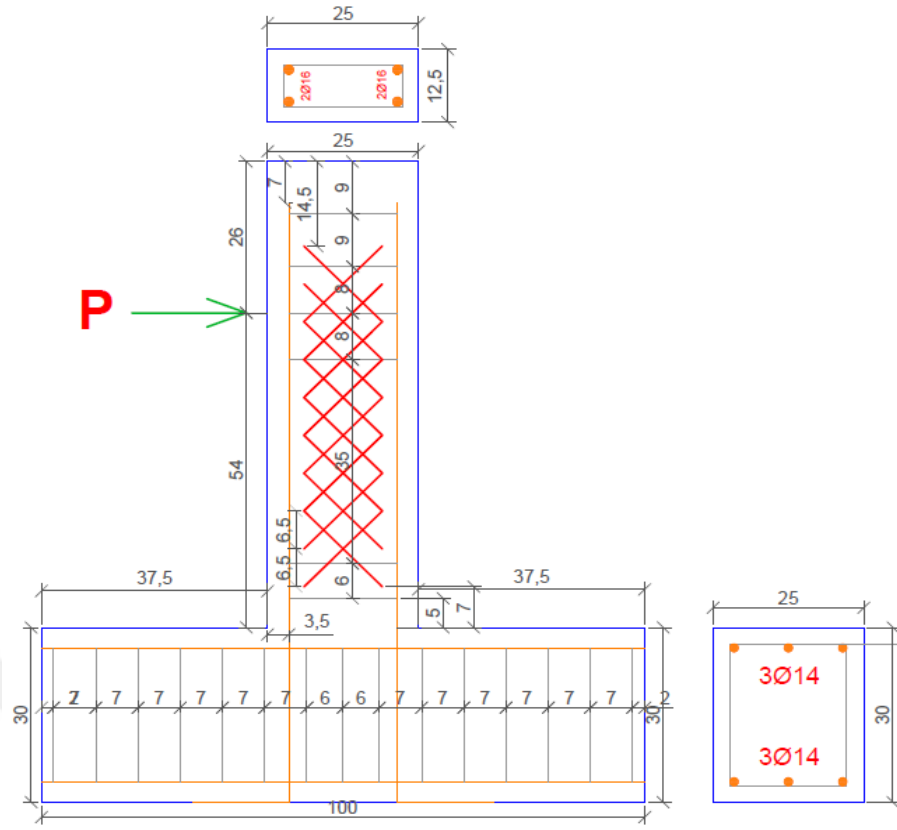
3.3.6. 5. Grup Kiriş Deney Listesi

Bu grupta, önceki gruplarda olduğu gibi 45° açıyla yerleştirilen 4 mm ve 6 mm çaplı MÇD 'ler kirişlere uygulanarak X şeklinde güçlendirilmiştir. Rijit temel 250 x 300 x 1000 mm, konsol kiriş ise 125 x 250 x 800 mm boyutlarında tasarlanmıştır. Faydalı yükseklik (d) 215 mm ve kiriş kesme açıklığı (a) 540 mm olup, a/d oranı 2.51 olarak sağlanmıştır. Temelde 70 mm aralıklı Ø6 mm çapında etriyeler ve temel-konsol kiriş birleşiminde 60 mm aralıklı Ø6 mm çapında etriyeler yerleştirilmiştir. 5. grup deneylerin listesi Çizelge 3.8'de verilmiştir. Bu grupta ilk olarak referans kiriş test edilmiştir (Şekil 3.19). Şekil 3.19 incelendiğinde ilk etriyeler, temelden 50 mm uzaklıkta yerleştirildikten sonra, etriye aralıkları sırasıyla 60 mm, 350 mm, 80 mm, 80 mm ve 90 mm olarak ayarlanmıştır. İkinci olarak Şekil 3.20 ve Şekil 3.21 incelendiğinde güçlendirilmiş kirişler görülmektedir. Bu şekiller incelendiğinde MÇD ile güçlendirilmiş kirişler referans numuneler ile aynı özelliklere sahiptir. Ancak Şekil 3.20'deki güçlendirilmiş kiriş 4 mm çapında MÇD ile güçlendirilmişken, Şekil 3.21'deki kiriş 6 mm çapında MÇD ile güçlendirilmiştir. Şekil 3.22 incelendiğinde ise betonarme konsol kirişin etriye aralıklarının farklı olduğu görülmektedir. Burada etriye aralığı temelden 50 mm uzaklıkta yerleştirilmiş ve daha sonra etriye aralıkları sırasıyla 465 mm, 50 mm ve 145 mm olarak ayarlanmıştır. Bu sayede etriye aralığı arttıkça 4 mm çapında MÇD'nin kesme kapasitesine katkısı görülmeye çalışılmıştır. 5. Grup deneylerinde de 65mm MÇD uygulama aralığı 0. Gruptaki ile aynıdır. Küp numunelerin beton basınç dayanımı 28 gün sonunda ortalama silindir dayanımına dönüştürülerek 15.96 MPa olarak elde edilmiştir. Sonuç olarak bu grupta, bir referans kiriş, referans kiriş ile aynı özelliklere sahip 4 mm çapında MÇD ile bir güçlendirilmiş kiriş ve 6 mm çapında MÇD ile bir güçlendirilmiş kiriş ile birlikte etriyesi az olan (yani etriye aralığı fazla olan) 4 mm çapında MÇD ile güçlendirilmiş bir kiriş olmak üzere toplam dört kiriş deneyi yapılmıştır.

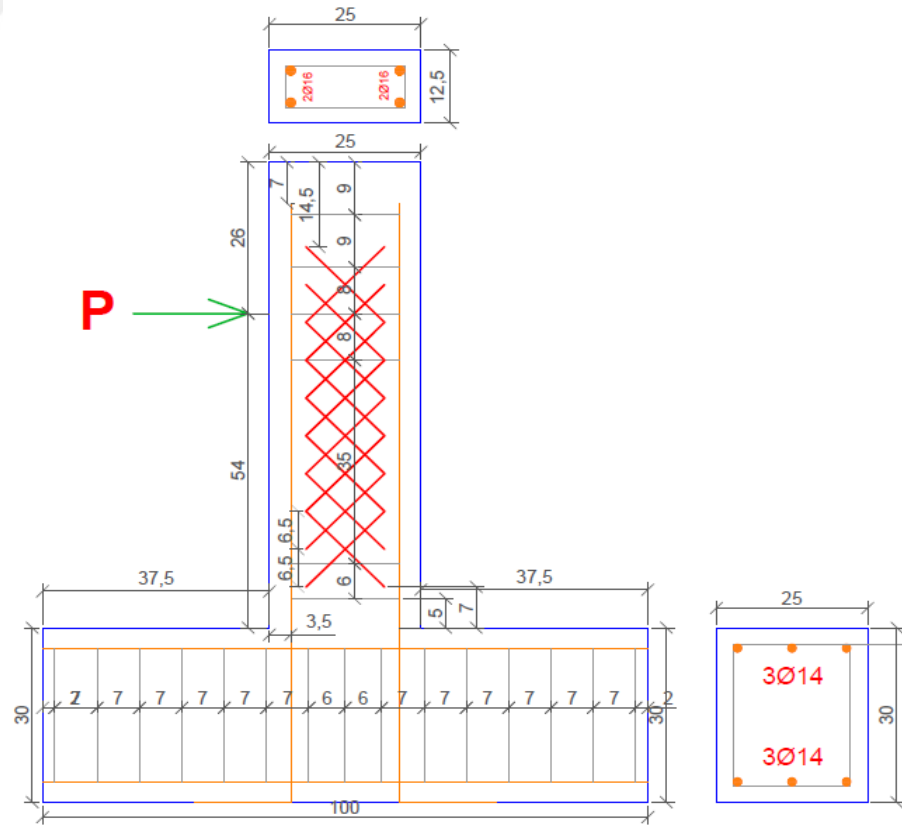
Çizelge 3.8. 5. Grup referans ve MÇD ile güçlendirilen kirişlerin tasarımsal özellikleri

Numune	f_c (MPa)	a/d (mm/mm)	d (mm)	a (mm)	Kiriş boyuna donatısı (mm)	Kiriş etriye donatısı (mm)	Rijit temel donatısı (mm)	Rijit temel etriye donatısı (mm)
BC15/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/2.5	15.96	2.51	215	540	2Ø16	Temel yüzeyinden 110+350+80	6Ø14	Ø6/70
BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/2.5	15.96	2.51	215	540	2Ø16	Temel yüzeyinden 110+350+80	6Ø14	Ø6/70
BC15/X3.3-T6-15-45/125-250-0.6-2Ø16/2.5	15.96	2.51	215	540	2Ø16	Temel yüzeyinden 110+350+80	6Ø14	Ø6/70
BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.0-2Ø16/2.5	15.96	2.51	215	540	2Ø16	Temel yüzeyinden 50+465+50	6Ø14	Ø6/70

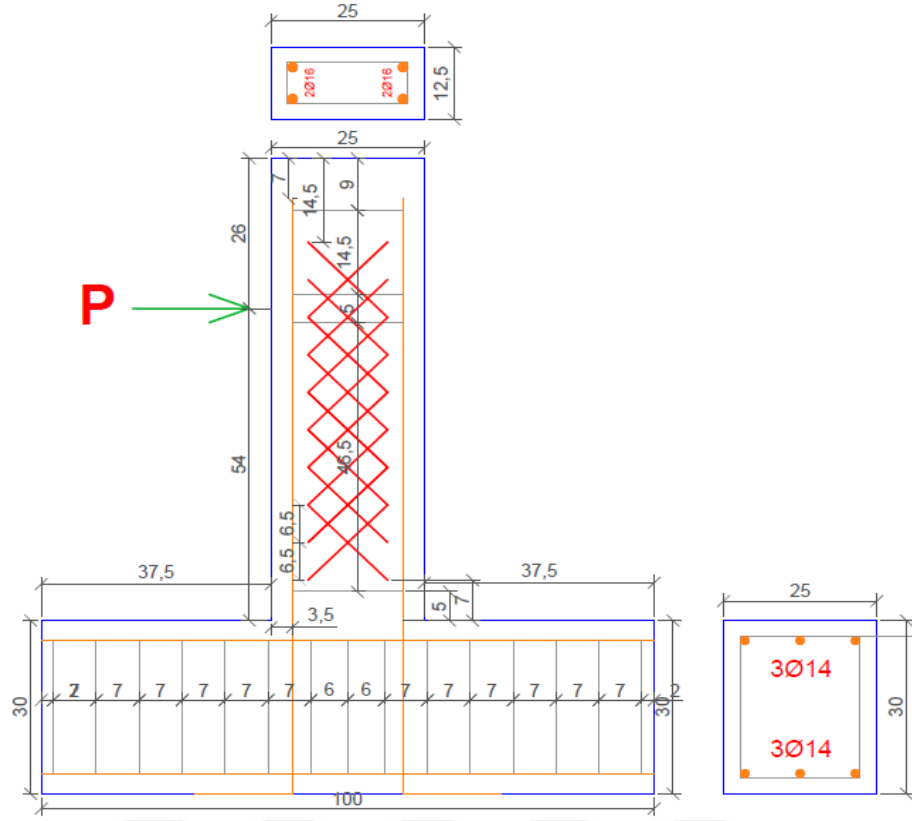
**Şekil 3.19.** BC15/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/2.5 numunesi donatı detayları, ölçüler cm'dir



Şekil 3.20. BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/2.5 numunesi donatı detayları



Şekil 3.21. BC15/X3.3-T6-15-45/125-250-0.6-2Ø16/2.5 numunesi donatı detayları



Şekil 3.22. BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.0-2Ø16/2.5 numunesi donatı detayları

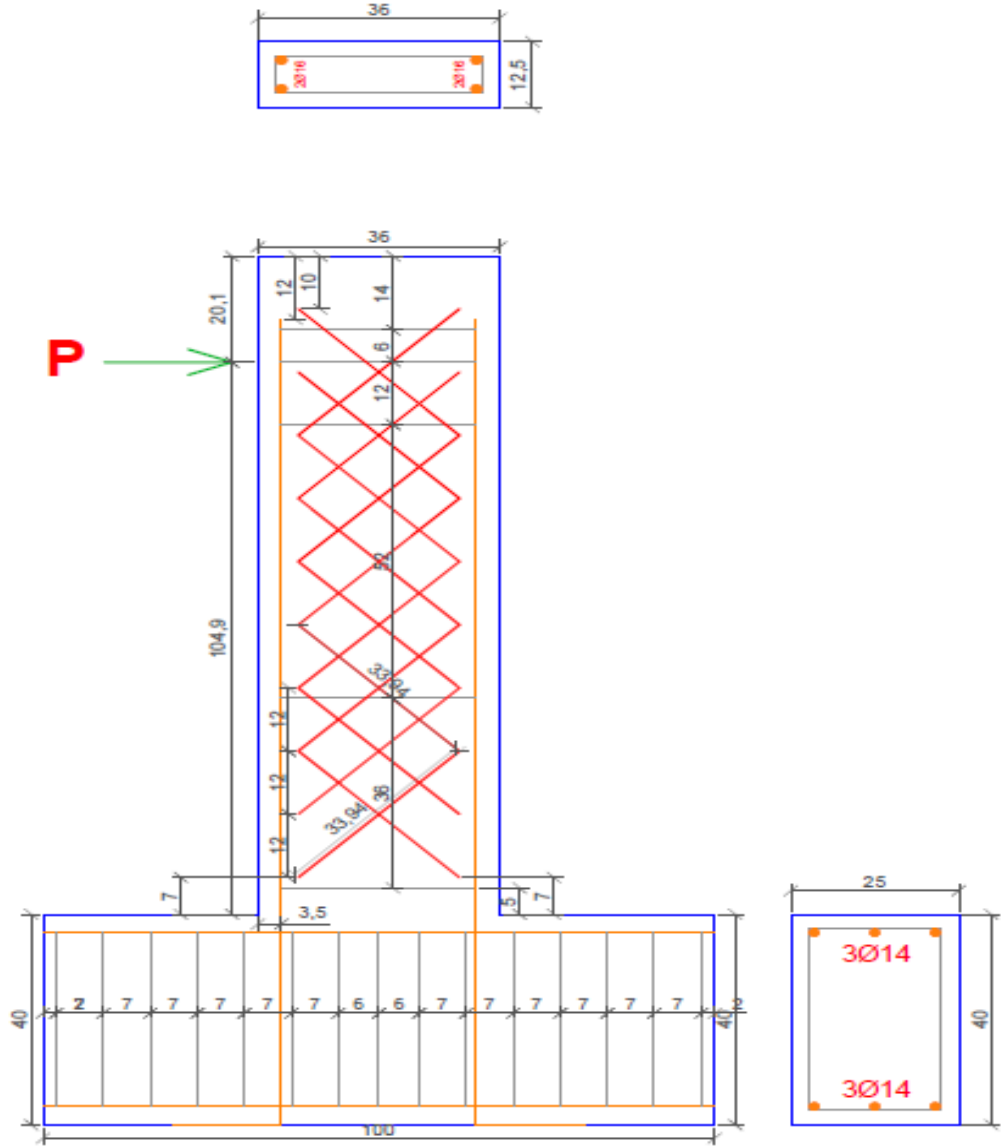
3.3.7. 6. Grup Kiriş Deney Listesi

Bu grupta, önceki gruplarda olduğu gibi 45° açıyla yerleştirilen 4 mm çaplı MÇD'ler X şeklinde uygulanarak kirişler güçlendirilmiştir. Rijit temel $250 \times 400 \times 1000$ mm, konsol kiriş ise $125 \times 360 \times 1250$ mm boyutlarında tasarlanmıştır. Faydalı yükseklik (d) 325 mm ve kiriş kesme açıklığı (a) 1049 mm olup, a/d oranı 3.23 olarak sağlanmıştır. Temelde 70 mm aralıklı Ø6 mm çapında etriyeler ve temel-konsol kiriş birleşiminde 60 mm aralıklı Ø6 mm çapında etriyeler yerleştirilmiştir. 6. Grup yapılacak deneylerin listesi Çizelge 3.9'da gösterilmiştir. Bu grupta ilk olarak referans kiriş test edilmiştir (Şekil 3.23). Şekil 3.23 incelendiğinde ilk etriyeler, temelden 50 mm uzaklıkta yerleştirildikten sonra, etriye aralıkları sırasıyla 360 mm, 520 mm, 120 mm ve 60 mm olarak ayarlanmıştır. İkinci olarak, Şekil 3.24 incelendiğinde güçlendirilmiş kiriş görülmektedir. Şekil 3.24 incelendiğinde 4mm MÇD ile güçlendirilmiş kirişler referans numunelerle aynı özelliklere sahiptir. Son olarak Şekil 3.25 incelendiğinde betonarme konsol kirişin etriye aralıklarının farklı olduğu görülmektedir. Burada etriye aralığı temelden 50 mm uzaklıkta yerleştirilmiş ve daha sonra etriye aralıkları sırasıyla 975 mm, 50 mm ve 20 mm

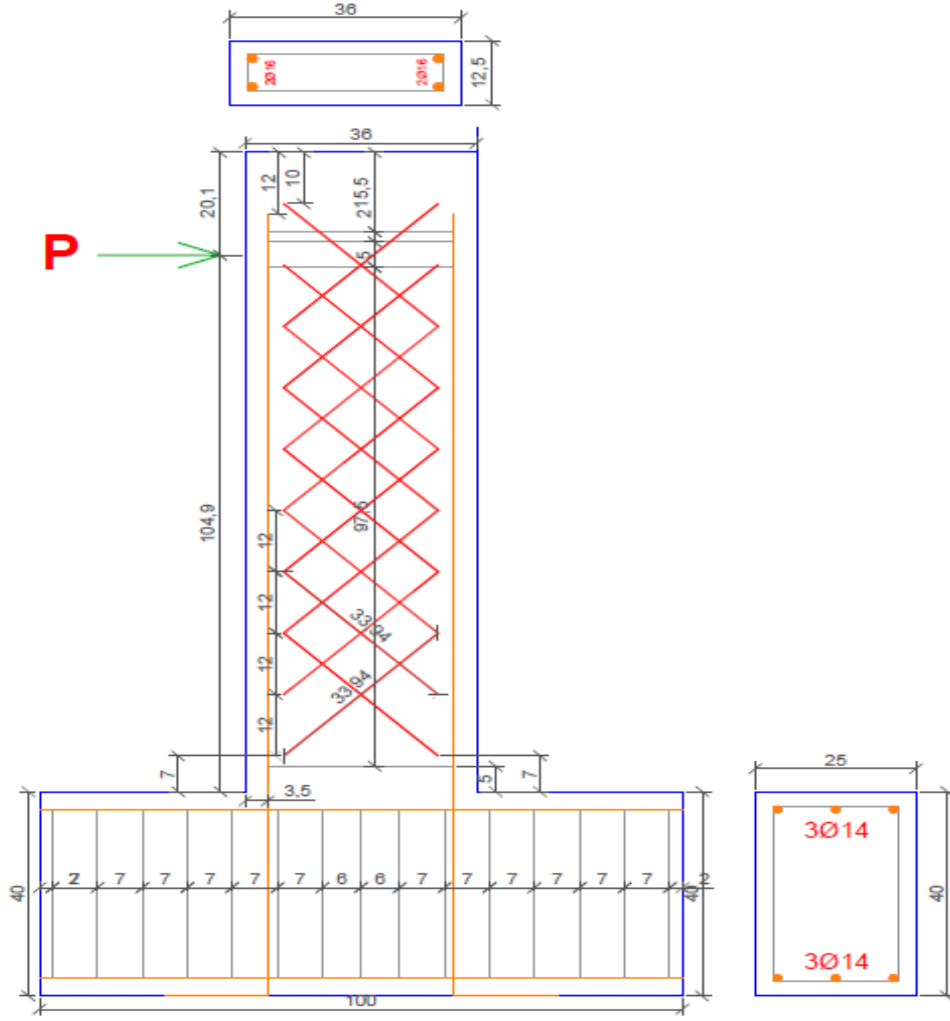
olarak ayarlanmıştır. Bu sayede etriye aralığı arttıkça MÇD'nin kesme kapasitesine katkısı görülmeye çalışılmıştır. MÇD uygulaması için kiriş genişliği dikkate alınarak gerekli mesafe 45°'lik bir açıya ayarlandıktan sonra, tek doğrultuda donatının bu açıda uygulanmasına izin veren 240 mm'lik bir aralık oluşmuştur. Ancak MÇD'ler X şeklinde uygulandığından MÇD aralığının 120 mm'ye düşmesine neden olmuştur. Küp numunelerin beton basınç dayanımı 28 gün sonunda ortalama silindir dayanımına dönüştürülerek 16.28 MPa olarak elde edilmiştir. Sonuç olarak, bu grupta bir referans kiriş, referans kiriş ile aynı özelliklere sahip kirişin 4mm çapında MÇD ile güçlendirilmiş hali ve etriyesi az olan (yani etriye aralığı fazla olan) 4mm çapında MÇD ile güçlendirilmiş kiriş deneyleri olmak üzere toplam üç deney gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 3.9. 6. Grup referans ve MÇD ile güçlendirilen kirişlerin tasarımsal özellikleri

Numune	f_c (MPa)	a/d (mm/mm)	d (mm)	a (mm)	Kiriş boyuna donatısı (mm)	Kiriş etriye donatısı (mm)	Rijit temel donatısı (mm)	Rijit temel etriye donatısı (mm)
BC15/N0.0-N0-0-0/125-360-0.6-2Ø16/3.3	16.28	3.23	325	1049	2Ø16	Temel yüzeyinden 410+520+120	6Ø14	Ø6/70
BC15/X3.3-T4-15-45/125-360-0.6-2Ø16/3.3	16.28	3.23	325	1049	2Ø16	Temel yüzeyinden 410+520+120	6Ø14	Ø6/70
BC15/X3.3-T4-15-45/125-360-0.0-2Ø16/3.3	16.28	3.23	325	1049	2Ø16	Temel yüzeyinden 50+975+50	6Ø14	Ø6/70



Şekil 3.24. BC15/X3.3-T4-15-45/125-360-0.6-2Ø16/3.3 numunesi donatı detayları



Şekil 3.25. BC15/X3.3-T4-15-45/125-360-0.0-2Ø16/3.3 numunesi donatı detayları

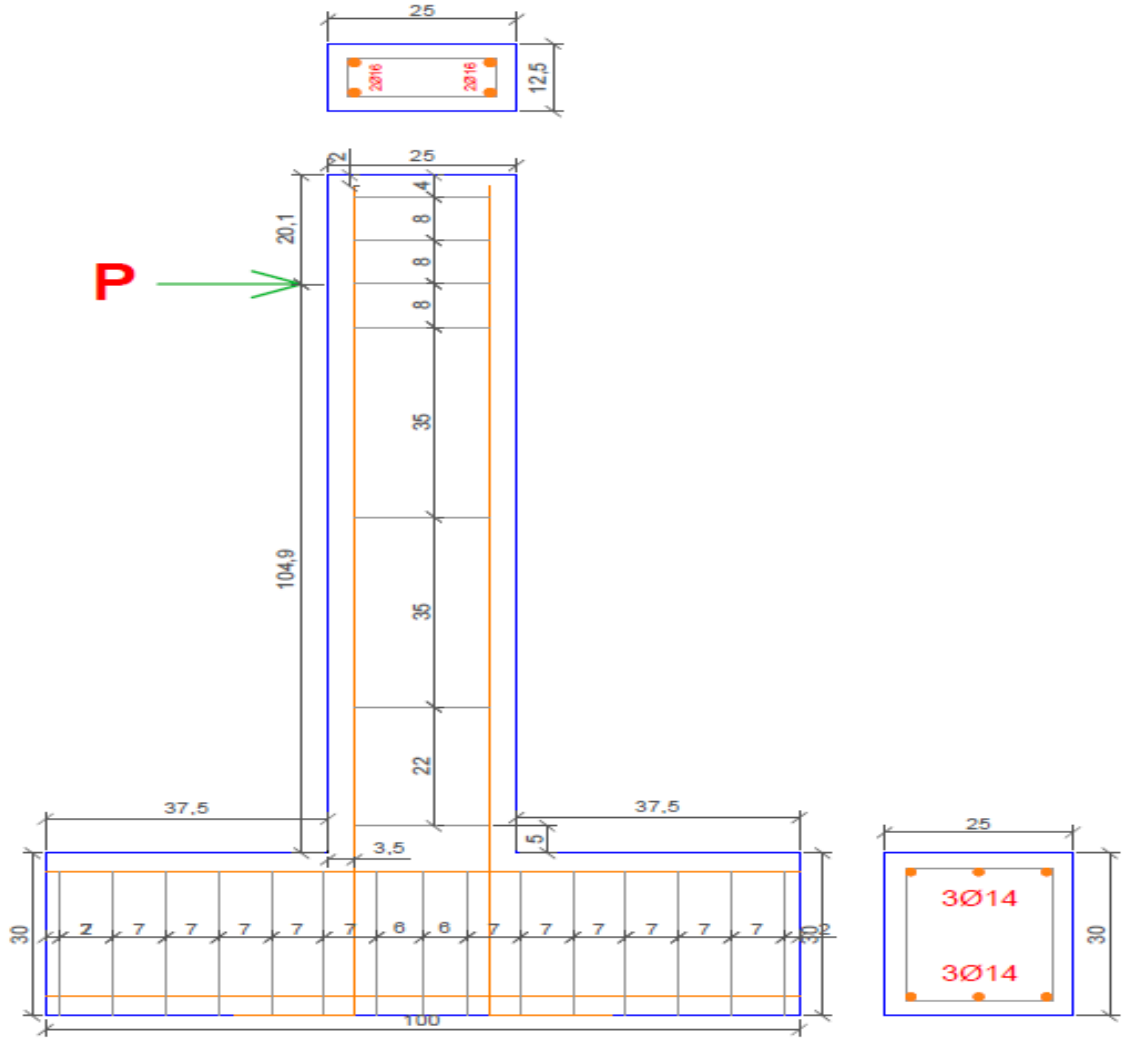
3.3.8. 7. Grup Kiriş Deney Listesi

Bu grupta, önceki gruplarda olduğu gibi 45° açıyla yerleştirilen 4 mm çapında MÇD'ler X şeklinde güçlendirilmiştir. Rijit temel $250 \times 300 \times 1000$ mm ve konsol kiriş $125 \times 250 \times 1250$ mm boyutlarında tasarlanmıştır. Faydalı yükseklik (d) 215 mm ve kiriş kesme açıklığı (a) 1049 mm olup, a/d oranı 4.88 olarak sağlanmıştır. Temelde 70 mm aralıklı Ø6 mm çapında etriyeler ve temel-konsol kiriş birleşiminde 60 mm aralıklı Ø6 mm çapında etriyeler yerleştirilmiştir. Temelde 70 mm aralıklı Ø6 mm çapında etriyeler yerleştirilmiş ve temel-konsol kiriş birleşiminde 60 mm aralıklı Ø6 mm çapında etriyeler kullanılmıştır. 7. Grupta yapılan deneylerin listesi Çizelge 3.10'da gösterilmiştir. Bu grupta ilk olarak referans kiriş test edilmiştir (Şekil 3.26). Şekil 3.26 incelendiğinde ilk etriyeler, temelden 50 mm uzaklıkta yerleştirildikten sonra, etriye aralıkları sırasıyla 220

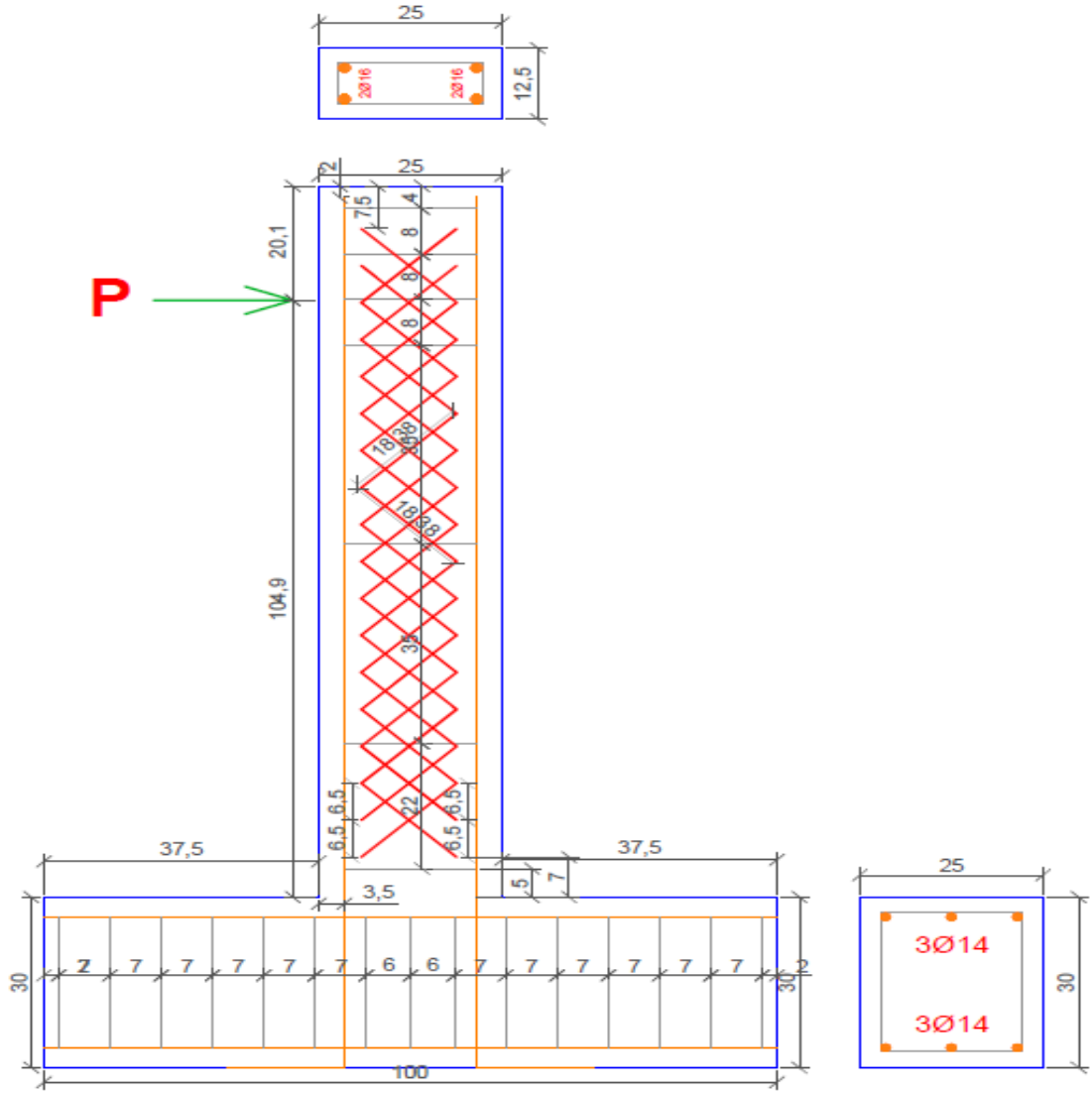
mm, 350 mm, 80 mm ve 80 mm olarak ayarlanmıştır. İkinci olarak, Şekil 3.27 incelendiğinde güçlendirilmiş kiriş görülmektedir. Şekil 3.27 incelendiğinde 4mm çapında MÇD ile güçlendirilmiş kirişler referans numunelerle aynı özelliklere sahiptir. Son olarak Şekil 3.28 incelendiğinde betonarme konsol kirişin etriye aralıklarının farklı olduğu görülmektedir. Burada etriye aralığı temelden 50 mm uzaklıkta yerleştirilmiş ve daha sonra etriye aralıkları sırasıyla 974 mm, 50 mm ve 136 mm olarak ayarlanmıştır. Bu sayede etriye aralığı arttıkça MÇD'nin kesme kapasitesine katkısı görülmeye çalışılmıştır. 7. Grup deneylerinde de 65mm MÇD uygulama aralığı 0. Gruptaki ile aynıdır. Küp numunelerin beton basınç dayanımı 28 gün sonunda ortalama silindir dayanımına dönüştürülerek 16.59 MPa olarak elde edilmiştir. Sonuç olarak, bu grupta bir referans kiriş, referans kiriş ile aynı özelliklere sahip kirişlerin 4mm MÇD ile güçlendirilmiş hali ve etriyesi az olan (yani etriye aralığı fazla olan) 4mm MÇD ile güçlendirilmiş kiriş deneyler yapılmıştır.

Çizelge 3.10. 7. Grup referans ve MÇD ile güçlendirilen kirişler

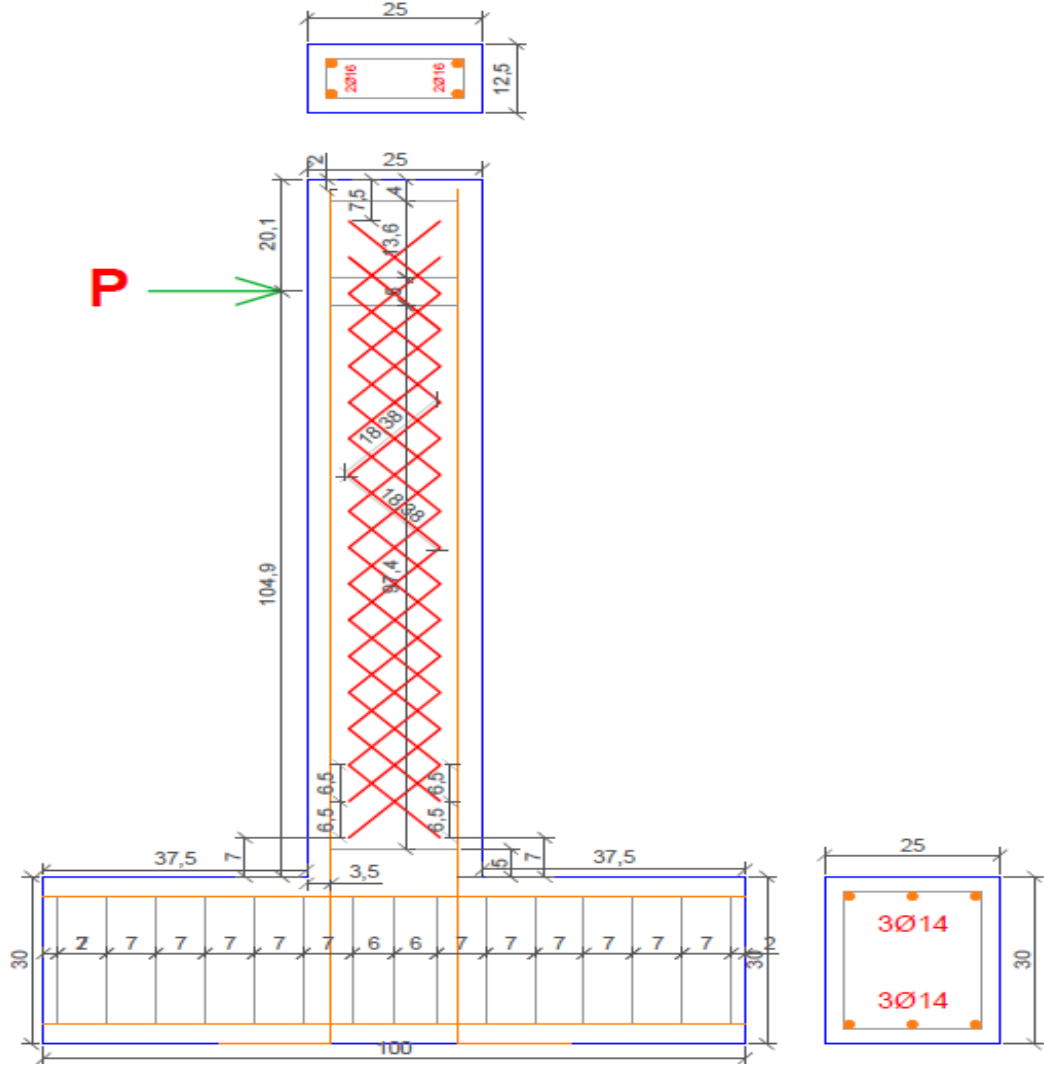
Numune	f_c (MPa)	a/d (mm/mm)	d (mm)	a (mm)	Kiriş boyuna donatısı (mm)	Kiriş etriye donatısı (mm)	Rijit temel donatısı (mm)	Rijit temel etriye donatısı (mm)
BC15/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/4.9	16.59	4.88	215	1049	2Ø16	Temel yüzeyinden 270+350+350 +80	6Ø14	Ø6/70
BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/4.9	16.59	4.88	215	1049	2Ø16	Temel yüzeyinden 270+350+350 +80	6Ø14	Ø6/70
BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.0-2Ø16/4.9	16.59	4.88	215	1049	2Ø16	Temel yüzeyinden 50+974+50	6Ø14	Ø6/70



Şekil 3.26. BC15/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/4.9 numunesi donatı detayları, ölçüler cm'dir.



Şekil 3.27. BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/4.9 numunesi donatı detayları

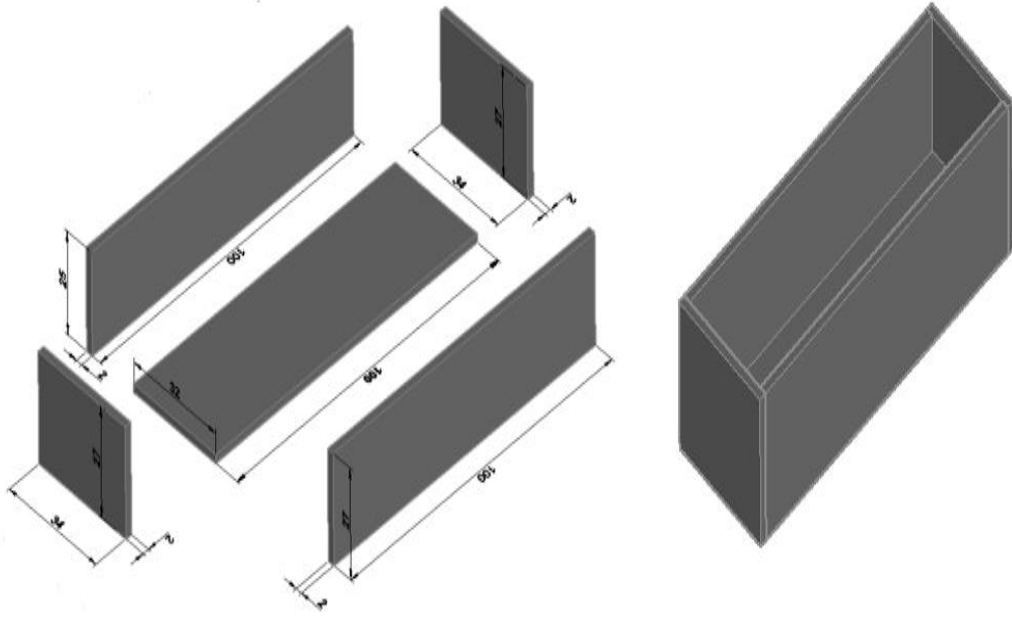


Şekil 3.28. BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.0-2Ø16/4.9 numunesi donatı detayları

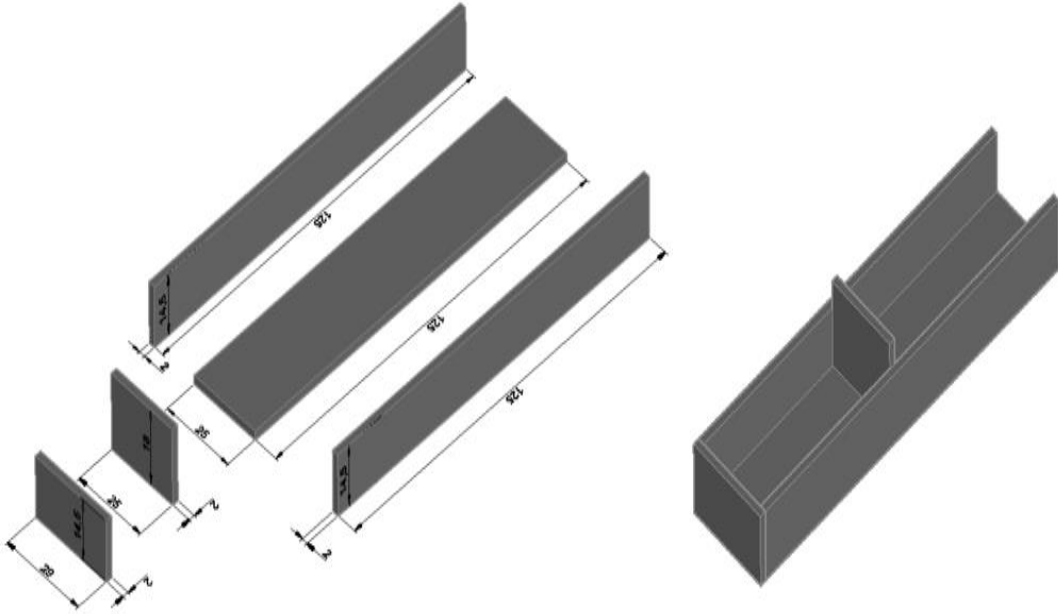
3.4. Deney Numunelerinin Hazırlanması

3.4.1. Kalıpların ve Donatıların Hazırlanması

Konsol kirişlerin hazırlanmasında kalıp malzemesi olarak plywood kullanılmıştır. Kalıplar ahşap kesme makinesi ile iki tip parça halinde, temel kalıbı (Şekil 3.29) ve konsol kiriş kalıbı olarak kesilmiştir (Şekil 3.30). Dört numune 250x300x1000 mm ölçülerindeki temel kalıplarıyla, üç numune ise 250x400x1000 mm ölçülerindeki temel kalıplarıyla hazırlanmıştır. Bu kalıp parçaları laboratuvarında vida ve matkap kullanılarak birleştirilmiştir.

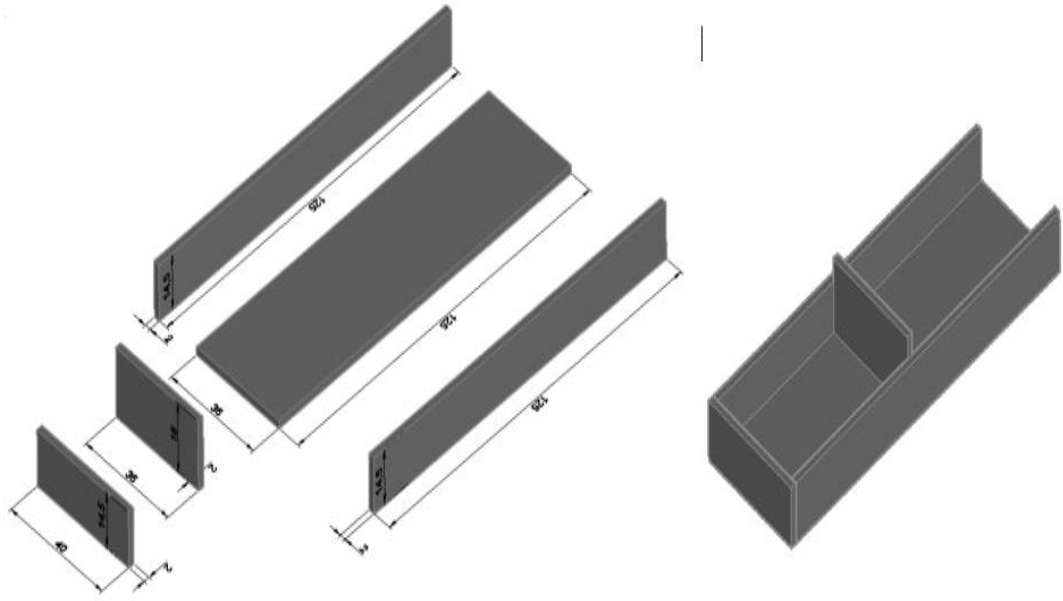
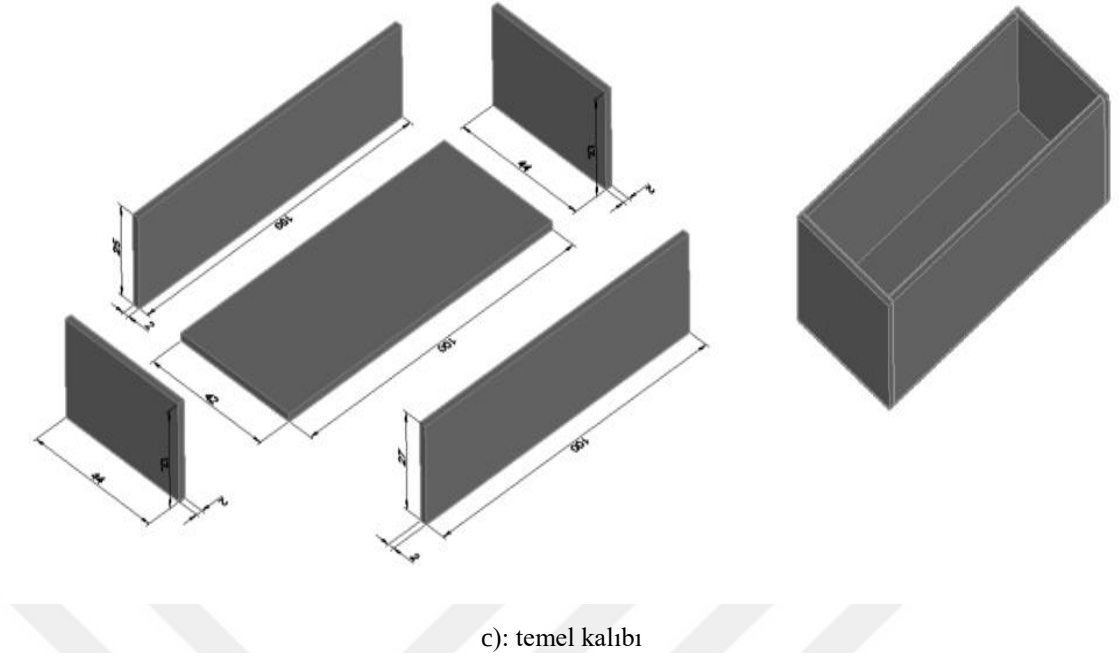


a) temel kalıbı



b) kiriş kalıbı

Şekil 3.29. 250x300x1000 mm temel kalıbına sahip numuneler



Şekil 3.30. 250x400x1000 mm temel kalıbına sahip numuneler

Konsol kiriş numuneleri, boyuna donatılar ve etriyelerin bağlanma işlemi tamamlandıktan sonra, güçlendirmede farklı parametrelerin etkinliğini incelemek için sekiz ayrı grup oluşturulmuştur. Çizelge 3.11'de 26 konsol kiriş örneği için kullanılan geometrik boyutlar ve donatılar gösterilmektedir. Ayrıca, tüm deneysel kirişlerde etriye kancaları 90° olarak uygulanmıştır. Bu etriye açısı mevcut yapılarda yaygın bir uygulama olduğundan bu durum yansıtılmak istenmiştir. Ancak TDBY 2018 ve uluslararası diğer

yönetmeliklerde yeni yapılacak yapı elemanlarında etriye kanca açılarının 135° olması gerektiği unutulmamalıdır.

Çizelge 3.1. Konsol kiriş deney numunelerinin boyutları ve içerisinde kullanılan donatılar

Numune	Temel Boyutları (mm)	Konsol Kiriş boyutları (mm)	Kiriş Sayısı (adet)	Kiriş Çekme Donatısı	Kiriş Basınç Donatısı	Etriye Sayısı (adet)	
						Konsol kiriş	Temel
0-BC20/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/3.3	250*300*1000	125*250*900	1	2Ø16	2Ø16	6	15
0-BC20/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3	250*300*1000	125*250*900	1	2Ø16	2Ø16	6	15
0-BC20/X3.3-T6-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3	250*300*1000	125*250*900	1	2Ø16	2Ø16	6	15
1-BC15/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/3.3	250*300*1000	125*250*900	1	2Ø16	2Ø16	6	15
1-BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3	250*300*1000	125*250*900	1	2Ø16	2Ø16	6	15
1-BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.0-2Ø16/3.3	250*300*1000	125*250*900	1	2Ø16	2Ø16	6	15
2-BC15/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø14/3.3	250*300*1000	125*250*900	1	2Ø14	2Ø14	6	15
2-BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø14/3.3	250*300*1000	125*250*900	1	2Ø14	2Ø14	6	15
2-BC15/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø18/3.3	250*300*1000	125*250*900	1	2Ø18	2Ø18	6	15
2-BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø18/3.3	250*300*1000	125*250*900	1	2Ø18	2Ø18	6	15
3-BC5/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/3.3	250*300*1000	125*250*900	1	2Ø16	2Ø16	6	15
3-BC5/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3	250*300*1000	125*250*900	1	2Ø16	2Ø16	6	15
3-BC10/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/3.3	250*300*1000	125*250*900	1	2Ø16	2Ø16	6	15
3-BC10/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3	250*300*1000	125*250*900	1	2Ø16	2Ø16	6	15
4-BC20/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/3.3	250*300*1000	125*250*900	1	2Ø16	2Ø16	6	15
4-BC20/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3	250*300*1000	125*250*900	1	2Ø16	2Ø16	6	15
5-BC15/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/2.5	250*3000*100	125*250*800	1	2Ø16	2Ø16	6	15
5-BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/2.5	250*300*1000	125*250*800	1	2Ø16	2Ø16	6	15
5-BC15/X3.3-T6-15-45/125-250-0.6-2Ø16/2.5	250*300*1000	125*250*800	1	2Ø16	2Ø16	6	15
5-BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.0-2Ø16/2.5	250*300*1000	125*250*800	1	2Ø16	2Ø16	4	15
6-BC15/N0.0-N0-0-0/125-360-0.6-2Ø16/3.3	250*400*1000	125*360*1250	1	2Ø16	2Ø16	5	15
6-BC15/X3.3-T4-15-45/125-360-0.6-2Ø16/3.3	250*400*1000	125*360*1250	1	2Ø16	2Ø16	5	15
6-BC15/X3.3-T4-15-45/125-360-0.0-2Ø16/3.3	250*400*1000	125*360*1250	1	2Ø16	2Ø16	4	15
7-BC15/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/4.9	250*300*1000	125*250*1250	1	2Ø16	2Ø16	7	15
7-BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/4.9	250*300*1000	125*250*1250	1	2Ø16	2Ø16	7	15
7-BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.0-2Ø16/4.9	250*300*1000	125*250*1250	1	2Ø16	2Ø16	4	15
Toplam			26	52	52	150	390



Şekil 3.31. Konsol kirişlerin donatı detayları

Donatı kirişlere yerleştirildikten sonra, plywood kalıp parçaları üst kısma sabitlenmiştir. Bu sayede kalıba beton dökme aşamasında kalıbın açılması engellenmiştir. Şekil 3.32 ve Şekil 3.33'te, örnek donatı ve kalıp monte edilmiş numuneler gösterilmektedir.



Şekil 3.32. Kirişlerin alt ve yan bölgelerinde kullanılan pas payı aparatları



Şekil 3.33. Donatı ve kalıp montajı tamamlanmış numuneler

3.4.2. Betonun Hazırlanması ve Dökülmesi

Çalışma kapsamında deney kirişlerinin beton dökümü, Konya Teknik Üniversitesi Yapı ve Deprem Araştırma Laboratuvarında yapılmıştır. Çalışmada ele alınan, C5-10, C10-15, C15-20 ve C20-25 dayanımlarına sahip çeşitli beton karışımları kullanılmıştır. Karışımlar büyük bir hassasiyet ile gerçekleştirilmiştir. Deney kirişleri için beton karışımlarının listesi Çizelge 3.12 dikkate alınarak hazırlanmıştır. Karışımındaki beton bu listeye göre hazırlanmıştır. Çizelge 3.12’de 1 m³ için gerekli beton karışım miktarları kg cinsinden verilmiştir. Ancak deneyleri yapılan konsol kirişlerin hacimleri değişkenlik gösterdiğinden her bir konsol kiriş hacmi hesaplanarak gerekli beton miktarı belirlenmiştir. Beton döküm esnasında alınan küp ve silindir numuneler düşünüldüğünde laboratuvarda var olan 0.35 m³ betoniye kullanılarak yaklaşık 3 m³ beton üretilmiştir. Ayrıca karışımlarda kullanılan en büyük agrega çapı 12 mm’dir.

Çizelge 3.2. Deney kirişlerine ait beton karışım miktarları (1m³ için)

	C5-10	C10-15	C15-20	C20-25
Çimento (kg)	310,25	431,79	431,78	431,75
Su (kg)	311,80	326,69	288,97	251,28
İnce Agrega (0-4mm) (kg)	661,35	716,11	734,98	753,85
Orta Agrega (5-12mm) (kg)	1016,59	825,40	844,27	863,12
Su/Çimento	1,01	0,76	0,67	0,58
Toplam (kg)	2300	2300	2300	2300

Deney numuneleri için pürüzsüz ve düzgün bir yüzey sağlamak amacıyla, beton dökülmeden önce kalıp yağı ile kalıplar yağlanmıştır. Bu sayede kalıpların yeniden kullanılabilmesi de sağlanmıştır. Beton üretiminde betoniye kullanıldığı için, hassas bir karışım elde etmek amacıyla her bir numune tek tek hazırlanmıştır. Bu durum betoniye sınırlı bir hacme sahip olmasından kaynaklanmıştır. Kalıba yerleştirilen beton daha sonra mala yardımıyla düzeltilmiş ve donatıların mevcut konumlarının korunması için özen gösterilmiştir. Son olarak, boşluksuz homojen bir beton dağılımı sağlamak için vibratör yardımıyla beton sıkıştırılmış ve ardından yüzeyler mala ile düzeltilmiştir. Şekil 3.34 ve Şekil 3.35’te betonun karıştırılması ve konsol kirişlere dökülmesi gösterilmektedir.



Şekil 3.34. Betoniyer ile karıştırma işlemi ve betonun kirişlere yerleştirilmesi



Şekil 3.35. Vibratör ile sıkıştırma işlemi ve mala yardımıyla yüzeyin düzeltilmesi

3.5. Deney Malzemelerinin Mekanik Özellikleri

3.5.1. Beton

Her bir kirişin basınç dayanımını değerlendirmek için, her beton dökümü sırasında yeterli sayıda silindir ve küp numune alınmıştır. 26 konsol kiriş için toplamda 26 adet silindir ve 88 adet küp numunesi alınmıştır. Silindir numuneler için 150 mm çapında ve 300 mm yüksekliğinde kalıplar kullanılırken, küp numuneler için 150x150x150 mm

boyutlarında plastik ve elik kalıplar kullanılmıştır. Kirişlerde olduğu gibi, döküm öncesinde kalıplar kalıp yağı ile yağlanmış ve kirişlerle laboratuvar şartlarında kr edilmiştir (şekil 3.36).



şekil 3.36. Küp ve silindir numunenin yağlanması ve beton döküm sırasında alınan küp ve silindir numuneler

Küp ve silindir numuneler beton dökümünden sonra farklı aralıklarla sırasıyla 12. gün, 20. gün, 28. gün ve deney gününde basınç deneylerine tabi tutulmuştur. Numunelerin basınç dayanımı bu zamanlarda belirlenmiştir. Daha sonra, basınç dayanımı hedef değere her ulaştığında kirişler üzerinde deneyler gerçekleştirilmiştir.

Ayrıca betonun çekme dayanımını tespit etmek amacıyla deney kirişleri ile aynı şartlarda kr edilen silindir numuneler yarma deneyine tabi tutulmuştur. şekil 3.38’de yarma deneyi sırasında çekilen numune fotoğrafları gösterilmiştir.



Şekil 3.37. Küp ve silindir numunelerin basınç presinde test edilmesi



Şekil 3.38. Yarmada çekme deneyi

3.5.2. Donatı ve Mekanik Çelik Dikiş (MÇD)

Çalışma kapsamında etriye (çapı 6 mm) ve boyuna donatı (çapı 14, 16 ve 18 mm) olmak üzere 4 farklı çapta donatı kullanılmıştır. Donatıların mekanik özelliklerini belirlemek için her çap için yeterli sayıda test gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçların ortalaması alınmıştır. Konsol kiriş deneylerinde kullanılan donatıların mekanik özellikleri Çizelge 3.13’de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Deneylerde kullanılan donatıların ortalama çekme testi sonuçları

Donatı Çapı (mm)	Ort. Akma Dayanımı (MPa)	Ort. Çekme Dayanımı (MPa)
6	488	712
14	444	573
16	474	605
18	507	615

Kirişlerin güçlendirilmesi için 4 mm ve 6 mm çapında transmisyon çelikler kullanılmıştır. Bu çelikler soğuk çekme yöntemiyle üretilmiştir. Mekanik özelliklerini belirlemek için iki farklı çapa sahip transmisyon çeliği üzerinde deneyler gerçekleştirilmiş ve ortalama sonuçlar hesaplanmıştır. Kirişlerin güçlendirilmesinde kullanılan transmisyon çelikler üzerinde yapılan çekme deneylerinin sonuçları Çizelge 3.14'te sunulmuştur.

Çizelge 3.4. Deneylerde kullanılan transmisyon çeliklerinin çekme testi sonuçları

Donatı Çapı (mm)	Ort. Akma Dayanımı (MPa)	Ort. Çekme Dayanımı (MPa)
4	708	738
6	545	595

Mekanik çelik dikiş (MÇD) uygularken, mekanik dikişleri ankrajlamak amacıyla TS EN-1504-3 (2006) standardına uygun "Kimyasal dübel F.1311" (EMS Dubell, 2021) epoksi yapıştırıcı (410 ml tüp) kullanılmıştır. Bu epoksi malzeme, yüksek kaliteli, iki bileşenli kimyasal enjeksiyon sistemli, sarkmayan macun kıvamındadır. Epoksi malzemesi içerisinde bulunduğu tüpe uygun sıkma tabancası ve iki bileşeni tüpten dışarıya karışmış şekilde çıkmasını sağlayan tabanca uçları kullanılarak uygulanmıştır. Uygulamadan sonra malzeme hızla sertleşir ve mukavemetini hızla kazanır. Bununla birlikte, bu epoksi malzemenin deri ile temas etmesi halinde deri kaşıntıya neden olabileceğine dikkat etmek önemlidir. Bu nedenle, uygularken kişisel koruyucu ekipman kullanmak ve dikkatli bir şekilde kullanmak çok önemlidir. Epoksinin mekanik özellikleri Çizelge 3.15'te verilmiş olup bir epoksi tüpü örneği Şekil 3.39'da gösterilmiştir.

Çizelge 3.5. Epoksinin (Dubell F.1311) Özellikleri

Görünüş	Tiksotropik harç
Renk	Gri
Kimyasal Bileşim	Geliştirilmiş polyester reçine ve anorganik dolgular
Vizkozite	Tiksotropik
Kuru madde içeriği	%100
Özgül ağırlığı	1.57 gr/m ³
Muhafaza süresi	18 ay (22 °C’de)
Hacim	345 ml
Basınç dayanımı	82 MPa
Klorür iyonu içeriği	%0.0056



Şekil 3.39. Dubell-F.1311 epoksi tüpü

3.6. Güçlendirme Metodolojisi

Mekanik çelik dikiş (MÇD) uygulaması bir dizi sıralı adımdan oluşur. Bu adımlar özenle ve özel bir dikkatle gerçekleştirilmelidir. Bu adımların doğru bir şekilde uygulanması, çelik dikiş yöntemi kullanılarak iyi sonuçlar elde edilmesini sağlamaktır. Çalışmada, kesme kapasitesi yetersiz olan konsol kirişlerin güçlendirilmesi için X şekilli mekanik çelik dikiş tekniği kullanılmıştır. Aşağıda bu uygulama açıklanmıştır.

3.6.1. Mekanik Çelik Dikişlerin (MÇD) Hazırlanması

Deney kirişlerinin güçlendirilmesi için standart uzunluğu 3 metre olan transmisyon çelikler kullanılmıştır. 4 mm ve 6 mm çapındaki bu çelik çubuklar Konya’da bulunan Has Çelik firmasından temin edilmiştir. Çelikler laboratuvarında spiral taşlama makinesi kullanılarak gerekli boylarda kesilmiştir. Mekanik çelik dikişler (MÇD) daha sonra belirli uzunluklardaki transmisyon çeliklerinin bir demir bükme makinesi kullanılarak U şeklinde bükülmesiyle oluşturulmuştur. Bu şekilde MÇD, Şekil 3.40’ta gösterildiği gibi konsol kirişlerin güçlendirilmesi için hazırlanmıştır.



Şekil 3.40. Mekanik çelik dikişler-4mm çaplı

3.6.2. Ankraj Deliklerinin Açılması

Konsol kirişler güçlendirilirken yüzey önce basınçlı hava kullanılarak temizlenmiştir. Daha sonra mekanik dikiş delikleri için delik noktaları kiriş üzerinde iki kenardan (üst ve alt) 60 mm mesafede işaretlenmiştir. Yani MÇD için açılan delikler, kiriş içerisinde yer alan çekme ve basınç donatılarının arasında kalmaktadır. Ankraj delikleri bir matkap kullanılarak açılmıştır (Şekil 3.41). Delikler mekanik dikişlerin çapı dikkate alınarak açılmıştır. 4 mm’lik MÇD’ler için 8 mm çapında delikler ve 6 mm’lik MÇD’ler için 12 mm çapında delikler açılmıştır. Bu sayede iki mekanik dikiş aynı deliğe yerleştirilebilmiştir. Örneğin, 6 mm transmisyon çeliği ile güçlendirme yapılırken, 12 mm çapındaki delikler her bir deliğe iki mekanik çeliğin yerleştirilmesine izin vermektedir.

Transmisyon eliklerin sıyrılmasını önlemek için, MD ankrajının kiriş içindeki uzunluğu/derinliği 60 mm'dir ve bu donatının sıyrılmaması için yeterlidir (ankraj donatısı çapının 4 için 15 ve 6 için 10 katı). Deliklerde biriken tozu ortadan kaldırmak için, MD'yi yerleştirmeden önce bir kompresörle (basınçlı hava) temizlenmiştir. Epoksi, beton ve mekanik dikişler arasındaki aderansın sağlanabilmesi için büyük bir etkiye sahip olduğundan bu adım çok önemlidir.



şekil 3.41. Matkap ile deliklerin açılması ve ankraj delikleri açılmış olan kiriş numunesi

3.6.3. Ankraj Deliklerinin Epoksi ile Doldurulması

Açılan delikler basınçlı hava ile temizlendikten sonra Dubell-F.1311 marka iki bileşenli epoksi malzeme ile doldurulmuştur. Bu işlem için, iki epoksi bileşenini karıştırmak üzere karıştırma uçlarıyla bir epoksi tabancası kullanılmıştır. şekil 3.42'de, delikleri doldurmak için epoksi tabancasının nasıl kullanıldığı gösterilmektedir.



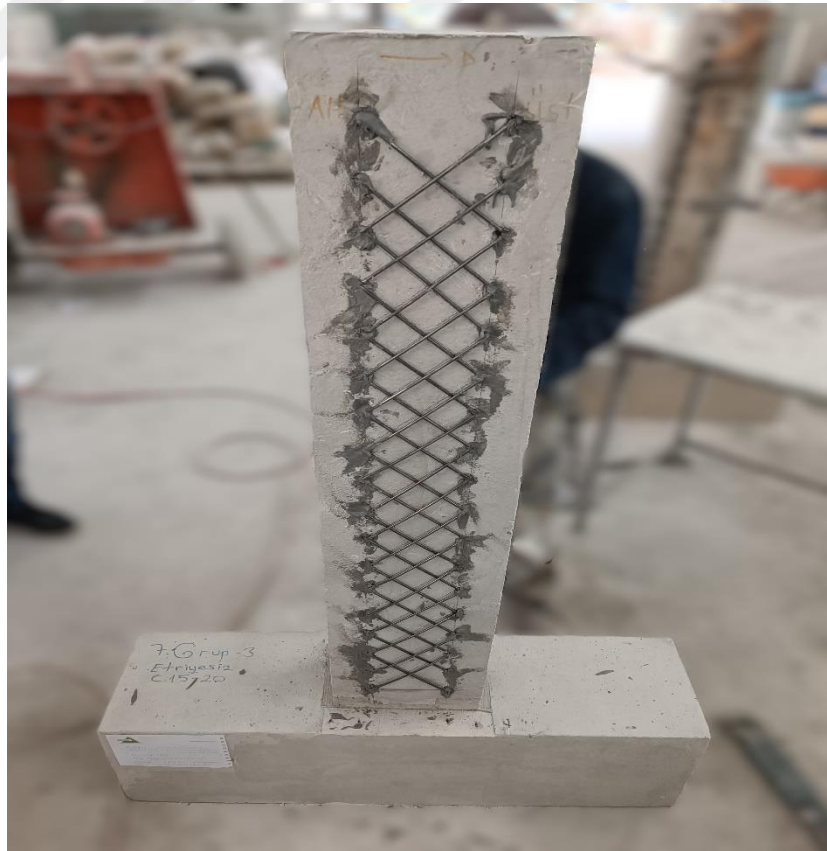
Şekil 3.42. Epoksi tabancası yardımıyla deliklerin epoksi ile doldurulması

3.6.4. MÇD'lerin Ankraj Deliklerine Yerleştirilmesi

Delikler epoksi ile doldurulduktan sonra, mekanik dikişler bir çekiç kullanılarak hızlı bir şekilde her deliğe yerleştirilmiştir (Şekil 3.43). Bu hızlı yerleştirme epoksinin hızlı sertleşmesinden dolayı yapılmıştır. Numune daha sonra talimatlara uygun olarak sertleşmesini sağlamak için 24 saat boyunca oda sıcaklığında (22°C) bırakılmıştır. Son olarak, bu süre geçtikten sonra, numunenin mekanik dikişler ile güçlendirilmesi tamamlanmış ve numune deney için hazır hale gelmiştir. Güçlendirme işlemi tamamlanan bir kiriş Şekil 3.44'de gösterilmektedir.



Şekil 3.43. Mekanik dikişlerin deliklere yerleştirilmesi

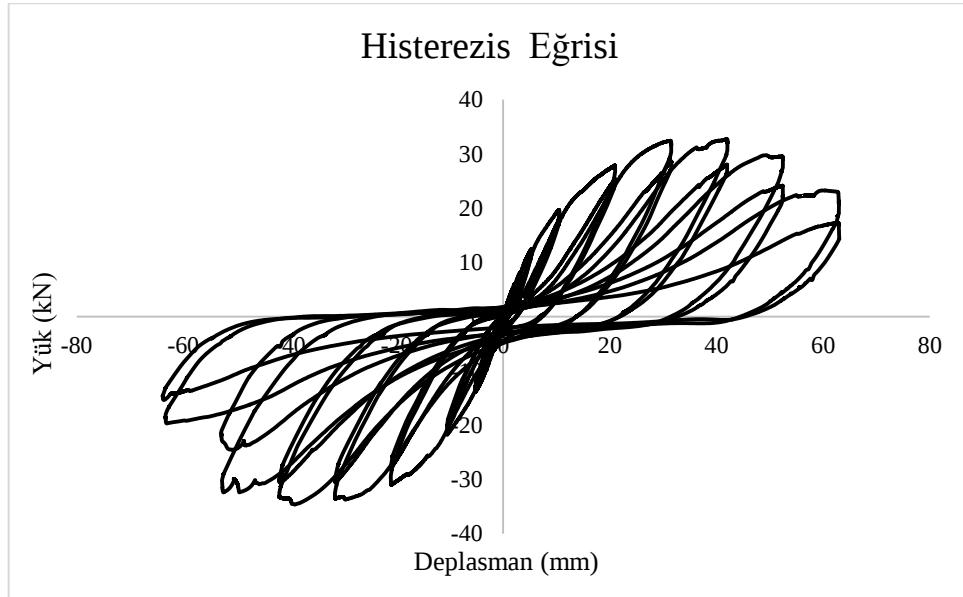


Şekil 3.44. Mekanik dikiş ile güçlendirme uygulaması

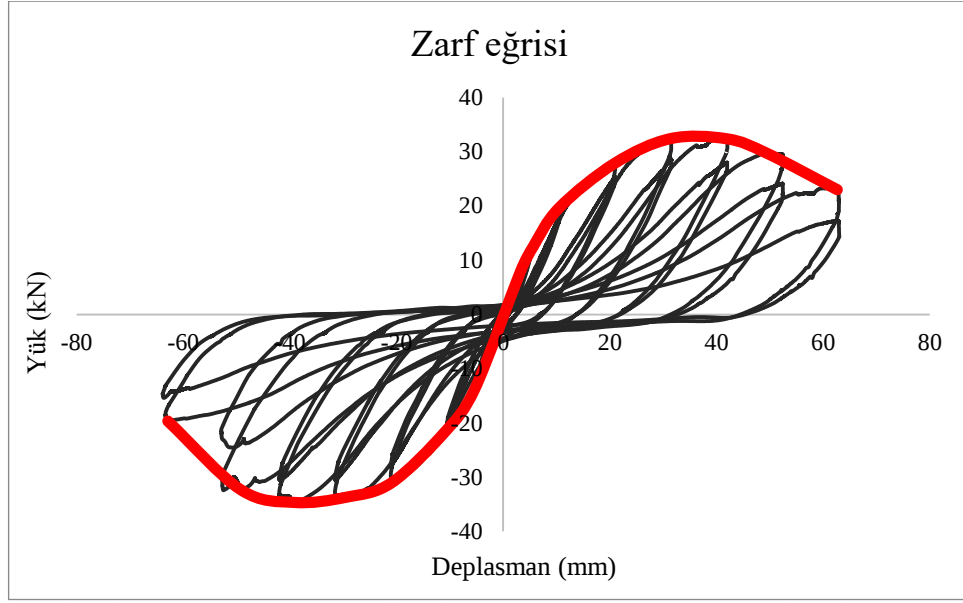
3.7. Deney Numunelerinin Mekanik Özelliklerinin Araştırılması

3.7.1. Yük-Deplasman Grafiği

Numunelere uygulanan yatay yük, kiriş üzerine yerleştirilmiş olan potansiyometrik cetvellerle ölçülen yer değiştirme değerlerinin sürekli olarak değişmesine neden olmuştur. Uygulanan yatay yük ve ölçülen yer değiştirmeler deneyin başlangıcından sonuna kadar belirli aralıklarla .txt dosyası olarak kaydedilmiş ve daha sonra .xlsx (Excel) formatına çevrilmiştir. Böylece her bir numune için ileri ve geri çevrimler sırasında yük artışlarına karşılık gelen yer değiştirme değerleri birleştirilerek yük-yer değiştirme eğrileri diğer bir adıyla histerezis eğrileri (Şekil 3.45) oluşturulmuştur. Deney sonlandırıldıktan sonra (yani göçme sonrasında), her bir ileri ve geri çevrimlerde elde edilen yer değiştirme değerleri ve bunlara karşılık gelen yatay yükler belirlenir. Histerezis eğrisinin çiziminde, yük değerleri için yük hücresi; yer değiştirme değerleri için ise tepe yer değiştirmesini ölçen 1211 numaralı ve temel yatay yer değiştirmesini ölçen 1214 numaralı potansiyometrelerin toplamı kullanılmıştır. Daha sonra her bir yükteki maksimum yük tepe noktaları birleştirilerek zarf eğrisi Şekil 3.46'da görüldüğü üzere elde edilmiştir.



Şekil 3.45. Yük-deplasman grafiği



Şekil 3.46. Zarf eğrisi

3.7.2. Rijitlik Değerinin Hesaplaması

Bir yapının rijitliği, yatay yüklere maruz kaldığında deformasyona karşı direncinin ölçüsüdür. Artan yatay yük altındaki numuneler, numunede çatlak oluştuğuça deplasman değerinin artmasına ve sonuç olarak rijitliğin azalmasına yol açmaktadır. Rijitlik (S), uygulanan yük ile ortaya çıkan deplasman arasındaki oran olarak da tanımlanır. Her bir döngü için akma anındaki rijitliği (S_y) ve maksimum yükteki rijitliği (S_{max}) aşağıdaki Denklem (3.1) kullanılarak hesaplanmıştır.

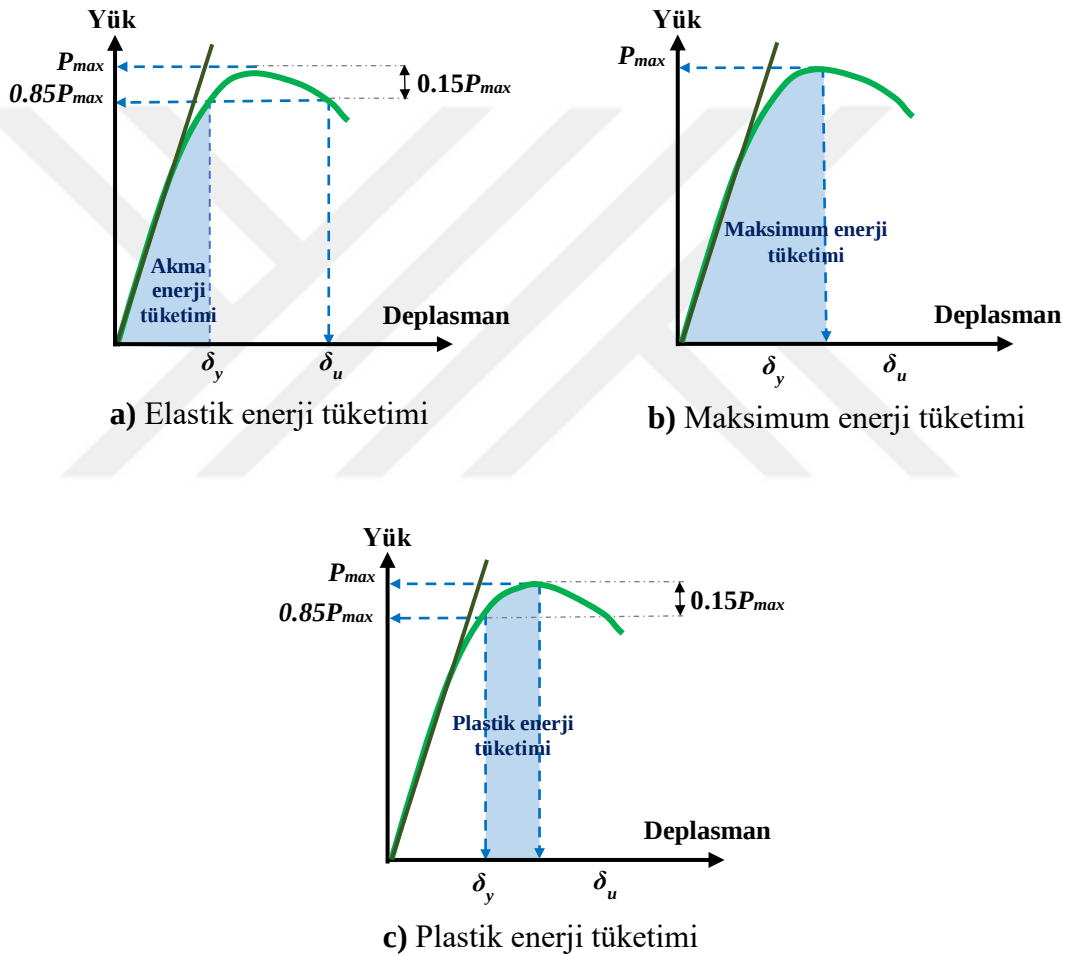
$$S_y = \frac{0.85P_{max}}{\delta_y} ; S_{max} = \frac{P_{max}}{\delta_{max}} \quad (3.1)$$

3.7.3. Enerji Tüketim Kapasitelerinin Hesaplaması

Betonarme elemanların enerji tüketimleri genellikle deprem yükleri altındaki performansını değerlendirmek için hesaplanır. Bu enerji elemanın enerji yutma/tüketme kapasitesini gösterir. Çalışma kapsamında deney numuneleri için akma noktasında, maksimum yükte ve plastik aşamada enerji tüketimleri ayrı ayrı hesaplanmıştır. Akma enerji tüketimi ($0.85P_{max}$ yük seviyesine kadar), akma noktasına kadar eğri altında kalan alanının toplamı ile elde edilmiştir (Şekil 3.47(a)). Maksimum enerji tüketimi ise maksimum yüke kadar olan eğri altındaki alanın toplamı ile elde edilmiştir (Şekil

3.47(b)). Son olarak plastik enerji tüketimini hesaplamak için maksimum enerji tüketiminden elastik enerji tüketiminin çıkarılmasıyla bulunmuştur (Şekil 3.47(c)).

Ayrıca plastik enerji tüketimi hesaplanırken maksimum yük seviyesinden itibaren yükün %15 oranında düştüğü seviyeye kadar olan alan dikkate alınmamıştır. Bu durum tüm kiriş numunelerin ani kesme hasarı nedeniyle göçmesinden kaynaklanmaktadır. Zira maksimum yük sonrası enerji tüketiminin ani ve gevrek kırılmalar için yapının ayakta kalmasına bir katkısı olmadığı kabul edilmiştir. Benzer durum literatürden de desteklenmektedir (Arslan, 2007; Uysal, 2024; Saatci ve ark. 2009)



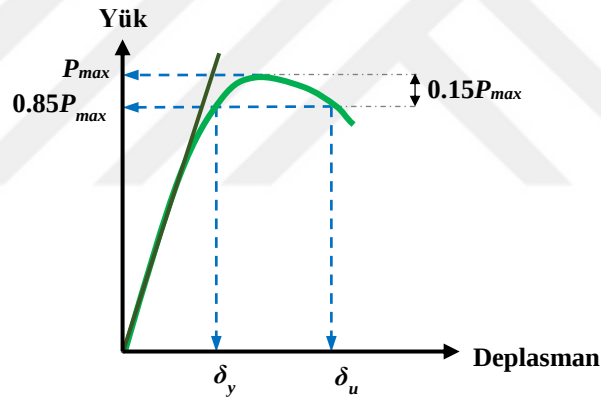
Şekil 3.47. Enerji tüketim kapasitelerinin hesaplanması (Uysal, 2024)

3.7.4. Süneklik Hesaplaması

Süneklik, bir yapının veya yapısal elemanların ciddi bir dayanım kaybı olmadan plastik deformasyona uğrama kapasitesidir. Bu durum, yapının büyük deformasyonlardan sonra çökmeden önemli yükleri taşıyabileceği anlamına gelmektedir. Depremlerin neden

olduğu yatay yükler için süneklik çok önemlidir, çünkü yapının aniden çökmeden direnmesine ve aynı zamanda deforme olmasına izin verir. Süneklik katsayısı (μ) bir elemanın süneklik seviyesini ölçer. Nihai yer değiştirme değerinin (δ_u) akma noktasındaki deplasman değerine (δ_y) oranlanmasıyla hesaplanır. Kesme kapasitesi düşük bir yapı elemanının tipik yatay yük-yer değiştirme eğrisi incelendiğinde yükün maksimum noktaya kadar arttığı, maksimum yükten sonra ise azaldığı görülecektir. Maksimum yükün (P_{max}) %15 azaldığı nokta veya $0.85P_{max}$ değerinin eğri üzerinde kestiği iki nokta bulunmaktadır. Maksimum yükten önce eğriyi kestiği noktaya karşılık gelen yer değiştirme δ_y iken, maksimum yükün aşıldıktan sonra eğriyi kestiği nokta δ_u değerine karşılık gelmektedir. Yani akma noktasına ($0.85P_{max}$) karşılık gelen deplasman, giriş maksimum yükün %85'ine ulaştığında kaydedilen yer değiştirmedir (Bernardo ve ark, 2016). Süneklik katsayısı, denklem 3.2'de verilen formül kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\mu = \frac{\delta_u}{\delta_y} \quad (3.2)$$



Şekil 3.48. Süneklik katsayısı için yük-deplasman grafiği (Uysal, 2024)

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında, 8 gruba ayrılan toplam 26 adet betonarme konsol kiriş numunesi, depremi simüle eden tersinir ve tekrarlanır yatay yüklere maruz bırakılmıştır. Deney gruplarında sırasıyla MÇD çapı, etriye aralığı, kiriş boyuna donatı çapı, hedef betonun basınç dayanımı, kesme açıklığı/ faydalı yükseklik oranı ve betonarme kiriş geometrisinin yükseklik parametreleri analiz edilmiştir. Her yükleme oranında (0.0015, 0.0020, 0.0030, 0.0050, 0.01, 0.02, 0.03, 0.04, 0.05, 0.06), konsol kirişte ortaya çıkan farklı çatlakları tespit etmek ve işaretlemek için kısa bir ara verilmiştir. Ayrıca deneylerde Bölüm 3.1.1’de belirtilen ACI-374 yükleme protokolü uygulanmıştır. Deneylerde yükleme deplasman kontrollü olarak yapılmıştır. Deneysel sonuçların yorumlanmasını kolaylaştırmak için farklı grafikler ve değerler aşağıda verildiği gibi hazırlanmıştır:

- Numunelerin histerezis/yük-deplasman (yer değiştirme) eğrileri,
- Zarf eğrileri,
- Rijitlik değeri,
- Kümülatif enerji tüketimi,
- Süneklik değerleri.

Deneylerin bireysel sonuçları analiz edildikten sonra, her gruptaki farklı sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılmış olup deneysel sonuçlar buna göre yorumlanmıştır. Ayrıca deneysel çalışma esnasında her bir numune için elde edilen sayısal değerler, salt potansiyometre ve yük hücresi okuma değerleridir. Bu nedenle yer değiştirmeler arasındaki ilişkiler bu tablolarda göz ardı edilmiştir.

4.1. Numunelerin Yatay Yük Altındaki Deneysel Test Sonuçları

4.1.1. 0. Grup Numuneler

0. Grup deney numuneleri tez çalışmasındaki deneysel ön çalışmayı temsil etmektedir. Burada ACI-374 protokolü dikkate alınmadan numunelerin yatay yük altındaki davranışı ve test kurulumunun davranışı incelenmiştir. Sonraki tüm grup deneyleri ACI-374 protokolüne uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

4.1.1.1. BC20/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/3.3 Numunesi

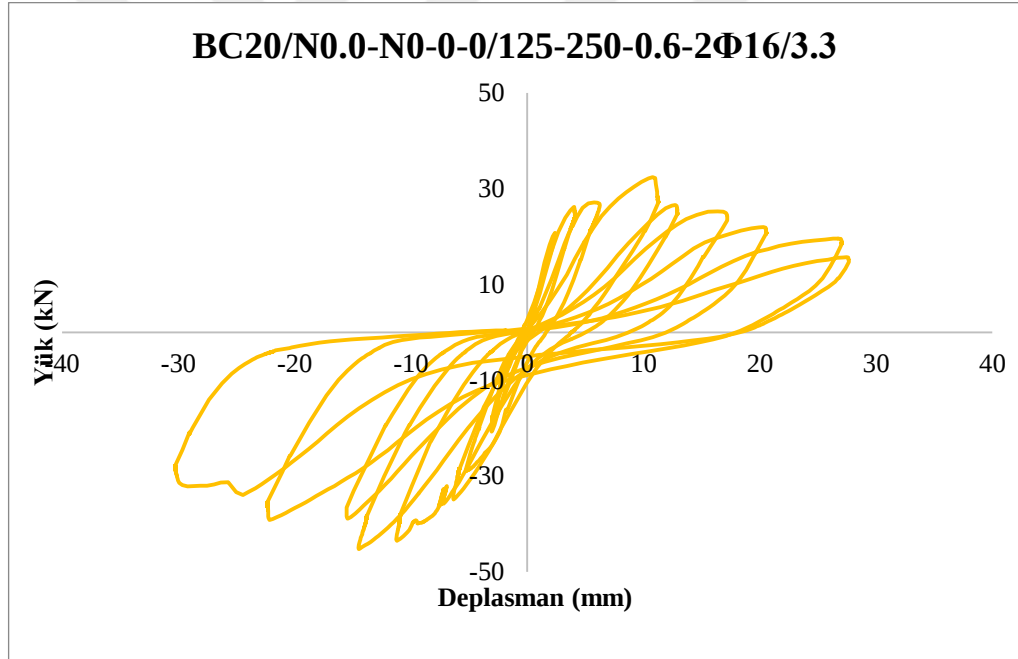
0. grup deneysel çalışmasında test edilen ve BC20/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/3.3 olarak adlandırılan ilk numune referans konsol kiriş numunesidir. Şekil 4.1’de tersinir-tekrarlanır yatay yükleme başlamadan önce numunenin ilk durumu gösterilmektedir. Deney protokolüne uygun olarak, her çevrim iki kez yüklenmiştir. Deney, kesme çatlaklarının artmasıyla ve betonun kabuktan ayrılmasıyla sonlandırılmıştır. Şekil 4.2’de numunenin deney sonundaki hali gösterilmektedir. BC20/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/3.3 deney elemanına ait yük-deplasman grafiği Şekil 4.3’te verilmiştir.



Şekil 4.1. BC20/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/3.3 numunesi deney öncesi ve sonrası görünümü

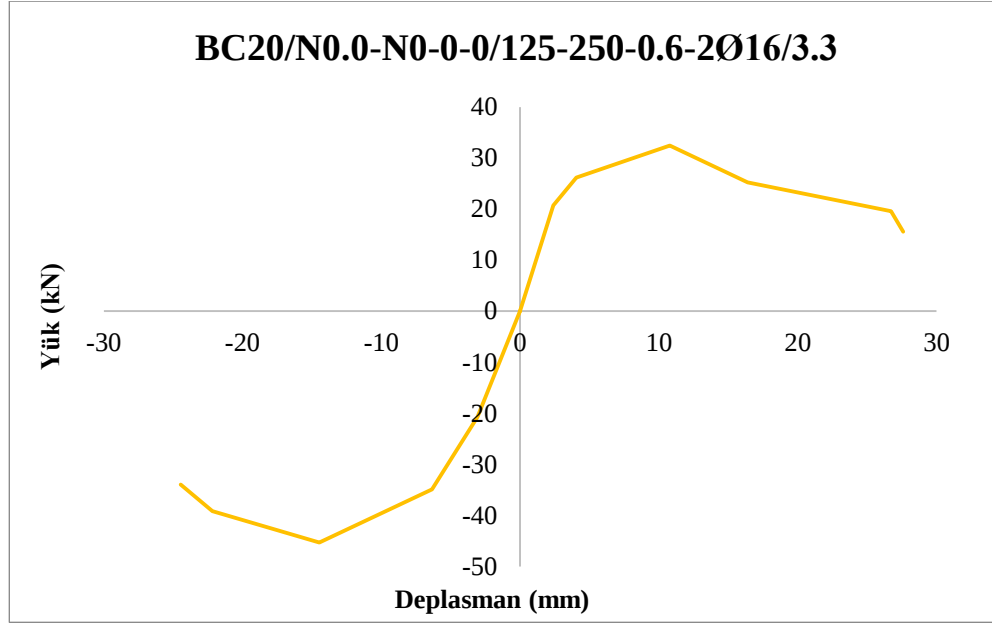


Şekil 4.2. BC20/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/3.3 numunesi deney sonrası detay görünümü



Şekil 4.3. BC20/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/3.3 numuneye ait yük-deplasman grafiği

Deney numunelerin histerezis eğrisindeki her yüklemedeki maksimum yük noktalarının birleştirilmesi ile elde edilen zarf eğrisi Şekil 4.4'te gösterilmiştir.



Şekil 4.4. BC20/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/3.3 numuneye ait zarf eğrisi

Deneyin sonuçları Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2’de verilmiştir. Çizelgelerde, δ_y , $0.85P_{max}$ yükte meydana gelen deplasman (mm); δ_{max} , maksimum yükte meydana gelen deplasman (mm), δ_u , $0.85P_{max}$ yükte meydana gelen deplasman (mm); μ , süneklik katsayısı/oranı (δ_u/δ_y); S_y , akma anındaki rijitlik (kN/mm); S_{max} , maksimum yükteki rijitlik (kN/mm); P_{max} maksimum yük (kN) olarak ifade edilmiştir. Buna ilaveten E_y , akma yükü ($0.85P_{max}$) noktasında enerji tüketimi (kJ); $E_{p,max}$, maksimum yük noktasındaki enerji tüketme kapasitesi (kJ); E_t , nihai deplasman altında (göçme deplasmanı) enerji tüketme kapasitesidir (kJ).

Çizelge 4.1. BC20/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/3.3 numunesi deplasman, süneklik ve rijitlik değerleri

Deney No	Grup	$+\delta_y$	$-\delta_y$	$+\delta_{max}$	$-\delta_{max}$	$+\delta_u$	$-\delta_u$	$+\mu$	$-\mu$	$+S_y$	$-S_y$	$+S_{max}$	$-S_{max}$
BC20/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/3.3	0	5.53	9.17	10.80	14.48	14.59	22.47	2.64	2.45	4.98	4.20	3.00	3.13

Çizelge 4.2. BC20/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/3.3 numunesi maksimum yük ve enerji tüketme kapasite değerleri

Deney No	Grup	$+P_y$	$-P_y$	$+P_{max}$	$-P_{max}$	$+E_y$	$-E_y$	$+E_{p,maks}$	$-E_{p,maks}$	$+E_t$	$-E_t$
BC20/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/3.3	0	27,56	38,50	32,43	45,29	0,107	0,236	0,261	0,449	0,670	0,857

4.1.1.2. BC20/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3 Numunesi

0. grupta test edilen ve BC20/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3 adlandırılan ikinci numune 4 mm çaplı MÇD ile güçlendirilmiş konsol kiriş numunesidir. Şekil 4.5,

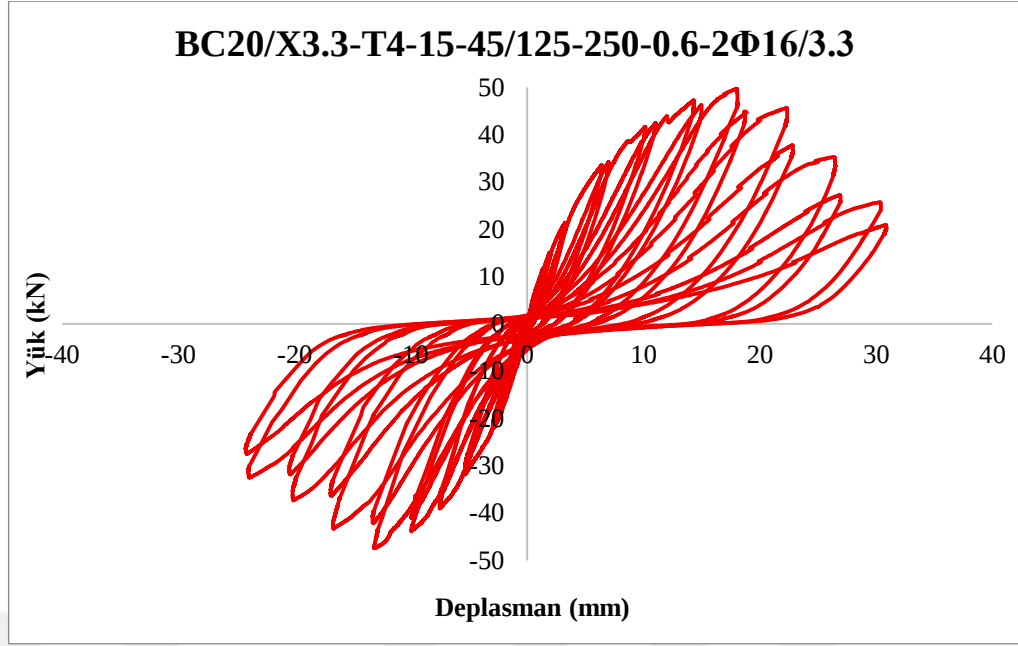
yüklemeye başlamadan önce numunenin ilk durumunu göstermektedir. Deney protokolüne uygun olarak, her çevrim iki kez yüklenmiştir. Deney, kesme çatlaklarının artmasıyla ve betonun kabuktan ayrılmasıyla sonlandırılmıştır. Şekil 4.6’da numunenin son hali gösterilmektedir. BC20/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3 deney elemanına ait yük-deplasman grafiği Şekil 4.7’de gösterilmiştir.



Şekil 4.5. BC20/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3 numunesi deney önceki ve sonraki görüntüsü

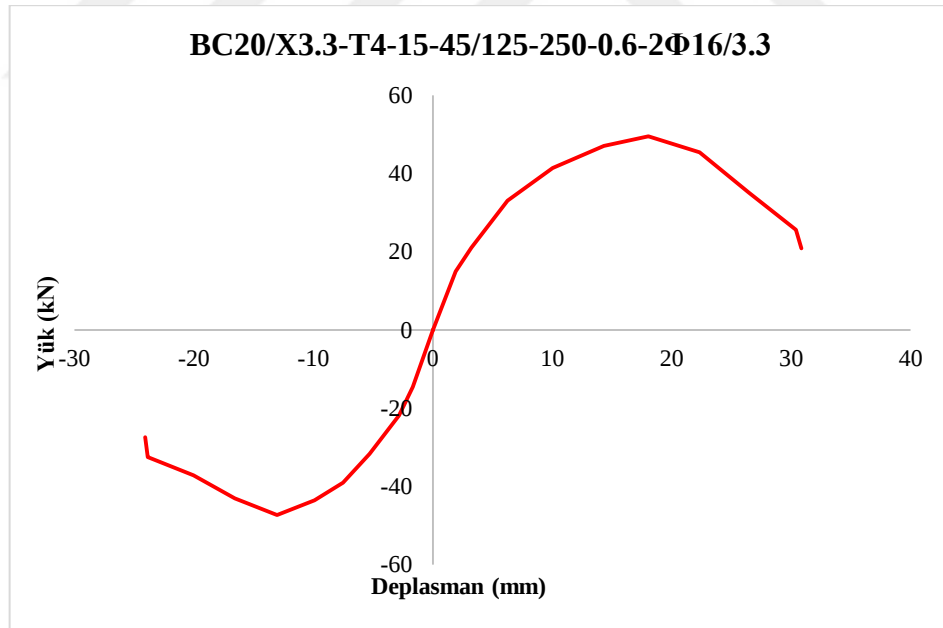


Şekil 4.6. BC20/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3 numunesinin deney sonraki görüntüsü



Şekil 4.7. BC20/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3 numuneye ait yük-deplasman grafiği

Deney numunelerin histerezis eğrisindeki her yüklemedeki maksimum yük noktalarının birleştirilmesi ile elde edilen zarf eğrisi Şekil 4.8’de verilmiştir.



Şekil 4.8. BC20/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3 numuneye ait zarf eğrisi

Deneyin sonuçları Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4’te özetlenmiştir.

Çizelge 4.3. BC20/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3 numunesi deplasman, süneklik ve rijitlik değerleri

Deney No	Grup	$+\delta_y$	$-\delta_y$	$+\delta_{max}$	$-\delta_{max}$	$+\delta_u$	$-\delta_u$	$+\mu$	$-\mu$	$+S_y$	$-S_y$	$+S_{max}$	$-S_{max}$
BC20/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3	0	10,58	8,14	18,06	13,05	23,68	18,28	2,24	2,25	3,98	4,95	2,74	3,63

Çizelge 4.4. BC20/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3 numunesi maksimum yük ve enerji tüketme kapasite değerleri

Deney No	Grup	$+P_y$	$-P_y$	$+P_{max}$	$-P_{max}$	$+E_y$	$-E_y$	$+E_{pmaks}$	$-E_{pmaks}$	$+E_t$	$-E_t$
BC20/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3	0	42,10	40,25	49,53	47,35	0,285	0,203	0,630	0,420	1,131	0,859

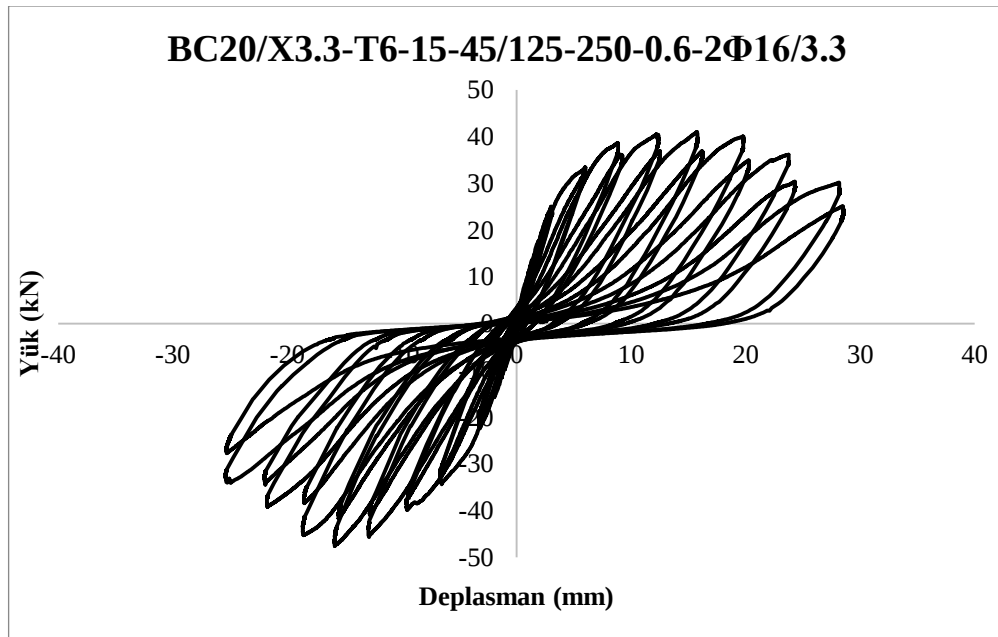
4.1.1.3. BC20/X3.3-T6-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3 Numunesi

0. grupta test edilen ve BC20/X3.3-T6-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3 olarak adlandırılan üçüncü numune 6 mm çaplı MÇD ile güçlendirilmiş konsol kiriş numunesidir. Şekil 4.9, yükleme başlamadan önce numunenin ilk durumunu göstermektedir. Deney protokolüne uygun olarak, her çevrim iki kez yüklenmiştir. Deney, kesme çatlaklarının artmasını ve betonun kabuktan ayrılmasını takip ederek sonlandırılmıştır. Ayrıca Şekil 4.9 ve 4.10'da numunenin deney sonu hali de gösterilmektedir. Bu deney numunesine ait yük-deplasman grafiği Şekil 4.11'de verilmiştir.

**Şekil 4.9.** BC20/X3.3-T6-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3 numunesine ait deney öncesi ve sonrası görünümü

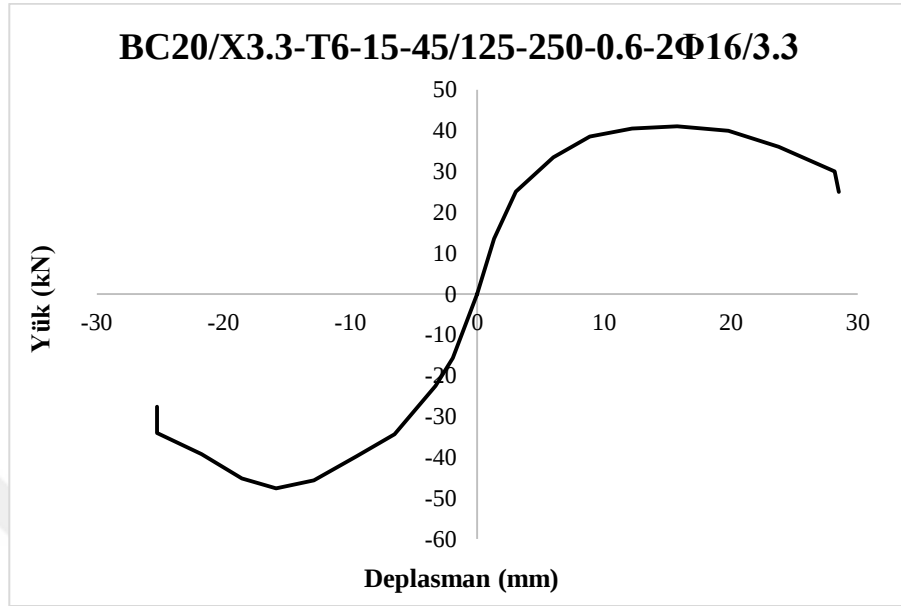


Şekil 4.10. BC20/X3.3-T6-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3 numunesine ait deney sonu görünümü



Şekil 4.11. BC20/X3.3-T6-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3 numunesine ait yük-deplasman grafiği

Deney numunelerin histerezis eğrisindeki her yüklemdeki maksimum yük noktalarının birleştirilmesi ile elde edilen zarf eğrisi Şekil 4.12’de verilmiştir.



Şekil 4.12. BC20/X3.3-T6-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3 numunesine ait zarf eğrisi

Deneyin ileri ve geri çevrimdeki sonuçları Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.6’da özetlenmiştir.

Çizelge 4.5. BC20/X3.3-T6-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3 numunesi deplasman, süneklik ve rijitlik değerleri

Deney No	Grup	$+\delta_y$	$-\delta_y$	$+\delta_{max}$	$-\delta_{max}$	$+\delta_u$	$-\delta_u$	$+\mu$	$-\mu$	$+\delta_y$	$-\delta_y$	$+\delta_{max}$	$-\delta_{max}$
BC20/X3.3-T6-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3	0	6,78	9,93	15,76	15,87	24,61	21,08	3,63	2,12	5,14	4,07	2,60	3,00

Çizelge 4.6. BC20/X3.3-T6-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3 numunesi maksimum yük ve enerji tüketme kapasite değerleri

Deney No	Grup	$+P_y$	$-P_y$	$+P_{max}$	$-P_{max}$	$+E_y$	$-E_y$	$+E_{pmaks}$	$-E_{pmaks}$	$+E_t$	$-E_t$
BC20/X3.3-T6-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3	0	34,86	40,48	41,01	47,62	0,157	0,262	0,509	0,527	0,978	0,915

4.1.2. 1. Grup Numuneler

Guide for Seismic Design of Reinforced Concrete Structures (ACI 374)’de yapı elemanının performans seviyesini ifade eden yaklaşımlar yer almaktadır. Bu performans seviyeleri, bir yapının/yapı elemanının deprem yükleri/yatay yükler altındaki davranışını değerlendirmek için kullanılmaktadır. Genellikle mevcut yapının performansa dayalı tasarım yaklaşımında kullanılmaktadır. ACI 374’de bu yaklaşım sırasıyla hemen

kullanılabilirlik (IO/Immediate Occupancy), Can Güvenliği (LS/Life Safety) ve Göçmeyi Önleme (CP/Collapse Prevention) performans seviyeleri olarak tanımlanmaktadır. IO performans seviyesi, yapı/yapı elemanının deprem sonrasında hemen kullanılabilir olduğunu göstermektedir. Bu hasar seviyesinde yapı/yapı elemanında yatay deplasmanlar oldukça sınırlı olmakta ve yapı/yapı elemanı üzerindeki hasarlar minimal seviyededir. LS performans seviyesinde, deprem anında ve sonrasında yapı/yapı elemanı can güvenliği için yeterli performansa sahiptir. Taşıyıcı yapı elemanı hasar görse de yapı toptan göçmez ve yapı içinde bulunan insanlar güvenli şekilde tahliye edilebilir. Yani yapısal elemanlarda ciddi hasarlar gözlenir ancak göçmeye neden olmaz. Son olarak CP performans seviyesinde, yapı/yapı elemanının büyük deprem sırasında göçmemesi ve içinde bulunanların hayatta kalmasının sağlandığı performans seviyesidir. Yapısal hasar oldukça ciddi seviyededir ve büyük ihtimalle yapı onarılamaz hale gelmektedir. Ancak bu performans seviyesinde bile tam bir çökme meydana gelmediği için ölümcül bir risk oluşturmayan performans seviyesidir. *ACI 374*'de tanımlanan bu seviyeler, deprem tasarımında hedeflenen performans kriterlerini belirlemek için kullanılmaktadır. Ancak yapı türüne, önemine, kullanım amacına ve yapının bulunduğu bölgenin sismik risk durumuna göre farklı hedefler belirlenmektedir.

Bu grup ve sonraki tüm grup deneylerinde *ACI 374*'de yer alan kesme kiriş davranışı için tanımlanan sınır değerler dikkate alınarak yatay yükleme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Yükleme protokolleri ve performans kriterleri *ACI 374*'e göre belirlenmiştir.

4.1.2.1. BC15/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/3.3 Numunesi

1. grupta test edilen BC15/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/3.3 olarak adlandırılan ilk numune referans numunedir. Deney sırasında Çevrim numarası (Ç.n), görelî ötelenme oranı, yatay tepe deplasmanı, çatlak numarası ve deney elemanında gözlenen çatlak ve hasar açıklamaları Çizelge 4.7'de verilmiştir. Şekil 4.13, yükleme başlamadan önce numunenin ilk ve son durumunu göstermektedir. Deney protokolüne uygun olarak, her çevrim iki kez tekrarlanmıştır. Deney, kesme çatlaklarının artmasıyla ve betonun kabuktan ayrılmasını takip ederek durdurulmuştur. Bu deney numunesine ait yük-deplasman grafiği Şekil 4.15'te verilmiştir.

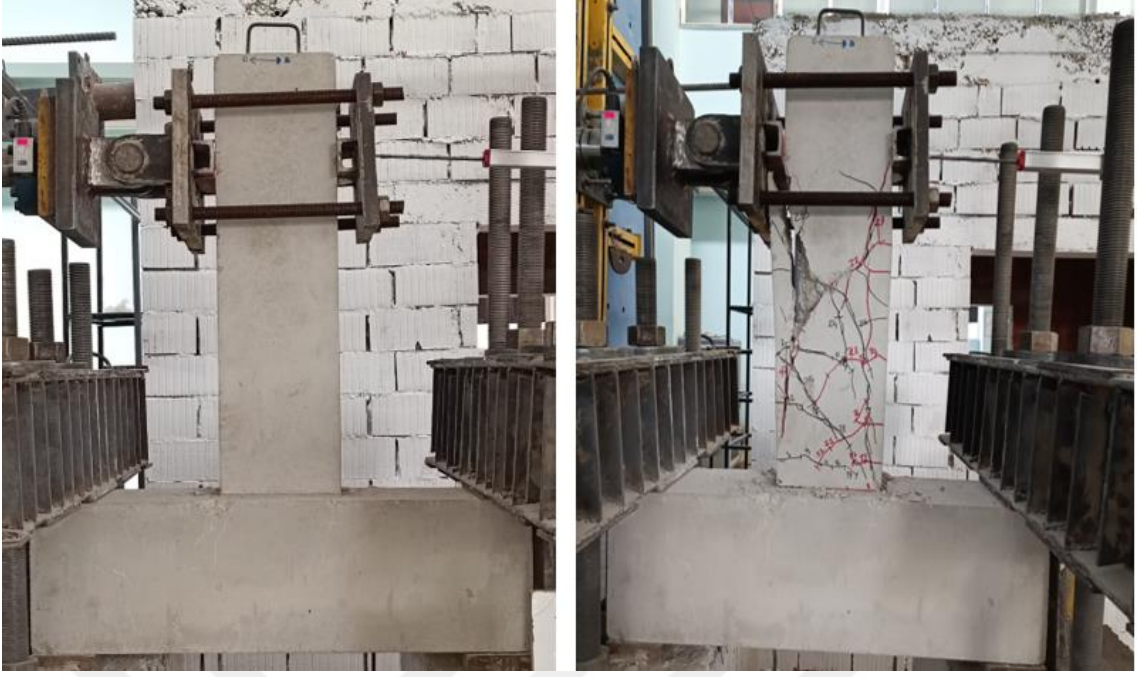
Çizelge 4.7. BC15/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/3.3 numunesinde gözlemlenen durumlar

Ç.n	Görelî ötelenme oranı/deplasman %/(mm)	Çatlak no	Açıklama
+1 IO	0.0015/1.0515	1	1.10 mm Deplasman, 650 kg Yük 1 numaralı çatlak temelden 7 cm yukarıda oluşmuştur.
-1 IO	0.0015/1.0515		-1.10 mm Deplasman, -734 kg Yük Herhangi bir çatlak oluşmamıştır.
+1 IO	0.0015/1.0515	2-3	1.06 mm Deplasman, 676 kg Yük 2 numaralı çatlak temelden 30 cm yukarıda oluşmuştur. 1 numaralı çatlak uzamış, 3 numaralı yeni bir çatlak oluşmuştur.
-1 IO	0.0015/1.0515		-1.04 mm Deplasman, -625 kg Yük Herhangi bir çatlak oluşmamıştır.
+2 LS	0.0020/1.402	4-5-6	1.40 mm Deplasman, 836 kg Yük 3 numaralı çatlak uzamış, 4 numaralı yeni bir çatlak oluşmuştur. 2 numaralı çatlak uzamış, 5 numaralı yeni bir çatlak oluşmuştur. 6 numaralı yeni bir çatlak oluşmuştur (kolon-temel birleşim bölgesinde).
-2 LS	0.0020/1.402		-1.42 mm Deplasman, -863 kg Yük Herhangi bir çatlak oluşmamıştır.
+2 LS	0.0020/1.402	7	1.41 mm Deplasman, 880 kg Yük 5 numaralı çatlak uzamış, 7 numaralı yeni bir çatlak oluşmuştur. 6 numaralı çatlak uzamıştır (kolon-temel birleşim bölgesinde).
-2 LS	0.0020/1.402	8	-1.40 mm Deplasman, -828 kg Yük 8 numaralı yeni bir çatlak oluşmuştur (kolon-kiriş-temel birleşiminde).
+3 CP	0.0030/2.103		2.32 mm Deplasman, 1151 kg Yük 2 numaralı çatlak dallanmış, 1 numaralı çatlak da dallanmıştır.
-3 CP	0.0030/2.103	9-10	-2.10 mm Deplasman, -1300 kg Yük 9 numaralı yeni bir çatlak oluşmuş (eğilme çatlağı) ve 10 numaralı yeni bir çatlak oluşmuştur.
+3 CP	0.0030/2.103		2.05 mm Deplasman, 1017 kg Yük Herhangi bir çatlak oluşmamıştır.
-3 CP	0.0030/2.103	11	-2.09 mm Deplasman, -1243 kg Yük 11 numaralı yeni bir çatlak oluşmuştur.
+4 CP	0.0050/3.505	12	3.50 mm Deplasman, 1455 kg Yük 12 numaralı yeni bir çatlak oluşmuştur (temelden 18 cm yükseklikte).
-4 CP	0.0050/3.505	13-14	-3.49 mm Deplasman, -1790 kg Yük 10 numaralı çatlak kesme çatlağı şeklinde uzamış, 13 numaralı yeni bir çatlak oluşmuştur. 9 numaralı çatlak uzayarak 14 numaralı çatlağı oluşturmuştur.

+4 CP	0.0050/3.505	15-16	3.50 mm Deplasman, 1490 kg Yük 12 numaralı çatlak uzamış, 15 numaralı çatlak oluşmuştur. 4 numaralı çatlak uzamış, 16 numaralı çatlak oluşmuştur. Temeldeki 6 numaralı çatlak uzamış ancak herhangi bir sayı verilmemiştir.
-4 CP	0.0050/3.505	17	-3.60 mm Deplasman, -1722 kg Yük 11 numaralı çatlak uzamış, 17 numaralı çatlak oluşmuştur.
+5 CP	0.01/7.01	18-19-20	6.99 mm Deplasman, 2073 kg Yük 15 numaralı çatlak uzamış, 18 numaralı çatlak oluşmuştur. 16 numaralı çatlak uzamış, 19 numaralı çatlak oluşmuştur. 12 numaralı çatlak dallanmıştır. 20 numaralı yeni bir çatlak oluşmuştur.
-5 CP	0.01/7.01	21-22-23	-7.01 mm Deplasman, -2350 kg Yük 9 numaralı çatlak dallanarak 21 numaralı çatlağı oluşturmuş ve 18 numaralı çatlağı kesmiştir. 22 numaralı yeni bir çatlak oluşmuş, 20 numaralı çatlağa doğru uzamıştır. 13 numaralı çatlak uzamış ve 23 numaralı çatlak oluşmuştur.
+5 CP	0.01/7.01	24-25-26	7.00 mm Deplasman, 2160 kg Yük 24 numaralı yeni bir kesme çatlağı oluşmuştur. 20 numaralı çatlak, 13 numaralı çatlağa kadar uzamıştır. 25 numaralı yeni bir çatlak oluşmuştur. 2 numaralı çatlak dallanmış, 15 ve 18 numaralı çatlaklarla birleşmiş ve 26 numaralı çatlak oluşmuştur. 17 ve 18 numaralı çatlak birleşmiştir. 12 numaralı çatlak dallanmıştır.
-5 CP	0.01/7.01	27	-7.13 mm Deplasman, -2116 kg Yük 22 numaralı çatlak kesme çatlağı olarak uzamış ve 27 numaralı çatlak oluşmuştur.
+6 CP	0.02/14.02	28	14.02 mm Deplasman, 3073 kg Yük 24 numaralı çatlak uzayarak yükün uygulandığı noktaya doğru ilerlemiş ve 28 numaralı çatlak oluşmuştur. 24 ve 25 numaralı çatlaklar kesme çatlağı şeklinde uzamıştır.
-6 CP	0.02/14.02	29-30-31	-14.03 mm Deplasman, -3090 kg Yük 22 numaralı çatlak dallanarak 29 numaralı çatlağı oluşturmuştur. 27 numaralı çatlak dallanarak 12 numaralı çatlak ile birleşmiş ve 30 numaralı çatlak oluşmuştur. 25 ve 9 numaralı çatlak birleşmiştir. 21 numaralı çatlak uzamıştır. 31 numaralı yeni bir çatlak oluşmuştur. 23 numaralı çatlak dallanmıştır. 22 ve 29 numaralı çatlak birleşmiştir.
+6 CP	0.02/14.02		14.00 mm Deplasman, 3120 kg Yük 28 numaralı çatlak yükün uygulandığı noktaya kadar uzamıştır. 26 numaralı çatlak dallanarak 21 numaralı çatlağı kesmiştir. 18 numaralı çatlak temele doğru uzamıştır. 28 numaralı çatlak 27 numaralı çatlak ile birleşmiştir.
-6 CP	0.02/14.02		-14.00 mm Deplasman, -2654 kg Yük 25 numaralı çatlak 14 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 22 numaralı çatlak genişlemiştir.

+7 CP	0.03/21.03		21.05 mm Deplasman, 3950 kg Yük 25 numaralı çatlak uzamıştır. 24 numaralı çatlak kesme çatlağı şeklinde temele doğru uzamıştır. 25 numaralı çatlak genişlemiş ve sağa sola dallanmıştır. 28 ve 24 numaralı çatlaklar genişlemiştir.
-7 CP	0.03/21.03		-21.09 mm Deplasman, -3430 kg Yük 29, 22, 27 ve 30 numaralı çatlaklar genişlemiştir. 30 numaralı çatlak temele doğru uzamıştır. 22 numaralı çatlak dallanarak temelle birleşmiştir.
+7 CP	0.03/21.03		21.06 mm Deplasman, 3573 kg Yük 25 numaralı çatlak dallanarak temele doğru uzamıştır. 28 numaralı çatlak dallanarak 27 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 27 numaralı çatlak yukarı yönlü dallanmıştır. 28 ve 24 numaralı çatlaklar genişlemiştir.
-7 CP	0.03/21.03		-21.01 mm Deplasman, -2961 kg Yük 29, 22, 27 ve 30 numaralı çatlaklar genişlemeye devam etmiştir. 22 numaralı çatlak dallanarak uzamıştır. 23 numaralı çatlak uzayarak 15 numaralı çatlak ile birleşmiştir.
+8 CP	0.04/28.04		28.02 mm Deplasman, 3660 kg Yük Kiriş-temel birleşim noktasında ayrılma gözlenmiştir. 22 numaralı çatlak dallanmıştır. 29 numaralı çatlak yukarı yönlü dallanmıştır. 26 ve 28 numaralı çatlaklar genişlemiştir. 28 numaralı çatlak dallanarak 27 numaralı çatlak ile tekrar birleşmiştir.
-8 CP	0.04/28.04		-28.35 mm Deplasman, -2590 kg Yük İleri hasarlar gözlenmiştir. Çatlaklar 1 cm'ye kadar genişlemiştir.
+8 CP	0.04/28.04		28.06 mm Deplasman, 2630 kg Yük Çatlaklar 1 cm seviyesinde genişlemiştir. Yük azalmış ve yük kapasitesi düşmüştür.
-8 CP	0.04/28.04		-28.10 mm Deplasman, -1910 kg Yük Kabuk beton dökülmüştür ve deney tamamlanmıştır.

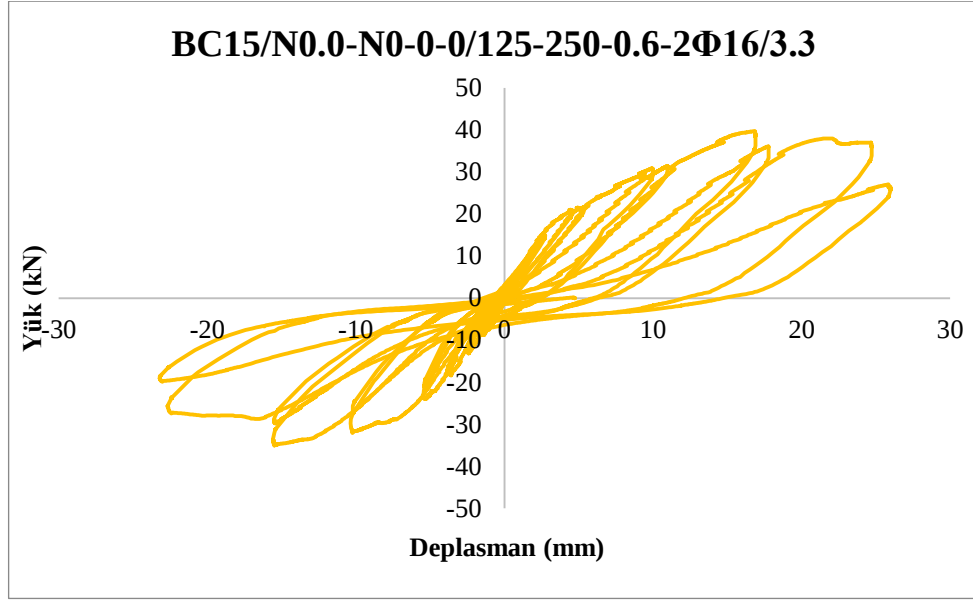
Bu değerler salt potansiyometre ve yük hücresi okuma değerleridir. Bu nedenle yer değiştirmeler arasındaki ilişkiler bu tabloda göz ardı edilmiştir.



Şekil 4.13. BC15/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/3.3 numunesine ait deney öncesi ve sonrası görünümü

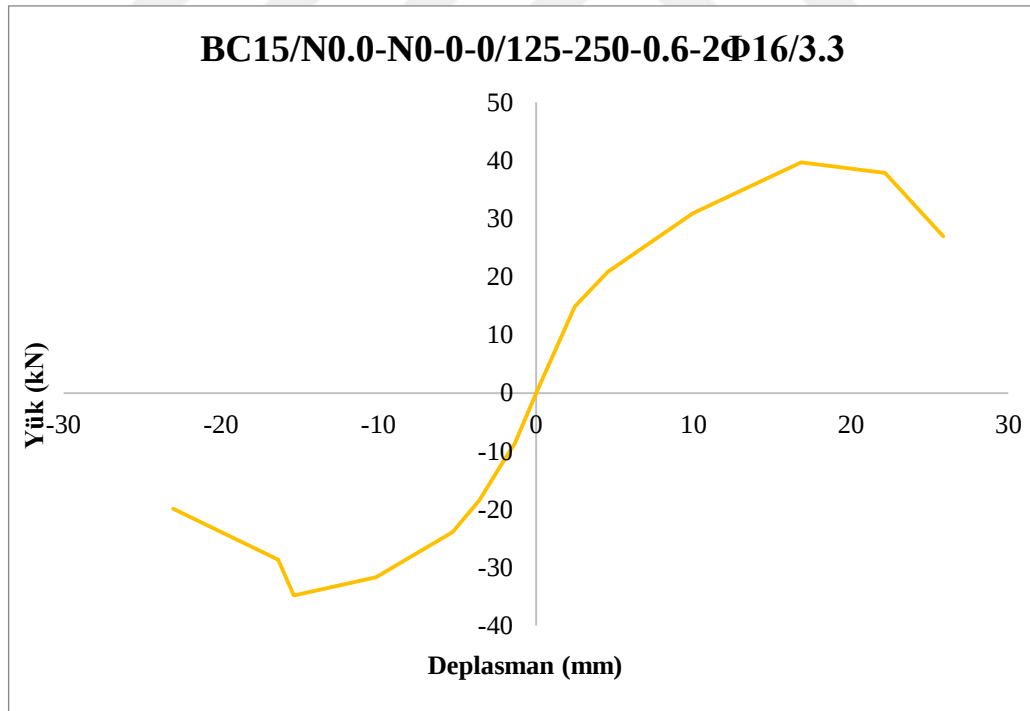


Şekil 4.14. BC15/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/3.3 numunesine ait deney sonu görünümü



Şekil 4.15. BC15/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/3.3 numunesine ait yük-deplasman grafiği

Deney numunelerin histerezis eğrisindeki her yüklemedeki maksimum yük noktalarının birleştirilmesi ile elde edilen zarf eğrisi 4.16'da verilmiştir.



Şekil 4.16. BC15/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/3.3 numunesi zarf eğrisi

Deneyin sonuçları Çizelge 4.8 ve Çizelge 4.9'da özetlenmiştir.

Çizelge 4.8. BC15/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/3.3 numunesi deplasman, süneklik ve rijitlik değerleri

Deney No	Grup	$+\delta_y$	$-\delta_y$	$+\delta_{max}$	$-\delta_{max}$	$+\delta_u$	$-\delta_u$	$+\mu$	$-\mu$	$+S_y$	$-S_y$	$+S_{max}$	$-S_{max}$
BC15/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/3.3	1	12,18	8,83	16,85	15,38	23,56	16,23	1,93	1,84	2,77	3,35	2,36	2,26

Çizelge 4.9. BC15/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/3.3 numunesi maksimum yük ve enerji tüketme kapasite değerleri

Deney No	Grup	$+P_y$	$-P_y$	$+P_{max}$	$-P_{max}$	$+E_y$	$-E_y$	$+E_{pmaks}$	$-E_{pmaks}$	$+E_t$	$-E_t$
BC15/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/3.3	1	33,73	29,57	39,68	34,79	0,274	0,170	0,439	0,381	0,765	0,574

4.1.2.2. BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3 Numunesi

1. grupta test edilen ve BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3 olarak adlandırılan 4 mm çaplı MÇD ile güçlendirilmiş ilk numunedir. Deney sırasında Çevrim numarası (Ç.n), meydana gelen deplasman, çatlaklar, hasarlar ve deney elemanında gözlemlenen durumlar Çizelge 4.10'da verilmiştir. Şekil 4.17, yükleme başlamadan önce ve deneyden sonraki numunenin durumunu göstermektedir. Deney protokolüne uygun olarak, her çevrim iki kez tekrarlanmıştır. Deney, kesme çatlaklarının artmasıyla ve betonun kabuktan ayrılmasını takip ederek durdurulmuştur. Bu deney numunesine ait yük-deplasman grafiği Şekil 4.19'da verilmiştir.

Çizelge 4.10. BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3 numunesinde gözlemlenen durumlar

Ç.n	Görelî ötelenme oranı/deplasman %/(mm)	Çatlak no	Açıklama
+1 IO	0.0015/1.0515	1-2	1.04 mm Deplasman, 853 kg Yük 1 numaralı çatlak temelden 8 cm yükseklikte oluşmuştur. 2 numaralı çatlak temelden 27 cm yukarıda oluşmuştur.
-1 IO	0.0015/1.0515	3-4	-1.05 mm Deplasman, -759 kg Yük 3 numaralı çatlak temelden 5 cm yükseklikte oluşmuştur. 4 numaralı çatlak temelden 29 cm yukarıda oluşmuştur.
+1 IO	0.0015/1.0515		1.05 mm Deplasman, 950 kg Yük 1 numaralı çatlak uzamıştır.
-1 IO	0.0015/1.0515		-1.02 mm Deplasman, -705 kg Yük 4 numaralı çatlak uzamıştır.
+2 LS	0.0020/1.402		1.40 mm Deplasman, 1163 kg Yük 1 numaralı çatlak uzamış ve dallanmıştır. 2 numaralı çatlak dallanmıştır.
-2 LS	0.0020/1.402	5	1.41 mm Deplasman, 880 kg Yük 5 numaralı yeni çatlak temel-kiriş birleşim bölgesinde oluşmuştur.

+2 LS	0.0020/1.402	6	-1.39 mm Deplasman, -1138 kg Yük 6 numaralı yeni çatlak temel-kiriş birleşim bölgesinde oluşmuştur. 2 numaralı çatlak uzamış ve 1 numaralı çatlak uzamıştır.
-2 LS	0.0020/1.402		-1.40 mm Deplasman, -938 kg Yük 3 numaralı çatlak dallanmıştır.
+3 CP	0.0030/2.103	7	2.22 mm Deplasman, 1445 kg Yük 7 numaralı yeni çatlak oluşmuştur. 6 numaralı çatlak uzamıştır. 1 numaralı çatlak dallanmıştır.
-3 CP	0.0030/2.103	8-9	-2.09 mm Deplasman, -1494 kg Yük 8 numaralı yeni çatlak temelden 16 cm yükseklikte oluşmuştur. 9 numaralı yeni çatlak temelden 38 cm yükseklikte oluşmuştur.
+3 CP	0.0030/2.103	10	2.11 mm Deplasman, 1393 kg Yük 7 numaralı çatlak uzamıştır. 10 numaralı yeni çatlak oluşmuştur.
-3 CP	0.0030/2.103		-2.09 mm Deplasman, -1473 kg Yük 5 numaralı çatlak uzamıştır.
+4 CP	0.0050/3.505	11	3.49 mm Deplasman, 1870 kg Yük 1 numaralı çatlak dallanmıştır. 11 numaralı yeni çatlak temelden 5 cm yükseklikte oluşmuştur.
-4 CP	0.0050/3.505		-3.53 mm Deplasman, -2388 kg Yük 8 numaralı çatlak dallanarak uzamıştır. 9 numaralı çatlak dallanarak uzamıştır. 5 numaralı çatlak uzamıştır.
+4 CP	0.0050/3.505		3.63 mm Deplasman, 1763 kg Yük 7 numaralı çatlak dallanmıştır.
-4 CP	0.0050/3.505		-3.50 mm Deplasman, -2286 kg Yük 8 numaralı çatlak dallanmış ve uzamıştır. 9 numaralı çatlak uzamıştır.
+5 CP	0.01/7.01		7.02 mm Deplasman, 2380 kg Yük 7 numaralı çatlak dallanmış ve kirişin ortasına kadar uzamıştır. 2 numaralı çatlak uzamış ve kirişin ortasını geçmiştir.
-5 CP	0.01/7.01	12-13	-7.01 mm Deplasman, -3346 kg Yük 12 ve 13 numaralı yeni çatlaklar oluşmuştur. 4 numaralı çatlak dallanarak uzamıştır. 8 numaralı çatlak genişlemiş, dallanmış ve uzayarak 1 numaralı çatlakla kesişmiştir. 5 numaralı çatlak genişlemiştir.
+5 CP	0.01/7.01		7.17 mm Deplasman, 2220 kg Yük 7 numaralı çatlak dallanmış ve genişlemiştir. 6 numaralı çatlak genişlemiştir.
-5 CP	0.01/7.01		-7.04 mm Deplasman, -3200 kg Yük 12 numaralı çatlak dallanmıştır. 13 numaralı çatlak dallanmıştır.

			8 numaralı çatlak genişlemiş ve uzamıştır. 9 numaralı çatlak 2 numaralı çatlığa kadar uzamıştır.
+6 CP	0.02/14.02		14.09 mm Deplasman, 3149 kg Yük 7 numaralı çatlak dallanmış ve genişlemiştir. 10 numaralı çatlak dallanarak uzamıştır. 6 numaralı çatlak genişlemiştir. 7 numaralı çatlak genişlemiştir.
-6 CP	0.02/14.02		-14.46 mm Deplasman, -4218 kg Yük 13 numaralı çatlak genişleyerek uzamıştır. 4 numaralı çatlak genişleyip dallanarak uzamış ve 1 numaralı çatlakla birleşmiştir. 8 numaralı çatlak genişlemiştir.
+6 CP	0.02/14.02		14.25 mm Deplasman, 2950 kg Yük 7 numaralı çatlak dallanarak genişlemiştir. 2 numaralı çatlak dallanmış ve uzamıştır. 10 numaralı çatlak temele kadar uzamıştır.
-6 CP	0.02/14.02		-14.07 mm Deplasman, -4005 kg Yük 4 numaralı çatlak genişlemiştir. 13 ve 12 numaralı çatlaklar genişleyerek uzamıştır.
+7 CP	0.03/21.03	14	21.06 mm Deplasman, 3945 kg Yük 2 numaralı çatlak dallanarak 10 numaralı çatlakla birleşmiştir. 7 numaralı çatlak genişleyip uzamıştır. 2 numaralı çatlak dallanarak temele kadar uzamıştır. 14 numaralı yeni çatlak oluşmuştur.
-7 CP	0.03/21.03	15	-21.06 mm Deplasman, -4730 kg Yük 4 ve 13 numaralı çatlaklarda genişlemeler oluşmuştur. 12 ve 9 numaralı çatlaklar dallanmış ve uzamıştır. 9 numaralı çatlak temele kadar uzamış ve genişlemiştir. 15 numaralı yeni çatlak oluşmuştur.
+7 CP	0.03/21.03		21.05 mm Deplasman, 3475 kg Yük 14 numaralı çatlak genişlemiştir. 2 ve 10 numaralı çatlaklar genişlemiştir.
-7 CP	0.03/21.03	16	-21.04 mm Deplasman, -4082 kg Yük 13 numaralı çatlak genişlemiştir. 15 numaralı çatlak genişlemiştir. 16 numaralı yeni çatlak oluşmuştur.
+8 CP	0.04/28.04	17	28.09 mm Deplasman, 4080 kg Yük 17 numaralı yeni çatlak oluşmuştur. 2 ve 10 numaralı çatlaklar genişlemiştir.
-8 CP	0.04/28.04		-28.24 mm Deplasman, -4113 kg Yük Kabuk beton kısmında hasarlar yoğunlaşmıştır.
+8 CP	0.04/28.04		28.43 mm Deplasman, 3307 kg Yük İleri hasarlar oluşmuş ve kabuk betonda kopmalar görülmüştür.
-8 CP	0.04/28.04		-28.00 mm Deplasman, -3300 kg Yük Çatlaklarda yarım santimetreden fazla genişlemeler oluşmuştur.
+9 CP	0.05/35.05		34.92 mm Deplasman, 3430 kg Yük 1 cm'den fazla çatlaklar genişlemiştir.
-9 CP	0.05/35.05		-35.60 mm Deplasman, -3265 kg Yük Mevcut çatlaklar genişlemiştir.
+9 CP	0.05/35.05		35.69 mm Deplasman, 2780 kg Yük Kabuk beton dökülmüştür.

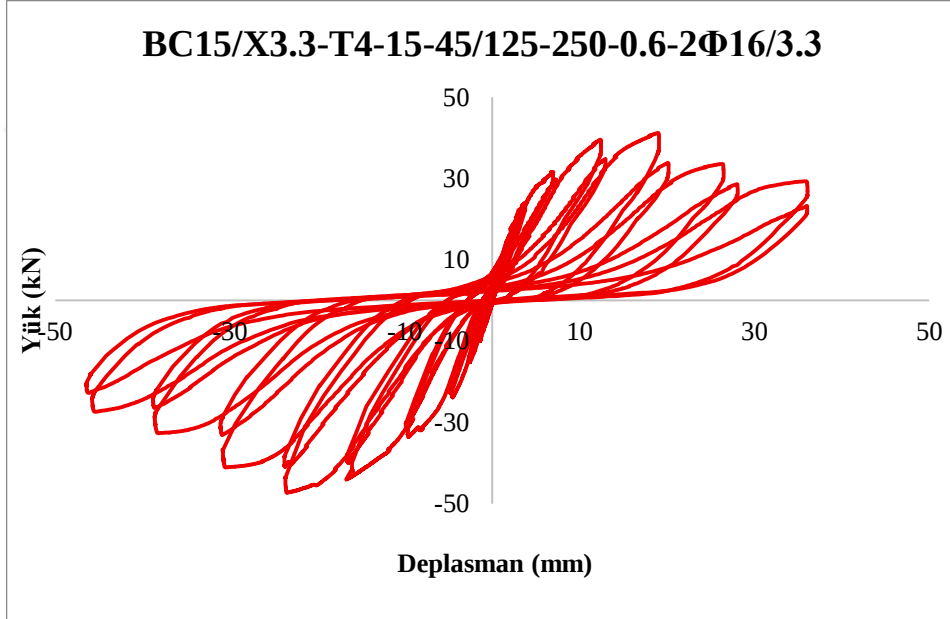
CP			
-9	0.05/35.05		-35.29 mm Deplasman, -2650 kg Yük Sol yüzde kabuk beton tamamen dklmtr.
CP			
+10	0.06/42.06		43.70 mm Deplasman, 2750 kg Yük
CP			
-10	0.06/42.06		-42.34 mm Deplasman, -2680 kg Yük Sol tarafta kabuk beton dklmtr.
CP			
+10	0.06/42.06		42.42 mm Deplasman, 2310 kg Yük İleri hasarlar devam etmitir..
CP			
-10	0.06/42.06		-42.58 mm Deplasman, -2228 kg Yük Deney sonlanmıtır.
CP			



Şekil 4.17. BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3 numunesi deney öncesi ve sonrası görünümü

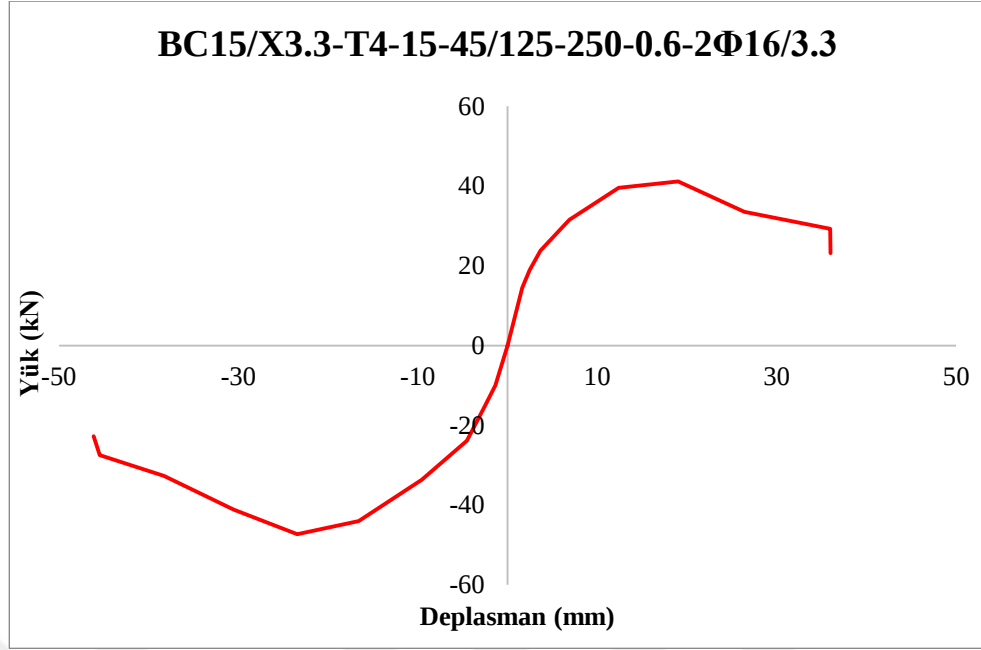


Şekil 4.18. BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3 numunesi deney sonu görünümü



Şekil 4.19. BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3 numunesine ait yük-deplasman grafiği

Deney numunelerin histerezis eğrisindeki her yüklemedeki maksimum yük noktalarının birleştirilmesi ile elde edilen zarf eğrisi Şekil 4.20’de verilmiştir.



Şekil 4.20. BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3 numunesi zarf eğrisi

Deney sonuçları Çizelge 4.11 ve Çizelge 4.12’de özetlenmiştir.

Çizelge 4.11. BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3 numunesi deplasman, süneklik ve rijitlik değerleri

Deney No	Grup	$+\delta_y$	$-\delta_y$	$+\delta_{max}$	$-\delta_{max}$	$+\delta_u$	$-\delta_u$	$+\mu$	$-\mu$	$+S_y$	$-S_y$	$+S_{max}$	$-S_{max}$
BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3	1	9,24	14,02	19,03	23,44	25,03	31,39	2,71	2,24	3,78	2,87	2,16	2,02

Çizelge 4.12. BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3 numunesi maksimum yük ve enerji tüketme kapasite değerleri

Deney No	Grup	$+P_y$	$-P_y$	$+P_{max}$	$-P_{max}$	$+E_y$	$-E_y$	$+E_{pmaks}$	$-E_{pmaks}$	$+E_t$	$-E_t$
BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3	1	34,96	40,19	41,13	47,28	0,224	0,378	0,604	0,790	1,181	1,622

4.1.2.3. BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.0-2Ø16/3.3 Numunesi

1. grupta test edilen ve BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.0-2Ø16/3.3 adlandırılan 4 mm çaplı MÇD ile güçlendirilen ikinci numunedir. Deney sırasında Çevrim numarası (Ç.n), meydana gelen deplasman, çatlaklar, hasarlar ve deney elemanında gözlemlenen durumlar Çizelge 4.13’te verilmiştir. Şekil 4.21, yükleme başlamadan önce ve deneyden sonraki numunenin görünümünü göstermektedir. Deney protokolüne uygun olarak, her çevrim iki kez tekrarlanmıştır. Deney, kesme çatlaklarının artmasıyla ve betonun kabuktan ayrılmasıyla sonlandırılmıştır. Bu deney numunesine ait yük-deplasman grafiği Şekil 4.23’te gösterilmiştir.

Çizelge 4.13. BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.0-2Ø16/3.3 numunesinde gözlemlenen durumlar

Ç.n	Görelî ötelenme oranı/deplasman %/(mm)	Çatlak no	Açıklama
+1 IO	0.0015/1.0515	1	1.07 mm Deplasman, 783 kg Yük 1 numaralı çatlak, temelden 19.5 cm yukarıda oluşmuştur.
-1 IO	0.0015/1.0515	2	-1.09 mm Deplasman, -684 kg Yük 2 numaralı çatlak, temelden 7 cm yukarıda oluşmuştur.
+1 IO	0.0015/1.0515	3-4	1.04 mm Deplasman, 819 kg Yük 3 numaralı çatlak, temelden 7 cm yukarıda oluşmuştur. 4 numaralı çatlak, temelden 26 cm yukarıda oluşmuştur.
-1 IO	0.0015/1.0515		-1.05 mm Deplasman, -608 kg Yük Herhangi bir çatlak oluşmamıştır.
+2 LS	0.0020/1.402	5	1.42 mm Deplasman, 957 kg Yük 5 numaralı çatlak, temelden 35 cm yukarıda oluşmuştur.
-2 LS	0.0020/1.402	6	-1.41 mm Deplasman, -799 kg Yük Herhangi bir çatlak oluşmamıştır.
+2 LS	0.0020/1.402	7	1.42 mm Deplasman, 940 kg Yük 6 numaralı çatlak, temel-kiriş birleşiminde oluşmuştur.
-2 LS	0.0020/1.402		-1.41 mm Deplasman, -751 kg Yük Herhangi bir çatlak oluşmamıştır.
+3 CP	0.0030/2.103		2.07 mm Deplasman, 1165 kg Yük 5 numaralı çatlakta dallanma başlamıştır.
-3 CP	0.0030/2.103		-2.12 mm Deplasman, -1092 kg Yük Herhangi bir çatlak oluşmamıştır.
+3 CP	0.0030/2.103		2.04 mm Deplasman, 1140 kg Yük Herhangi bir çatlak oluşmamıştır.
-3 CP	0.0030/2.103		-2.10 mm Deplasman, -1006 kg Yük 6 numaralı çatlak uzamıştır.
+4 CP	0.0050/3.505	8-9-10	3.57 mm Deplasman, 1596 kg Yük 8 ve 9 numaralı yeni çatlaklar oluşmuştur. 10 numaralı çatlak, temelden 48 cm yükseklikte oluşmuştur. 1 numaralı çatlak uzamıştır. 7 numaralı çatlak dallanmış ve uzamıştır.
-4 CP	0.0050/3.505	11	-3.61 mm Deplasman, -1603 kg Yük 2 numaralı çatlak uzamıştır. 11 numaralı yeni çatlak oluşmuştur.
+4 CP	0.0050/3.505	12-13	3.58 mm Deplasman, 1567 kg Yük 9 numaralı çatlak dallanarak uzamış ve 12 numaralı çatlak oluşmuştur. 10 numaralı çatlak dallanarak uzamış ve 13 numaralı çatlak oluşmuştur.

-4 CP	0.0050/3.505	14-15	-3.53 mm Deplasman, -1439 kg Yük 14 numaralı yeni çatlak, temelden 37 cm yükseklikte oluşmuştur. 15 numaralı yeni çatlak, temelden 24 cm yükseklikte oluşmuştur.
+5 CP	0.01/7.01	16-17-18	7.02 mm Deplasman, 2200 kg Yük 9 numaralı çatlak uzamış ve 16 numaralı çatlak oluşmuştur. 13 numaralı çatlak uzamış ve 17 numaralı çatlak oluşmuştur. 1 numaralı çatlak dallanmıştır. 3 numaralı çatlak temele doğru dallanmıştır. 1, 3 ve 5 numaralı çatlaklar kirişin kısa kenarı doğrultusunda uzamıştır. 6 numaralı çatlak, kirişin kısa kenarında devam etmiştir. 18 numaralı yeni çatlak, kiriş-temel birleşiminde oluşmuştur.
-5 CP	0.01/7.01	19-20	-7.05 mm Deplasman, -2355 kg Yük 19 numaralı yeni çatlak, temelden 34 cm yükseklikte oluşmuştur. 20 numaralı yeni çatlak, temelden 22 cm yükseklikte oluşmuştur.
+5 CP	0.01/7.01		7.04 mm Deplasman, 2225 kg Yük 1, 9 ve 16 numaralı çatlaklar genişlemiştir. 16 numaralı çatlak uzamıştır. 4 numaralı çatlak dallanmış ve uzamıştır.
-5 CP	0.01/7.01	21	-7.08 mm Deplasman, -2150 kg Yük 20, 2 ve 14 numaralı çatlaklar kirişin yan yüzeyinde de oluşmuştur. 21 numaralı yeni çatlak oluşmuştur.
+6 CP	0.02/14.02	22	14.00 mm Deplasman, 3014 kg Yük 4 numaralı çatlak genişlemiş ve 11 numaralı çatlağa kadar uzamıştır. 5 ve 7 numaralı çatlağı kesecek şekilde 22 numaralı yeni çatlak oluşmuştur. 18 numaralı çatlak kiriş-temel birleşimine kadar genişlemiştir.
-6 CP	0.02/14.02	23-24	-14.09 mm Deplasman, -3250 kg Yük 23 numaralı yeni çatlak oluşmuştur. 21 ve 15 numaralı çatlak uzamıştır. 21 numaralı çatlak dallanmıştır. 24 numaralı yeni kesme çatlağı oluşmuştur.
+6 CP	0.02/14.02	25	14.05 mm Deplasman, 2956 kg Yük Yükleme noktasına yakın yerde 25 numaralı yeni çatlak oluşmuştur. 10 numaralı çatlak dallanarak uzamıştır. 4 numaralı çatlak, 9 numaralı çatlak ile birleşmiştir.
-6 CP	0.02/14.02	26	-14.01 mm Deplasman, -2811 kg Yük 21 numaralı çatlak genişlemiştir. 24 numaralı çatlak, 21 numaralı çatlağa doğru uzamıştır. 21 numaralı çatlak dallanmıştır. 10 numaralı çatlak, 25 numaralı çatlağa doğru uzamıştır. Yükleme noktasından başlayan 26 numaralı yeni çatlak oluşmuştur.
+7 CP	0.03/21.03		21.03 mm Deplasman, 3560 kg Yük 4 numaralı çatlak yaklaşık 1 cm genişlemiş ve uzamıştır. 25 numaralı çatlak yükleme noktasına kadar uzamıştır. 3 numaralı çatlak yatay şekilde uzamıştır.
-7 CP	0.03/21.03		-21.08 mm Deplasman, -3450 kg Yük 26 numaralı çatlak dallanmıştır. 19 ve 21 numaralı çatlak genişlemiş ve dallanmıştır.

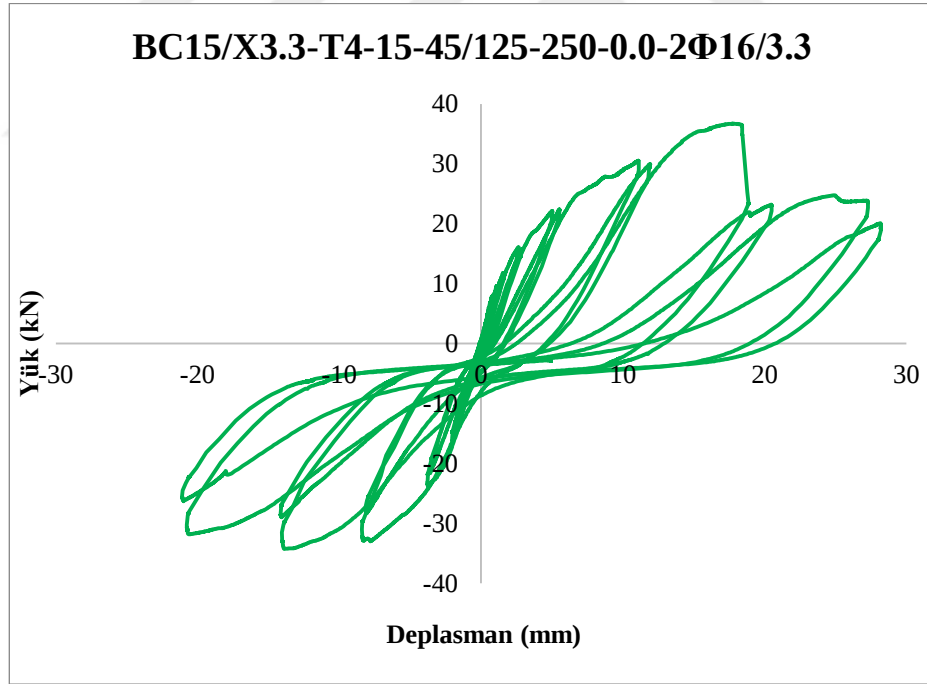
+7 CP	0.03/21.03		21.02 mm Deplasman, 2270 kg Yük Kabuk betonda dökülmeler başlamıştır.
-7 CP	0.03/21.03		-21.08 mm Deplasman, -2965 kg Yük Çatlaklar genişlemeye devam etmiştir.
+8 CP	0.04/28.04		28.05 mm Deplasman, 2355 kg Yük Çatlaklar genişlemiş ve kabuk betonda ayrılmalar gözlemlenmiştir.
-8 CP	0.04/28.04		-28.09 mm Deplasman, -3150 kg Yük Mevcut çatlaklar genişlemiştir.
+8 CP	0.04/28.04		27.99 mm Deplasman, 1920 kg Yük Mevcut çatlaklar genişlemiştir.
-8 CP	0.04/28.04		-28.04 mm Deplasman, -2585 kg Yük Deney sonuçlanmıştır.



şekil 4.21. BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.0-2Ø16/3.3 numunesi deney öncesi ve sonrası görünümü

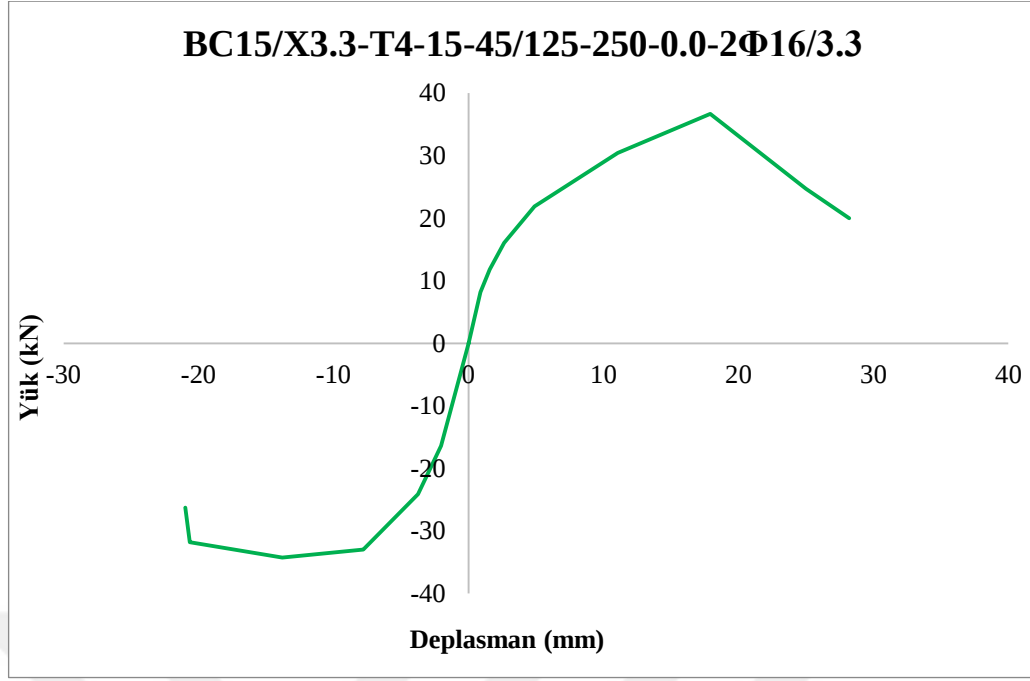


Şekil 4.22. BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.0-2Ø16/3.3 numunesi deney sonu görünümü



Şekil 4.23. BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.0-2Ø16/3.3 numunesine ait yük-deplasman grafiği

Deney numunelerin histerezis eğrisindeki her yüklemedeki maksimum yük noktalarının birleştirilmesi ile elde edilen zarf eğrisi Şekil 4.24'te verilmiştir.



Şekil 4.24. BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.0-2Ø16/3.3 numunesi zarf eğrisi

Deney sonuçları Çizelge 4.14 ve Çizelge 4.15’de özetlenmiştir.

Çizelge 4.14. BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.0-2Ø16/3.3 numunesi deplasman, süneklik ve rijitlik değerleri

Deney No	Grup	$+\delta_y$	$-\delta_y$	$+\delta_{max}$	$-\delta_{max}$	$+\delta_u$	$-\delta_u$	$+\mu$	$-\mu$	$+S_y$	$-S_y$	$+S_{max}$	$-S_{max}$
BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.0-2Ø16/3.3	1	11,88	6,03	17,92	13,80	21,18	20,81	1,78	3,45	2,62	4,83	2,05	2,48

Çizelge 4.15. BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.0-2Ø16/3.3 numunesi maksimum yük ve enerji tüketme kapasite değerleri

Deney No	Grup	$+P_y$	$-P_y$	$+P_{max}$	$-P_{max}$	$+E_y$	$-E_y$	$+E_{pmaks}$	$-E_{pmaks}$	$+E_t$	$-E_t$
BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.0-2Ø16/3.3	1	31,18	29,11	36,68	34,25	0,257	0,117	0,459	0,369	0,749	0,605

4.1.3. 2. Grup Numuneler

4.1.3.1. BC15/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø14/3.3 Numunesi

2. grupta test edilen ve BC15/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø14/3.3 olarak adlandırılan ilk numune referans numunedir. Deney sırasında Çevrim numarası (Ç.n), meydana gelen deplasman, çatlaklar, hasarlar ve deney elemanında gözlemlenen durumlar Çizelge 4.16’da verilmiştir. Şekil 4.25, yatay yükleme başlamadan önce ve deneyin tamamlanmasından sonraki numunenin durumunu göstermektedir. Deney

protokolüne uygun olarak, her çevrim iki kez tekrar edilmiştir. Her çevrimde oluşan hasarlar için kısa bir süre işaretleme yapmak üzere beklenilmiştir. Deney, kesme çatlaklarının artmasıyla ve betonun kabuktan ayrılmasıyla durdurulmuştur. Bu deney numunesine ait yük-deplasman grafiği Şekil 4.27’de verilmiştir.

Çizelge 4.16. BC15/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø14/3.3 numunesinde gözlemlenen durumlar

Ç.n	Görelî Ötelenme Oranı/Deplasman %/(Mm)	Çatlak No	Açıklama
+1 IO	0.0015/1.0515	1	1.05 mm deplasman, 755 kg yük 1 numaralı çatlak temelden 5 cm yukarıda oluşmuştur.
-1 IO	0.0015/1.0515	2	-1.07 mm deplasman, -794 kg yük 2 numaralı çatlak temel kiriş birleşiminde oluşmuştur.
+1 IO	0.0015/1.0515		1.08 mm deplasman, 790 kg yük 1 numaralı çatlak temele kadar uzamıştır.
-1 IO	0.0015/1.0515	3	-1.08 mm deplasman, -756 kg yük 2 numaralı çatlakta hareket oluşmuştur. 3 numaralı çatlak temelden 30 cm yukarıda oluşmuştur.
+2 LS	0.0020/1.402	4	1.48 mm deplasman, 776 kg yük 1 numaralı çatlak dallanmıştır. 4 numaralı çatlak temelden 27 cm yukarıda oluşmuştur.
-2 LS	0.0020/1.402		-1.49 mm deplasman, -930 kg yük 3 numaralı çatlak uzamıştır. 2 numaralı çatlak uzamıştır.
+2 LS	0.0020/1.402	5-6	1.40 mm deplasman, 935 kg yük 4 numaralı çatlak uzamıştır. 4 numaralı çatlağın üzerinde 5 numaralı yeni çatlak oluşmuştur. 6 numaralı çatlak kiriş-temel birleşiminde oluşmuştur.
-2 LS	0.0020/1.402	7	-1.40 mm deplasman, -867 kg yük 2 numaralı çatlak, 6 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 7 numaralı yeni bir çatlak temelden 10 cm yukarıda oluşmuştur.
+3 CP	0.0030/2.103	8-9	2.09 mm deplasman, 1189 kg yük 8 numaralı yeni bir çatlak oluşmuştur. 9 numaralı yeni bir çatlak oluşmuştur.
-3 CP	0.0030/2.103	10	-2.09 mm deplasman, -1165 kg yük 7 numaralı çatlak uzamıştır. 10 numaralı yeni çatlak oluşmuş ve 5 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 2 numaralı çatlak genişlemiştir.
+3 CP	0.0030/2.103		2.10 mm deplasman, 1218 kg yük 9 numaralı çatlak dallanmış ve uzamıştır. 8 numaralı çatlak uzamıştır. 6 numaralı çatlak genişlemiştir.
-3 CP	0.0030/2.103		-2.10 mm deplasman, -1133 kg yük Bu çevrimde herhangi bir çatlak oluşmamıştır.

+4 CP	0.0050/3.505		3.50 mm deplasman, 1831 kg yük 9 numaralı çatlak genişlemiş ve temele kadar uzamıştır. 8 numaralı çatlak, 3 numaralı çatlağa kadar uzamıştır. 5 numaralı çatlak dallanmıştır.
-4 CP	0.0050/3.505	11	-3.49 mm deplasman, -1686 kg yük 3 numaralı çatlağın üstünde 11 numaralı yeni çatlak oluşmuş ve 8 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 7 ve 10 numaralı çatlak dallanmıştır. 2 numaralı çatlak genişlemiştir.
+4 CP	0.0050/3.505		3.50 mm deplasman, 7105 kg yük 8, 9 ve 5 numaralı çatlak dallanmış ve genişlemiştir.
-4 CP	0.0050/3.505		-3.50 mm deplasman, -1550 kg yük 7 numaralı çatlak uzayarak 9 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 3 numaralı çatlak uzamıştır. 2 numaralı çatlak genişlemiştir.
+5 CP	0.01/7.01	12	7.11 mm deplasman, 2511 kg yük 12 numaralı yeni çatlak oluşmuş ve bu çatlak doğrudan kesme çatlağı olmuştur. 6, 8 ve 9 numaralı çatlaklar genişlemiştir.
-5 CP	0.01/7.01	13	-7.02 mm deplasman, -2555 kg yük 13 numaralı yeni doğrudan kesme çatlağı oluşmuştur. 7 numaralı çatlak uzamıştır. 10 numaralı çatlak dallanarak uzamıştır. 8 numaralı çatlak, 10 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 2 numaralı çatlak genişlemiştir.
+5 CP	0.01/7.01		7.01 mm deplasman, 2250 kg yük 12 numaralı ana kesme çatlağı genişlemiştir. 9 numaralı çatlak genişlemiş ve temele kadar uzamıştır.
-5 CP	0.01/7.01		-7.01 mm deplasman, -2366 kg yük 13 numaralı ana çatlak genişlemiş ve uzamıştır. 2 numaralı çatlak genişlemiştir. 7 ve 10 numaralı çatlaklar genişlemiş ve uzamıştır.
+6 CP	0.02/14.02		14.02 mm deplasman, 2427 kg yük 12 numaralı ana çatlak 1 cm kadar genişlemiştir. Temelde - 2.74 mm deplasman oluşmuştur.
-6 CP	0.02/14.02	14	-14.01 mm deplasman, -3428 kg yük 13 numaralı çatlak uzamıştır. Yükleme noktasından itibaren 14 numaralı yeni bir çatlak oluşmuştur. 13 ve 14 numaralı çatlak birleşmiştir. 10 numaralı çatlak uzamıştır. Sağ tarafta kabuk beton dökülmüştür.
+6 CP	0.02/14.02	15	13.99 mm deplasman, 1925 kg yük 12 numaralı ana çatlakta 1 cm genişlik oluşmuştur. 15 numaralı yeni çatlak yükleme noktasında meydana gelmiştir.
-6 CP	0.02/14.02		-14.00 mm deplasman, -3010 mm yük 13 numaralı ana çatlak genişlememiştir.

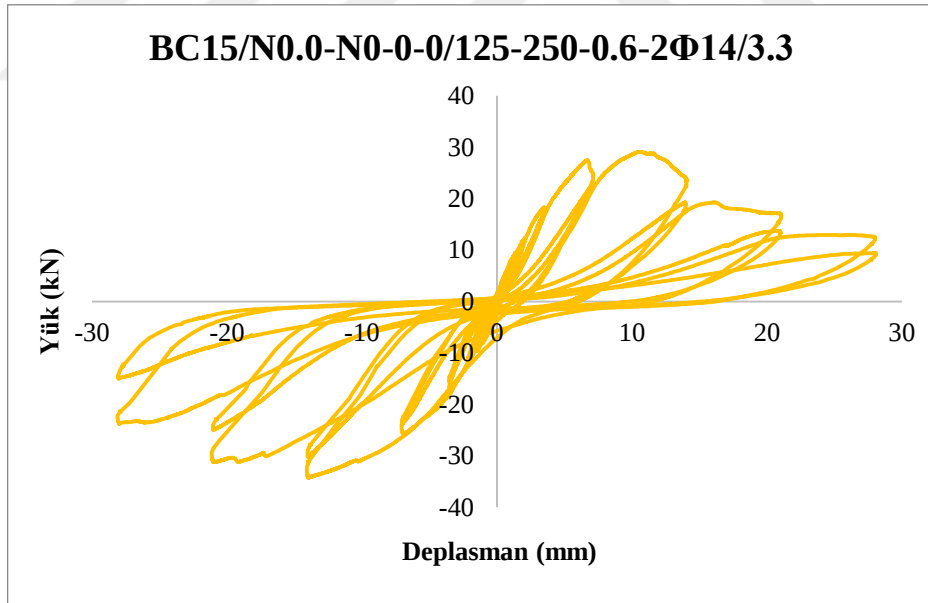
			Bu aşamada elde edilen yük dikkate alınmayacaktır. 10 numaralı çatlak genişlemiştir.
+7 CP	0.03/21.03		21.05 mm deplasman, 1712 kg yük Kabuk beton dökülmüştür. Boyuna donatı eğilmiştir. 12 numaralı ana çatlak genişlemiştir.
-7 CP	0.03/21.03		-21.06 mm deplasman, 3116 kg yük Mevcut çatlaklar genişlemiştir. 13 numaralı çatlak temel birleşiminde ezilmeye yol açmıştır.
+7 CP	0.03/21.03		21.00 mm deplasman, 1375 kg yük Mevcut çatlaklarda genişlemeler oluşmuştur. İleri hasar seviyesindeyiz.
-7 CP	0.03/21.03		-21.02 mm deplasman, -2490 kg yük Mevcut çatlaklar genişlemiştir. Kapasiteye ulaşılmıştır. İleri hasar seviyesindeyiz.
+8 CP	0.04/28.04		28.02 mm deplasman, 1265 kg yük Kabuk beton sağ tarafta daha fazla dökülmüştür. Donatı biraz daha eğilmiştir.
-8 CP	0.04/28.04		-28.10 mm deplasman, -2359 kg yük 10 ve 13 numaralı çatlaklarda genişlemeler devam etmiştir. Kabuk betonda genişleme oluşmuştur.
+8 CP	0.04/28.04		28.07 mm deplasman, 942 kg yük İleri hasarlar artmıştır.
-8 CP	0.04/28.04		-28.06 mm deplasman, -1487 kg yük İleri hasarlar artmıştır. Deney sonlanmıştır.



Şekil 4.25. BC15/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø14/3.3 numunesi deney öncesi ve sonrası görünümü

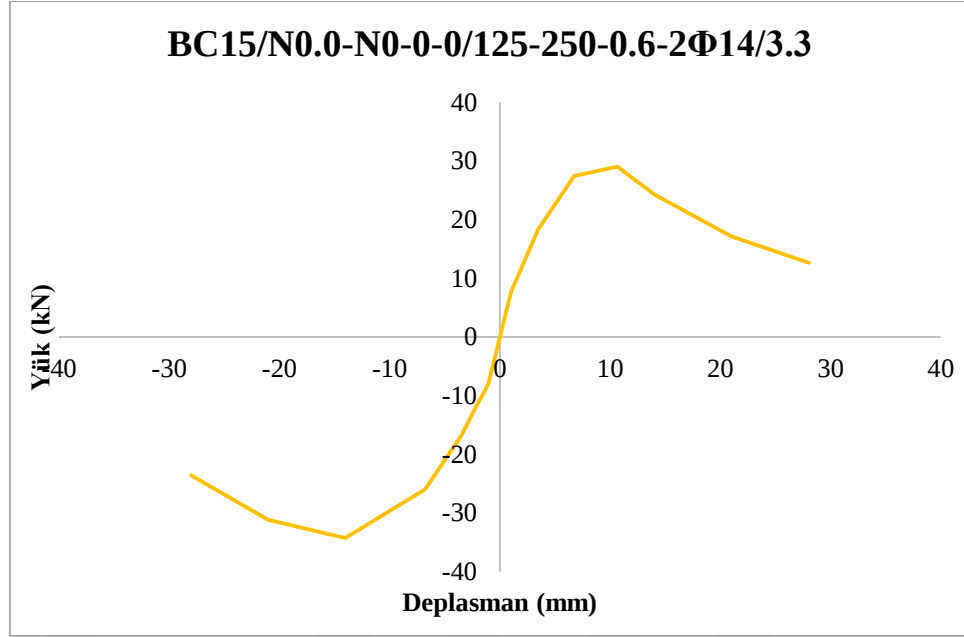


Şekil 4.26. BC15/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø14/3.3 numunesi deney sonu görünümü



Şekil 4.27. BC15/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø14/3.3 numunesine ait yük-deplasman grafiği

Deney numunelerin histerezis eğrisindeki her yüklemedeki maksimum yük noktalarının birleştirilmesi ile elde edilen zarf eğrisi Şekil 4.28’de verilmiştir.



Şekil 4.28. BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.0-2Ø16/3.3 numunesi zarf eğrisi

Deney sonuçları Çizelge 4.17 ve Çizelge 4.18’de özetlenmiştir.

Çizelge 4.17. BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.0-2Ø16/3.3 numunesi deplasman, süneklik ve rijitlik değerleri

Deney No	Grup	$+\delta_y$	$-\delta_y$	$+\delta_{max}$	$-\delta_{max}$	$+\delta_u$	$-\delta_u$	$+\mu$	$-\mu$	$+S_y$	$-S_y$	$+S_{max}$	$-S_{max}$
BC15/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø14/3.3	2	5,74	9,56	10,65	14,02	13,73	22,90	2,39	2,39	4,30	3,05	2,73	2,45

Çizelge 4.18. BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.0-2Ø16/3.3 numunesi maksimum yük ve enerji tüketme kapasite değerleri

Deney No	Grup	$+P_y$	$-P_y$	$+P_{max}$	$-P_{max}$	$+E_y$	$-E_y$	$+E_{pmaks}$	$-E_{pmaks}$	$+E_t$	$-E_t$
BC15/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø14/3.3	2	24,68	29,14	29,03	34,28	0,088	0,188	0,221	0,322	0,560	0,744

4.1.3.2. BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø14/3.3 Numunesi

2. grupta test edilen ve BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø14/3.3 olarak adlandırılan 4 mm çaplı MÇD ile ilk güçlendirilen numunedir. Deney sırasında Çevrim numarası (Ç.n), meydana gelen deplasman, çatlaklar, hasarlar ve deney elemanında gözlemlenen durumlar Çizelge 4.19’de verilmiştir. Şekil 4.29, yükleme başlamadan önce numunenin ilk ve son durumunu göstermektedir. Deney protokolüne uygun olarak, her çevrim iki kez tekrarlanmıştır. Deney, kesme çatlaklarının artmasıyla ve betonun kabuktan ayrılmasıyla sonlandırılmıştır. Bu deney numunesine ait yük-deplasman grafiği Şekil 4.31’de verilmiştir.

Çizelge 4.19. BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø14/3.3 numunesinde gözlemlenen durumlar

Ç.n	Görelî Ötelenme Oranı/Deplasman %/(Mm)	Çatlak No	Açıklama
+1 IO	0.0015/1.0515	1-2-3	1.05 mm deplasman, 914 kg yük 1 numaralı çatlak temelden 5 cm yukarıda oluşmuştur. 2 numaralı çatlak temelden 18 cm yukarıda oluşmuştur. 3 numaralı çatlak giriş temel birleşiminde oluşmuştur.
-1 IO	0.0015/1.0515	4-5	-1.05 mm deplasman, -697 kg yük 4 numaralı çatlak temelden 5 cm yukarıda oluşmuştur. 5 numaralı çatlak temelden 27 cm yukarıda oluşmuştur.
+1 IO	0.0015/1.0515		1.06 mm deplasman, 908 kg yük Herhangi bir çatlak oluşmamıştır.
-1 IO	0.0015/1.0515	6	-1.06 mm deplasman, -627 kg yük 5 numaralı çatlakta uzama meydana gelmiştir. 6 numaralı çatlak giriş temel birleşiminde oluşmuştur.
+2 LS	0.0020/1.402	7	1.41 mm deplasman, 1110 kg yük 7 numaralı çatlak temelden 27 cm yukarıda oluşmuştur. 1 numaralı çatlakta dallanma meydana gelmiştir.
-2 LS	0.0020/1.402		-1.39 mm deplasman, -821 kg yük 4 numaralı çatlak uzamıştır. 5 numaralı çatlak uzamıştır.
+2 LS	0.0020/1.402		1.41 mm deplasman, 1062 kg yük 1 numaralı çatlak uzamıştır. 7 numaralı çatlak uzamıştır.
-2 LS	0.0020/1.402		-1.42 mm deplasman, -812 kg yük 4 numaralı çatlak uzamıştır. 6 numaralı çatlak uzamıştır.
+3 CP	0.0030/2.103	8	2.07 mm deplasman, 1497 kg yük 8 numaralı yeni çatlak temelden 42 cm yukarıda oluşmuştur. 7 numaralı çatlak dallanmıştır. 1 numaralı çatlak uzamıştır. 2 numaralı çatlak uzamıştır. 3 numaralı çatlak uzamıştır.
-3 CP	0.0030/2.103	9-10	-2.10 mm deplasman, -1165 kg yük 6 numaralı çatlak uzamıştır. 9 numaralı yeni çatlak temelden 40 cm yukarıda oluşmuştur. 10 numaralı yeni çatlak temelden 12 cm yukarıda oluşmuştur.
+3 CP	0.0030/2.103		2.07 mm deplasman, 1460 kg yük 8 numaralı çatlak uzamıştır. 2 numaralı çatlak dallanmıştır. 3 numaralı çatlak uzamıştır.
-3 CP	0.0030/2.103		-2.13 mm deplasman, -1120 kg yük 10 numaralı çatlak uzamıştır. 4 numaralı çatlakta dallanma meydana gelmiştir. 5 numaralı çatlakta dallanma meydana gelmiştir.
+4 CP	0.0050/3.505	11	3.50 mm deplasman, 2153 kg yük 8 numaralı çatlak uzamıştır. 8 numaralı çatlakla 11 numaralı çatlak oluşmuştur. 7 numaralı çatlakta dallanma meydana gelmiştir.

			2 ve 3 numaralı çatlak uzamıştır. 1 numaralı çatlak uzamıştır.
-4 CP	0.0050/3.505		-3.50 mm deplasman, -1803 kg yük 10 numaralı çatlak uzamış ve 2 numaralı çatlak ile kesişmiştir. 1 ve 4 numaralı çatlak kesişmiştir. 9 numaralı çatlak uzamış ve 8 numaralı çatlak ile kesişmiştir. 6 numaralı çatlak genişlemiş ve 3 numaralı çatlak ile kesişmiştir.
+4 CP	0.0050/3.505		3.50 mm deplasman, 2055 kg yük Herhangi bir çatlak gözlemlenmemiştir.
-4 CP	0.0050/3.505		-3.50 mm deplasman, -1668 kg yük 5 ve 9 numaralı çatlak genişlemiştir.
+5 CP	0.01/7.01	12-13	7.01 mm deplasman, 3225 kg yük 2 ve 8 numaralı çatlak uzamıştır. 8 numaralı çatlak dallanmıştır. 12 ve 13 numaralı yeni çatlak oluşmuş ve 2 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 2 numaralı çatlak genişlemiştir.
-5 CP	0.01/7.01		-7.05 mm deplasman, -2835 kg yük 9 ve 5 numaralı çatlak uzamış ve genişlemiştir. 6 numaralı çatlak genişlemiştir.
+5 CP	0.01/7.01	14	7.00 mm deplasman, 2960 kg yük 2 numaralı çatlak dallanmıştır. 7 ve 12 numaralı çatlak dallanmıştır. 11 numaralı çatlak uzamıştır. 12 numaralı çatlak genişlemiştir. 14 numaralı yeni çatlak oluşmuştur.
-5 CP	0.01/7.01		-7.01 mm deplasman, -2620 kg yük Bu aşamada herhangi bir çatlak gözlemlenmemiştir.
+6 CP	0.02/14.02	15	14.09 mm deplasman, 3810 kg yük 8 numaralı çatlak uzamış ve 5 numaralı çatlak ile kesişmiştir. 11 numaralı çatlak uzamış ve 9 numaralı çatlak ile kesişmiştir. 15 numaralı yeni çatlak oluşmuştur. 14 ve 8 numaralı çatlak birleşmiştir. 3 numaralı çatlak 0.5 cm genişlemiştir.
-6 CP	0.02/14.02	16	-14.05 mm deplasman, -3900 kg yük 10 numaralı çatlak dallanmıştır. 6 numaralı çatlak 0.5 cm genişlemiştir. 16 numaralı çatlak oluşmuş ve 9 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 9 numaralı çatlak uzamıştır. 5 numaralı çatlak dallanarak uzamıştır. 10 numaralı çatlak genişlemiş ve uzamıştır.
+6 CP	0.02/14.02	17	13.96 mm deplasman, 3520 kg yük 17 numaralı çatlak yükleme noktasından itibaren oluşturmuştur. 2, 7 ve 11 numaralı çatlaklar dallanmıştır.

			8 numaralı çatlak uzamış ve 5 numara ile birleşmiştir. 14 numaralı çatlak genişlemiştir.
-6 CP	0.02/14.02		-14.05 mm deplasman, -3494 kg yük 16 numaralı çatlak dallanmıştır. 10 numaralı çatlak dallanmıştır. 9 numaralı çatlak dallanarak uzamıştır.
+7 CP	0.03/21.03		21.01 mm deplasman, 3960 kg yük 3 numaralı çatlak 1 cm genişlemiştir. Kirişin sağ ucu ezilmeye başlamıştır. 17 numaralı çatlak uzamıştır. 1 numaralı çatlak dallanmıştır.
-7 CP	0.03/21.03	18	-21.10 mm deplasman, 3960 kg yük 6 numaralı çatlak 1 cm genişlemiştir. Yüklemeye noktasında 18 numaralı yeni çatlak oluşmuş ve genişlemiştir. 16 numaralı çatlak dallanmıştır. 10 numaralı çatlak dallanmış ve uzamıştır.
+7 CP	0.03/21.03		21.06 mm deplasman, 3700 kg yük 3, 8, 12 ve 14 numaralı çatlaklar genişlemiştir.
-7 CP	0.03/21.03		-21.09 mm deplasman, -3440 kg yük 6 numaralı çatlak genişlemeye devam etmiştir. 18 numaralı çatlak dallanmıştır. 5 ve 10 numaralı çatlak uzamıştır.
+8 CP	0.04/28.04		28.17 mm deplasman, 3910 kg yük 3, 2, 11, 12, 8 ve 14 numaralı çatlaklar genişlemiştir. Kirişin sağ ucunda ezilme vardır.
-8 CP	0.04/28.04		-28.24 mm deplasman, -3642 kg yük 18 numaralı çatlak genişlemiştir. Kirişin sol ucunda ezilmeler vardır. 6 numaralı çatlak genişlemiştir. Kabuk betonda genişleme vardır.
+8 CP	0.04/28.04		28.00 mm deplasman, 3440 kg yük Bu aşamada mevcut çatlaklarda genişlemeler vardır. Kabuk betondaki genişlemeler artmıştır.
-8 CP	0.04/28.04		-28.01 mm deplasman, -3061 kg yük Mevcut çatlaklarda genişlemeler vardır.
+9 CP	0.05/35,05		35.13 mm deplasman, 3285 kg yük Mevcut çatlaklarda genişlemeler vardır. Kabuk beton yarılmaya başlamıştır. Ortada kesme hasarı yoktur. Kirişin sağ ucu ezilmiştir.
-9 CP	0.05/35,05		-35.10 mm deplasman, -2978 kg yük Kabuk betondaki dökülmeler artmıştır. Çatlaklar arttığı için mekanik dikişte sıyrılmalara mevcuttur.
+9 CP	0.05/35,05		34.95 mm deplasman, 2513 kg yük Sol taraftaki kabuk beton dökülmek üzere olmuştur.
-9 CP	0.05/35,05		-35.09 mm deplasman, -2405 kg yük Sol taraftaki kabuk beton dökülmüştür. Sağ taraftaki kabuk beton genişlemiştir.
+10 CP	0.06/42,06		42.00 mm deplasman, 2671 kg yük Sağ taraftaki kabuk beton ayrılmıştır.
-10 CP	0.06/42,06		-42.01 mm deplasman, -2435 kg yük Sağ taraftaki kabuk beton tamamen ayrılmıştır.

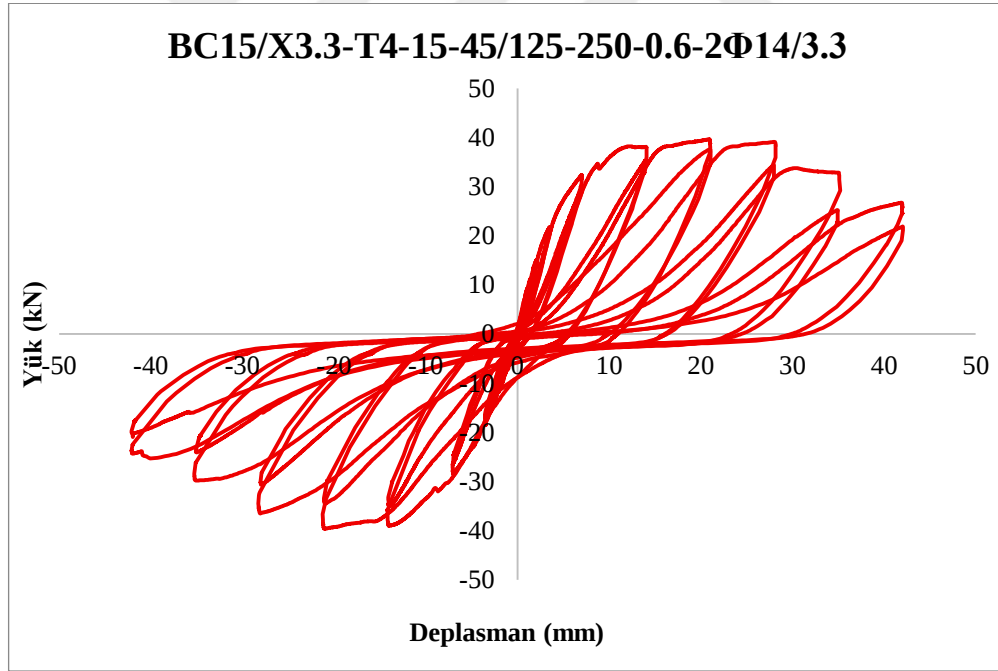
+10 CP	0.06/42,06		42.07 mm deplasman, 2180 kg yük Mevcut çatlaklarda genişlemeler vardır.
-10 CP	0.06/42,06		-42.09 mm deplasman, -2024 kg yük Deney sonlanmıştır.



Şekil 4.29. BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø14/3.3 numunesi deney öncesi ve sonrası görünümü

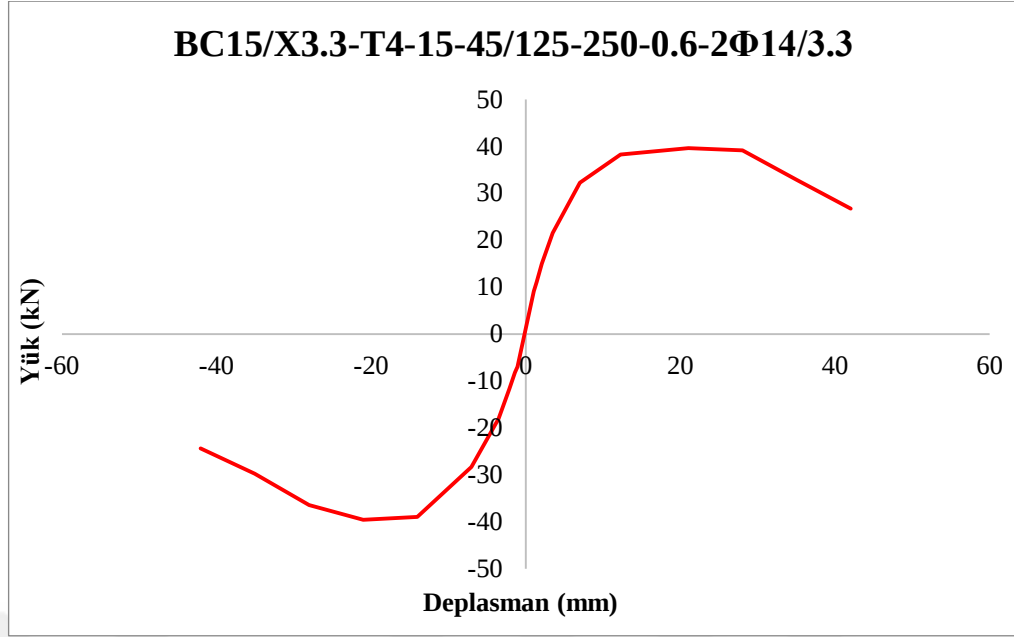


Şekil 4.30. BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø14/3.3 numunesi deney sonu görünümü



Şekil 4.31. BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø14/3.3 numunesine ait yük-deplasman grafiği

Deney numunelerin histerezis eğrisindeki her yüklemedeki maksimum yük noktalarının birleştirilmesi ile elde edilen zarf eğrisi Şekil 4.32’de verilmiştir.



Şekil 4.32. BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø14/3.3 numunesi zarf eğrisi

Deney sonuçları Çizelge 4.20 ve Çizelge 4.21’de özetlenmiştir.

Çizelge 4.20. BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø14/3.3 numunesi deplasman, süneklik ve rijitlik değerleri

Deney No	Grup	$+\delta_y$	$-\delta_y$	$+\delta_{max}$	$-\delta_{max}$	$+\delta_u$	$-\delta_u$	$+\mu$	$-\mu$	$+S_y$	$-S_y$	$+S_{max}$	$-S_{max}$
BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø14/3.3	2	8,25	10,51	21,03	21,03	34,14	30,95	4,14	2,95	4,08	3,20	1,88	1,88

Çizelge 4.21. BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø14/3.3 numunesi maksimum yük ve enerji tüketme kapasite değerleri

Deney No	Grup	$+P_y$	$-P_y$	$+P_{max}$	$-P_{max}$	$+E_y$	$-E_y$	$+E_{pmaks}$	$-E_{pmaks}$	$+E_t$	$-E_t$
BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø14/3.3	2	33,66	33,66	39,60	39,60	0,181	0,233	0,663	0,627	1,400	1,315

4.1.3.3. BC15/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø18/3.3 Numunesi

2. grupta test edilen ve BC15/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø18/3.3 olarak adlandırılan ikinci referans numunedir. Deney sırasında Çevrim numarası (Ç.n), meydana gelen deplasman, çatlaklar, hasarlar ve deney elemanında gözlemlenen durumlar Çizelge 4.22’de verilmiştir. Şekil 4.33, yükleme başlamadan önce numunenin ilk ve son durumunu göstermektedir. Deney protokolüne uygun olarak, her çevrim iki kez tekrarlanmıştır. Deney, kesme çatlaklarının artmasıyla ve betonun kabuktan ayrılmasıyla sonlandırılmıştır. Bu deney numunesine ait yük-deplasman grafiği Şekil 4.35’te verilmiştir.

Çizelge 4.22. BC15/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø18/3.3 numunesinde gözlemlenen durumlar

Ç.n	Görelî Ötelenme Oranı/Deplasman %/(Mm)	Çatlak No	Açıklama
+1 IO	0.0015/1.0515	1-2	1.07 mm deplasman, 840 kg yük 1. numaralı çatlak temelden 5 cm yukarıda oluşmuştur. 2. numaralı çatlak temelden 20 cm yukarıda oluşmuştur.
-1 IO	0.0015/1.0515	3-4-5	-1.04 mm deplasman, -1047 kg yük 3. numaralı çatlak temelden 6 cm yukarıda oluşmuştur. 4. numaralı çatlak temelden 20 cm yukarıda oluşmuştur. 5. numaralı çatlak temelden 28 cm yukarıda oluşmuştur.
+1 IO	0.0015/1.0515	6-7	1.04 mm deplasman, 778 kg yük 6. numaralı yeni çatlak kiriş-temel birleşiminde oluşmuştur. 7. numaralı çatlak temelden 28 cm yukarıda oluşmuştur.
-1 IO	0.0015/1.0515	8-9	-1.05 mm deplasman, -990 kg yük 8. numaralı yeni çatlak oluşmuştur. 9. numaralı yeni çatlak kiriş-temel birleşiminde oluşmuştur.
+2 LS	0.0020/1.402		1.41 mm deplasman, 1001 kg yük 2. numaralı çatlak uzamıştır. 6. numaralı çatlak uzamıştır. 7. numaralı çatlak dallanmıştır.
-2 LS	0.0020/1.402	10	-1.40 mm deplasman, -1305 kg yük 10. numaralı kesme çatlağı bir anda oluşmuştur. 4. numaralı çatlak dallanmıştır. 9. numaralı çatlak uzamış ve 6. numaralı çatlak ile birleşmiştir.
+2 LS	0.0020/1.402		1.40 mm deplasman, 943 kg yük Herhangi bir çatlak gözlenmemiştir.
-2 LS	0.0020/1.402		-1.42 mm deplasman, -1252 kg yük 4. numaralı çatlak dallanmıştır. 0.79 mm hareketlilik oluşmuştur.
+3 CP	0.0030/2.103		2.10 mm deplasman, 1415 kg yük 1. numaralı çatlak uzamıştır.
-3 CP	0.0030/2.103		-2.09 mm deplasman, -1780 kg yük 4. numaralı çatlak 1. numaralı çatlağa kadar uzamıştır. 10. numaralı çatlak dallanmış, genişlemiş ve uzamıştır.
+3 CP	0.0030/2.103	11	2.06 mm deplasman, 1380 kg yük 11. numaralı yeni çatlak oluşmuştur.
-3 CP	0.0030/2.103		-2.10 mm deplasman, -1715 kg yük 4. numaralı çatlak dallanmıştır.
+4 CP	0.0050/3.505	12-13	3.50 mm deplasman, 1986 kg yük 12. numaralı yeni kesme çatlağı bir anda oluşmuştur. 13. numaralı yeni çatlak oluşmuştur. 1. numaralı çatlak 3. numaralı çatlak ile birleşmiştir. 2. numaralı çatlak uzamıştır. 3. numaralı çatlak genişlemiştir

-4 CP	0.0050/3.505	14	-3.51 mm deplasman, -2402 kg yük 10. numaralı çatlak genişlemiş ve uzamıştır. 14. numaralı yeni çatlak oluşmuştur. 4. numaralı çatlak dallanmış, uzamış ve genişlemiştir. 5. numaralı çatlak ile 7. numaralı çatlak kesişmiştir.
+4 CP	0.0050/3.505		3.50 mm deplasman, 1840 kg yük 12. numaralı çatlak genişlemiş, uzamış ve dallanmıştır. 2. numaralı çatlak genişlemiş ve uzamıştır.
-4 CP	0.0050/3.505		-3.50 mm deplasman, -2210 kg yük 4. numaralı çatlak uzamış ve genişlemiştir. 10. numaralı çatlak dallanmıştır.
+5 CP	0.01/7.01	15	7.00 mm deplasman, 2913 kg yük 12. numaralı çatlak yarım milim genişlemiştir. 12. numaralı çatlak üzerinde yeni çatlaklar oluşmuştur. Yüklemeye noktasında başlayan 15. numaralı yeni kesme çatlağı oluşmuştur. 2. ve 7. numaralı çatlaklar uzamıştır. 12. numaralı çatlak uzamıştır. 13. numaralı çatlak dallanmıştır. 6. numaralı çatlak genişlemiştir.
-5 CP	0.01/7.01	16	-7.00 mm deplasman, -3370 kg yük 14. numaralı çatlak ile 10. numaralı çatlak birleşmiştir. 10. ve 14. numaralı çatlak genişlemiştir. 10. numaralı çatlak uzamıştır. 16. numaralı yeni çatlak yüklemeye noktasında oluşmuştur. 4. numaralı çatlak genişlemiştir.
+5 CP	0.01/7.01		7.00 mm deplasman, 2670 kg yük 7. numaralı çatlak dallanmıştır. 15. numaralı çatlak uzamıştır.
-5 CP	0.01/7.01		-7.01 mm deplasman, -3080 kg yük Mevcut çatlaklarda genişlemeler vardır. 14. numaralı çatlak genişlemiştir.
+6 CP	0.02/14.02		14.02 mm deplasman, 3460 kg yük 12. numaralı çatlak genişlemiş, uzamış ve kırılmıştır. 15. numaralı çatlağın oluştuğu yer ezilmiştir.
-6 CP	0.02/14.02		-14.02 mm deplasman, -4486 kg yük 10. numaralı çatlak dallanmıştır. 5. numaralı çatlak genişlemiştir. Burada ana kesme çatlağı 5. numaralı çatlak olmuştur. Kirişin sol ucu ezilmeye başlamıştır. 14. ve 16. numaralı çatlaklar dallanmıştır.
+6 CP	0.02/14.02		14.03 mm deplasman, 2820 kg yük 12. numaralı ana kesme çatlağı 1 cm'ye yakın genişlemiştir.
-6 CP	0.02/14.02		-14.05 mm deplasman, -3999 kg yük 5. numaralı çatlak ana çatlak olmuştur.

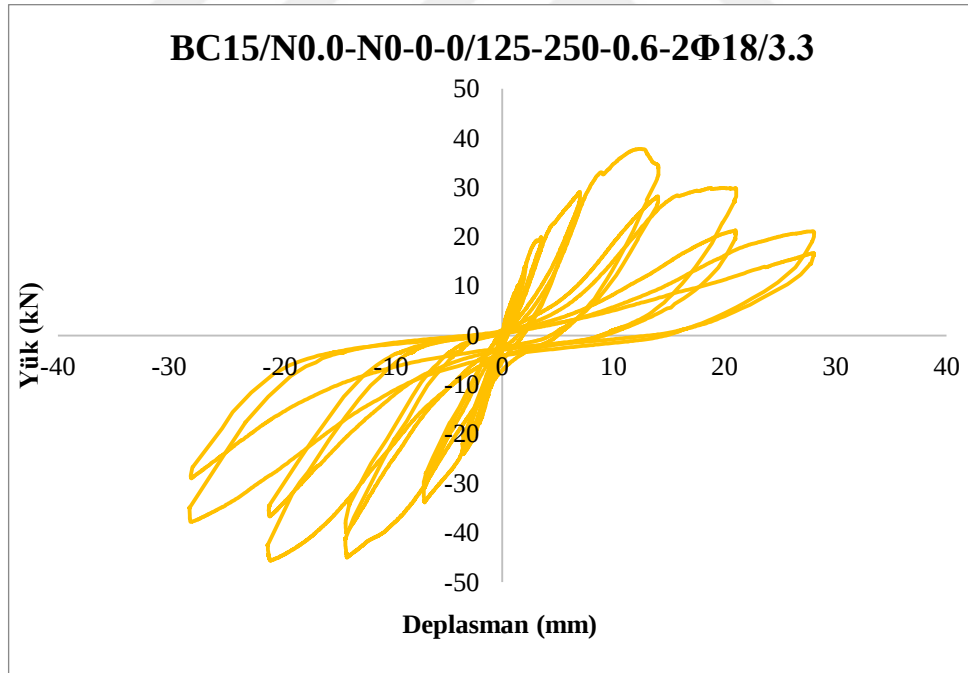
+7 CP	0.03/21.03	21.05 mm deplasman, 2980 kg yük Çatlaklar 1.5 cm genişlemiştir. 12. ve 13. numaralı çatlaklar uzamıştır. 12. numaralı çatlakta dallanmalar gözükümüştür. 15. numaralı çatlak dallanmış ve 16. numaralı çatlakla birleşmiştir.
-7 CP	0.03/21.03	-21.04 mm deplasman, 4540 kg yük Mevcut çatlaklar genişlemeye devam etmiştir.
+7 CP	0.03/21.03	21.02 mm deplasman, 2120 kg yük Sağ taraftaki kabuk beton dökülmek üzeredir. 12. numaralı çatlak genişlemeye devam etmektedir.
-7 CP	0.03/21.03	-21.00 mm deplasman, 3698 kg yük Mevcut çatlaklarda genişlemeler vardır.
+8 CP	0.04/28.04	28.04 mm deplasman, 2100 kg yük Sağ tarafta kabuk beton dökülmek üzeredir. 13. numaralı çatlak dallayarak uzamış ve genişlemiştir. 7. numaralı çatlak genişlemiştir.
-8 CP	0.04/28.04	-28.07 mm deplasman, -3780 kg yük Sol uçta ezilme olmuştur. Sağ tarafta kesme hasarı oluşmuştur.
+8 CP	0.04/28.04	28.04 mm deplasman, 1680 kg yük Mevcut çatlaklarda genişlemeler vardır.
-8 CP	0.04/28.04	-28.03 mm deplasman, -2890 kg yük Deney sonlanmıştır.



Şekil 4.33. BC15/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø18/3.3 numunesi deney öncesi ve sonrası görünümü

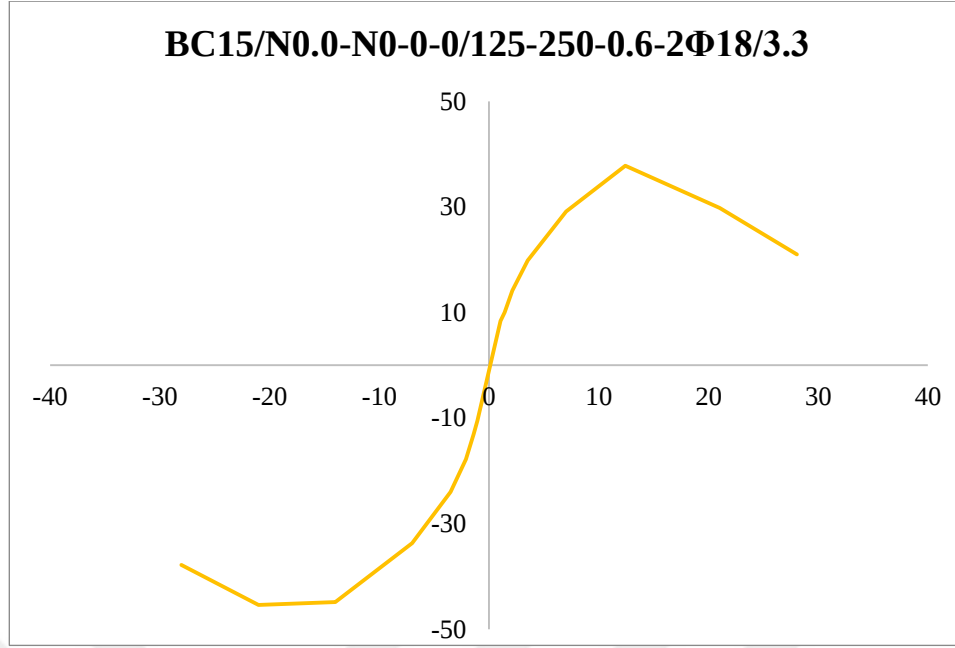


Şekil 4.34. BC15/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø18/3.3 numunesi deney sonu görünümü



Şekil 4.35. BC15/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø18/3.3 numunesine ait yük-deplasman grafiği

Deney numunelerin histerezis eğrisindeki her yüklemedeki maksimum yük noktalarının birleştirilmesi ile elde edilen zarf eğrisi Şekil 4.36’da verilmiştir.



Şekil 4.36. BC15/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø18/3.3 numunesi zarf eğrisi

Deney sonuçları Çizelge 4.23 ve Çizelge 4.24’de özetlenmiştir.

Çizelge 4.23. BC15/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø18/3.3 numunesi deplasman, süneklik ve rijitlik değerleri

Deney No	Grup	$+\delta_y$	$-\delta_y$	$+\delta_{max}$	$-\delta_{max}$	$+\delta_u$	$-\delta_u$	$+\mu$	$-\mu$	$+\delta_y$	$-\delta_y$	$+\delta_{max}$	$-\delta_{max}$
BC15/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø18/3.3	2	8,89	10,08	12,42	21,03	18,52	27,31	2,08	2,71	3,62	3,83	3,04	2,16

Çizelge 4.24. BC15/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø18/3.3 numunesi maksimum yük ve enerji tüketme kapasite değerleri

Deney No	Grup	$+P_y$	$-P_y$	$+P_{max}$	$-P_{max}$	$+E_y$	$-E_y$	$+E_{pmaks}$	$-E_{pmaks}$	$+E_t$	$-E_t$
BC15/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø18/3.3	2	32,14	38,59	37,81	45,40	0,189	0,272	0,307	0,743	0,776	1,034

4.1.3.4. BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø18/3.3 Numunesi

2. grupta test edilen ve BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø18/3.3 olarak adlandırılan 4 mm çaplı MÇD ile ikinci güçlendirilen numunedir. Deney sırasında Çevrim numarası (Ç.n), meydana gelen deplasman, çatlaklar, hasarlar ve deney elemanında gözlemlenen durumlar Çizelge 4.25’te verilmiştir. Şekil 4.37, yükleme başlamadan önce numunenin ilk ve son durumunu göstermektedir. Deney protokolüne uygun olarak, her çevrim iki kez tekrarlanmıştır. Deney, kesme çatlaklarının artmasıyla ve betonun kabuktan ayrılmasıyla sonlandırılmıştır. Bu deney numunesine ait yük-deplasman grafiği Şekil 4.39’da verilmiştir.

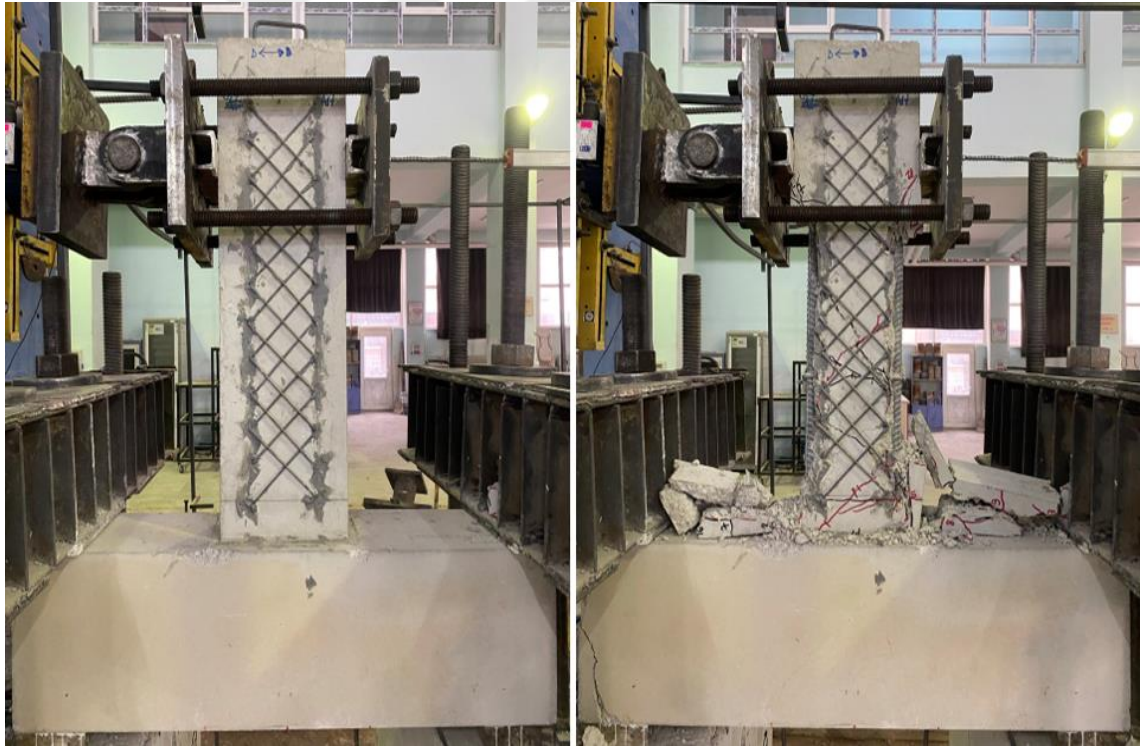
Çizelge 4.25. BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø18/3.3 numunesinde gözlemlenen durumlar

Ç.n	Görelî ötelenme oranı/deplasman %/(mm)	Çatlak no	Açıklama
+1 IO	0.0015/1.0515	1-2	1.05 mm deplasmanda, 942 kg yük uygulanmıştır. 1 numaralı çatlak kiriş temel birleşiminde oluşmuştur. 2 numaralı çatlak oluşmuştur (temelden 5 cm yukarıda oluşmuştur).
-1 IO	0.0015/1.0515	3-4-5	-1.05 mm deplasmanda, -669 kg yük uygulanmıştır. 3 numaralı çatlak oluşmuştur (temelden 28 cm yukarıda oluşmuştur). 4 numaralı çatlak kiriş temel birleşiminde oluşmuştur. 5 numaralı çatlak oluşmuştur (temelden 7 cm yukarıda oluşmuştur).
+1 IO	0.0015/1.0515		1.05 mm deplasmanda, 960 kg yük uygulanmıştır. Herhangi bir çatlak oluşmamıştır.
-1 IO	0.0015/1.0515		-1.05 mm deplasmanda, -605 kg yük uygulanmıştır. 5 numaralı çatlak uzamıştır. 4 numaralı çatlak uzamıştır.
+2 LS	0.0020/1.402		1.39 mm deplasmanda, 1148 kg yük uygulanmıştır. 2 numaralı çatlak eğilme çatlağı olarak uzamıştır. 1 numaralı çatlak uzamıştır.
-2 LS	0.0020/1.402		-1.45 mm deplasmanda, -800 kg yük uygulanmıştır. 5 numaralı çatlak ile 2 numaralı çatlak birleşmiştir. 3 numaralı çatlak dallanmıştır. 4 numaralı çatlak uzamıştır.
+2 LS	0.0020/1.402		1.38 mm deplasmanda, 1145 kg yük uygulanmıştır. Herhangi bir çatlak oluşmamıştır.
-2 LS	0.0020/1.402		-1.43 mm deplasmanda, -768 kg yük uygulanmıştır. Herhangi bir çatlak oluşmamıştır.
+3 CP	0.0030/2.103	6-7	2.10 mm deplasmanda, 1688 kg yük uygulanmıştır. 6 numaralı yeni çatlak oluşmuştur (temelden 28 cm yukarıda oluşmuştur). 1 numaralı çatlak uzamıştır. 7 numaralı yeni çatlak oluşmuştur (temelden 14 cm yukarıda oluşmuştur).
-3 CP	0.0030/2.103	8	-2.10 mm deplasmanda, -1223 kg yük uygulanmıştır. 4 numaralı çatlak, 1 numaralı çatlakla birleşmiştir. 3 numaralı çatlak uzamıştır. 8 numaralı yeni çatlak oluşmuştur (temelden 14 cm yukarıda oluşmuştur).
+3 CP	0.0030/2.103		2.10 mm deplasmanda, 1610 kg yük uygulanmıştır. Herhangi bir çatlak oluşmamıştır.
-3 CP	0.0030/2.103		-2.10 mm deplasmanda, -1170 kg yük uygulanmıştır. Herhangi bir çatlak oluşmamıştır.
+4 CP	0.0050/3.505		3.50 mm deplasmanda, 1965 kg yük uygulanmıştır. 6 numaralı çatlak uzamıştır. Rijitlik kaybı gözlenmiştir.

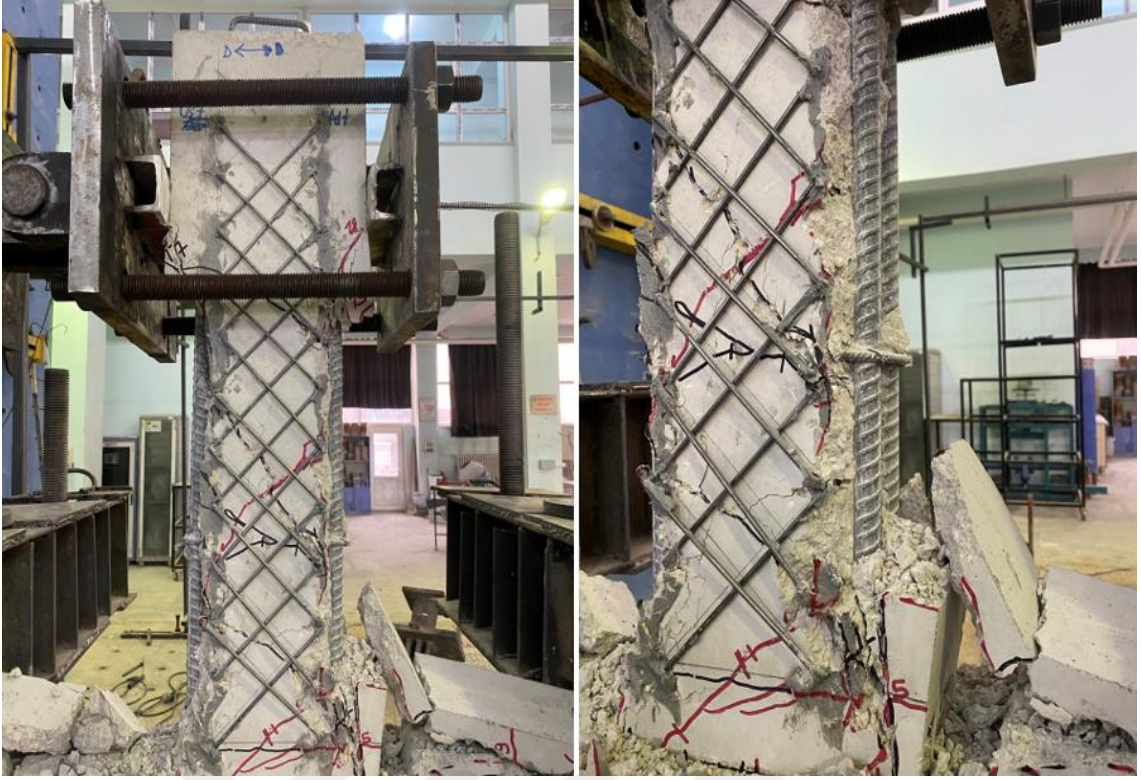
-4 CP	0.0050/3.505	9	-3.50 mm deplasmanda, -2440 kg yük uygulanmıştır. 8 numaralı çatlak dallanmış ve uzamıştır. 5 numaralı çatlak dallanmıştır. 9 numaralı yeni çatlak oluşmuştur.
+4 CP	0.0050/3.505	10	3.50 mm deplasmanda, 1840 kg yük uygulanmıştır. 10 numaralı yeni çatlak oluşmuştur.
-4 CP	0.0050/3.505		-3.50 mm deplasmanda, -2230 kg yük uygulanmıştır. 8 numaralı çatlak uzamıştır.
+5 CP	0.01/7.01	12-13-14	7.00 mm deplasmanda, 3030 kg yük uygulanmıştır. 11 numaralı yeni kesme çatlağı oluşmuş ve 8 numaralı çatlak ile kesişmiştir. 6 numaralı çatlak, 3 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 12 numaralı yeni kesme çatlağı oluşmuştur. 13 numaralı yeni kesme çatlağı oluşmuş ve 6 numaralı çatlak ile kesişmiştir. 2 numaralı çatlak dallanmıştır. 1 numaralı çatlak genişlemiştir. 14 numaralı yeni çatlak oluşmuş ve 12 numaralı çatlak ile kesişmiştir.
-5 CP	0.01/7.01	15	-7.01 mm deplasmanda, -3250 kg yük uygulanmıştır. 3 numaralı çatlak, kesme çatlağı şeklinde dallanmış ve 8 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 15 numaralı yeni kesme çatlağı oluşmuştur. 9 numaralı çatlak uzamıştır. 8 numaralı kesme çatlağı uzamıştır.
+5 CP	0.01/7.01	16	7.03 mm deplasmanda, 3191 kg yük uygulanmıştır. 11 numaralı çatlağın altında 16 numaralı yeni çatlak oluşmuş ve 11 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 1 numaralı çatlak dallanmıştır. 6 ve 11 numaralı çatlaklar birleşmiştir. 13 numaralı çatlak dallanmıştır. 12 numaralı ana kesme çatlağı genişlemiş, uzamış ve 3 numaralı çatlak ile birleşmiştir.
-5 CP	0.01/7.01		-7.02 mm deplasmanda, -2942 kg yük uygulanmıştır. 8 numaralı çatlak dallanmıştır. 9 ve 15 numaralı çatlaklar birleşmiştir. 4 numaralı çatlak genişlemiştir.
+6 CP	0.02/14.02	17	14.02 mm deplasmanda, 4900 kg yük uygulanmıştır. 17 numaralı yeni kesme çatlağı oluşmuş ve 12 ile 14 numaralı çatlaklar ile birleşmiştir. 12 numaralı çatlak genişlemiştir. 11 numaralı çatlak genişlemiş ve temele kadar uzamıştır. 1 numaralı çatlak genişlemiştir.

-6 CP	0.02/14.02	18	-14.02 mm deplasmanda, -4520 kg yük uygulanmıştır. 15 numaralı kesme çatlak genişlemiştir. 3 numaralı çatlak dallanmıştır. 8 numaralı çatlak genişlemiş ve 1 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 3 numaralı çatlak, 8 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 9 ve 3 numaralı çatlaklar birleşmiştir. Yükleme noktasından başlayan 18 numaralı yeni çatlak oluşmuştur.
+6 CP	0.02/14.02		14.00 mm deplasmanda, 4200 kg yük uygulanmıştır. 17 numaralı çatlak dallanarak uzamıştır. 13 numaralı çatlak dallanarak 6 ve 11 numaralı çatlaklar ile birleşmiştir. 13 numaralı çatlak uzamıştır.
-6 CP	0.02/14.02		-14.03 mm deplasmanda, -3980 kg yük uygulanmıştır. 5 numaralı çatlak temele doğru dallanmıştır. 8 numaralı çatlak dallanmıştır. 18 numaralı çatlak dallanmıştır. 3 numaralı çatlak dallanmıştır. 15 numaralı çatlak genişlemiştir. 4 numaralı çatlak genişlemiştir (kiriş-temel birleşiminde).
+7 CP	0.03/21.03		21.03 mm deplasmanda, 5385 kg yük uygulanmıştır. 17 numaralı çatlak kirişin sağ ucuna doğru uzamıştır. 17 numaralı çatlak genişlemiştir. 16 ve 7 numaralı çatlaklar ile birleşmiştir. 13 ve 6 numaralı çatlaklar birleşmiştir. 10 ve 14 numaralı çatlaklar birleşmiştir. 7 numaralı çatlak dallanmıştır.
-7 CP	0.03/21.03		-21.04 mm deplasmanda, -4970 kg yük uygulanmıştır. Kirişin sol ucu ezilmeye başlamıştır. 15 numaralı çatlak temele doğru uzamıştır. Kabuk betondan atmalar başlamıştır.
+7 CP	0.03/21.03		21.00 mm deplasmanda, 4016 kg yük uygulanmıştır. 17 numaralı kesme çatlak genişlemiştir. 10 numaralı çatlak dallanmıştır.
-7 CP	0.03/21.03		-21.01 mm deplasmanda, -4450 kg yük uygulanmıştır. Mevcut çatlaklarda genişlemeler olmuştur.
+8 CP	0.04/28.04		28.05 mm deplasmanda, 4570 kg yük uygulanmıştır. Çatlaklarda ciddi genişlemeler oluşmuştur.
-8 CP	0.04/28.04		-28.05 mm deplasmanda, -4346 kg yük uygulanmıştır. Orta bölgede kesme oluşmamıştır. Kirişin sol ucunda ezilme meydana gelmiştir. Kabuk beton atmaya çalışmıştır.
+8 CP	0.04/28.04		28.03 mm deplasmanda, 3460 kg yük uygulanmıştır. Kabuk betondaki genişlemeler artmıştır.
-8 CP	0.04/28.04		-28.04 mm deplasmanda, -3511 kg yük uygulanmıştır. Kabuk betondaki genişlemeler artmıştır. Temel kısmen sıkıştırılmıştır.

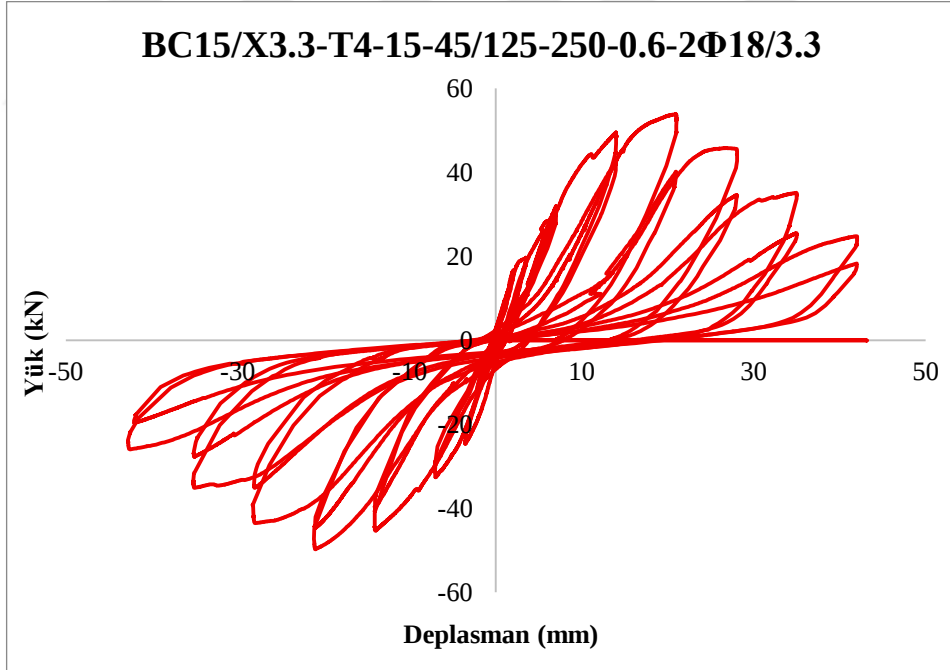
+9 CP	0.05/35,05		35.03 mm deplasmanda, 3490 kg yük uygulanmıştır. Kabuk betondaki genişlemeler artmıştır.
-9 CP	0.05/35,05		-35.10 mm deplasmanda, -3510 kg yük uygulanmıştır. Kabuk betondaki genişlemeler artmıştır.
+9 CP	0.05/35,05		35.02 mm deplasmanda, 2580 kg yük uygulanmıştır. Kabuk beton iyice hasar almıştır. İleri hasarlar artmıştır.
-9 CP	0.05/35,05		-35.05 mm deplasmanda, -2760 kg yük uygulanmıştır. Kabuk beton genişlemeleri artmaya devam etmiştir.
+10 CP	0.06/42,06		42.05 mm deplasmanda, 2445 kg yük uygulanmıştır. Sağ ve sol kabuk betonda 3 cm'e yakın genişleme olmuştur. Kabuk beton dökülmek üzeredir.
-10 CP	0.06/42,06		-42.76 mm deplasmanda, -2440 kg yük uygulanmıştır. Mevcut çatlaklarda genişlemeler vardır.
+10 CP	0.06/42,06		42.02 mm deplasmanda, 1802 kg yük uygulanmıştır. Kabuk beton sağ ve soldan tamamen dökülmüştür.
-10 CP	0.06/42,06		-42.06 mm deplasmanda, -1954 kg yük uygulanmıştır. Deney sonlanmıştır.



Şekil 4.37. BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø18/3.3 numunesi deney öncesi ve sonrası görünümü

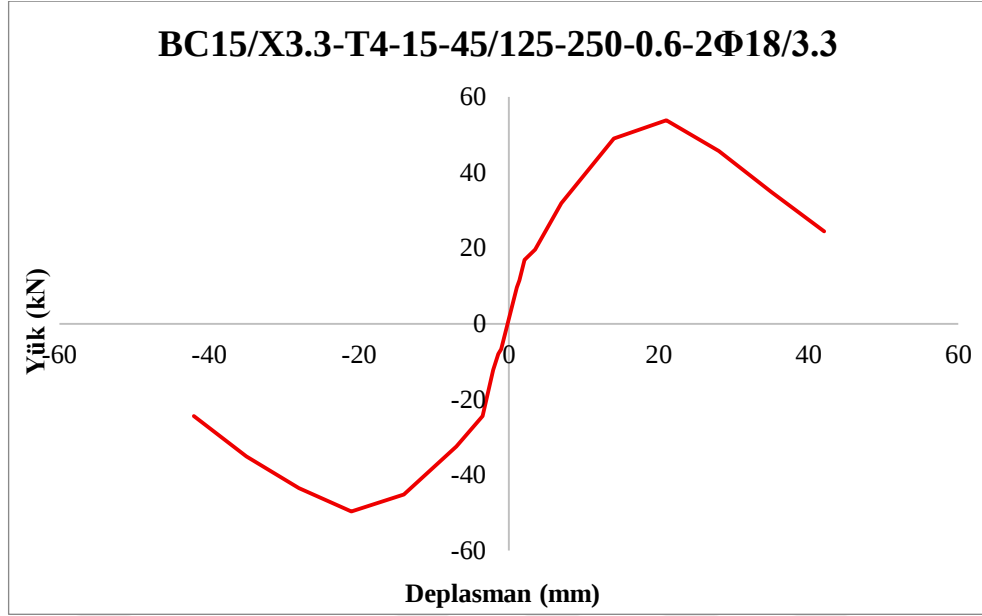


Şekil 4.38. BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø18/3.3 numunesi deney sonu görünümü



Şekil 4.39. BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø18/3.3 numunesine ait yük-deplasman grafiği

Deney numunelerin histerezis eğrisindeki her yüklemedeki maksimum yük noktalarının birleştirilmesi ile elde edilen zarf eğrisi Şekil 4.38’de verilmiştir.



Şekil 4.40. BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø18/3.3 numunesi zarf eğrisi

Deney numunelerin histerezis eğrisindeki her yüklemdeki maksimum yük noktalarının birleştirilmesi ile elde edilen zarf eğrisi verilmiştir.

Deney sonuçları Çizelge 4.26 ve Çizelge 4.27’de özetlenmiştir.

Çizelge 4.26. BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø18/3.3 numunesi deplasman, süneklik ve rijitlik değerleri

Deney No	Grup	$+\delta_y$	$-\delta_y$	$+\delta_{max}$	$-\delta_{max}$	$+\delta_u$	$-\delta_u$	$+\mu$	$-\mu$	$+\delta_y$	$-\delta_y$	$+\delta_{max}$	$-\delta_{max}$
BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø18/3.3	2	12,70	12,39	21,03	21,03	27,98	29,06	2,20	2,35	3,61	3,41	2,56	2,36

Çizelge 4.27. BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø18/3.3 numunesi maksimum yük ve enerji tüketme kapasite değerleri

Deney No	Grup	$+P_y$	$-P_y$	$+P_{max}$	$-P_{max}$	$+E_y$	$-E_y$	$+E_{pmaks}$	$-E_{pmaks}$	$+E_t$	$-E_t$
BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø18/3.3	2	45,77	42,25	53,85	49,70	0,365	0,347	0,779	0,743	1,618	1,553

4.1.4. 3. Grup Numuneler

4.1.4.1. BC5/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/3.3 Numunesi

3. grupta test edilen olarak BC5/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/3.3 adlandırılan ilk numune referans numunedir. Deney sırasında Çevrim numarası (Ç.n), meydana gelen deplasman, çatlaklar, hasarlar ve deney elemanında gözlemlenen durumlar Çizelge 4.28’de verilmiştir. Şekil 4.41, yükleme başlamadan önce numunenin ilk ve son

durumunu göstermektedir. Deney protokolüne uygun olarak, her çevrim iki kez tekrarlanmıştır. Deney, kesme çatlaklarının artmasıyla ve betonun kabuktan ayrılmasıyla sonlandırılmıştır. Bu deney numunesine ait yük-deplasman grafiği Şekil 4.43'te verilmiştir.

Çizelge 4.28. BC5/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/3.3 numunesinde gözlemlenen durumlar

Ç.n	Görelî ötelenme oranı/deplasman %/(mm)	Çatlak no	Açıklama
+1 IO	0.0015/1.0515	1-2-3	1.20 mm deplasmanda, 623.91 kg yük uygulanmıştır. 1 numaralı çatlak temelden 42 cm yukarıda oluşmuştur. 2 numaralı çatlak temelden 27 cm yukarıda oluşmuştur. 3 numaralı çatlak temelden 9 cm yukarıda oluşmuştur..
-1 IO	0.0015/1.0515	4-5	-1.05 mm deplasmanda, -342 kg yük uygulanmıştır. 4 numaralı çatlak temelden 37 cm yukarıda oluşmuştur. 5 numaralı çatlak temelden 52 cm yukarıda oluşmuştur.
+1 IO	0.0015/1.0515	6-7-8	1.05 mm deplasmanda, 575 kg yük uygulanmıştır. Kiriş temel birleşim bölgesinde 6 numaralı yeni çatlak oluşmuştur. 2 numaralı çatlak yükün uygulandığı noktaya doğru uzamıştır. 7 numaralı çatlak temelden 70 cm yukarıda oluşmuştur. 8 numaralı çatlak temelden 38 cm yukarıda oluşmuştur.
-1 IO	0.0015/1.0515		-1.03 mm deplasmanda, -294 kg yük uygulanmıştır. Herhangi bir çatlak oluşmamıştır.
+2 LS	0.0020/1.402	9	1.40 mm deplasmanda, 759 kg yük uygulanmıştır. 1 numaralı çatlak uzamıştır. 9 numaralı yeni çatlak temelden 52 cm yukarıda oluşmuştur.
-2 LS	0.0020/1.402		-1.43 mm deplasmanda, -444 kg yük uygulanmıştır. Herhangi bir çatlak oluşmamıştır.
+2 LS	0.0020/1.402		1.40 mm deplasmanda, 761 kg yük uygulanmıştır. 6 numaralı çatlak kiriş temel birleşimine doğru uzamıştır. 2 numaralı çatlak uzamıştır.
-2 LS	0.0020/1.402		-1.41 mm deplasmanda, -405 kg yük uygulanmıştır. Herhangi bir çatlak oluşmamıştır.
+3 CP	0.0030/2.103		2.28 mm deplasmanda, 1088 kg yük uygulanmıştır. 1 numaralı çatlak uzamıştır. 6 numaralı çatlak uzamıştır.
-3 CP	0.0030/2.103		-2.27 mm deplasmanda, 800 kg yük uygulanmıştır. Herhangi bir çatlak oluşmamıştır.
+3 CP	0.0030/2.103	10-11	2.06 mm deplasmanda, 988 kg yük uygulanmıştır. 9 numaralı çatlak uzamıştır. 6 numaralı çatlak uzamıştır.

			1 numaralı çatlak uzamıştır. 10 numaralı yeni çatlak oluşmuştur. 11 numaralı yeni çatlak oluşmuştur.
-3 CP	0.0030/2.103	12	-2.10 mm deplasmanda, 661 kg yük uygulanmıştır. 4 numaralı çatlak uzamıştır. Kiriş temel birleşiminde 12 numaralı yeni çatlak oluşmuştur.
+4 CP	0.0050/3.505	13	3.48 mm deplasmanda, 1487 kg yük uygulanmıştır. 3 numaralı çatlak dallanmıştır. 13 numaralı yeni çatlak oluşmuştur. 11 numaralı çatlak uzamıştır. 6 numaralı çatlakta genişleme başlamıştır.
-4 CP	0.0050/3.505	14-15-16-17	-3.58 mm deplasmanda, -1223 kg yük uygulanmıştır. 14 numaralı yeni çatlak oluşmuş ve 1 numaralı çatlağı kesmiştir. 15 numaralı yeni çatlak oluşmuştur. 16 numaralı yeni çatlak oluşmuştur. 17 numaralı yeni çatlak oluşmuştur.
+4 CP	0.0050/3.505	18	3.52 mm deplasmanda, 1438 kg yük uygulanmıştır. 18 numaralı yeni çatlak oluşmuş ve 9 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 1 numaralı çatlak dallanmıştır.
-4 CP	0.0050/3.505		-3.55 mm deplasmanda, -1100 kg yük uygulanmıştır. 16 numaralı çatlak dallanmış ve uzamış, 2 numaralı çatlak ile kesişmiştir. 14 numaralı çatlak dallanmış ve uzamıştır.
+5 CP	0.01/7.01		6.99 mm deplasmanda, 1973 kg yük uygulanmıştır. 2 numaralı çatlak uzamış ve 15 numaralı ile birleşmiştir. 1 numaralı çatlak uzamıştır. 9 numaralı çatlak genişlemiş ve uzamıştır. 18 numaralı çatlak genişlemiş ve uzamıştır. 8 numaralı çatlak dallanmıştır. 3 numaralı çatlak uzamıştır. 9 ve 1 numaralı çatlak birleşmiştir. Kiriş temel birleşimindeki 6 numaralı çatlak genişlemiştir.
-5 CP	0.01/7.01	18	-7.22 mm deplasmanda, -1811 kg yük uygulanmıştır. 14 numaralı çatlak genişlemiş ve yükleme noktasına doğru dallanmıştır. 15 ve 16 numaralı çatlaklar uzamıştır. 18 numaralı yeni çatlak oluşmuştur. 14 numaralı çatlak genişlemiştir. 12 numaralı çatlak uzamıştır.
+5 CP	0.01/7.01		7.05 mm deplasmanda, 1858 kg yük uygulanmıştır. 2 numaralı çatlak dallanmıştır. 13 numaralı çatlak dallanmıştır.
-5 CP	0.01/7.01		-6.99 mm deplasmanda, -1583 kg yük uygulanmıştır. 15 numaralı çatlak dallanmıştır. 18 numaralı çatlak dallanarak uzamıştır. 5 numaralı çatlak dallanmıştır. 14 numaralı çatlak genişlemiştir.
+6	0.02/14.02		14.03 mm deplasmanda, 2460 kg yük uygulanmıştır. 11 numaralı çatlak dallanmıştır.

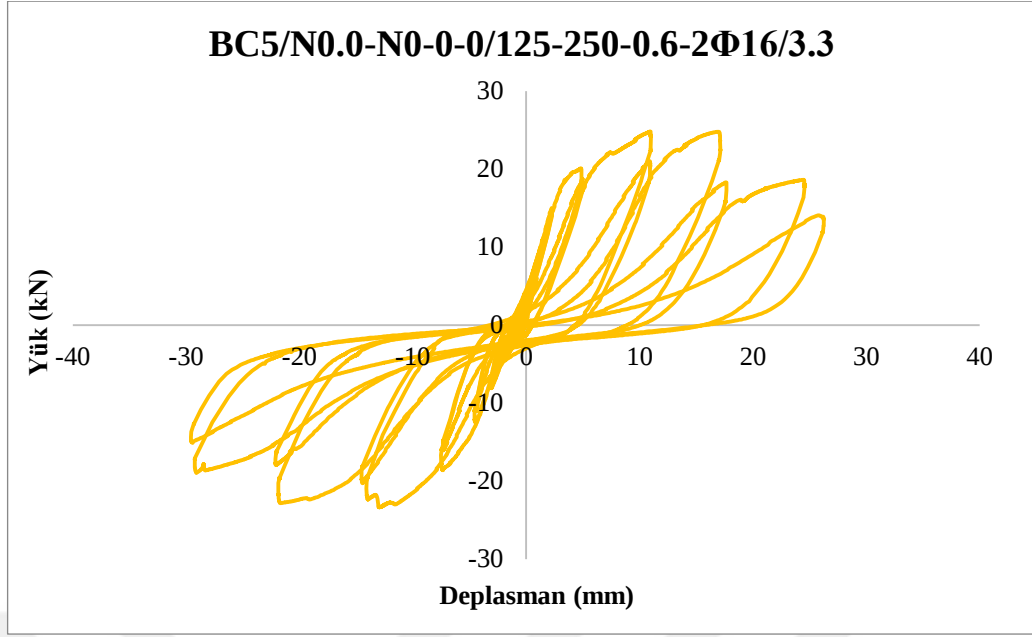
CP			1, 18 ve 2 numaralı çatlak genişlemiştir. 11 numaralı çatlak dallanmıştır. 6 numaralı çatlak genişlemiştir.
-6 CP	0.02/14.0	19	-14.02 mm deplasmanda, -2211 kg yük uygulanmıştır. 5 numaralı çatlak uzamış ve genişlemiştir. 19 numaralı yeni çatlak oluşmuştur. 18 numaralı çatlak uzamıştır. 16 numaralı çatlak temele kadar uzamıştır. 14 numaralı çatlak 1 cm'ye yakın genişlemiştir. 12 numaralı çatlak genişlemiştir.
+6 CP	0.02/14.02		14.02 mm deplasmanda, 2065 kg yük uygulanmıştır. 11 ve 2 numaralı çatlaklar uzamıştır. 18 numaralı çatlak dallanarak 14 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 14 numaralı çatlak dallanmış ve 5 numaralı çatlak ile birleşmiştir.
-6 CP	0.02/14.02		-14.22 mm deplasmanda, -1985 kg yük uygulanmıştır. 5 numaralı çatlak ve 18 numaralı çatlak uzamıştır. Çatlaklarda genişleme oluşmuştur.
+7 CP	0.03/21.03		21.06 mm deplasmanda, 2410 kg yük uygulanmıştır. 18 numaralı çatlak dallanmış ve genişlemiştir. 11 numaralı çatlak genişlemiştir.
-7 CP	0.03/21.03		-21.16 mm deplasmanda, -2230 kg yük uygulanmıştır. 14 numaralı ve 5 numaralı çatlak genişlemiştir. Çatlaklarda dallanma oluşmuştur.
+7 CP	0.03/21.03		21.06 mm deplasmanda, 1790 kg yük uygulanmıştır. Çatlaklarda genişlemeler devam etmiştir. İleri hasarlar oluşmuştur.
-7 CP	0.03/21.03		-21.01 mm deplasmanda, -1790 kg yük uygulanmıştır. Çatlaklarda genişlemeler devam etmiştir.
+8 CP	0.04/28.04		28.04 mm deplasmanda, 1845 kg yük uygulanmıştır. Çatlaklarda genişlemeler devam etmiştir.
-8 CP	0.04/28.04		-28.13 mm deplasmanda, -1868 kg yük uygulanmıştır. Kabuk beton kısmında dökülmeler oluşmuştur.
+8 CP	0.04/28.04		29.28 mm deplasmanda, 1345 kg yük uygulanmıştır. Kabuk beton dökülmeye başlamıştır.
-8 CP	0.04/28.04		-28.08 mm deplasmanda, -1470 kg yük uygulanmıştır. Bu aşamada kabuk beton dökülmüştür. Deney sonuçlanmıştır.



Şekil 4.41. BC5/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/3.3 numunesi deney öncesi ve sonrası görünümü

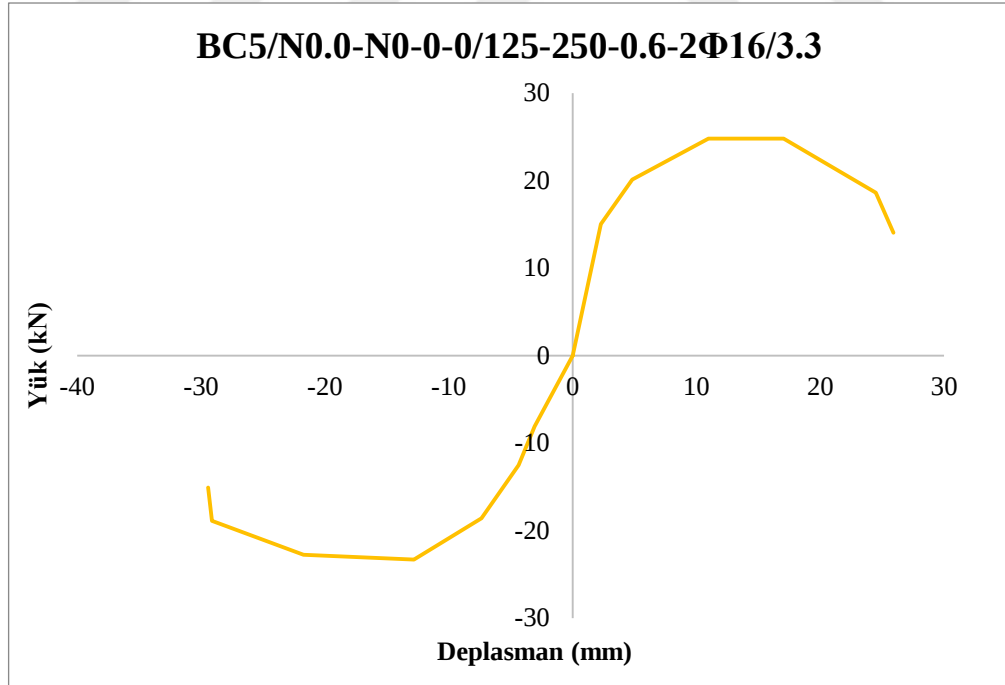


Şekil 4.42. BC5/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/3.3 numunesi deney sonu görünümü



Şekil 4.43. BC5/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/3.3 numunesine ait yük-deplasman grafiği

Deney numunelerin histerezis eğrisindeki her yüklemdeki maksimum yük noktalarının birleştirilmesi ile elde edilen zarf eğrisi Şekil 4.44'te verilmiştir.



Şekil 4.44. BC5/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/3.3 numunesi zarf eğrisi

Deney sonuçları Çizelge 4.29 ve Çizelge 4.30'da özetlenmiştir.

Çizelge 4.29. BC5/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/3.3 numunesi deplasman, süneklik ve rijitlik değerleri

Deney No	Grup	$+\delta_y$	$-\delta_y$	$+\delta_{max}$	$-\delta_{max}$	$+\delta_u$	$-\delta_u$	$+\mu$	$-\mu$	$+S_y$	$-S_y$	$+S_{max}$	$-S_{max}$
BC5/N0.0-N0-0-0/ 125-250-0.6-2Ø16/3.3	3	6,11	8,75	10,97	12,82	21,52	27,39	3,52	3,13	3,45	2,26	2,26	1,82

Çizelge 4.30. BC5/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/3.3 numunesi maksimum yük ve enerji tüketme kapasite değerleri

Deney No	Grup	$+P_y$	$-P_y$	$+P_{max}$	$-P_{max}$	$+E_y$	$-E_y$	$+E_{pmaks}$	$-E_{pmaks}$	$+E_t$	$-E_t$
BC5/N0.0-N0-0-0/ 125-250-0.6-2Ø16/3.3	3	21,09	19,81	24,81	23,31	0,448	0,102	0,200	0,187	0,536	0,552

4.1.4.2. BC5/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3 Numunesi

3. grupta test edilen ve BC5/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3 olarak adlandırılan 4 mm çaplı MÇD ile ilk güçlendirilen numunedir. Deney sırasında Çevrim numarası (Ç.n), meydana gelen deplasman, çatlaklar, hasarlar ve deney elemanında gözlemlenen durumlar Çizelge 4.31’de verilmiştir. Şekil 4.45, yükleme başlamadan önce numunenin ilk ve son durumunu göstermektedir. Deney protokolüne uygun olarak, her çevrim iki kez tekrarlanmıştır. Deney, kesme çatlaklarının artmasıyla ve betonun kabuktan ayrılmasıyla sonlandırılmıştır. Bu deney numunesine ait yük-deplasman grafiği Şekil 4.47’de verilmiştir.

Çizelge 4.31. BC5/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3 numunesinde gözlemlenen durumlar

Ç.n	Görelî ötelenme oranı/deplasman %/(mm)	Çatlak no	Açıklama
+1 IO	0.0015/1.0515	1	1.07 mm deplasmanda, 693 kg yük uygulanmıştır. 1 numaralı yeni çatlak temelden 13 cm yükseklikte oluşmuştur.
-1 IO	0.0015/1.0515	2-3-4	-1.06 mm deplasmanda, -730 kg yük uygulanmıştır. 2 numaralı çatlak kiriş temel birleşiminde oluşmuştur. 3 numaralı yeni çatlak temelden 17 cm yükseklikte oluşmuştur. 4 numaralı yeni çatlak temelden 5 cm yükseklikte oluşmuştur.
+1 IO	0.0015/1.0515	5	1.06 mm deplasmanda, 730 kg yük uygulanmıştır. 1 numaralı çatlak mekanik dikişe doğru uzamıştır. 5 numaralı çatlak kiriş temel birleşiminde oluşmuştur.
-1 IO	0.0015/1.0515		-1.06 mm deplasmanda, -660 kg yük uygulanmıştır. Herhangi bir çatlak oluşmamıştır.
+2 LS	0.0020/1.402	6	1.41 mm deplasmanda, 897 kg yük uygulanmıştır. 6 numaralı yeni çatlak temelden 45 cm yükseklikte oluşmuştur. 1 numaralı çatlak uzamıştır.
-2 LS	0.0020/1.402	7	-1.42 mm deplasmanda, -870 kg yük uygulanmıştır. 7 numaralı yeni çatlak temelden 50 cm yükseklikte oluşmuştur.

+2 LS	0.0020/1.402		1.37 mm deplasmanda, 863 kg yük uygulanmıştır. 6 numaralı çatlak aşağıya doğru uzamıştır.
-2 LS	0.0020/1.402		-1.41 mm deplasmanda, -807 kg yük uygulanmıştır. 2, 3 ve 4 numaralı çatlaklar uzamıştır.
+3 CP	0.0030/2.103	8-9	2.10 mm deplasmanda, 1162 kg yük uygulanmıştır. 6 numaralı çatlakta dallanma oluşmuştur. 1 numaralı çatlak uzamıştır. 8 numaralı yeni çatlak oluşmuştur. 9 numaralı yeni çatlak oluşmuştur.
-3 CP	0.0030/2.103	10	-2.18 mm deplasmanda, -1189 kg yük uygulanmıştır. 2 numaralı çatlak uzamıştır. 7 numaralı çatlak uzamıştır. 10 numaralı yeni çatlak oluşmuştur.
+3 CP	0.0030/2.103		2.10 mm deplasmanda, 1122 kg yük uygulanmıştır. 1 numaralı çatlak dallanmıştır. 5 numaralı çatlak uzamıştır.
-3 CP	0.0030/2.103		-2.16 mm deplasmanda, -1083 kg yük uygulanmıştır. 10 numaralı çatlak uzamıştır.
+4 CP	0.0050/3.505		3.51 mm deplasmanda, 1608 kg yük uygulanmıştır. 1 numaralı çatlak uzamıştır. 8 numaralı çatlak uzamıştır. 6 numaralı çatlak uzamış ve 7 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 5 numaralı çatlak uzamış ve 2 numaralı çatlak ile birleşmiştir.
-4 CP	0.0050/3.505	11	-3.59 mm deplasmanda, -1542 kg yük uygulanmıştır. 11 numaralı yeni çatlak oluşmuştur. 3 numaralı çatlak uzamıştır. 10 numaralı çatlak uzamıştır.
+4 CP	0.0050/3.505		3.48 mm deplasmanda, 1616 kg yük uygulanmıştır. 1 numaralı çatlak dallanmıştır. 6 numaralı çatlak dallanmıştır.
-4 CP	0.0050/3.505		-3.55 mm deplasmanda, -1340 kg yük uygulanmıştır. 2 numaralı çatlak genişlemiştir. 11 numaralı çatlak uzamıştır.
+5 CP	0.01/7.01		7.06 mm deplasmanda, 2130 kg yük uygulanmıştır. 1 numaralı çatlak uzamıştır. 6 numaralı çatlak dallanmıştır. 8 numaralı çatlak uzamıştır. 9 numaralı çatlak uzamıştır.
-5 CP	0.01/7.01		7.05 mm deplasmanda, 2042 kg yük uygulanmıştır. 3 numaralı çatlak dallanarak uzamıştır. 2 numaralı çatlakta genişlemeler devam etmektedir.
+5 CP	0.01/7.01		7.09 mm deplasmanda, 2130 kg yük uygulanmıştır. 1 numaralı çatlak dallanmış ve genişlemiştir. 6 numaralı çatlak dallanmış ve genişlemiştir.
-5 CP	0.01/7.01		-7.05 mm deplasmanda, -1810 kg yük uygulanmıştır. 4 numaralı çatlak genişlemiştir. 11 numaralı çatlaklar uzamış ve 1 numaralı çatlak ile kesişmiştir.

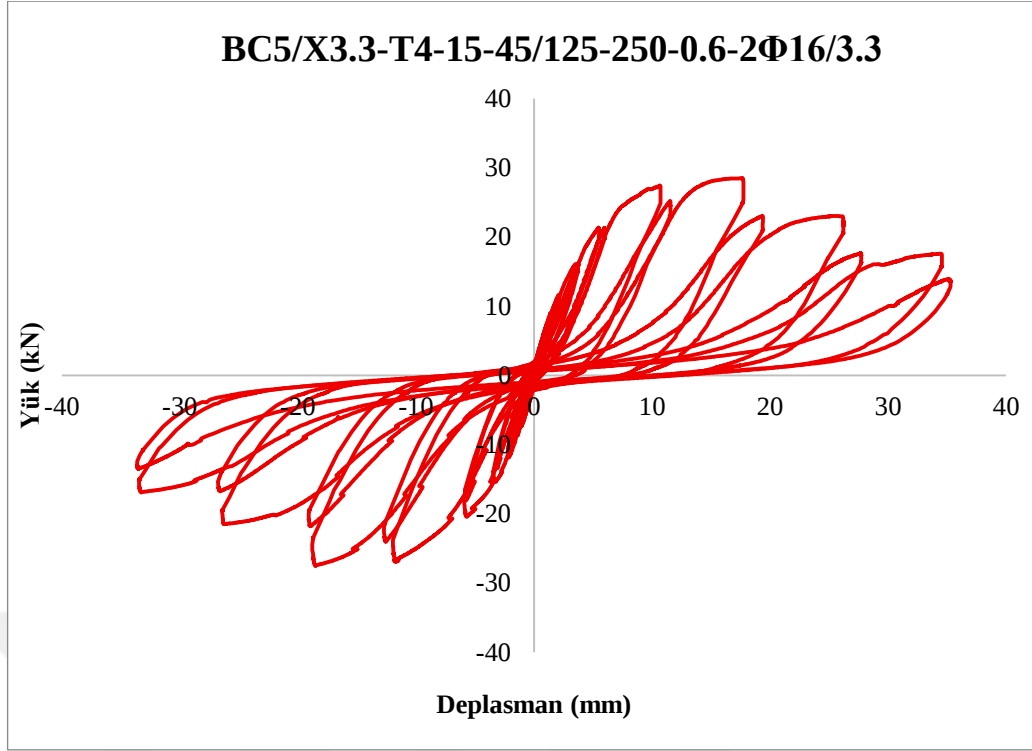
+6 CP	0.02/14.02		14.36 mm deplasmanda, 2750 kg yük uygulanmıştır. 6 numaralı çatlak genişleyerek uzamıştır. 8 numaralı çatlaklar dallanarak uzamış ve 6 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 1 ve 5 numaralı çatlak genişlemiştir.
-6 CP	0.02/14.02		-14.05 mm deplasmanda, -2686 kg yük uygulanmıştır. 7 numaralı çatlak genişlemiş ve dallanarak uzamıştır. 3 numaralı çatlak genişlemiş ve uzamıştır. 2 numaralı çatlak genişlemiştir.
+6 CP	0.02/14.02		14.08 mm deplasmanda, 2515 kg yük uygulanmıştır. 6 numaralı çatlak uzamıştır. Mevcut çatlaklarda genişlemeler görülmektedir.
-6 CP	0.02/14.02	12	-14.10 mm deplasmanda, -2402 kg yük uygulanmıştır. 4 numaralı çatlak dallanmış ve genişlemiştir. 10 numaralı çatlak dallanmış ve genişlemiştir. 2 numaralı çatlak genişlemiştir. 12 numaralı yeni çatlak oluşmuştur.
+7 CP	0.03/21.03		21.01 mm deplasmanda, 2848 kg yük uygulanmıştır. 9 numaralı çatlak uzayarak temele kadar gelmiştir. 6 numaralı çatlaklar genişlemiştir. Temeldeki çatlaklar genişlemiştir.
-7 CP	0.03/21.03		-21.10 mm deplasmanda, -2755 kg yük uygulanmıştır. Kabuk betonda atmalar başlamıştır. Çatlaklarda genişlemeler artmıştır.
+7 CP	0.03/21.03		21.25 mm deplasmanda, 2290 kg yük uygulanmıştır. Çatlaklar dallanarak uzamakta ve genişlemektedir. Kabuk beton hasar almaya devam etmektedir.
-7 CP	0.03/21.03		-21.00 mm deplasmanda, -2179 kg yük uygulanmıştır. Kabuk beton muhtemelen diğer döngüde atacaktır.
+8 CP	0.04/28.04		28.13 mm deplasmanda, 2300 kg yük uygulanmıştır. Mevcut çatlaklarda genişlemeler vardır.
-8 CP	0.04/28.04		-28.05 mm deplasmanda, -2140 kg yük uygulanmıştır. Mevcut çatlaklarda genişlemeler vardır.
+8 CP	0.04/28.04		28.10 mm deplasmanda, 1765 kg yük uygulanmıştır. Mevcut çatlaklarda genişlemeler vardır.
-8 CP	0.04/28.04		-28.06 mm deplasmanda, -1670 kg yük uygulanmıştır. Mevcut çatlaklarda genişlemeler vardır.
+9 CP	0.05/35,05		35.00 mm deplasmanda, 1731 kg yük uygulanmıştır. Mevcut çatlaklarda genişlemeler vardır.
-9 CP	0.05/35,05		-35.20 mm deplasmanda, -1688 kg yük uygulanmıştır. Mevcut çatlaklarda genişlemeler vardır.
+9 CP	0.05/35,05		35.07 mm deplasmanda, 1395 kg yük uygulanmıştır. Mevcut çatlaklarda genişlemeler vardır.
-9 CP	0.05/35,05		-35.05 mm deplasmanda, -1347 kg yük uygulanmıştır. Deney sonlanmıştır.



Şekil 4.45. BC5/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3 numunesi deney öncesi ve sonrası görünümü

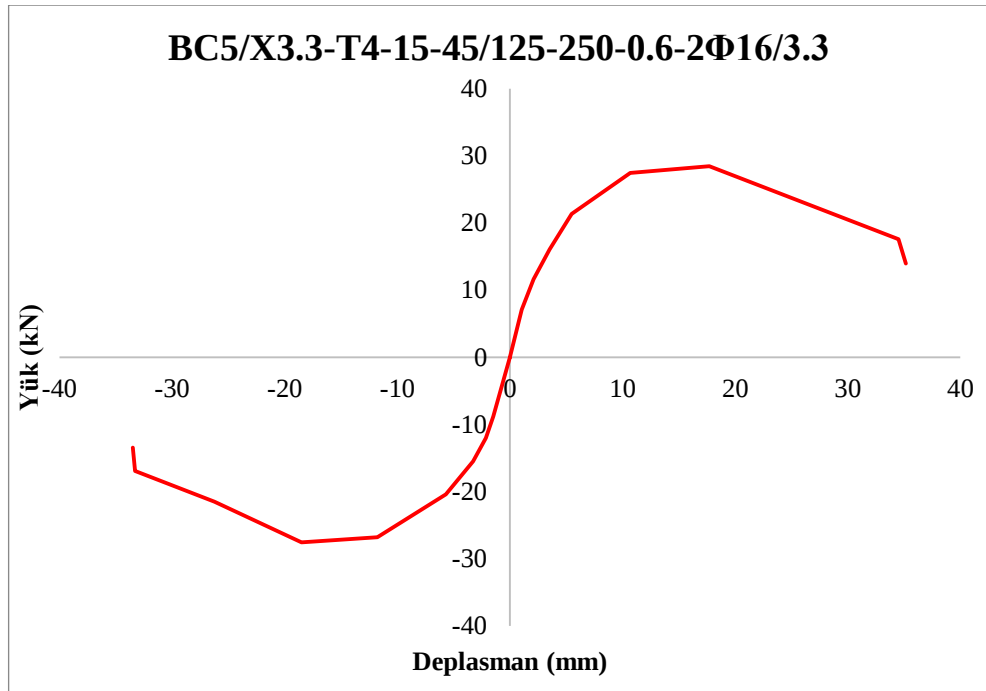


Şekil 4.46. BC5/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3 numunesi deney sonu görünümü



Şekil 4.47. BC5/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3 numunesine ait yük-deplasman grafiği

Deney numunelerin histerezis eğrisindeki her yüklemdeki maksimum yük noktalarının birleştirilmesi ile elde edilen zarf eğrisi Şekil 4.48’de verilmiştir.



Şekil 4.48. BC5/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3 numunesi zarf eğrisi

Deney sonuçları Çizelge 4.32 ve Çizelge 4.33’te özetlenmiştir.

Çizelge 4.32. BC5/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3 numunesi deplasman, süneklik ve rijitlik değerleri

Deney No	Grup	$+\delta_y$	$-\delta_y$	$+\delta_{max}$	$-\delta_{max}$	$+\delta_u$	$-\delta_u$	$+\mu$	$-\mu$	$+S_y$	$-S_y$	$+S_{max}$	$-S_{max}$
BC5/X3.3-T4-15-45/ 125-250-0.6-2Ø16/3.3	3	7,91	8,55	17,70	18,52	24,28	23,82	3,07	2,79	3,06	2,74	1,61	1,49

Çizelge 4.33. BC5/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3 numunesi maksimum yük ve enerji tüketme kapasite değerleri

Deney No	Grup	$+P_y$	$-P_y$	$+P_{max}$	$-P_{max}$	$+E_y$	$-E_y$	$+E_{pmaks}$	$-E_{pmaks}$	$+E_t$	$-E_t$
BC5/X3.3-T4-15-45/ 125-250-0.6-2Ø16/3.3	3	24,20	23,42	28,47	27,55	0,129	0,140	0,393	0,399	0,790	0,727

4.1.4.3. BC10/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/3.3 Numunesi

3. grupta test edilen BC10/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/3.3 olarak adlandırılan ikinci numune referans numunedir. Deney sırasında Çevrim numarası (Ç.n), meydana gelen deplasman, çatlaklar, hasarlar ve deney elemanında gözlemlenen durumlar Çizelge 4.34'te verilmiştir. Şekil 4.49, yükleme başlamadan önce numunenin ilk ve son durumunu göstermektedir. Deney protokolüne uygun olarak, her çevrim iki kez tekrarlanmıştır. Deney, kesme çatlaklarının artmasıyla ve betonun kabuktan ayrılmasıyla sonlandırılmıştır. Bu deney numunesine ait yük-deplasman grafiği Şekil 4.51'de verilmiştir.

Çizelge 4.34. BC10/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/3.3 numunesinde gözlemlenen durumlar

Ç.n	Görelî ötelenme oranı/deplasman %/(mm)	Çatlak no	Açıklama
+1 IO	0.0015/1.0515		1.14 mm deplasmanda, 534 kg yük uygulanmıştır. Herhangi bir çatlama olmamıştır.
-1 IO	0.0015/1.0515	1	-1.04 mm deplasmanda, -414 kg yük uygulanmıştır. 1 numaralı çatlak kiriş-temel birleşiminde oluşmuştur.
+1 IO	0.0015/1.0515	2-3	1.03 mm deplasmanda, 494 kg yük uygulanmıştır. 2 numaralı yeni çatlak temelden 24 cm yükseklikte oluşmuştur. 3 numaralı yeni çatlak temelden 13 cm yükseklikte oluşmuştur.
-1 IO	0.0015/1.0515		-1.04 mm deplasmanda, -397 kg yük uygulanmıştır. Herhangi bir çatlak oluşmamıştır.
+2 LS	0.0020/1.402	4-5	1.39 mm deplasmanda, 647 kg yük uygulanmıştır. 4 numaralı yeni çatlak oluşmuştur. 5 numaralı yeni çatlak oluşmuştur.
-2 LS	0.0020/1.402		-1.40 mm deplasmanda, -584 kg yük uygulanmıştır. 1 numaralı çatlak uzamıştır.

+2 LS	0.0020/1.402	6	1.42 mm deplasmanda, 662 kg yük uygulanmıştır. 6 numaralı çatlak kiriş-temel birleşiminde oluşmuştur.
-2 LS	0.0020/1.402		-1.39 mm deplasmanda, -553 kg yük uygulanmıştır. 1 numaralı çatlak uzamıştır.
+3 CP	0.0030/2.103	7	2.10 mm deplasmanda, 887 kg yük uygulanmıştır. 4 numaralı çatlakta dallanma oluşmuştur. 7 numaralı yeni çatlak temelden 42 cm yukarıda oluşmuştur.
-3 CP	0.0030/2.103		-2.09 mm deplasmanda, -896 kg yük uygulanmıştır. 1 numaralı çatlak dallanmıştır.
+3 CP	0.0030/2.103		2.09 mm deplasmanda, 880 kg yük uygulanmıştır. 5 numaralı çatlak dallanmıştır. 6 numaralı çatlak uzamıştır.
-3 CP	0.0030/2.103		-2.09 mm deplasmanda, -830 kg yük uygulanmıştır. Bu aşamada herhangi bir çatlak oluşmamıştır.
+4 CP	0.0050/3.505		3.47 mm deplasmanda, 1213 kg yük uygulanmıştır. 5 numaralı çatlak uzamıştır. 4 numaralı çatlak uzamıştır. 3 numaralı çatlak uzamıştır.
-4 CP	0.0050/3.505	8-9	-3.50 mm deplasmanda, -1249 kg yük uygulanmıştır. 8 numaralı yeni çatlak oluşmuştur. 9 numaralı yeni çatlak oluşmuştur. 1 numaralı çatlak uzamıştır.
+4 CP	0.0050/3.505		3.48 mm deplasmanda, 1300 kg yük uygulanmıştır. 7 numaralı çatlak 5 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 1 numaralı çatlak dallanmıştır.
-4 CP	0.0050/3.505		-3.50 mm deplasmanda, -1102 kg yük uygulanmıştır. 8 numaralı çatlak uzamıştır.
+5 CP	0.01/7.01		7.02 mm deplasmanda, 1908 kg yük uygulanmıştır. 3 numaralı çatlak uzamıştır. 4 numaralı çatlak dallanmış ve uzamıştır. 2 numaralı çatlak uzamıştır. 5 numaralı çatlak uzamıştır.
-5 CP	0.01/7.01	10	-6.97 mm deplasmanda, -1858 kg yük uygulanmıştır. 10 numaralı yeni çatlak oluşmuştur. 8 numaralı çatlak uzamıştır. 1 numaralı çatlak uzamıştır.
+5 CP	0.01/7.01	11	7.01 mm deplasmanda, 2008 kg yük uygulanmıştır. 7 numaralı çatlak uzamıştır. 4 ve 5 numaralı çatlaklarda genişleme başlamıştır. 11 numaralı yeni çatlak oluşmuştur. 6 numaralı çatlak uzamıştır.

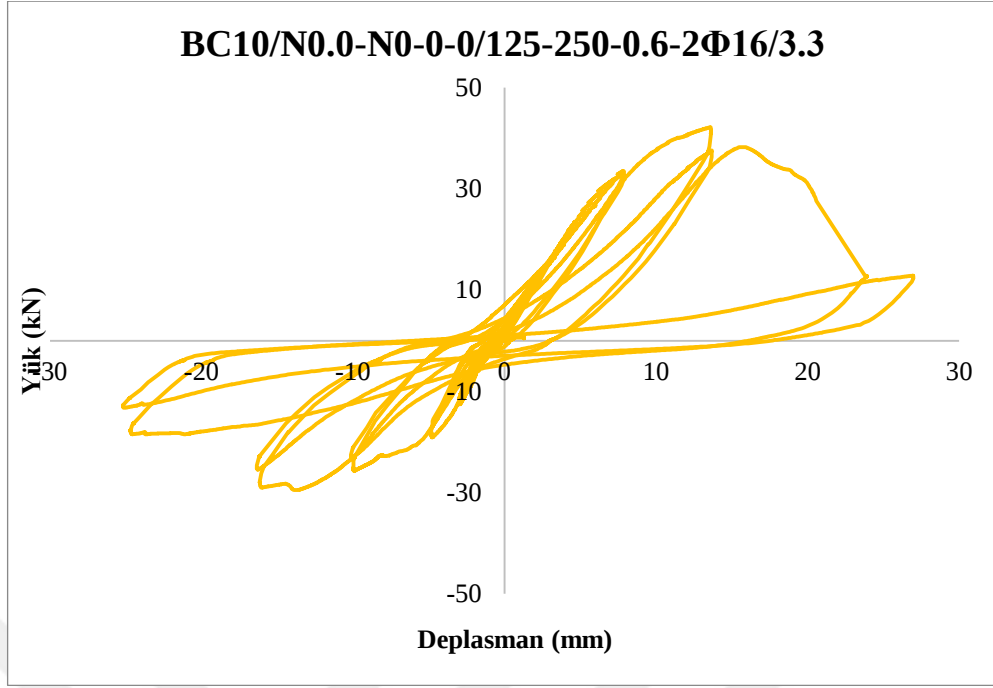
-5 CP	0.01/7.01		-7.04 mm deplasmanda, -1686 kg yük uygulanmıştır. 8 numaralı çatlak yatay yönde uzamıştır. 1 ve 8 numaralı çatlaklar genişlemeye başlamıştır.
+6 CP	0.02/14.02	12	14.00 mm deplasmanda, 3350 kg yük uygulanmıştır. 4 numaralı çatlak uzamış ve 8 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 3 ve 11 numaralı çatlaklar uzamıştır. 4 ve 5 numaralı çatlaklar genişlemiştir. 7 numaralı çatlak dallanmıştır. 12 numaralı yeni çatlak yükleme noktasına doğru uzamıştır. 6 numaralı çatlak genişlemiştir.
-6 CP	0.02/14.02	13	-14.08 mm deplasmanda, -2578 kg yük uygulanmıştır. 13 numaralı kesme çatlağı oluşmuştur. Ani şekilde en belirgin çatlak oluşmuştur.
+6 CP	0.02/14.02		14.11 mm deplasmanda, 3348 kg yük uygulanmıştır. 11 numaralı çatlak dallanmıştır. 13 numaralı çatlak genişlemiştir. 5 numaralı çatlak uzayarak 4 ve 2 numaralı çatlaklarla birleşmiştir. 6 numaralı çatlak uzamıştır.
-6 CP	0.02/14.02		-14.14 mm deplasmanda, -2330 kg yük uygulanmıştır. 13 numaralı kesme çatlağı genişlemiş ve dallanmıştır. 1, 8, 9 ve 10 numaralı çatlaklar uzamıştır.
+7 CP	0.03/21.03		21.03 mm deplasmanda, 4183 kg yük uygulanmıştır. 3 numaralı çatlak uzamıştır. 4 ve 5 numaralı çatlaklar genişlemiştir. 12 numaralı çatlak dallanmış ve 4 ile 5 numaralı çatlaklarla birleşmiştir.
-7 CP	0.03/21.03		-21.07 mm deplasmanda, -2950 kg yük uygulanmıştır. 13 numaralı kesme çatlağı uzamış ve 1 cm genişlemiştir. 8 numaralı çatlak temele doğru uzamıştır. 9 ve 10 numaralı çatlaklar dallanarak uzamıştır.
+7 CP	0.03/21.03		21.01 mm deplasmanda, 3760 kg yük uygulanmıştır. 14 numaralı yeni çatlak yük bölgesinde oluşmuştur. Mevcut çatlaklarda dallanma ve genişlemeler devam etmiştir.
-7 CP	0.03/21.03		-21.07 mm deplasmanda, -2545 kg yük uygulanmıştır. Mevcut çatlaklar genişlemiş ve dallanmıştır. Özellikle 13 numaralı kesme çatlağı 1 cm'den fazla genişlemiştir.
+8 CP	0.04/28.04		28.03 mm deplasmanda, 3150 kg yük uygulanmıştır. Kabuk beton kırılmıştır.
-8 CP	0.04/28.04		-28.08 mm deplasmanda, -1845 kg yük uygulanmıştır. Kopmalar oluşmuş ve kabuk beton dökülmüştür.
+8 CP	0.04/28.04		28.14 mm deplasmanda, 1275 kg yük uygulanmıştır. Kabuk beton dökülmüştür.
-8 CP	0.04/28.04		-28.14 mm deplasmanda, -1320 kg yük uygulanmıştır. Deney sonuçlanmıştır. Birleşim bölgesinde hasar oluşmamış, kesme hasarı oluşmuştur.



Şekil 4.49. BC10/N0.0-N0.0-0/125-250-0.6-2Ø16/3.3 numunesi deney öncesi ve sonrası görünümü

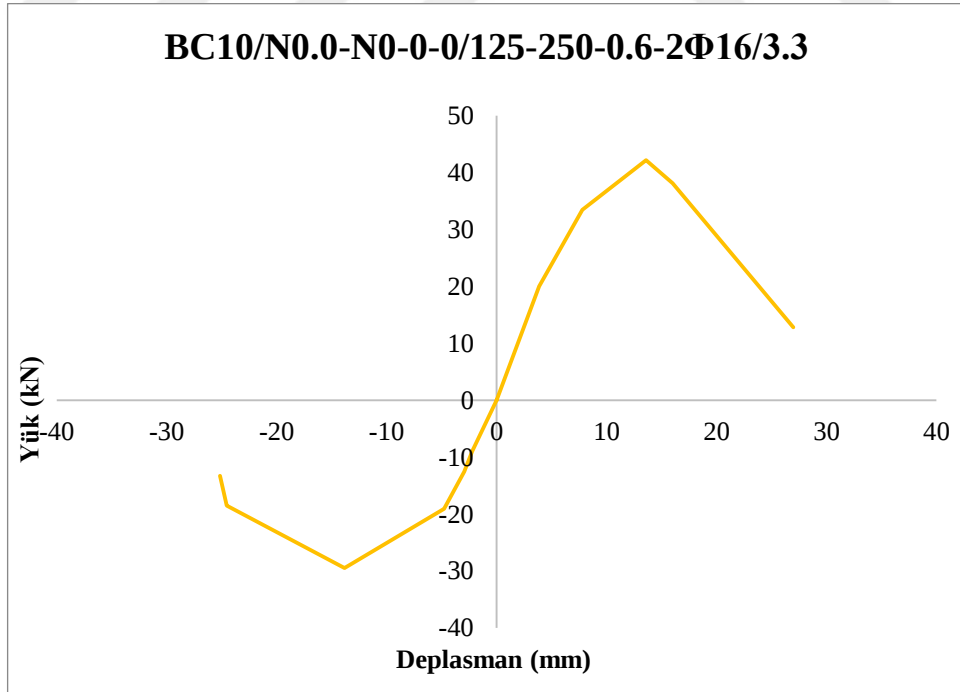


Şekil 4.50. BC10/N0.0-N0.0-0/125-250-0.6-2Ø16/3.3 numunesi deney sonu görünümü



Şekil 4.51. BC10/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/3.3 numunesine ait yük-deplasman grafiği

Deney numunelerin histerezis eğrisindeki her yüklemedeki maksimum yük noktalarının birleştirilmesi ile elde edilen zarf eğrisi şekil 4.52’de verilmiştir.



Şekil 4.52. BC10/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/3.3 numunesi zarf eğrisi

Deney sonuçları Çizelge 4.35 ve Çizelge 4.36’da özetlenmiştir.

Çizelge 4.35. BC10/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/3.3 numunesi deplasman, süneklik ve rijitlik değerleri

Deney No	Grup	$+\delta_y$	$-\delta_y$	$+\delta_{\max}$	$-\delta_{\max}$	$+\delta_u$	$-\delta_u$	$+\mu$	$-\mu$	$+S_y$	$-S_y$	$+S_{\max}$	$-S_{\max}$
BC10/N0.0-N0-0-0/ 125-250-0.6-2Ø16/3.3	3	9,39	9,98	13,60	13,84	17,01	18,15	1,81	1,82	3,82	2,51	3,10	2,13

Çizelge 4.36. BC10/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/3.3 numunesi maksimum yük ve enerji tüketme kapasite değerleri

Deney No	Grup	$+P_y$	$-P_y$	$+P_{\max}$	$-P_{\max}$	$+E_y$	$-E_y$	$+E_{\text{pmaks}}$	$-E_{\text{pmaks}}$	$+E_t$	$-E_t$
BC10/N0.0-N0-0-0/ 125-250-0.6-2Ø16/3.3	3	35,84	25,07	42,17	29,49	0,204	0,173	0,363	0,267	0,739	0,534

4.1.4.4. BC10/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3 numunesi

3. grupta test edilen ve BC10/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3 olarak adlandırılan 4 mm çaplı MÇD ile ikinci güçlendirilen numunedir. Deney sırasında Çevrim numarası (Ç.n), meydana gelen deplasman, çatlaklar, hasarlar ve deney elemanında gözlemlenen durumlar Çizelge 4.37’de verilmiştir. Şekil 4.53, yükleme başlamadan önce numunenin ilk ve son durumunu göstermektedir. Deney protokolüne uygun olarak, her çevrim iki kez tekrarlanmıştır. Deney, kesme çatlaklarının artmasıyla ve betonun kabuktan ayrılmasıyla sonlandırılmıştır. Bu deney numunesine ait yük-deplasman grafiği Şekil 4.55’te verilmiştir.

Çizelge 4.37. BC10/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3 numunesinde gözlemlenen durumlar

Ç.n	Görelî ötelenme oranı/deplasman %/(mm)	Çatlak no	Açıklama
+1 IO	0.0015/1.0515	1	1.05 mm deplasmanda, 921 kg yük uygulanmıştır. 1 numaralı çatlak, temelden 13 cm yukarıda oluşmuştur.
-1 IO	0.0015/1.0515	2	-1.08 mm deplasmanda, -744 kg yük uygulanmıştır. 2 numaralı çatlak temelden 41 cm yukarıda oluşmuştur.
+1 IO	0.0015/1.0515	3-4	1.04 mm deplasmanda, 993 kg yük uygulanmıştır. 3 numaralı çatlak temelden 6 cm yukarıda oluşmuştur. 4 numaralı çatlak temelden 36 cm yukarıda oluşmuştur.
-1 IO	0.0015/1.0515	5	-1.09 mm deplasmanda, -703 kg yük uygulanmıştır. 5 numaralı çatlak temelden 20 cm yukarıda oluşmuştur.
+2 LS	0.0020/1.402	6-7	1.38 mm deplasmanda, 1228 kg yük uygulanmıştır. 6 numaralı çatlak temelden 27 cm yukarıda oluşmuştur. 7 numaralı çatlak kiriş-temel birleşiminde oluşmuştur. 4 numaralı çatlak dallanmıştır.
-2 LS	0.0020/1.402	8-9-10	-1.43 mm deplasmanda, -884 kg yük uygulanmıştır. 8 numaralı çatlak kiriş-temel birleşiminde oluşmuştur.

			9 numaralı çatlak temelden 29 cm yukarıda oluşmuştur. 10 numaralı çatlak temelden 11 cm yukarıda oluşmuştur.
+2 LS	0.0020/1.402		1.42 mm deplasmanda, 1204 kg yük uygulanmıştır. 4 numaralı çatlak uzamıştır. 1 numaralı çatlak uzamıştır.
-2 LS	0.0020/1.402		-1.41 mm deplasmanda, -822 kg yük uygulanmıştır. Herhangi bir çatlak oluşmamıştır.
+3 CP	0.0030/2.103	11	2.10 mm deplasmanda, 1596 kg yük uygulanmıştır. 1, 4 ve 7 numaralı çatlaklar uzamıştır. 11 numaralı yeni çatlak oluşmuştur. 4 numaralı çatlak dallanmıştır.
-3 CP	0.0030/2.103		-2.18 mm deplasmanda, -1184 kg yük uygulanmıştır. 8, 9 ve 10 numaralı çatlaklar uzamıştır.
+3 CP	0.0030/2.103	12	2.01 mm deplasmanda, 1611 kg yük uygulanmıştır. 3 numaralı çatlak uzamıştır. 7 numaralı çatlak temelde uzamıştır. 6 numaralı çatlak uzamıştır. 12 numaralı yeni çatlak oluşmuştur. Belirgin rijitlik kaybı oluşmamıştır.
-3 CP	0.0030/2.103		-2.16 mm deplasmanda, -1078 kg yük uygulanmıştır. 8 numaralı çatlak uzamıştır. 9 numaralı çatlak dallanmıştır.
+4 CP	0.0050/3.505	13	3.65 mm deplasmanda, 1922 kg yük uygulanmıştır. 1 ve 12 numaralı çatlaklar uzamıştır. 7 numaralı çatlak temelde uzamıştır. 13 numaralı yeni çatlak oluşmuştur.
-4 CP	0.0050/3.505		-3.54 mm deplasmanda, -1572 kg yük uygulanmıştır. 2 numaralı çatlak uzamıştır.
+4 CP	0.0050/3.505		3.56 mm deplasmanda, 1962 kg yük uygulanmıştır. 6 numaralı çatlak dallanarak uzamıştır. 1 ve 12 numaralı çatlaklar uzamıştır. 13 numaralı çatlak uzamıştır.
-4 CP	0.0050/3.505		-3.47 mm deplasmanda, -1456 kg yük uygulanmıştır. 8 ve 7 numaralı çatlaklar birleşmiştir.
+5 CP	0.01/7.01	14	7.02 mm deplasmanda, 2485 kg yük uygulanmıştır. 6 numaralı çatlak uzamıştır. 4 numaralı çatlak uzamıştır. 1 numaralı çatlak dallanmıştır. 14 numaralı yeni çatlak oluşmuştur.

-5 CP	0.01/7.01	15-16	-7.02 mm deplasmanda, -2410 kg yük uygulanmıştır. 2 numaralı çatlak uzamıştır. 15 numaralı yeni çatlak oluşmuştur. 16 numaralı yeni çatlak oluşmuştur. 5 numaralı çatlak uzamış ve 1 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 8 numaralı çatlak genişlemiştir. 9 numaralı çatlak uzamıştır.
+5 CP	0.01/7.01		7.02 mm deplasmanda, 2252 kg yük uygulanmıştır. 6 numaralı çatlak dallanmıştır. 7 numaralı çatlak genişlemiştir. 13 numaralı çatlak dallanmıştır.
-5 CP	0.01/7.01		-7.22 mm deplasmanda, -2279 kg yük uygulanmıştır. 10 numaralı çatlak dallanmıştır ve 2 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 5 numaralı çatlak dallanmıştır. 15 numaralı çatlak dallanmıştır. 8 numaralı çatlak genişlemiştir.
+6 CP	0.02/14.02		14.10 mm deplasmanda, 3290 kg yük uygulanmıştır. 7 numaralı çatlak genişlemiştir. 4 numaralı çatlak genişlemiş, uzamış ve dallanmıştır. 6 ve 7 numaralı çatlak genişlemiştir. 12 numaralı çatlak dallanmış ve 4 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 14 numaralı çatlak uzamış ve dallanmıştır. 11 numaralı çatlak dallanmış ve 13 numaralı çatlak ile birleşmiştir.
-6 CP	0.02/14.02		-14.05 mm deplasmanda, -3179 kg yük uygulanmıştır. Yeni bir çatlak oluşmuş ve 15 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 15 numaralı çatlak dallanmıştır. 2 ve 8 numaralı çatlaklar genişlemiştir. 2 numaralı çatlak dallanmış, uzamış ve 6 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 9 numaralı çatlak dallanmış, uzamış ve 5 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 5 numaralı çatlak uzamıştır.
+6 CP	0.02/14.02		14.03 mm deplasmanda, 3078 kg yük uygulanmıştır. 11 numaralı çatlak dallanmıştır. 13 numaralı çatlak genişlemiştir. 14 numaralı çatlak dallanmıştır.
-6 CP	0.02/14.02		-14.20 mm deplasmanda, -2888 kg yük uygulanmıştır. 5, 15, 16 ve 2 numaralı çatlaklar genişlemiştir. 2 numaralı çatlak dallanmıştır.
+7 CP	0.03/21.03		21.03 mm deplasmanda, 4068 kg yük uygulanmıştır. 11, 12 ve 14 numaralı çatlaklar dallanmış ve genişlemiştir. 14 numaralı çatlak yükleme noktasına kadar uzamıştır.
-7 CP	0.03/21.03		-21.04 mm deplasmanda, -3671 kg yük uygulanmıştır. 16 numaralı çatlak uzamıştır. 8 numaralı çatlak genişlemiştir. 15 numaralı çatlak aşağıya doğru uzamıştır.
+7 CP	0.03/21.03		21.04 mm deplasmanda, 3641 kg yük uygulanmıştır. 13 numaralı çatlak dallanmıştır.

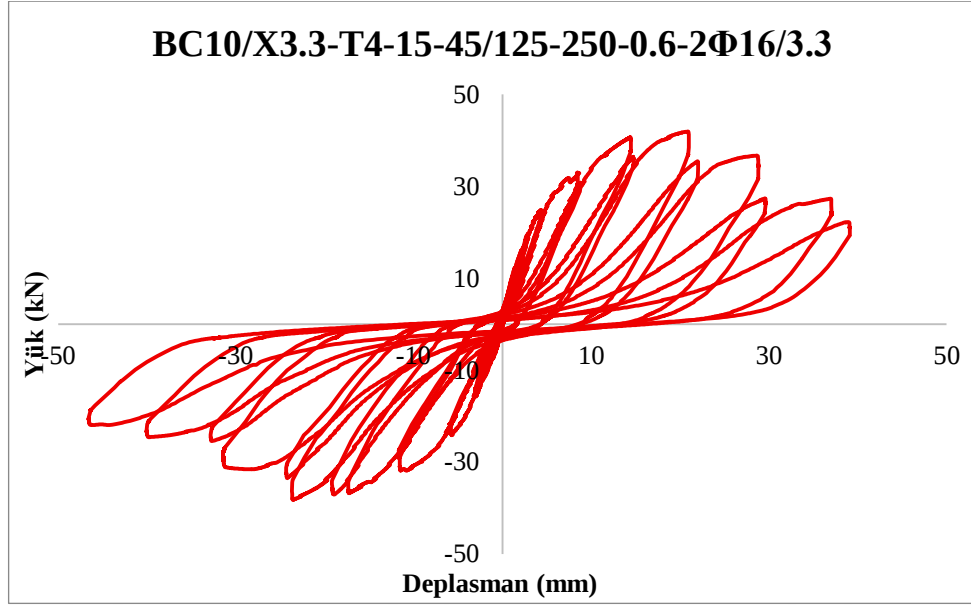
-7 CP	0.03/21.03		-22.96 mm deplasmanda, -3590 kg yük uygulanmıştır. 9 numaralı çatlak dallanmıştır. 16 numaralı çatlak genişlemiştir.
+8 CP	0.04/28.04	17	28.06 mm deplasmanda, 4193 kg yük uygulanmıştır. 17 numaralı yeni çatlak oluşmuştur. 11 numaralı çatlak uzamıştır. 4 ve 6 numaralı çatlaklar dallanmıştır. Bu çatlaklar 4, 12 ve 14 numaralı çatlaklarla birleşmiştir.
-8 CP	0.04/28.04		-28.10 mm deplasmanda, -3818 kg yük uygulanmıştır. Kabuk beton genişlemeye başlamıştır. 16 numaralı çatlak uzamıştır. Kirişin sol ucu ezilmeye başlamıştır.
+8 CP	0.04/28.04		28.25 mm deplasmanda, 3550 kg yük uygulanmıştır. 12 ve 14 numaralı çatlaklar genişlemiştir. Kirişin sağ ucunda ezilmeler başlamıştır. 17 numaralı çatlak uzamıştır.
-8 CP	0.04/28.04		-28.07 mm deplasmanda, -3348 kg yük uygulanmıştır. Kabuk beton atma aşamasına gelmiştir.
+9 CP	0.05/35,05		35.23 mm deplasmanda, 3670 kg yük uygulanmıştır. Mevcut çatlaklar genişlemiştir.
-9 CP	0.05/35,05		-35.20 mm deplasmanda, -3070 kg yük uygulanmıştır. İleri hasarlar oluşmuştur.
+9 CP	0.05/35,05		35.09 mm deplasmanda, 3730 kg yük uygulanmıştır. Mevcut çatlaklarda genişlemeler vardır.
-9 CP	0.05/35,05		-35.20 mm deplasmanda, -2528 kg yük uygulanmıştır. Mevcut çatlaklarda genişlemeler vardır.
+10 CP	0.06/42,06		42.17 mm deplasmanda, 2730 kg yük uygulanmıştır. Mevcut çatlaklarda genişlemeler vardır.
-10 CP	0.06/42,06		-42.20 mm deplasmanda, -2450 kg yük uygulanmıştır. Mevcut çatlaklarda genişlemeler vardır.
+10 CP	0.06/42,06		43.29 mm deplasmanda, 2200 kg yük uygulanmıştır. Mevcut çatlaklarda genişlemeler vardır.
-10 CP	0.06/42,06		-48.12 mm deplasmanda, -2130 kg yük uygulanmıştır. Deney sonuçlanmıştır.



Şekil 4.53. BC10/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3 numunesi deney öncesi ve sonrası görünümü

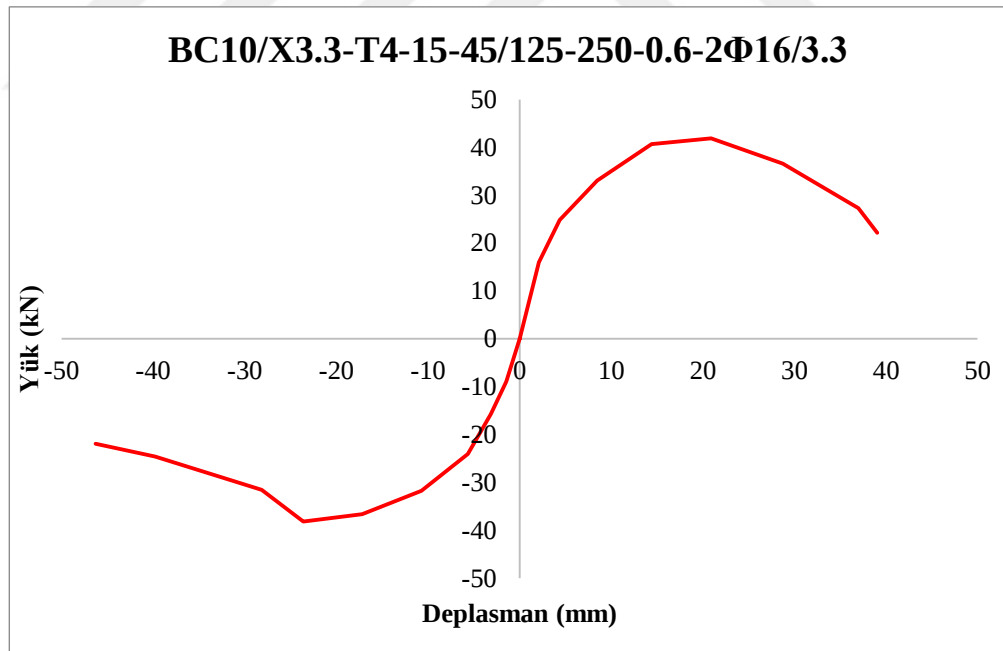


Şekil 4.54. BC10/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3 numunesi deney sonu görünümü



Şekil 4.55. BC10/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3 numunesine ait yük-deplasman grafiği

Deney numunelerin histerezis eğrisindeki her yüklemedeki maksimum yük noktalarının birleştirilmesi ile elde edilen zarf eğrisi Şekil 4.56’da verilmiştir.



Şekil 4.56. BC10/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3 numunesi zarf eğrisi

Deney sonuçları Çizelge 4.38 ve Çizelge 4.39’da özetlenmiştir.

Çizelge 4.38. BC10/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3 numunesi deplasman, süneklik ve rijitlik değerleri

Deney No	Grup	$+\delta_y$	$-\delta_y$	$+\delta_{max}$	$-\delta_{max}$	$+\delta_u$	$-\delta_u$	$+\mu$	$-\mu$	$+S_y$	$-S_y$	$+S_{max}$	$-S_{max}$
BC10/X3.3-T4-15-45/ 125-250-0.6-2Ø16/3.3	3	10,47	11,61	20,92	23,60	29,61	27,55	2,83	2,37	3,40	2,79	2,00	1,62

Çizelge 4.39. BC10/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3 numunesi maksimum yük ve enerji tüketme kapasite değerleri

Deney No	Grup	$+P_y$	$-P_y$	$+P_{max}$	$-P_{max}$	$+E_y$	$-E_y$	$+E_{pmaks}$	$-E_{pmaks}$	$+E_t$	$-E_t$
BC10/X3.3-T4-15-45/ 125-250-0.6-2Ø16/3.3	3	35,62	32,44	41,91	38,17	0,256	0,249	0,670	0,680	1,291	1,317

4.1.5. 4. Grup Numuneler

4.1.5.1. BC20/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/3.3 Numunesi

4. grupta test edilen BC20/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/3.3 olarak adlandırılan ilk numune referans numunedir. Deney sırasında Çevrim numarası (Ç.n), meydana gelen deplasman, çatlaklar, hasarlar ve deney elemanında gözlemlenen durumlar Çizelge 4.40’te verilmiştir. Şekil 4.57, yükleme başlamadan önce numunenin ilk ve son durumunu göstermektedir. Deney protokolüne uygun olarak, her çevrim iki kez tekrarlanmıştır. Deney, kesme çatlaklarının artmasıyla ve betonun kabuktan ayrılmasıyla sonlandırılmıştır. Bu deney numunesine ait yük-deplasman grafiği Şekil 4.59’da verilmiştir.

Çizelge 4.40. BC20/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/3.3 numunesinde gözlemlenen durumlar

Ç.n	Görelî ötelenme oranı/deplasman %/(mm)	Çatlak no	Açıklama
+1 IO	0.0015/1.0515	1	1.07 mm deplasmanda, 918 kg yük uygulanmıştır. 1 numaralı çatlak temelden 7 cm yukarıda oluşmuştur.
-1 IO	0.0015/1.0515	2	-1.09 mm deplasmanda, -880 kg yük uygulanmıştır. 2 numaralı çatlak kiriş temel birleşiminde oluşmuştur.
+1 IO	0.0015/1.0515	3	1.06 mm deplasmanda, 996 kg yük uygulanmıştır. 1 numaralı çatlak uzamıştır. 3 numaralı çatlak kiriş temel birleşiminde oluşmuştur.
-1 IO	0.0015/1.0515	4	-1.08 mm deplasmanda, -780 kg yük uygulanmıştır. 2 numaralı çatlak uzamıştır. 4 numaralı çatlak temelden 32 cm yukarıda oluşmuştur.
+2 LS	0.0020/1.402	5	1.42 mm deplasmanda, 1192 kg yük uygulanmıştır. 5 numaralı çatlak temelden 24 cm yukarıda oluşmuştur.

-2 LS	0.0020/1.402	6	-1.42 mm deplasmanda, -975 kg yük uygulanmıştır. 2 numaralı çatlak uzamıştır. 6 numaralı çatlak temelden 11 cm yukarıda oluşmuştur.
+2 LS	0.0020/1.402		1.39 mm deplasmanda, 1102 kg yük uygulanmıştır. 1 numaralı çatlaktan dallanma başlamıştır. 2 numaralı çatlak uzamıştır.
-2 LS	0.0020/1.402		-1.40 mm deplasmanda, 982 kg yük uygulanmıştır. Herhangi bir çatlak oluşmamıştır.
+3 CP	0.0030/2.103	7	2.10 mm deplasmanda, 1513 kg yük uygulanmıştır. 5 numaralı çatlak dallanmıştır. 1 numaralı çatlak temele kadar uzamıştır. 7 numaralı çatlak temelden 42 cm yukarıda oluşmuştur.
-3 CP	0.0030/2.103	8	-2.10 mm deplasmanda, 1365 kg yük uygulanmıştır. 4 numaralı çatlak dallanmıştır. 8 numaralı çatlak temelden 20 cm yukarıda oluşmuştur.
+3 CP	0.0030/2.103		2.09 mm deplasmanda, 1470 kg yük uygulanmıştır. 5 numaralı çatlak dallanmıştır. 3 numaralı çatlak uzamıştır.
-3 CP	0.0030/2.103	9	-2.09 mm deplasmanda, -1235 kg yük uygulanmıştır. 9 numaralı çatlak oluşmuştur.
+4 CP	0.0050/3.505		3.52 mm deplasmanda, 2240 kg yük uygulanmıştır. 7 numaralı çatlak ana kesme çatlağı olarak uzamıştır. 5 numaralı çatlak uzamıştır. 1 numaralı çatlak dallanmıştır. 3 numaralı çatlak uzamıştır.
-4 CP	0.0050/3.505		-3.50 mm deplasmanda, -1896 kg yük uygulanmıştır. 10 numaralı yeni çatlak oluşmuştur. 4 numaralı çatlak 7 numaralı çatlak ile kesişmiştir. 8 numaralı çatlak uzamıştır. 6 numaralı çatlak uzamış ve dallanmıştır. 2 numaralı çatlak girişin ortasına kadar uzamıştır.
+4 CP	0.0050/3.505		3.50 mm deplasmanda, 2160 kg yük uygulanmıştır. 5 numaralı çatlak uzamıştır. 3 numaralı çatlak 2 numaralı çatlak ile birleşmiş ve kesişmiştir.
-4 CP	0.0050/3.505		-3.50 mm deplasmanda, -1740 kg yük uygulanmıştır. 8 numaralı çatlak dallanmıştır. 9 numaralı çatlak kesme çatlağı şeklinde uzamıştır. 2 numaralı çatlak genişlemiştir.
+5 CP	0.01/7.01	11-12-13	7.05 mm deplasmanda, 3400 kg yük uygulanmıştır. 11 numaralı yeni çatlak oluşmuş ve 7 numaralı kesme çatlağı ile birleşmiştir. 7 numaralı çatlak dallanarak uzamıştır. 12 numaralı çatlak 11 numaralı çatlak üzerinde oluşmuştur. Temelde ilk çatlak oluşmuştur. 1 numaralı çatlak üzerinde 13 numaralı yeni çatlak oluşmuştur.

-5 CP	0.01/7.01	14-15	-7.01 mm deplasmanda, -2560 kg yük uygulanmıştır. 9 numaralı çatlak ana kesme çatlağı olmuştur. 14 numaralı yeni bir kesme çatlağı daha oluşmuştur. Yüklemeye noktasından 9 numaralı çatlağa doğru uzanan 15 numaralı yeni bir çatlak oluşmuştur. 2 numaralı çatlak genişlemiştir. Temelde yeni çatlak oluşmuştur. 3 eğilme çatlağı ve 1 kesme çatlağı olmuştur.
+5 CP	0.01/7.01		7.00 mm deplasmanda, 3290 kg yük uygulanmıştır. 7 numaralı çatlak genişlemiştir. 16 numaralı çatlak uzamıştır.
-5 CP	0.01/7.01		-7.01 mm deplasmanda, -2350 kg yük uygulanmıştır. 15 ve 9 numaralı kesme çatlakları genişlemiştir.
+6 CP	0.02/14.02	16	14.02 mm deplasmanda, 4670 kg yük uygulanmıştır. 12 numaralı çatlak 11 ve 7 numaralı çatlaklarla kesişmiştir. Yüklemeye noktasından 16 numaralı kesme çatlağı oluşmuştur. 5 numaralı çatlak dallanmıştır. 5 numaralı çatlak uzamıştır. Ana kesme çatlağı 7 numaralı çatlak olmuştur. Bununla birlikte 5 ve 12 numaralı çatlaklar kesme çatlağı şeklinde belirginleşmiştir.
-6 CP	0.02/14.02		-14.01 mm deplasmanda, -3170 kg yük uygulanmıştır. 15 numaralı ana kesme çatlağı temele kadar genişleyerek uzamıştır. 14 numaralı çatlak genişlemiştir. 15 numaralı çatlak 1 cm genişlemiştir.
+6 CP	0.02/14.02		14.02 mm deplasmanda, 4257 kg yük uygulanmıştır. 15 numaralı çatlak genişlemiştir. 5 numaralı çatlak genişlemeye başlamıştır. 38x8 cm boyutundaki çatlakların kesişme noktası oluşmuştur.
-6 CP	0.02/14.02		-14.02 mm deplasmanda, -2671 kg yük uygulanmıştır. 15 numaralı çatlakta genişleme olmuştur. Çatlaklarda genel olarak genişleme olmuştur.
+7 CP	0.03/21.03		20.99 mm deplasmanda, 4780 kg yük uygulanmıştır. 16 numaralı çatlak uzamıştır. 7 numaralı çatlak temele kadar uzamış ve uç bölge ile birleşmiştir. 7 numaralı çatlak 5 numaralı çatlak ile birleşmiştir.
-7 CP	0.03/21.03		-21.07 mm deplasmanda, 2230 kg yük uygulanmıştır. Sol tarafta kabuk beton dökülmüştür. 10 numaralı çatlak kesme çatlağı şeklinde uzamıştır. Yük-deplasman eğrisinde büyük bir rijitlik kaybı gözlenmiştir.
+7 CP	0.03/21.03		21.07 mm deplasmanda, 3170 kg yük uygulanmıştır. 16 numaralı çatlak genişlemiştir.
-7 CP	0.03/21.03		-35.35 mm deplasmanda, -1890 kg yük uygulanmıştır. Mevcut çatlaklarda genişlemeler vardır.

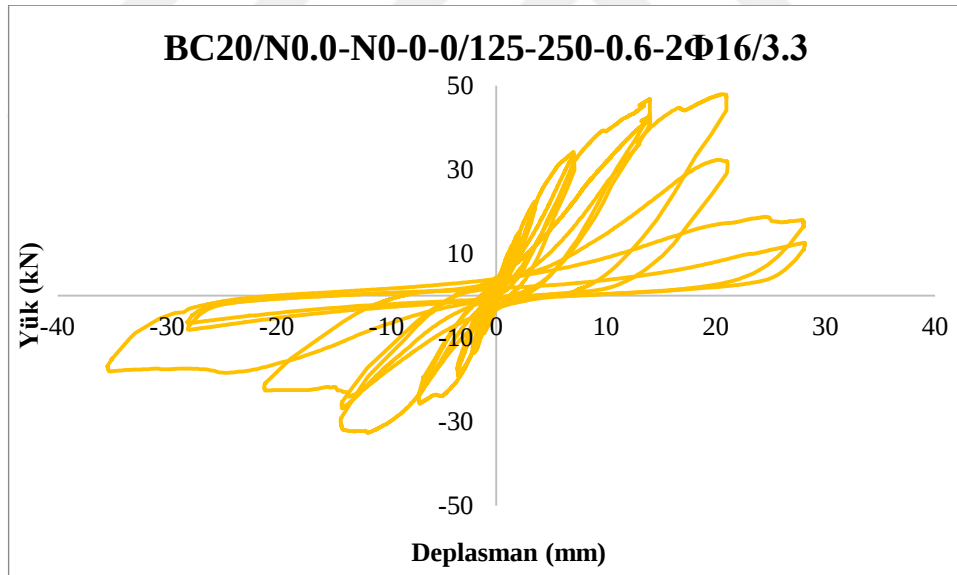
+8 CP	0.04/28.04		28.03 mm deplasmanda, 1790 kg yük uygulanmıştır. İleri hasarlar oluşmuştur. Sağ tarafta kabuk beton yarılmıştır.
-8 CP	0.04/28.04		-28.03 mm deplasmanda, -810 kg yük uygulanmıştır. İleri hasarlar oluşmuştur.
+8 CP	0.04/28.04		28.05 mm deplasmanda, 1250 kg yük uygulanmıştır. İleri hasarlar devam etmiştir.
-8 CP	0.04/28.04		-28.08 mm deplasmanda, -640 kg yük uygulanmıştır. Deney sonuçlanmıştır.



Şekil 4.57. BC20/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/3.3 numunesi deney öncesi ve sonrası görünümü

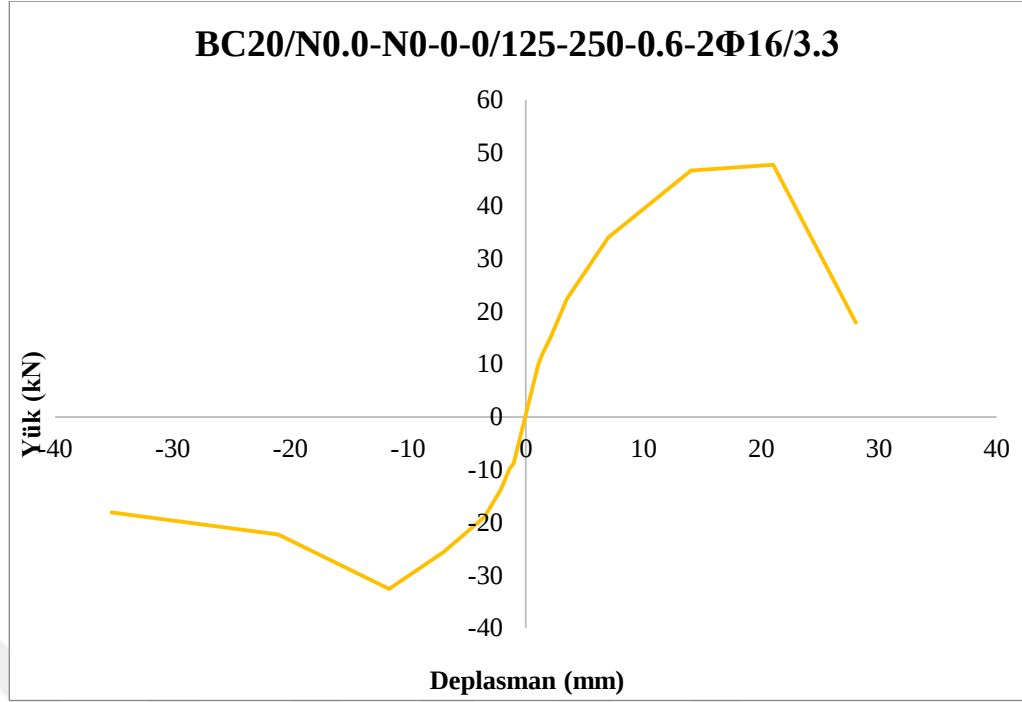


Şekil 4.58. BC20/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/3.3 numunesi deney sonu görünümü



Şekil 4.59. BC20/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/3.3 numunesine ait yük-deplasman grafiği

Deney numunelerin histerezis eğrisindeki her yüklemedeki maksimum yük noktalarının birleştirilmesi ile elde edilen zarf eğrisi Şekil 4.60'ta verilmiştir.



Şekil 4.60. BC20/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/3.3 numunesi zarf eğrisi

Deney sonuçları Çizelge 4.41 ve Çizelge 4.42’de özetlenmiştir.

Çizelge 4.41. BC20/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/3.3 3 numunesi deplasman, süneklik ve rijitlik değerleri

Deney No	Grup	$+\delta_y$	$-\delta_y$	$+\delta_{max}$	$-\delta_{max}$	$+\delta_u$	$-\delta_u$	$+\mu$	$-\mu$	$+S_y$	$-S_y$	$+S_{max}$	$-S_{max}$
BC20/N0.0-N0-0-0/ 125-250-0.6-2Ø16/3.3	4	10,67	8,39	21,03	11,62	22,71	16,09	2,13	1,92	3,81	3,30	2,27	2,80

Çizelge 4.42. BC20/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/3.3 numunesi maksimum yük ve enerji tüketme kapasite değerleri

Deney No	Grup	$+P_y$	$-P_y$	$+P_{max}$	$-P_{max}$	$+E_y$	$-E_y$	$+E_{pmax}$	$-E_{pmax}$	$+E_t$	$-E_t$
BC20/N0.0-N0-0-0/ 125-250-0.6-2Ø16/3.3	4	40,63	27,69	47,80	32,58	0,291	0,157	0,758	0,251	0,988	0,795

4.1.5.2. BC20/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3 Numunesi

4. grupta test edilen ve BC20/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3 olarak adlandırılan 4 mm çaplı MÇD ile ilk güçlendirilen numunedir. Deney sırasında Çevrim numarası (Ç.n), meydana gelen deplasman, çatlaklar, hasarlar ve deney elemanında gözlemlenen durumlar Çizelge 4.43’te verilmiştir. Şekil 4.61, yükleme başlamadan önce numunenin ilk ve son durumunu göstermektedir. Deney protokolüne uygun olarak, her çevrim iki kez tekrarlanmıştır. Deney, kesme çatlaklarının artmasıyla ve betonun kabuktan ayrılmasıyla sonlandırılmıştır. Bu deney numunesine ait yük-deplasman grafiği Şekil 4.63’te verilmiştir.

Çizelge 4.43. BC20/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3 numunesinde gözlemlenen durumlar

Ç.n	Görelî ötelenme oranı/deplasman %/(mm)	Çatlak no	Açıklama
+1 IO	0.0015/1.0515	1-2	1.04 mm deplasmanda, 782 kg yük uygulanmıştır. 1 numaralı çatlak temelden 7 cm yukarıda oluşmuştur. 2 numaralı çatlak temelden 30 cm yukarıda oluşmuştur.
-1 IO	0.0015/1.0515	3-4	-1.04 mm deplasmanda, -845 kg yük uygulanmıştır. 3 numaralı çatlak temelden 6 cm yükseklikte oluşmuştur. 4 numaralı çatlak temelden 28 cm yükseklikte oluşmuştur.
+1 IO	0.0015/1.0515	5	1.05 mm deplasmanda, 804 kg yük uygulanmıştır. 1 numaralı çatlak yatay şekilde uzamıştır. 2 numaralı çatlak yatay şekilde uzamıştır. 5 numaralı çatlak kiriş-temel birleşiminde oluşmuştur.
-1 IO	0.0015/1.0515	6	-1.06 mm deplasmanda, -836 kg yük uygulanmıştır. 6 numaralı çatlak kiriş-temel birleşiminde oluşmuştur.
+2 LS	0.0020/1.402	7	1.39 mm deplasmanda, 992 kg yük uygulanmıştır. 1, 2 ve 5 numaralı çatlaklar uzamıştır. 7 numaralı çatlak temelden 15 cm yukarıda oluşmuştur.
-2 LS	0.0020/1.402		-1.38 mm deplasmanda, -1020 kg yük uygulanmıştır. Herhangi bir çatlak oluşmamıştır.
+2 LS	0.0020/1.402		1.39 mm deplasmanda, 911 kg yük uygulanmıştır. Herhangi bir çatlakta uzama veya genişleme olmamıştır.
-2 LS	0.0020/1.402		-1.41 mm deplasmanda, -1027 kg yük uygulanmıştır. 4 numaralı çatlak uzamıştır.
+3 CP	0.0030/2.103		2.07 mm deplasmanda, 1415 kg yük uygulanmıştır. 2 numaralı çatlak dallanmaya başlamıştır. 5 numaralı çatlak uzamıştır.
-3 CP	0.0030/2.103	8	-2.11 mm deplasmanda, -1395 kg yük uygulanmıştır. 8 numaralı çatlak temelden 15 cm yukarıda oluşmuştur.
+3 CP	0.0030/2.103		2.10 mm deplasmanda, 1365 kg yük uygulanmıştır. Herhangi bir çatlak oluşmamıştır.
-3 CP	0.0030/2.103		-2.10 mm deplasmanda, -1335 kg yük uygulanmıştır. 8 numaralı çatlak uzamıştır. 6 numaralı çatlak uzamıştır.
+4 CP	0.0050/3.505	9	3.50 mm deplasmanda, 2170 kg yük uygulanmıştır. Bu aşamada belirgin ilk kesme çatlağı olan 10 numaralı yeni çatlak oluşmuştur. 9 numaralı yeni çatlak oluşmuştur. 7 numaralı çatlak kesme çatlağı olarak uzamıştır.
-4 CP	0.0050/3.505		-3.50 mm deplasmanda, -2065 kg yük uygulanmıştır. 11 numaralı yeni çatlak oluşmuştur. 4 numaralı çatlak uzamıştır. 6 numaralı çatlak uzamıştır.

+4 CP	0.0050/3.505		3.48 mm deplasmanda, 2040 kg yük uygulanmıştır. 10 numaralı çatlak uzayarak 2 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 7 numaralı çatlak uzamıştır.
-4 CP	0.0050/3.505		-3.50 mm deplasmanda, -1940 kg yük uygulanmıştır. 11 numaralı çatlak kesme çatlağı olarak dallanmıştır. 8 numaralı çatlak kesme çatlağı şeklinde uzamıştır.
+5 CP	0.01/7.01	12-13	7.05 mm deplasmanda, 3270 kg yük uygulanmıştır. 10 numaralı çatlak dallanmıştır. 12 numaralı yeni çatlak kesme çatlağı şeklinde oluşmuş ve 7 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 7 numaralı kesme çatlağı uzamıştır. 13 numaralı yeni kesme çatlağı oluşmuştur. 5 numaralı çatlak uzamıştır. Temelde ilk çatlak gözlemlenmiştir.
-5 CP	0.01/7.01	14	-7.00 mm deplasmanda, -3305 kg yük uygulanmıştır. 8 numaralı çatlak dallanmış ve 1 numaralı çatlak ile kesişmiştir. 11 numaralı çatlak kesme çatlağı olarak uzamıştır ve 10 ve 13 numaralı çatlaklarla kesişmiştir. 14 numaralı yeni bir kesme çatlak oluşmuş ve 11 ile kesişmiştir. 11 numaralı çatlak uzamış ve 2 numaralı çatlak ile kesişmiştir.
+5 CP	0.01/7.01	15-16	7.01 mm deplasmanda, 2970 kg yük uygulanmıştır. 12 numaralı çatlağın 1 cm üstünde 15 numaralı yeni çatlak oluşmuş ve 12 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 13 numaralı çatlak uzamıştır. 13 numaralı çatlak üzerinde 16 numaralı yeni bir çatlak oluşmuş ve 13 numaralı çatlak ile birleşmiştir.
-5 CP	0.01/7.01		-7.00 mm deplasmanda, -3095 kg yük uygulanmıştır. 8 numaralı çatlak dallanmıştır. 14 numaralı çatlak uzamış ve 12 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 14 ve 11 numaralı çatlak birleşmiştir.
+6 CP	0.02/14.02	17	14.02 mm deplasmanda, 4840 kg yük uygulanmıştır. 2 numaralı çatlak kesme çatlağı şeklinde dallanarak 12 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 13 numaralı çatlak genişlemiştir. 12 numaralı çatlak genişlemiş ve dallanmıştır. 13 numaralı çatlak uzayarak 10 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 16 numaralı çatlak genişlemiştir. Yükleme noktasından başlamak üzere 17 numaralı yeni bir çatlak oluşmuştur.
-6 CP	0.02/14.02	18-19-20	-14.01 mm deplasmanda, -4740 kg yük uygulanmıştır. 18 numaralı kesme çatlağı oluşmuş ve 14 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 14 numaralı çatlak dallanmış, genişlemiş ve uzamıştır. 19 numaralı yeni çatlak oluşmuş ve 4 numaralı çatlak ile birleşmiş, uzamaya devam ederek 7 ve 8 numaralı çatlak ile

			birleşmiştir. 3 numaralı çatlak üzerinden 20 numaralı kesme çatlağı oluşmuştur. 6 ve 9 numaralı çatlaklar genişlemiştir.
+6 CP	0.02/14.02		13.98 mm deplasmanda, 4240 kg yük uygulanmıştır. 10 numaralı çatlak dallanmıştır. 5 numaralı kiriş-temel birleşimindeki çatlağın genişliği artmıştır. Temelde yeni çatlaklar oluşmuştur (kesme çatlağı şeklinde).
-6 CP	0.02/14.02		-14.02 mm deplasmanda, -4215 kg yük uygulanmıştır. 4 numaralı çatlak dallanarak 19 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 18, 11, 19 ve 8 numaralı çatlaklar ana kesme çatlağı olabilir.
+7 CP	0.03/21.03		21.02 mm deplasmanda, 5130 kg yük uygulanmıştır. 17, 16, 2, 12 ve 7 numaralı çatlaklar genişlemiştir. 13 numaralı çatlak dallanmış ve uzamıştır. 16 numaralı çatlak temele kadar uzamıştır. 5 numaralı çatlak genişlemiştir (kesmeden kırılmadığı için).
-7 CP	0.03/21.03	21	-21.00 mm deplasmanda, 5170 kg yük uygulanmıştır. Yükleme noktasından başlayan ve 18 numaralı çatlakla birleşen 21 numaralı yeni çatlak oluşmuştur. 21 numaralı çatlak ile 17 numaralı çatlak birleşmiştir. 21 numaralı çatlak devamında temele kadar uzamıştır. Dikişlerin olduğu yerdeki kabuk beton kırılmaya çalışmaktadır. 6 numaralı çatlak genişlemiştir (kiriş-temel birleşimi). Temelde 7.12 mm deplasman vardır.
+7 CP	0.03/21.03		21.03 mm deplasmanda, 4500 kg yük uygulanmıştır. Mevcut çatlaklarda genişlemeler vardır. Özellikle 2 numaralı çatlakta genişlemeler gözlemlenmiştir.
-7 CP	0.03/21.03		-21.02 mm deplasmanda, -4415 kg yük uygulanmıştır. Kabuk beton gitmeye çalışmaktadır (ileri sol bölgede). 18 numaralı çatlak genişlemektedir. 11 ve 19 numaralı çatlaklar birleşmiştir. 6 numaralı çatlak genişlemeye devam etmektedir.
+8 CP	0.04/28.04		28.03 mm deplasmanda, 4820 kg yük uygulanmıştır. 2 numaralı çatlak 1 cm genişlemiştir. Kabuk beton zorlanmaktadır. 6 numaralı çatlağın olduğu yerde beton ezilmiştir. 17 numaralı çatlakta dallanmalar devam etmektedir.
-8 CP	0.04/28.04		-28.04 mm deplasmanda, -3997 kg yük uygulanmıştır. Sol taraftaki kabuk betonda 1.5 cm yakın genişleme olmuştur. Mevcut çatlaklar genişlemeye devam etmiştir.
+8 CP	0.04/28.04		28.06 mm deplasmanda, 3640 kg yük uygulanmıştır. Kabuk betonda dökülmeye devam etmektedir. Orta bölgede herhangi bir kırılma yoktur.
-8 CP	0.04/28.04		-28.05 mm deplasmanda, 3280 kg yük uygulanmıştır. Kabuk betondaki genişleme 2 cm'ye kadar ulaşmıştır. Kiriş sünek davranmaya devam etmektedir.
+9 CP	0.05/35.05		35.03 mm deplasmanda, 3651 kg yük uygulanmıştır. Sol taraftaki kabuk beton iyice kırılmaya başlamıştır. Genişlemeler artmıştır.

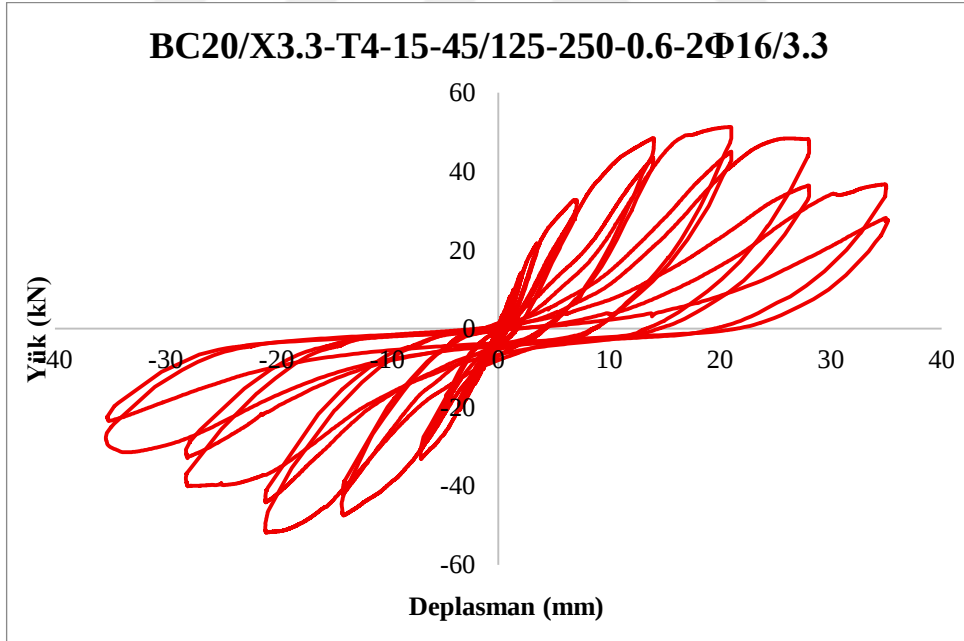
-9 CP	0.05/35.05		-35.05 mm deplasmanda, -2850 kg yük uygulanmıştır. Sağ tarafta kabuk beton dökülmüştür.
+9 CP	0.05/35.05		35.03 mm deplasmanda, 2760 kg yük uygulanmıştır. Sol taraftaki kabuk beton tamamen dökülmüştür.
-9 CP	0.05/35.05		-35.08 mm deplasmanda, -2320 kg yük uygulanmıştır. Deney sonlandırılmıştır.



Şekil 4.61. BC20/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3 numunesi deney öncesi ve sonrası görünümü

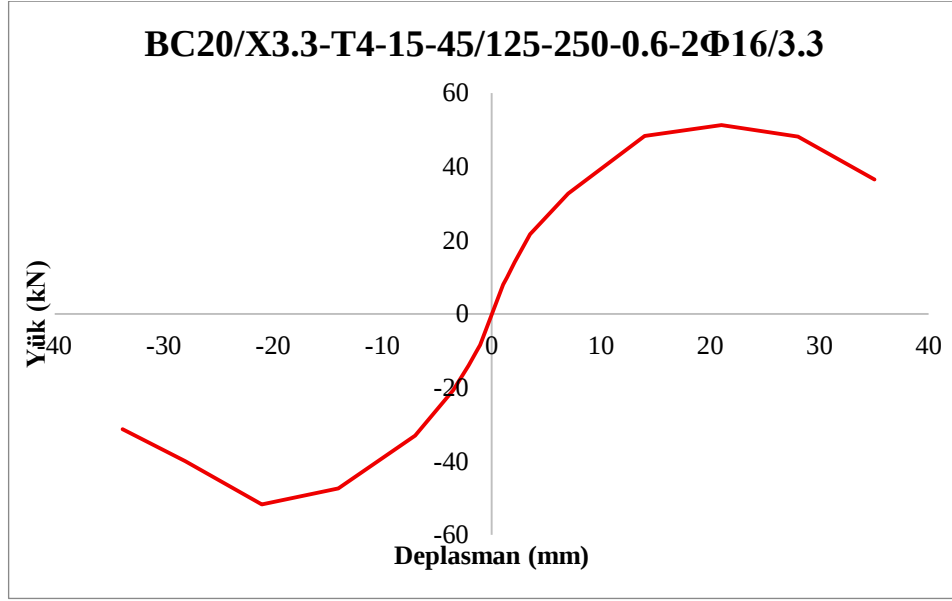


Şekil 4.62. BC20/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3 numunesi deney sonu görünümü



Şekil 4.63. BC20/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3 numunesine ait yük-deplasman grafiği

Deney numunelerin histerezis eğrisindeki her yüklemedeki maksimum yük noktalarının birleştirilmesi ile elde edilen zarf eğrisi Şekil 4.64'te verilmiştir.



Şekil 4.64. BC20/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3 numunesi zarf eğrisi

Deney sonuçları Çizelge 4.44 ve Çizelge 4.45'te özetlenmiştir.

Çizelge 4.44. BC20/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3 numunesi deplasman, süneklik ve rijitlik değerleri

Deney No	Grup	$+\delta_y$	$-\delta_y$	$+\delta_{max}$	$-\delta_{max}$	$+\delta_u$	$-\delta_u$	$+\mu$	$-\mu$	$+\delta_y$	$-\delta_y$	$+\delta_{max}$	$-\delta_{max}$
BC20/X3.3-T4-15-45/ 125-250-0.6-2Ø16/3.3	4	11,88	12,33	21,03	21,03	30,80	25,66	2,59	2,08	3,67	3,56	2,44	2,46

Çizelge 4.45. BC20/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3 numunesi maksimum yük ve enerji tüketme kapasite değerleri

Deney No	Grup	$+P_y$	$-P_y$	$+P_{max}$	$-P_{max}$	$+E_y$	$-E_y$	$+E_{pmax}$	$-E_{pmax}$	$+E_t$	$-E_t$
BC20/X3.3-T4-15-45/ 125-250-0.6-2Ø16/3.3	4	43,61	43,95	51,30	51,70	0,334	0,349	0,770	0,764	1,416	1,290

4.1.6. 5. Grup Numuneler

4.1.6.1. BC15/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/2.5 Numunesi

5. grupta test edilen BC15/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/2.5 olarak adlandırılan ilk numune referans numunedir. Deney sırasında Çevrim numarası (Ç.n), meydana gelen deplasman, çatlaklar, hasarlar ve deney elemanında gözlemlenen durumlar Çizelge 4.46'da verilmiştir. Şekil 4.65, yükleme başlamadan önce numunenin ilk ve son durumunu göstermektedir. Deney protokolüne uygun olarak, her çevrim iki kez tekrarlanmıştır. Deney, kesme çatlaklarının artmasıyla ve betonun kabuktan ayrılmasıyla sonlandırılmıştır. Bu deney numunesine ait yük-deplasman grafiği Şekil 4.67'de verilmiştir.

Çizelge 4.46. BC15/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/2.5 numunesinde gözlemlenen durumlar

Ç.N	Görelî ötelenme oranı/Deplasman %/(mm)	Çatlak No	Açıklama
+1 IO	0.0015/0,81	1-2	0.81 mm Deplasman, 942 kg Yük 1. Numaralı çatlak temelden 24 cm yukarıda oluşmuştur. 2. Numaralı çatlak temelden 22 cm yukarıda oluşmuştur.
-1 IO	0.0015/0,81	3-4	-0.81 mm Deplasman, -1170 kg Yük 3. Numaralı çatlak kiriş-temel birleşiminde oluşmuştur. 4. Numaralı çatlak temelden 9 cm yukarıda oluşmuştur. 1 ve 4 Numaralı çatlak birleşmiştir.
+1 IO	0.0015/0,81	5-6	0.80 mm Deplasman, 980 kg Yük 5. Numaralı çatlak temelden 8 cm yukarıda oluşmuştur. 1 ve 2 Numaralı çatlaklar dallanmıştır. 6. Numaralı çatlak kiriş-temel birleşiminde oluşmuştur.
-1 IO	0.0015/0,81		-0.81 mm Deplasman, -1092 kg Yük Bu aşamada herhangi bir çatlak oluşmamıştır.
+2 LS	0.0020/1.08	7	1.08 mm Deplasman, 1219 kg Yük 7. Numaralı çatlak temelden 12 cm yukarıda oluşmuştur.
-2 LS	0.0020/1.08		-1.08 mm Deplasman, -1085 kg Yük 3. Numaralı çatlak uzamıştır.
+2 LS	0.0020/1.08		1.08 mm Deplasman, 1490 kg Yük Bu aşamada herhangi bir çatlak oluşmamıştır.
-2 LS	0.0020/1.08		-1.08 mm Deplasman, -1001 kg Yük Herhangi bir çatlak oluşmamıştır.
+3 CP	0.0030/1.62	8	1.62 mm Deplasman, 1749 kg Yük 8. Numaralı ana kesme çatlağı oluşmuştur. 5. Numaralı çatlak uzamıştır.
-3 CP	0.0030/1.62		-1.63 mm Deplasman, -1583 kg Yük Herhangi bir çatlak oluşmamıştır.
+3 CP	0.0030/1.62		1.62 mm Deplasman, 1572 kg Yük 8. Numaralı çatlak genişlemiş ve dallanmıştır. 5. Numaralı çatlak dallanmıştır. 6. Numaralı çatlak uzamıştır.
-3 CP	0.0030/1.62		-1.62 mm Deplasman, -1535 kg Yük Herhangi bir çatlak oluşmamıştır.
+4 CP	0.0050/2.70		2.70 mm Deplasman, 1932 kg Yük 8. Numaralı çatlak genişlemeye devam etmektedir. Ayrıca dallanarak 4 ve 5 Numaralı çatlak ile birleşmiştir.
-4 CP	0.0050/2.70	9-10	-2.70 mm Deplasman, -2280 kg Yük 9. Numaralı yeni kesme çatlağı oluşmuştur. 10. Numaralı çatlak oluşmuştur.

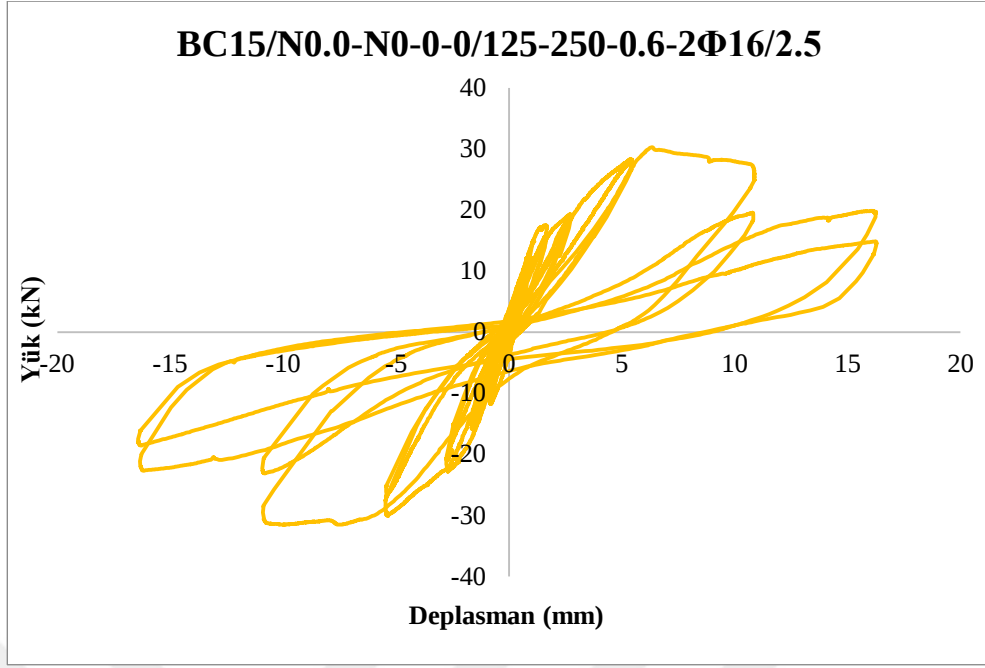
+4 CP	0.0050/2.70		2.70 mm Deplasman, 1893 kg Yük 8. Numaralı çatlak genişlemeye devam etmektedir. Ana kesme çatlağı olan 5. Numaralı çatlak dallanmıştır.
-4 CP	0.0050/2.70		-2.72 mm Deplasman, -2092 kg Yük 9. Numaralı çatlak dallanmış ve genişlemiştir.
+5 CP	0.01/5.4	11	5.40 mm Deplasman, 2830 kg Yük Yüklemeye noktasından başlayan 11. Numaralı çatlak oluşmuş ve 8. Numaralı çatlak ile birleşmiştir. 8. Numaralı çatlak yarım cm genişliğine ulaşmıştır. En belirgin rijitlik kaybı oluşmuştur.
-5 CP	0.01/5.4	12-13	-5.40 mm Deplasman, -3005 kg Yük 9. Numaralı çatlak genişlemiş ve uzamıştır. Yüklemeye noktasında 12. Numaralı yeni çatlak oluşmuş ve 9. Numaralı çatlak ile birleşmiştir. 4. Numaralı çatlak dallanmıştır. 13. Numaralı yeni çatlak oluşmuş ve 6. Numaralı çatlak ile birleşmiştir.
+5 CP	0.01/5.4		5.41 mm Deplasman, 2792 kg Yük 8 ve 1 Numaralı çatlaklarda genişlemeler devam etmektedir.
-5 CP	0.01/5.4		-5.42 mm Deplasman, -2698 kg Yük 9 ve 12 Numaralı çatlaklarda genişlemeler devam etmektedir. 9. Numaralı çatlak temele kadar uzamıştır.
+6 CP	0.02/10.8	14	10.85 mm Deplasman, 2650 kg Yük 14. Numaralı çatlak oluşmuş ve 1. Numaralı çatlak ile birleşmiştir. 11. Numaralı çatlak dallanmış ve 12. Numaralı çatlak ile birleşmiştir. 8. Numaralı ana kesme çatlağı 1 cm kadar genişlemiştir.
-6 CP	0.02/10.8		-10.01 mm Deplasman, -3124 kg Yük 12. Numaralı çatlak 1 cm genişlemiştir. Her iki yönde de X şeklinde kesme çatlağı oluşmuştur. (İlk)
+6 CP	0.02/10.8		10.80 mm Deplasman, 1947 kg Yük Mevcut çatlaklar genişlemiştir.
-6 CP	0.02/10.8		-10.82 mm Deplasman, -2315 kg Yük Herhangi bir çatlak oluşmamıştır.
+7 CP	0.03/16.20		16.22 mm Deplasman, 1985 kg Yük 8 ve 11 Numaralı çatlakların genişliği artmaya devam etmektedir.
-7 CP	0.03/16.20		-16.23 mm Deplasman, -2250 kg Yük Çatlak genişlikleri artmaya devam etmiştir. 10. Numaralı çatlak uzamıştır.
+7 CP	0.03/16.20		16.20 mm Deplasman, 1480 kg Yük Sağ tarafta kabuk beton tamamen düşmüştür.
-7 CP	0.03/16.20		-16.25 mm Deplasman, -1830 kg Yük Deney sonlandırılmıştır.



Şekil 4.65. BC15/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/2.5 numunesi deney öncesi ve sonrası görünümü

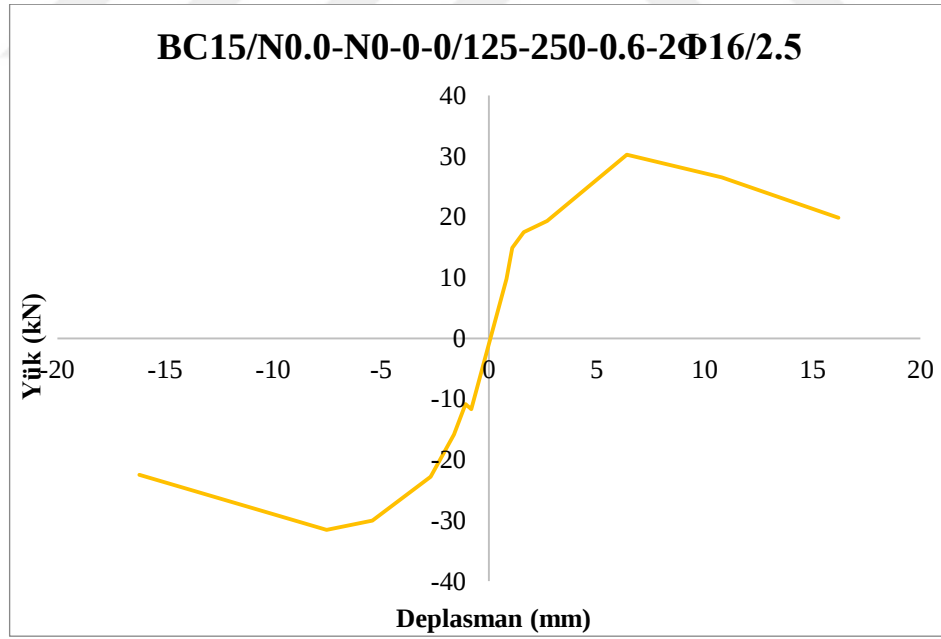


Şekil 4.66. BC15/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/2.5 numunesi deney sonu görünümü



Şekil 4.67. BC15/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/2.5 numunesine ait yük-deplasman grafiği

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



Şekil 4.68. BC15/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/2.5 numunesi zarf eğrisi

Deney sonuçları Çizelge 4.47 ve Çizelge 4.48’de özetlenmiştir.

Çizelge 4.47. BC15/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/2.5 numunesi deplasman, süneklik ve rijitlik değerleri

Deney No	Grup	+ δ_y	- δ_y	+ δ_{max}	- δ_{max}	+ δ_u	- δ_u	+ μ	- μ	+ S_y	- S_y	+ S_{max}	- S_{max}
BC15/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/2.5	5	4,86	4,19	6,39	7,52	11,43	12,06	2,35	2,88	5,29	6,39	4,74	4,19

Çizelge 4.48. BC15/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/2.5 numunesi maksimum yük ve enerji tüketme kapasite değerleri

Deney No	Grup	+ P_y	- P_y	+ P_{max}	- P_{max}	+ E_y	- E_y	+ E_{pmaks}	- E_{pmaks}	+ E_t	- E_t
BC15/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/2.5	5	25,72	26,81	30,26	31,54	0,089	0,075	0,127	0,172	0,378	0,407

4.1.6.2. BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/2.5 Numunesi

5. grupta test edilen ve BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/2.5 olarak adlandırılan 4 mm çaplı MÇD ile ilk güçlendirilen numunedir. Deney sırasında Çevrim numarası (Ç.n), meydana gelen deplasman, çatlaklar, hasarlar ve deney elemanında gözlemlenen durumlar Çizelge 4.49’da verilmiştir. Şekil 4.69, yükleme başlamadan önce numunenin ilk ve son durumunu göstermektedir. Deney protokolüne uygun olarak, her çevrim iki kez tekrarlanmıştır. Deney, kesme çatlaklarının artmasıyla ve betonun kabuktan ayrılmasıyla sonlandırılmıştır. Bu deney numunesine ait yük-deplasman grafiği Şekil 4.71’de verilmiştir.

Çizelge 4.49. BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/2.5 numunesinde gözlemlenen durumlar

Ç.n	Görelî ötelenme oranı/Deplasman %/(mm)	Çatlak No	Açıklama
+1 IO	0.0015/0,81	1-2	0.81 mm Deplasman, 1194 kg Yük 1 numaralı çatlak temelden 9 cm yukarıda oluşmuştur. 2 numaralı çatlak temel giriş birleşiminde oluşmuştur.
-1 IO	0.0015/0,81	3-4	-0.81 mm Deplasman, -804 kg Yük 4 numaralı çatlak giriş temel birleşiminde oluşmuştur. 3 numaralı çatlak temelden 7 cm yukarıda oluşmuştur.
+1 IO	0.0015/0,81	5	0.81 mm Deplasman, 1285 kg Yük 1 numaralı çatlak uzamıştır. 5 numaralı çatlak oluşmuştur ve temelden 16 cm yukarıda oluşmuştur.
-1 IO	0.0015/0,81		-0.81 mm Deplasman, -715 kg Yük 3 numaralı çatlak uzamış ve 1 numaralı çatlakla birleşmiştir. 4 numaralı çatlak uzamıştır.
+2 LS	0.0020/1.08	6	1.08 mm Deplasman, 1490 kg Yük 6 numaralı çatlak temelden 23 cm yukarıda oluşmuştur. 2 numaralı çatlak uzamış ve 4 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 1 numaralı çatlak dallanmıştır.

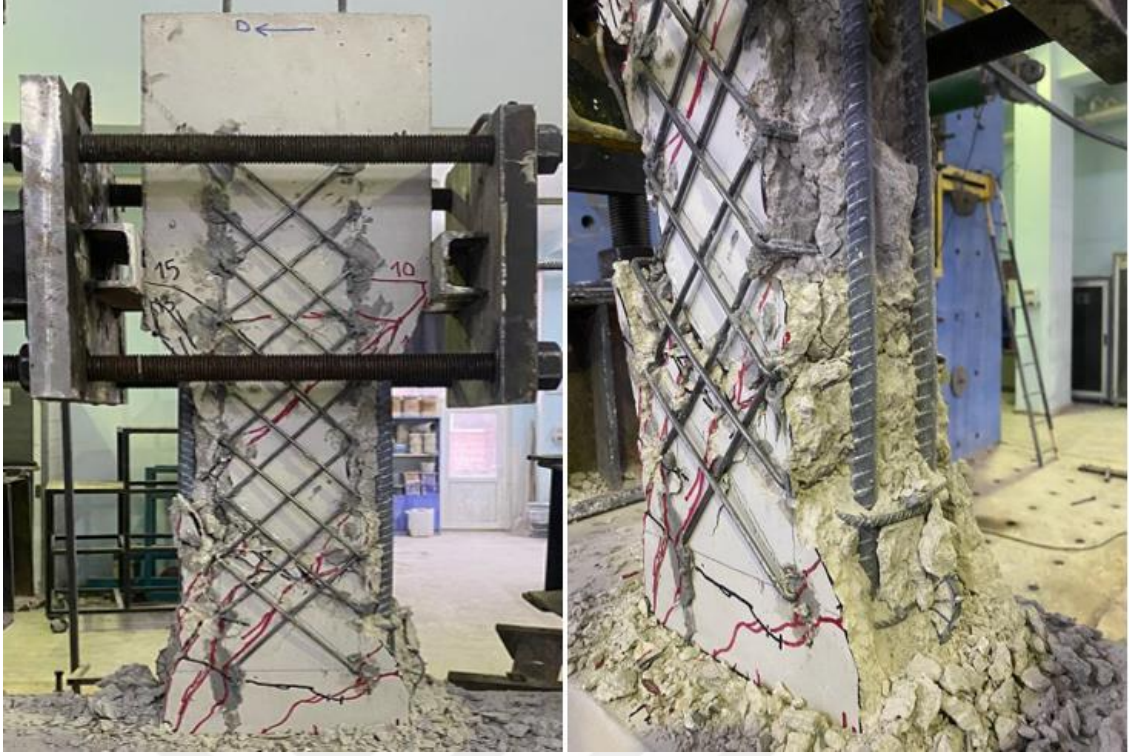
-2 LS	0.0020/1.08	7	-1.10 mm Deplasman, -910 kg Yük 7 numaralı çatlak temelden 18 cm yukarıda oluşmuştur.
+2 LS	0.0020/1.08		1.08 mm Deplasman, 1610 kg Yük 6 numaralı çatlak uzamıştır.
-2 LS	0.0020/1.08		-1.09 mm Deplasman, -850 kg Yük Herhangi bir çatlak oluşmamıştır.
+3 CP	0.0030/1.62	8	1.62 mm Deplasman, 2130 kg Yük 6 numaralı çatlak kesme çatlağı şeklinde uzamıştır. 6 numaralı çatlak dallanmıştır. 6 numaralı çatlak üzerinde 8 numaralı yeni çatlak oluşmuştur ve 6 numaralı çatlak ile birleşmiştir.
-3 CP	0.0030/1.62		-1.62 mm Deplasman, -1330 kg Yük 7 numaralı çatlak dallanmıştır.
+3 CP	0.0030/1.62		1.62 mm Deplasman, 2044 kg Yük 6 numaralı çatlak dallanmıştır. 8 numaralı çatlak dallanmıştır.
-3 CP	0.0030/1.62		-1.61 mm Deplasman, -1240 kg Yük Herhangi bir çatlak oluşmamıştır.
+4 CP	0.0050/2.70		2.73 mm Deplasman, 2965 kg Yük 8 numaralı çatlak uzamış ve 6 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 8 numaralı çatlak dallanmıştır. 6 numaralı çatlak uzamıştır. 5 numaralı çatlak uzamıştır. Çok hafif bir rijitlik kaybı vardır.
-4 CP	0.0050/2.70	9-10-11	-2.72 mm Deplasman, -2215 kg Yük 9 numaralı yeni çatlak oluşmuştur ve 1 numaralı çatlak ile birleşmiştir. Yükleme noktasında 10 numaralı eğilme çatlağı oluşmuştur. Yükleme noktasında 11 numaralı eğilme çatlağı oluşmuştur. 3 numaralı çatlak dallanmış ve 6 numaralı çatlak ile birleşmiştir.
+4 CP	0.0050/2.70	12	2.69 mm Deplasman, 2830 kg Yük 12 numaralı çatlak oluşmuş ve 8 numaralı çatlak ile birleşmiştir.
-4 CP	0.0050/2.70		-2.70 mm Deplasman, -2010 kg Yük 7 numaralı çatlak dallanmıştır.
+5 CP	0.01/5.4	13	5.44 mm Deplasman, 4400 kg Yük Yükleme noktasından başlayan 13 numaralı çatlak oluşmuştur. 8 numaralı çatlak genişlemiş ve uzamıştır. 6 numaralı çatlak dallanmıştır. 8 numaralı çatlak temele kadar uzamıştır. Çok belirgin hasarlar oluşmuştur ama mekanik dikişler bu hasarları engellemiştir. Belirgin rijitlik kaybı vardır.

-5 CP	0.01/5.4	14	-5.40 mm Deplasman, -3390 kg Yük 1 numaralı çatlak kesme çatlağı şeklinde uzamıştır. 9 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 14 numaralı yeni çatlak oluşmuştur ve 11 ile 9 numaralı çatlaklarla birleşmiştir. 7 numaralı çatlak genişlemiş ve temele kadar uzamıştır. Temelde çatlaklar vardır. En ciddi hasarlar burada oluşmuştur.
+5 CP	0.01/5.4		5.40 mm Deplasman, 3880 kg Yük 13 numaralı çatlak uzamıştır. 8 numaralı çatlak genişlemiştir.
-5 CP	0.01/5.4		-5.40 mm Deplasman, -3130 kg Yük 9 numaralı çatlak uzamış ve genişlemiştir. 14 numaralı çatlak genişlemiştir. 11 numaralı çatlak dallanmıştır.
+6 CP	0.02/10.8	15	10.80 mm Deplasman, 4620 kg Yük 15 numaralı çatlak yükleme noktasında başlayan kesme çatlağı şeklinde oluşmuş ve ilerleyerek 6 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 13 numaralı çatlak genişlemiş ve uzamıştır. 8 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 8 numaralı çatlak yarım cm genişlemiştir. Çok belirgin bir rijitlik kaybı ve yük-deplasman grafiğinde de gözlemlenmiştir.
-6 CP	0.02/10.8		-10.86 mm Deplasman, -4780 kg Yük 10 numaralı çatlak kesme çatlağı şeklinde uzamış ve 13 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 10 numaralı çatlak eğilme çatlağı şeklinde uzamış ve 12 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 11 numaralı çatlak genişlemiştir. Çok belirgin bir rijitlik kaybı vardır.
+6 CP	0.02/10.8		10.80 mm Deplasman, 3780 kg Yük 12 ve 13 numaralı çatlaklar genişlemiştir. Altan itibaren 2. mekanik dikiş sıyrılmıştır.
-6 CP	0.02/10.8		-10.80 mm Deplasman, -4210 kg Yük Mevcut çatlaklarda genişlemeler olmuştur. Kirişin sol ucu ezilmeye doğru zorlanmıştır.
+7 CP	0.03/16.20		16.20 mm Deplasman, 4300 kg Yük 15 numaralı çatlak 1 cm'ye yakın genişlemiştir. 8, 12 ve 15 numaralı çatlaklar ana çatlaklarımızdır ve bu çatlaklar genişlemiştir. Dikişler şu an sıyrılmaktadır. En alttan iki tane dikiş sıyrılmıştır. Belirgin rijitlik kaybı vardır.
-7 CP	0.03/16.20		-16.23 mm Deplasman, 4470 kg Yük 10 numaralı çatlak genişlemiş, uzamış ve dallanmıştır. 10 numaralı çatlak 8, 6, 5 ve 1 numaralı çatlaklarla birleşmiştir. 7 numaralı çatlak dallanmıştır.

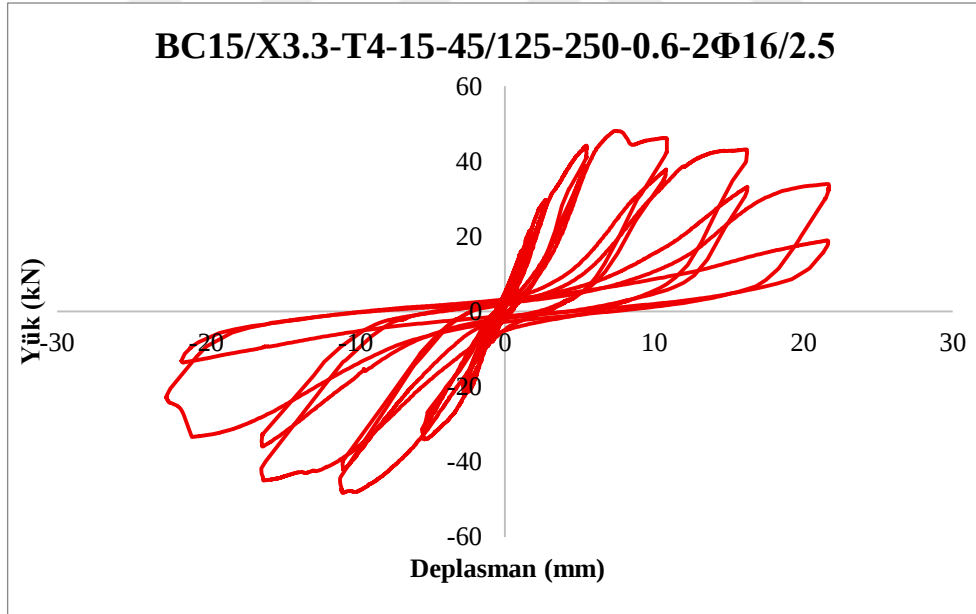
+7 CP	0.03/16.20		16.20 mm Deplasman, 3315 kg Yük 8 numaralı çatlak genişlemiş ve beton dökülmüştür. 13 numaralı çatlak dallanmıştır.
-7 CP	0.03/16.20		-16.20 mm Deplasman, -3560 kg Yük Kirişin kabuk beton tarafı kırılmaya çalışmıştır.
+8 CP	0.04/21.60		21.70 mm Deplasman, 3368 kg Yük Kabuk beton dökülmeye çalışmıştır. Mekanik dikişler hâlâ kesme kapasitesini artırmaya devam etmektedir.
-8 CP	0.04/21.60		22.60 mm Deplasman, 2600 kg Yük Sol kabuk beton dökülmüştür. Sağ kabuk betonda dökülmüştür.
+8 CP	0.04/21.60		21.60 mm Deplasman, 1896 kg Yük İleri hasar seviyesindeyiz. Kiriş, göçme moduna kabuk betonun atmasıyla ulaşmış ve kısmi kesme kırılmaları oluşmuştur.
-8 CP	0.04/21.60		21.60 mm Deplasman, 1330 kg Yük Deney sonlanmıştır.



Şekil 4.69. BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/2.5 numunesi deney öncesi ve sonrası görünümü

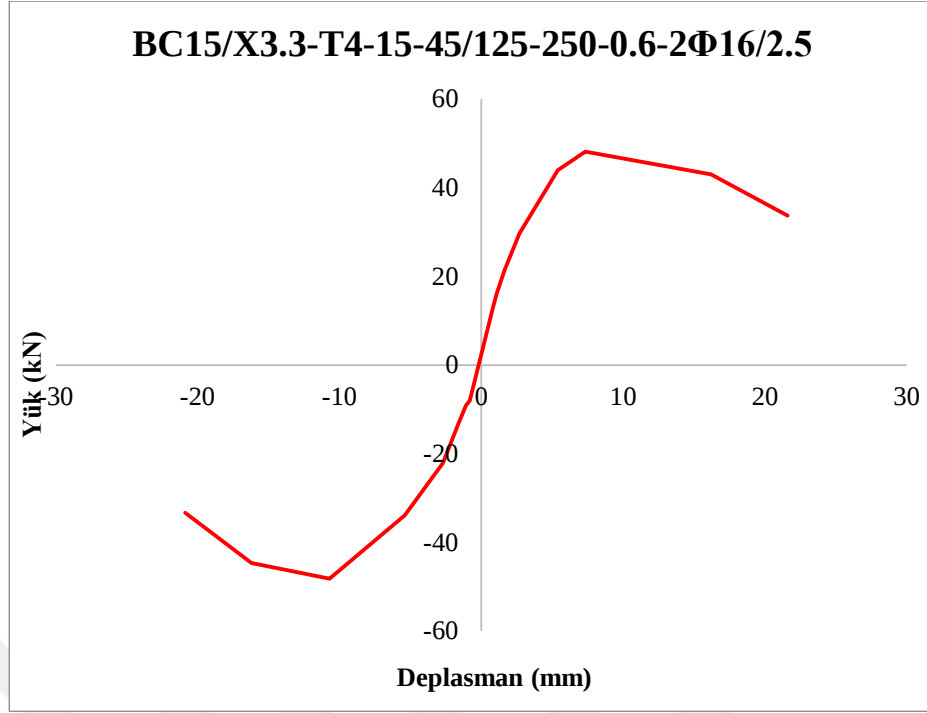


Şekil 4.70. BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/2.5 numunesi deney sonu görünümü



Şekil 4.71. BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/2.5 numunesine ait yük-deplasman grafiği

Deney numunelerin histerezis eğrisindeki her yüklemedeki maksimum yük noktalarının birleştirilmesi ile elde edilen zarf eğrisi Şekil 4.72’de verilmiştir.



Şekil 4.72. BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/2.5 numunesi zarf eğrisi

Deney sonuçları Çizelge 4.50 ve Çizelge 4.51’de özetlenmiştir.

Çizelge 4.50. BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/2.5 numunesi deplasman, süneklik ve rijitlik değerleri

Deney No	Grup	+ δ_y	- δ_y	+ δ_{max}	- δ_{max}	+ δ_u	- δ_u	+ μ	- μ	+ S_y	- S_y	+ S_{max}	- S_{max}
BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/2.5	5	4,82	8,02	7,35	10,69	17,41	17,73	3,61	2,21	8,49	5,11	6,55	4,51

Çizelge 4.51. BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/2.5 5 numunesi maksimum yük ve enerji tüketme kapasite değerleri

Deney No	Grup	+ P_y	- P_y	+ P_{max}	- P_{max}	+ E_y	- E_y	+ $E_{p_{maks}}$	- $E_{p_{maks}}$	+ E_t	- E_t
BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/2.5	5	40,91	40,97	48,13	48,20	0,125	0,214	0,236	0,324	0,846	0,762

4.1.6.3. BC15/X3.3-T6-15-45/125-250-0.6-2Ø16/2.5 Numunesi

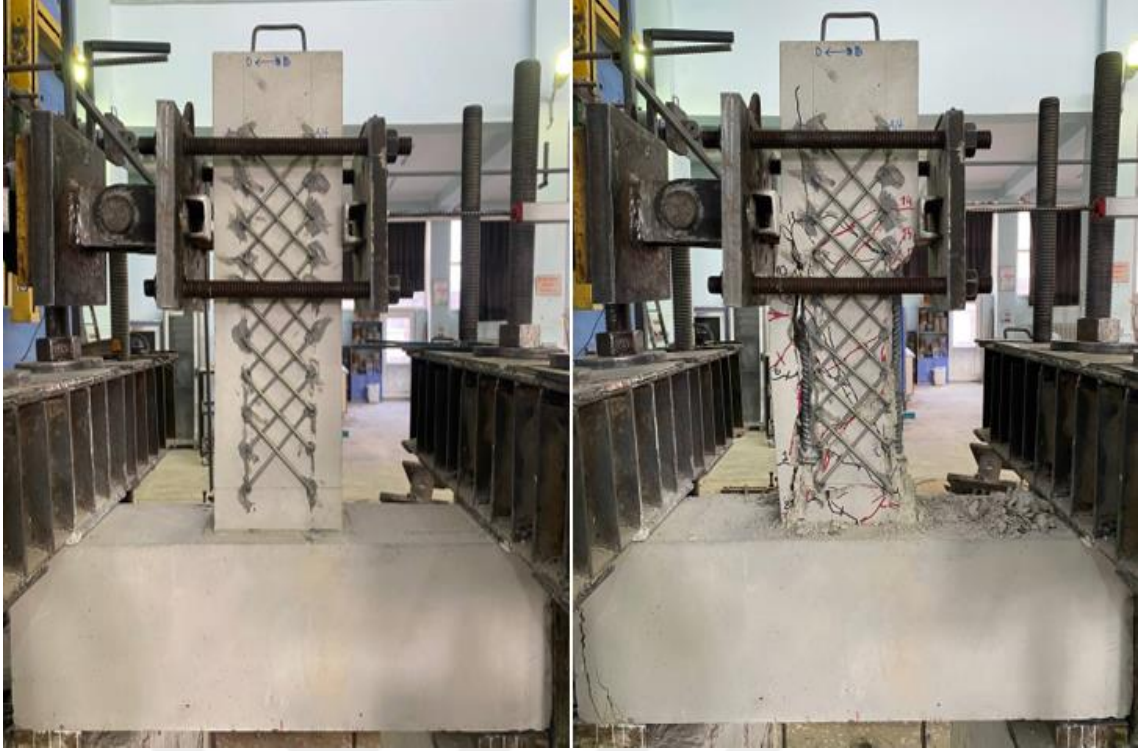
5. grupta test edilen ve BC15/X3.3-T6-15-45/125-250-0.6-2Ø16/2.5 olarak adlandırılan 6 mm çaplı MÇD ile ikinci güçlendirilen numunedir. Deney sırasında Çevrim numarası (Ç.n), meydana gelen deplasman, çatlaklar, hasarlar ve deney elemanında gözlemlenen durumlar Çizelge 4.52’de verilmiştir. Şekil 4.73, yükleme başlamadan önce numunenin ilk ve son durumunu göstermektedir. Deney protokolüne uygun olarak, her çevrim iki kez tekrarlanmıştır. Deney, kesme çatlaklarının artmasıyla ve betonun kabuktan ayrılmasıyla sonlandırılmıştır. Bu deney numunesine ait yük-deplasman grafiği Şekil 4.75’te verilmiştir.

Çizelge 4.52. BC15/X3.3-T6-15-45/125-250-0.6-2Ø16/2.5 numunesinde gözlemlenen durumlar

Ç.n	Görelî ötelenme oranı/Deplasman %/(mm)	Çatlak No	Açıklama
+1 IO	0.0015/0,81	1-2	0.81 mm Deplasman, 880 kg Yük 1 numaralı çatlak temelden 12 cm yukarıda oluşmuştur. 2 numaralı çatlak temel kiriş birleşiminde oluşmuştur.
-1 IO	0.0015/0,81	3-4-5	-0.82 mm Deplasman, -862 kg Yük 4 numaralı çatlak kiriş temel birleşiminde oluşmuştur. 3 numaralı çatlak temelden 20 cm yukarıda oluşmuştur. 5 numaralı çatlak temelden 9 cm yukarıda oluşmuştur.
+1 IO	0.0015/0,81	6	0.81 mm Deplasman, 975 kg Yük 6 numaralı çatlak temelden 27 cm yukarıda oluşmuştur. 2 numaralı çatlak uzamıştır.
-1 IO	0.0015/0,81		-0.81 mm Deplasman, -760 kg Yük 5 numaralı çatlak dallanarak temele kadar uzamıştır. 3 numaralı çatlak kesme çatlağı şeklinde uzamıştır.
+2 LS	0.0020/1.08		1.08 mm Deplasman, 1138 kg Yük 1 numaralı çatlak uzamıştır. 2 numaralı çatlak uzamış ve 5 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 6 numaralı çatlak uzamıştır.
-2 LS	0.0020/1.08		-1.09 mm Deplasman, -957 kg Yük 3 numaralı çatlak dallanmış ve uzamıştır. 4 numaralı çatlak, 2 ve 5 numaralı çatlaklarla birleşmiştir.
+2 LS	0.0020/1.08		1.08 mm Deplasman, 1042 kg Yük Herhangi bir çatlak oluşmamıştır.
-2 LS	0.0020/1.08		-1.08 mm Deplasman, -965 kg Yük Herhangi bir çatlak oluşmamıştır.
+3 CP	0.0030/1.62		1.61 mm Deplasman, 1565 kg Yük 1 numaralı çatlak kesme çatlağı şeklinde uzamıştır.
-3 CP	0.0030/1.62	7	-1.63 mm Deplasman, -1585 kg Yük 7 numaralı çatlak temelden 34 cm yükseklikte oluşmuştur. 5 numaralı çatlak dallanmıştır. 3 numaralı çatlak dallanmış, uzamış ve 1 numaralı çatlak ile birleşmiştir.
+3 CP	0.0030/1.62		1.61 mm Deplasman, 1545 kg Yük 6 numaralı çatlak kesme çatlağı şeklinde uzamıştır.
-3 CP	0.0030/1.62		-1.62 mm Deplasman, -1500 kg Yük 3 numaralı çatlakta dallanmalar oluşmuştur.
+4 CP	0.0050/2.70	8	2.69 mm Deplasman, 2375 kg Yük 6 numaralı çatlak uzamış ve 3 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 1 numaralı çatlak uzamıştır. 2 numaralı çatlak genişlemiştir. 8 numaralı yeni çatlak temelden 3 cm yükseklikte oluşmuştur.

-4 CP	0.0050/2.70	9	-2.71 mm Deplasman, -2260 kg Yük 7 numaralı çatlak dallanmış, uzamış ve 6 numaralı çatlak ile kesişmiştir. 3 ve 4 numaralı çatlaklar genişlemiştir. 9 numaralı yeni çatlak temelden 3 cm yükseklikte oluşmuştur.
+4 CP	0.0050/2.70		2.70 mm Deplasman, 2330 kg Yük 6 numaralı çatlak uzamıştır.
-4 CP	0.0050/2.70		-2.72 mm Deplasman, -2090 kg Yük 3 numaralı çatlak dallanmıştır.
+5 CP	0.01/5.4	10	5.40 mm Deplasman, 3026 kg Yük 10 numaralı çatlak oluşmuş ve 6 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 6 numaralı çatlak uzamıştır. 1 numaralı çatlak dallanmıştır. 2 numaralı çatlakta genişleme devam etmiştir.
-5 CP	0.01/5.4	11-12	-5.42 mm Deplasman, -3890 kg Yük 11 numaralı çatlak kesme çatlağı şeklinde oluşmuş ve 7, 8 ve 1 numaralı çatlaklarla birleşmiştir. 12 numaralı yeni kesme çatlağı oluşmuştur. 9 numaralı çatlak, 5 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 7 numaralı çatlak genişlemiştir.
+5 CP	0.01/5.4		5.40 mm Deplasman, 2520 kg Yük Herhangi bir çatlak oluşmamıştır.
-5 CP	0.01/5.4		-5.40 mm Deplasman, -3440 kg Yük 7 numaralı çatlak buradaki ana kesme çatlağı olarak gözükmiştir. 3 numaralı çatlak uzamıştır.
+6 CP	0.02/10.8	13	10.82 mm Deplasman, 3990 kg Yük 10 numaralı çatlak dallanmıştır. 13 numaralı çatlak yükleme noktasında başlamış ve 10 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 1 numaralı çatlak uzamış ve 5 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 6 numaralı çatlak uzamış ve 5 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 1 numaralı çatlak uzamış ve 8 numaralı çatlak ile birleşmiştir.
-6 CP	0.02/10.8	14	-10.80 mm Deplasman, -4910 kg Yük 11 numaralı çatlak uzamış ve genişlemiştir. 7 numaralı çatlak uzamış ve genişlemiştir. 14 numaralı yeni çatlak oluşmuş, eğilmeden kesmeye doğru uzamış ve 10 numaralı çatlak ile birleşerek temele kadar uzanmıştır. 3 ve 7 numaralı çatlaklar genişlemiştir. 9 numaralı çatlak genişlemiştir. 15 numaralı yeni çatlak yükleme noktasında oluşmuştur.
+6 CP	0.02/10.8		10.90 mm Deplasman, 3420 kg Yük 1 numaralı çatlak genişlemiştir. 13 numaralı çatlak dallanmış ve genişlemiştir. 1 numaralı çatlak, 5 numaralı çatlak ile birleşmiştir.
-6 CP	0.02/10.8	15	-10.81 mm Deplasman, -4351 kg Yük 15 numaralı çatlak, 12 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 11 numara ana çatlak olmuştur.

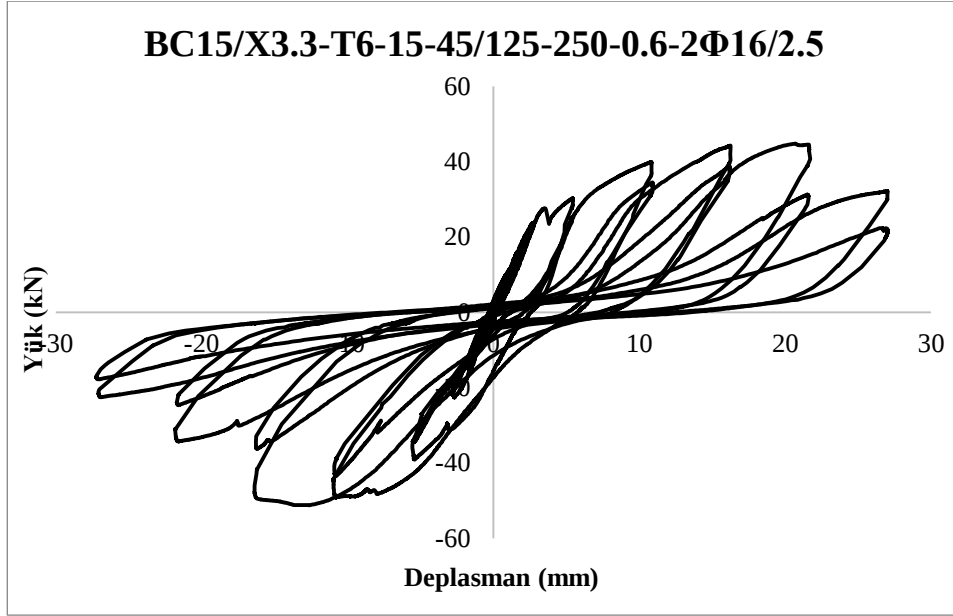
			14 numaralı çatlak dallanmıştır. 4 numaralı çatlaktaki genişleme devam etmiştir. 3, 11, 12 ve 14 numaralı çatlaklar genişlemiştir.
+7 CP	0.03/16.20		16.25 mm Deplasman, 4430 kg Yük 13 numaralı çatlak dallanarak uzamış ve 6 numaralı çatlakla birleşmiştir. 6 numaralı çatlak uzamıştır. Kirişin sağ ucu ezilmeye başlamıştır. 13 numaralı çatlak uzamış ve 14 ile 15 numaralı çatlaklarla birleşmiştir.
-7 CP	0.03/16.20		-16.21 mm Deplasman, -4935 kg Yük 11 numaralı çatlak ana kesme çatlağı olmuştur. Kiriş eğilmeye doğru gitmiştir. 5 numaralı çatlak uzamıştır. Kirişin sol tarafı ezilmiştir. Kabuk beton kırılmaya doğru gitmiştir.
+7 CP	0.03/16.20		16.19 mm Deplasman, 3870 kg Yük Her iki tarafta da yük taşıma kapasitesinde düşme olmamıştır. Kabuk beton dökülmeye başlamıştır. Mevcut çatlaklarda genişlemeler olmuştur. İleri çevrimde 13, 10 ve 1 numara ana kesme çatlaklarını oluşturmuştur.
-7 CP	0.03/16.20		-16.20 mm Deplasman, -3625 kg Yük Her iki taraftan kabuk beton kırılmaya başlamıştır. 3 numara ana kesme çatlağı olmuştur. 12, 11 ve 7 numaralı çatlaklar kabuk betonu kırmaya çalışan çatlaklar olmuştur.
+8 CP	0.04/21.60		21.63 mm Deplasman, 4450 kg Yük Kabuk betonda dökülmeler olmuştur. Çatlak genişlikleri 1 cm'ye yaklaşmıştır. Kirişlerin üst tarafı eğilmeye çalışmıştır.
-8 CP	0.04/21.60		21.63 mm Deplasman, 3429 kg Yük Mevcut çatlaklar genişlemiştir. Mekanik dikişlerde oynama olmamıştır.
+8 CP	0.04/21.60		21.59 mm Deplasman, 3120 kg Yük Çatlaklar iyice genişlemiştir ve kabuk beton dökülecektir.
-8 CP	0.04/21.60		21.60 mm Deplasman, 2462 kg Yük Mevcut çatlaklar genişlemiştir
+9 CP	0.05/27.0		27.00 mm Deplasman, 3216 kg Yük Kabuk betondaki genişlemeler artmıştır. Kirişin artık sünek davrandığına emin olunmuştur.
-9 CP	0.05/27.0		-27.00 mm Deplasman, -2238 kg Yük Kabuk betonda genişlemeler olmuştur ancak hala dökülmemiştir.
+9 CP	0.05/27.0		27.00 mm Deplasman, 2220 kg Yük Mevcut çatlaklar genişlemiştir
-9 CP	0.05/27.0		27.10 mm Deplasman, 1778 kg Yük Deney sonlanmıştır.



Şekil 4.73. BC15/X3.3-T6-15-45/125-250-0.6-2Ø16/2.5 numunesi deney öncesi ve sonrası görünümü

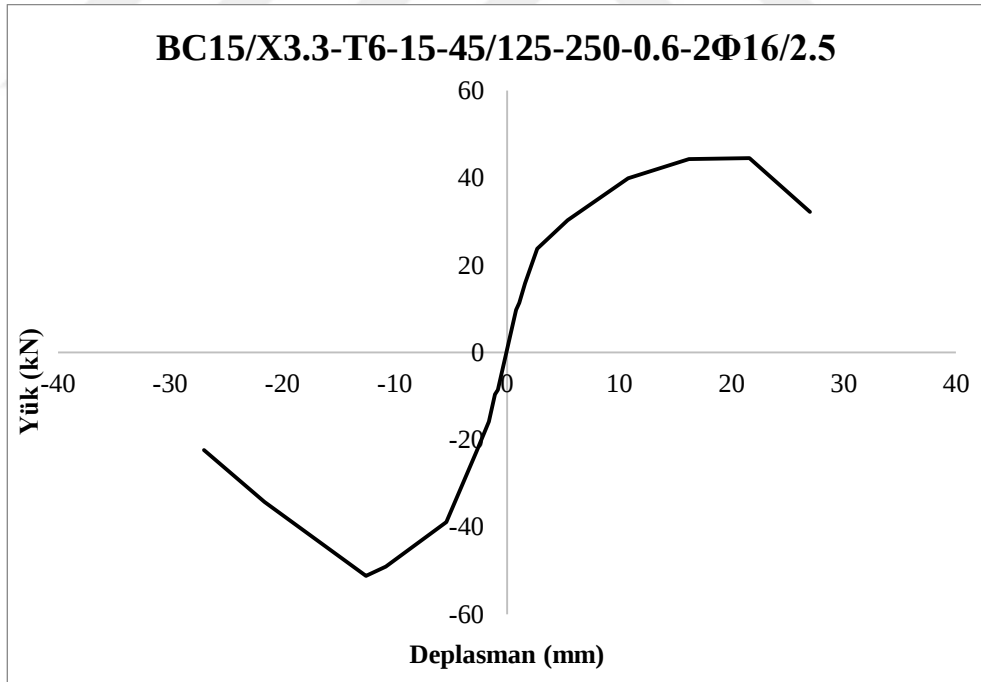


Şekil 4.74. BC15/X3.3-T6-15-45/125-250-0.6-2Ø16/2.5 numunesi deney sonu görünümü



Şekil 4.75. BC15/X3.3-T6-15-45/125-250-0.6-2Ø16/2.5 numunesine ait yük-deplasman grafiği

Deney numunelerin histerezis eğrisindeki her yüklemedeki maksimum yük noktalarının birleştirilmesi ile elde edilen zarf eğrisi Şekil 4.76’da verilmiştir.



Şekil 4.76. BC15/X3.3-T6-15-45/125-250-0.6-2Ø16/2.5 numunesi zarf eğrisi

Deney sonuçları Çizelge 4.53 ve Çizelge 4.4’de özetlenmiştir.

Çizelge 4.53. BC15/X3.3-T6-15-45/125-250-0.6-2Ø16/2.5 numunesi deplasman, süneklik ve rijitlik değerleri

Deney No	Grup	$+\delta_y$	$-\delta_y$	$+\delta_{max}$	$-\delta_{max}$	$+\delta_u$	$-\delta_u$	$+\mu$	$-\mu$	$+S_y$	$-S_y$	$+S_{max}$	$-S_{max}$
BC15/X3.3-T6-15-45/ 125-250-0.6-2Ø16/2.5	5	9,64	7,85	21,60	12,57	24,52	16,67	2,54	2,12	3,92	5,54	2,06	4,07

Çizelge 4.54. BC15/X3.3-T6-15-45/125-250-0.6-2Ø16/2.5 numunesi maksimum yük ve enerji tüketme kapasite değerleri

Deney No	Grup	$+P_y$	$-P_y$	$+P_{max}$	$-P_{max}$	$+E_y$	$-E_y$	$+E_{pmaks}$	$-E_{pmaks}$	$+E_t$	$-E_t$
BC15/X3.3-T6-15-45/ 125-250-0.6-2Ø16/2.5	5	37,83	43,54	44,50	51,22	0,257	0,225	0,765	0,443	0,972	0,982

4.1.6.4. BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.0-2Ø16/2.5 Numunesi

5. grupta test edilen ve BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.0-2Ø16/2.5 olarak adlandırılan 4 mm çaplı MÇD ile üçüncü güçlendirilen numunedir. Deney sırasında Çevrim numarası (Ç.n), meydana gelen deplasman, çatlaklar, hasarlar ve deney elemanında gözlemlenen durumlar Çizelge 4.55'te verilmiştir. Şekil 4.77, yükleme başlamadan önce numunenin ilk ve son durumunu göstermektedir. Deney protokolüne uygun olarak, her çevrim iki kez tekrarlanmıştır. Deney, kesme çatlaklarının artmasıyla ve betonun kabuktan ayrılmasıyla sonlandırılmıştır. Bu deney numunesine ait yük-deplasman grafiği Şekil 4.79'da verilmiştir.

Çizelge 4.55. BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.0-2Ø16/2.5 numunesinde gözlemlenen durumlar

Ç.n	Görelî ötelenme oranı/Deplasman %/(mm)	Çatlak No	Açıklama
+1 IO	0.0015/0,81	1-2	0.84 mm Deplasman, 962 kg Yük 1 numaralı çatlak temelden 13 cm yukarıda oluşmuştur. 2 numaralı çatlak temelden 23 cm yukarıda oluşmuştur.
-1 IO	0.0015/0,81	3-4	-0.82 mm Deplasman, -1020 kg Yük 3 numaralı çatlak kiriş-temel birleşiminde oluşmuştur. 4 numaralı çatlak temelden 13 cm yukarıda oluşmuştur.
+1 IO	0.0015/0,81	5	0.81 mm Deplasman, 975 kg Yük 5 numaralı çatlak kiriş-temel birleşiminde oluşmuştur. 2 numaralı çatlak dallanmıştır. 1 numaralı çatlak kesme çatlağı şeklinde uzamıştır.
-1 IO	0.0015/0,81		-0.81 mm Deplasman, -875 kg Yük 3 numaralı çatlak uzamıştır.
+2 LS	0.0020/1.08		1.07 mm Deplasman, 1160 kg Yük 1 numaralı çatlak uzamıştır. 5 numaralı çatlak uzamıştır.

-2 LS	0.0020/1.08		-1.08 mm Deplasman, -1145 kg Yük Herhangi bir çatlak oluşmamıştır.
+2 LS	0.0020/1.08		1.08 mm Deplasman, 1165 kg Yük 1 numaralı çatlak temele kadar uzamış ve 3 numaralı çatlak ile birleşmiştir.
-2 LS	0.0020/1.08		-1.08 mm Deplasman, -1070 kg Yük Herhangi bir çatlak oluşmamıştır.
+3 CP	0.0030/1.62	6	1.60 mm Deplasman, 1680 kg Yük 1 numaralı çatlak uzamıştır. 6 numaralı çatlak temelden 28 cm yükseklikte oluşmuştur.
-3 CP	0.0030/1.62	7	-1.61 mm Deplasman, -1240 kg Yük 7 numaralı çatlak temelden 23 cm yükseklikte oluşmuştur. 3 numaralı çatlak genişlemiştir.
+3 CP	0.0030/1.62		1.61 mm Deplasman, 1768 kg Yük 1 numaralı çatlak uzamıştır. 6 numaralı çatlak uzamıştır.
-3 CP	0.0030/1.62		-1.61 mm Deplasman, -1199 kg Yük 4 numaralı çatlak uzamıştır.
+4 CP	0.0050/2.70	8	2.70 mm Deplasman, 2500 kg Yük 1 numaralı çatlak uzamıştır. 6 numaralı çatlak dallanmıştır. 5 numaralı çatlak uzamıştır. 8 numaralı yeni çatlak temelden 6 cm yükseklikte oluşmuştur.
-4 CP	0.0050/2.70	9-10	-2.70 mm Deplasman, -1995 kg Yük 9 numaralı yeni çatlak temelden 10 cm yükseklikte oluşmuştur. 10 numaralı yeni çatlak temelden 15 cm yükseklikte oluşmuştur. 3 numaralı çatlak 5 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 7 numaralı çatlak uzamıştır.
+4 CP	0.0050/2.70		2.70 mm Deplasman, 2435 kg Yük 6 ve 7 numaralı çatlaklar birleşmiştir. 2 numaralı çatlak uzamıştır. 1 numaralı çatlakta dallanmalar oluşmuştur.
-4 CP	0.0050/2.70		-2.70 mm Deplasman, -1845 kg Yük Herhangi bir çatlak oluşmamıştır.
+5 CP	0.01/5.4	11-12	5.38 mm Deplasman, 3740 kg Yük 11 numaralı kesme çatlağı oluşmuş ve 6 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 6 numaralı çatlak dallanmıştır ve 2 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 2 numaralı çatlak uzamıştır. 12 numaralı yeni çatlak temelden 21 cm yükseklikte oluşmuş ve 1 numaralı çatlak ile birleşmiştir. Temeldeki çatlak uzamıştır. Orta bölgede çatlak oluşmamıştır. Kabuk beton tarafından kırılmaya çalışılmıştır.

-5 CP	0.01/5.4	13-14-15	-5.40 mm Deplasman, -3100 kg Yük 13 numaralı yeni kesme çatlağı temelden 34 cm yükseklikte oluşmuş ve 1 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 14 numaralı yeni kesme çatlağı temelden 26 cm yükseklikte oluşmuş ve 7 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 15 numaralı yeni kesme çatlağı temelden 42 cm yükseklikte oluşmuştur. 3 numaralı çatlak genişlemiştir.
+5 CP	0.01/5.4		5.39 mm Deplasman, 3675 kg Yük 11 numaralı çatlak genişlemiştir. 12 numaralı çatlak dallanmıştır. 8 numaralı çatlak uzamıştır. Orta bölge tertemiz kalmıştır.
-5 CP	0.01/5.4		-5.40 mm Deplasman, -2720 kg Yük 10 numaralı çatlak uzamıştır. 13 ve 14 numaralı çatlaklar birleşmiştir. 7 numaralı çatlak dallanmış ve uzamıştır.
+6 CP	0.02/10.8	16	10.80 mm Deplasman, 5045 kg Yük Yüklemeye noktasında kesme çatlağı şeklinde 16 numaralı çatlak oluşmuş ve bu çatlak uzayarak 11 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 11 numaralı çatlak uzamış ve 6 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 6 numaralı çatlak genişlemiş ve uzamıştır. 16 numaralı çatlak, 15, 14, 13 ve 7 numaralı çatlaklarla kesişmiştir. Temelde çatlak uzamaya devam etmiştir. 12 numaralı çatlak uzamıştır. 16 numaralı çatlak temele kadar kesme çatlağı şeklinde uzamıştır.
-6 CP	0.02/10.8	17	-10.80 mm Deplasman, -3910 kg Yük Yüklemeye noktasından başlayan 17 numaralı kesme çatlağı oluşmuştur. 17 numaralı çatlak, 15 ve 14 numaralı çatlaklarla birleşmiştir. 15 numaralı çatlak temele kadar uzamış ve genişlemiştir. 9 numaralı çatlak uzamıştır. 17 numaralı çatlak, 11 ve 16 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 15 numaralı çatlak ana, 17 numaralı çatlak destek çatlağı şeklindedir.
+6 CP	0.02/10.8		10.80 mm Deplasman, 4680 kg Yük Mekanik dikişler ortadan kesme çatlağının genişlemesini engellemiştir. Kabuk beton tarafından kırılmaya çalışılmıştır.
-6 CP	0.02/10.8		-10.80 mm Deplasman, -3210 kg Yük Mevcut çatlaklarda genişlemeler gözlemlenmiştir. 17, 15, 13, 14 ve 7 numaralı çatlaklar bir noktada kesişmiştir. Ortadan kırmaya çalışılmış, ancak mekanik dikişler buna engel olmuştur.
+7 CP	0.03/16.20		16.20 mm Deplasman, 5170 kg Yük 6 numaralı çatlak genişlemiş ve uzamıştır. 16 numaralı çatlak eğilme çatlağı şeklinde uzamıştır. Kirişin sağ ve sol tarafında kabuk beton genişlemeye başlamıştır. Kirişin sağ ucu ezilmeye başlamıştır.

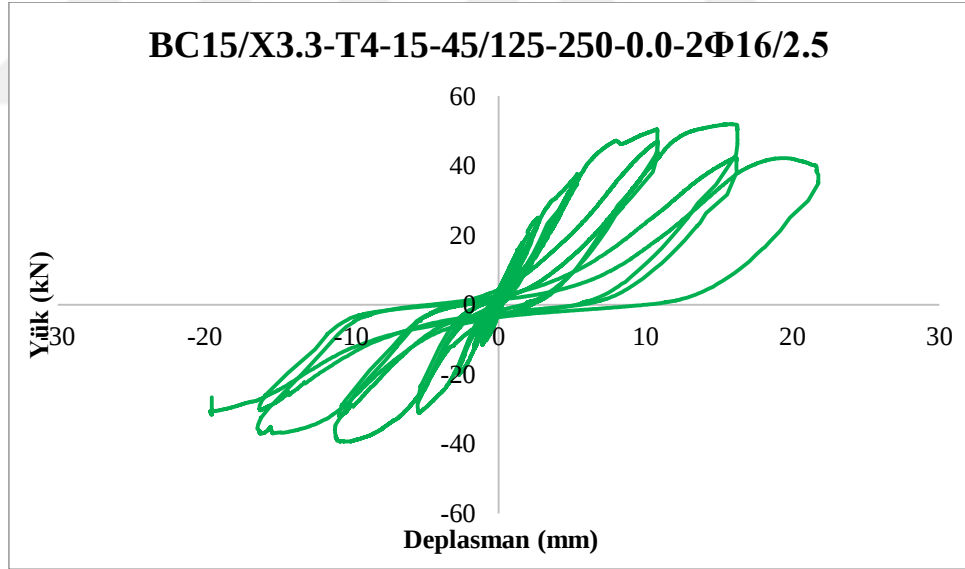
-7 CP	0.03/16.20		-16.20 mm Deplasman, -3705 kg Yük 17, 15, 14 ve 7 numaralı çatlakların kesiştiği bölgelerde genişlemeler gözlemlenmiştir. 15 numaralı ana çatlak genişlemeye çalışmıştır. Kabuk betonda dökülmeler gözlemlenmiştir.
+7 CP	0.03/16.20		16.20 mm Deplasman, 1205 kg Yük Kabuk beton kırılmaya çalışmıştır. 12 numaralı çatlak genişletilmeye çalışılmış, ancak genişleyememiştir. Kirişin sağ ve sol ucunda ezilmeler oluşmuştur.
-7 CP	0.03/16.20		-16.21 mm Deplasman, -3040 kg Yük Sağ taraftaki kabuk beton genişlemeye devam etmiştir. 15 numaralı ana çatlak genişlemeye devam etmiştir. Mevcut çatlaklar genişlemiş ve kırılmıştır.
+8 CP	0.04/21.60		21.60 mm Deplasman, 4005 kg Yük Kabuk betondaki genişlemeler daha da artmıştır. Orta bölgede kesme çatlağı oluşmamıştır. Kiriş resmen sünek davranmıştır. Kabuk betonda dökülmeler gözlemlenmiştir.
-8 CP	0.04/21.60		-22.05 mm Deplasman, 2230 kg Yük Temelde -1.02 mm hareketlilik oluşmuştur.
+8 CP	0.04/21.60		21.69 mm Deplasman, 800 kg Yük Mevcut çatlaklar genişlemiştir.
-8 CP	0.04/21.60		-21.59 mm Deplasman, 2480 kg Yük Kabuk beton dökülmüştür. İleri çevrimde kesme hasarı oluşmamış, geri çevrimde ise kesme hasarı oluşmuştur. Deney sonlanmıştır.



Şekil 4.77. BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.0-2Ø16/2.5 numunesi deney öncesi ve sonrası görünümü

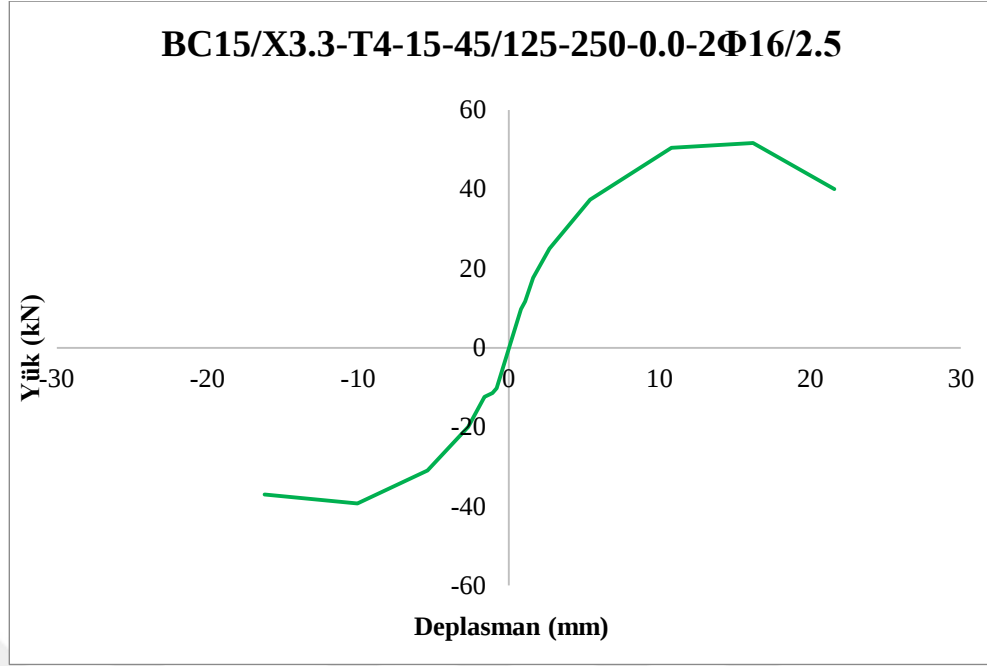


Şekil 4.78. BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.0-2Ø16/2.5 numunesi deney sonu görünümü



Şekil 4.79. BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.0-2Ø16/2.5 numunesine ait yük-deplasman grafiği

Deney numunelerin histerezis eğrisindeki her yüklemedeki maksimum yük noktalarının birleştirilmesi ile elde edilen zarf eğrisi Şekil 4.80’da verilmiştir.



Şekil 4.80. BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.0-2Ø16/2.5 numunesi zarf eğrisi

Deney sonuçları Çizelge 4.56 ve Çizelge 4.57’de özetlenmiştir.

Çizelge 4.56. BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.0-2Ø16/2.5 numunesi deplasman, süneklik ve rijitlik değerleri

Deney No	Grup	$+\delta_y$	$-\delta_y$	$+\delta_{max}$	$-\delta_{max}$	$+\delta_u$	$-\delta_u$	$+\mu$	$-\mu$	$+S_y$	$-S_y$	$+S_{max}$	$-S_{max}$
BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.0-2Ø16/2.5	5	8,11	6,74	16,20	10,05	19,79	16,88	2,44	2,51	5,42	4,95	3,19	3,91

Çizelge 4.57. BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.0-2Ø16/2.5 numunesi maksimum yük ve enerji tüketme kapasite değerleri

Deney No	Grup	$+P_y$	$-P_y$	$+P_{max}$	$-P_{max}$	$+E_y$	$-E_y$	$+E_{pmax}$	$-E_{pmax}$	$+E_t$	$-E_t$
BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.0-2Ø16/2.5	5	43,95	33,38	51,70	39,27	0,241	0,147	0,635	0,263	0,883	0,619

4.1.7. 6. Grup Numuneler

4.1.7.1. BC15/N0.0-N0-0-0/125-360-0.6-2Ø16/3.3 Numunesi

6. grupta test edilen BC15/N0.0-N0-0-0/125-360-0.6-2Ø16/3.3 olarak adlandırılan ilk numune referans numunedir. Deney sırasında Çevrim numarası (Ç.n), meydana gelen deplasman, çatlaklar, hasarlar ve deney elemanında gözlemlenen durumlar Çizelge 4.58’de verilmiştir. Şekil 4.81, yükleme başlamadan önce numunenin ilk ve son durumunu göstermektedir. Deney protokolüne uygun olarak, her çevrim iki kez tekrarlanmıştır. Deney, kesme çatlaklarının artmasıyla ve betonun kabuktan ayrılmasıyla

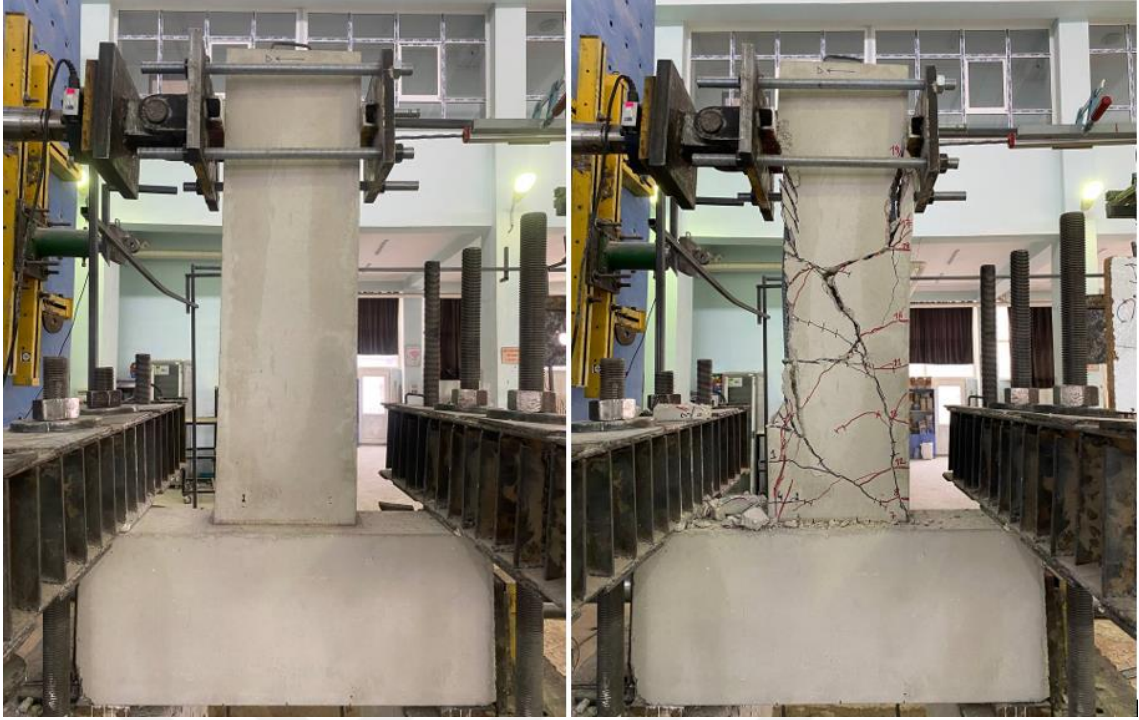
sonlandırılmıştır. Bu deney numunesine ait yük-deplasman grafiği Şekil 4.83'te verilmiştir.

Çizelge 4.58. BC15/N0.0-N0-0-0/125-360-0.6-2Ø16/3.3 numunesinde gözlemlenen durumlar

Ç.N	Görelî ötelenme oranı/Deplasman %/(mm)	Çatlak No	Açıklama
+1 IO	0.0015/1.5735	1-2-3-4-5-6	1.57 mm Deplasman, 1090 kg Yük 1 numaralı çatlak temelden 16 cm yukarıda oluşmuştur. 2 numaralı çatlak temelden 25 cm yukarıda oluşmuştur. 3 numaralı çatlak temelden 44 cm yukarıda oluşmuştur. 4 numaralı çatlak temelden 6 cm yukarıda oluşmuştur. 5 numaralı çatlak kiriş-temel birleşiminde oluşmuştur. 6 numaralı çatlak temelden 54 cm yukarıda oluşmuştur.
-1 IO	0.0015/1.5735	7-8	-1.68 mm Deplasman, -680 kg Yük 7 numaralı çatlak kiriş-temel birleşiminde oluşmuştur. 8 numaralı çatlak temelden 6 cm yukarıda oluşmuştur.
+1 IO	0.0015/1.5735	9	1.59 mm Deplasman, 1121 kg Yük 2 numaralı çatlak 1 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 1 numaralı çatlak uzamıştır. 3 numaralı çatlak uzamış ve dallanmıştır. 6 numaralı çatlak uzamıştır. 9 numaralı çatlak temelden 41 cm yukarıda oluşmuştur.
-1 IO	0.0015/1.5735		-1.04 mm Deplasman, -625 kg Yük Herhangi bir çatlak oluşmamıştır.
+2 LS	0.0020/2.098		2.08 mm Deplasman, 1450 kg Yük 2 numaralı çatlak dallanmıştır. 3 numaralı çatlak uzamıştır. 6 numaralı çatlak uzamıştır.
-2 LS	0.0020/2.098		-2.09 mm Deplasman, -852 kg Yük Herhangi bir çatlak oluşmamıştır.
+2 LS	0.0020/2.098		2.10 mm Deplasman, 1390 kg Yük 2 numaralı çatlak dallanmıştır.
-2 LS	0.0020/2.098		-2.09 mm Deplasman, -804 kg Yük 7 numaralı çatlak uzamıştır.
+3 CP	0.0030/3.147	10	3.12 mm Deplasman, 1780 kg Yük 4 numaralı çatlak dallanmış ve uzamıştır. 3 numaralı çatlak uzamıştır. 6 numaralı çatlak uzamıştır. 10 numaralı çatlak temelden 70 cm yükseklikte oluşmuştur.
-3 CP	0.0030/3.147	11	-3.14 mm Deplasman, -1274 kg Yük 8 numaralı çatlak 2 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 11 numaralı çatlak temelden 41 cm yükseklikte oluşmuştur.
+3 CP	0.0030/3.147		3.13 mm Deplasman, 1705 kg Yük 2 numaralı çatlakta dallanma gözlenmiştir. 3 ve 6 numaralı çatlaklarda dallanma gözlenmiştir.
-3 CP	0.0030/3.147		-3.14 mm Deplasman, -1211 kg Yük 8 numaralı çatlak dallanmıştır.

+4 CP	0.0050/5.245		-5.24 mm Deplasman, -2300 kg Yük 5 numaralı çatlak uzamıştır. 4 numaralı çatlak uzamıştır. 2 numaralı çatlakta genişleme ve dallanma gözlenmiştir. 10 numaralı çatlak uzamış ve dallanmıştır. 9 numaralı çatlak uzamıştır. 6 numaralı çatlak uzamış ve dallanmıştır.
-4 CP	0.0050/5.245	12-13-14	-5.27 mm Deplasman, -2000 kg Yük 12 numaralı yeni çatlak temelden 14 cm yükseklikte oluşmuş ve 2 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 13 numaralı yeni çatlak temelden 28 cm yükseklikte oluşmuştur. 3 ve 11 numaralı çatlaklar birleşmiştir. 14 numaralı yeni çatlak temelden 53 cm yükseklikte oluşmuştur.
+4 CP	0.0050/5.245		5.25 mm Deplasman, 2245 kg Yük 6 numaralı çatlak uzamıştır. 2 numaralı çatlakta genişlemeler gözlenmiştir.
-4 CP	0.0050/5.245		-5.23 mm Deplasman, -1865 kg Yük Herhangi bir çatlak oluşmamıştır.
+5 CP	0.01/10.490	15-16	10.47 mm Deplasman, 3210 kg Yük Yüklem bölgesinin 5 cm altında 16 numaralı kesme çatlağı oluşmuş ve bu çatlak 10 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 10 numaralı çatlak genişlemiş ve kesme çatlağı şeklinde uzamıştır. 6 numaralı çatlak kesme çatlağı şeklinde genişlemiş ve uzamıştır. 2 numaralı çatlak genişlemiştir. Temelde ilk çatlak oluşmuştur. Ana kesme çatlağı olarak tarif edilebilecek çatlaklar: 16, 10, 6 numaralı çatlaklardır. 5 numaralı çatlak uzamıştır.
-5 CP	0.01/10.490	17	-10.47 mm Deplasman, -2845 kg Yük 7 numaralı çatlak 5 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 13 numaralı çatlak uzamıştır. 14 numaralı çatlak 6 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 17 numaralı kesme çatlağı temelden 72 cm yükseklikte oluşmuş ve 10 numaralı çatlak ile birleşmiştir.
+5 CP	0.01/10.490		10.47 mm Deplasman, 3015 kg Yük 10 numaralı çatlak uzamış ve genişlemiştir. 9 numaralı çatlak 2 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 6 numaralı çatlak uzamıştır. 15 ve 16 numaralı çatlaklar uzamıştır.
-5 CP	0.01/10.490	18	-10.49 mm Deplasman, -2656 kg Yük 18 numaralı kesme çatlağı temelden 75 cm yükseklikte oluşmuş ve 17 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 17 numaralı çatlak dallanmıştır. 13 numaralı çatlak uzamış ve dallanmıştır.

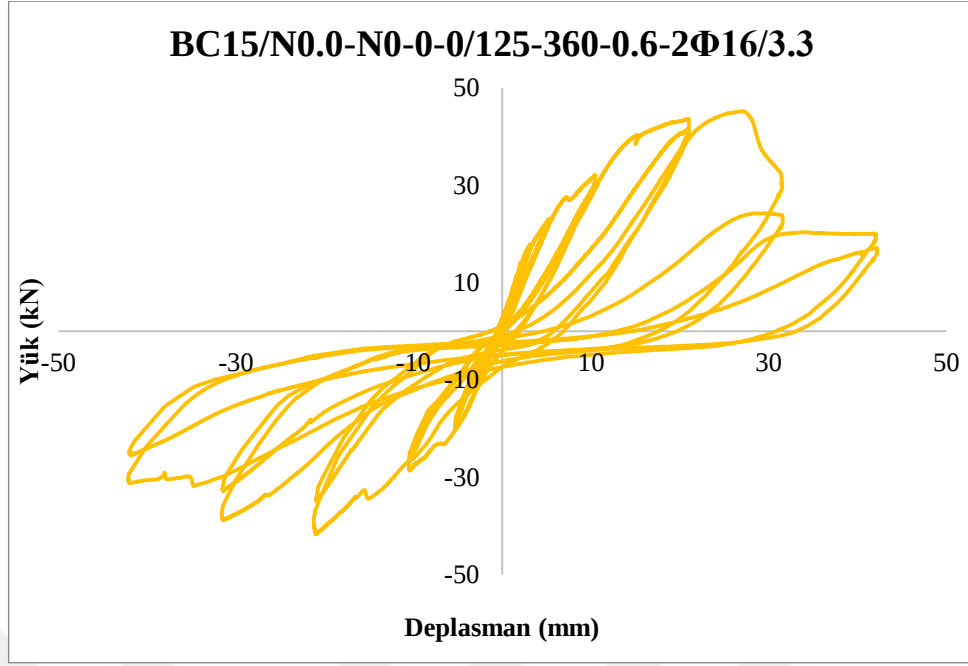
+6 CP	0.02/20,98		20.99 mm Deplasman, 4360 kg Yük 15 numaralı çatlak yükleme noktasına doğru uzamıştır. 16 ve 15 numaralı çatlaklar 0.5 mm genişlemiştir. 10 numaralı çatlak temele kadar genişleyerek uzamış ve kirişin sağ ucunu ezmeye başlamıştır. 9 numaralı çatlakta dallanmalar gözlenmiştir.
-6 CP	0.02/20,98	19	-20.99 mm Deplasman, -4157 kg Yük 19 numaralı çatlak yükleme noktasından başlayan kesme çatlağı şeklinde oluşmuş ve 17 ve 18 numaralı çatlaklar ile birleşmiştir. (Ana kesme çatlağı) 14 numaralı çatlak genişlemiş ve uzamıştır. (Kesme çatlağı) 12 numaralı çatlak kesme çatlağı şeklinde genişlemiş ve uzamış; 1, 2 ve 4 numaralı çatlaklarla birleşmiştir.
+6 CP	0.02/20,98		20.98 mm Deplasman, 4155 kg Yük 16 ve 10 numaralı çatlakların genişlemeleri artmıştır. 2 ve 9 numaralı çatlakların genişlemeleri artmıştır.
-6 CP	0.02/20,98		-20.98 mm Deplasman, -3480 kg Yük 17, 18 ve 19 numaralı ana kesme çatlakları genişlemiştir (0.5 mm'den fazla). 12 ve 14 numaralı çatlaklar kesme çatlağıdır. 3 numaralı çatlak dallanmıştır.
+7 CP	0.03/31,47		31.49 mm Deplasman, 3165 kg Yük 16 numaralı çatlak uzamış ve 1 cm'ye yakın genişlemiştir. 10 numaralı çatlak genişlemiştir. 2 numaralı çatlak genişlemiştir.
-7 CP	0.03/31,47		-31.50 mm Deplasman, 3870 kg Yük Sol kabuk betonda atma başlamıştır (kirişin sol kısmı). 14 numaralı çatlak temele kadar uzamıştır. Ana kesme çatlağı (19) 2 cm kadar genişlemiştir.
+7 CP	0.03/31,47		31.54 mm Deplasman, 2340 kg Yük Kirişin sol bölgesinde kabuk beton çatlamış ve 4 cm kadar genişlemiştir. Mevcut çatlaklar genişlemiştir.
-7 CP	0.03/31,47		-31.47 mm Deplasman, 3265 kg Yük Sol kabuk beton dökülmüştür. Çatlaklar genişlemeye devam etmiştir.
+8 CP	0.04/41,96		42.05 mm Deplasman, 1990 kg Yük Sol bölgede kabuk beton dökülmüştür. Çatlaklar genişlemiştir.
-8 CP	0.04/41,96		-42.00 mm Deplasman, -3105 kg Yük Çatlaklarda çok yüksek derecede genişlemeler gözlenmiştir.
+8 CP	0.04/41,96		42.22 mm Deplasman, 1700 kg Yük Mevcut çatlaklar genişlemiştir.
-8 CP	0.04/41,96		-41.96 mm Deplasman, -2510 kg Yük Deney sonlanmıştır.



Şekil 4.81. BC15/N0.0-N0-0-0/125-360-0.6-2Ø16/3.3 numunesi deney öncesi ve sonrası görünümü

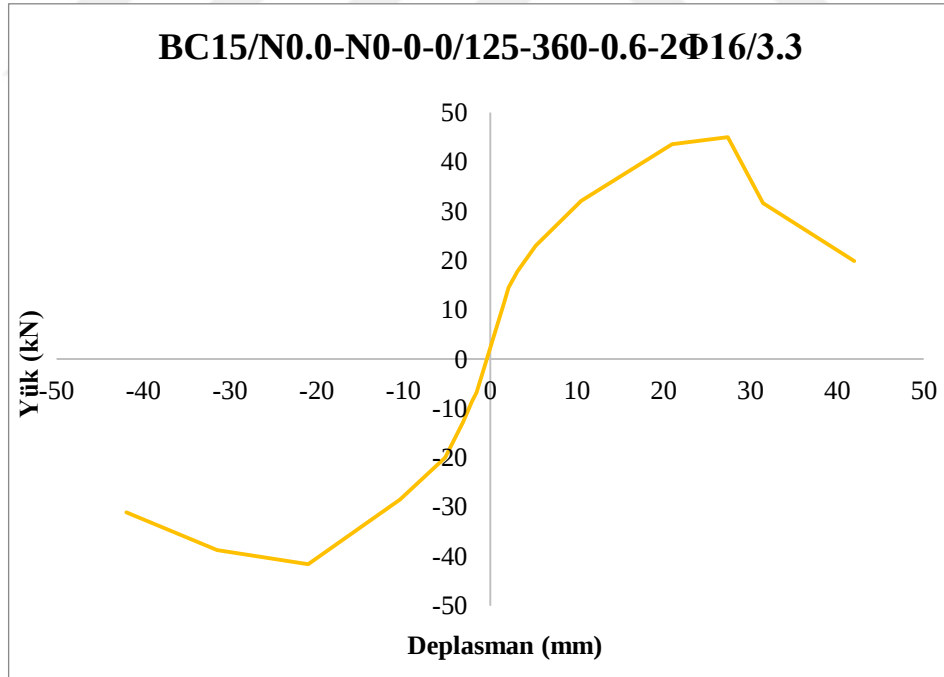


Şekil 4.82. BC15/N0.0-N0-0-0/125-360-0.6-2Ø16/3.3 numunesi deney sonu görünümü



Şekil 4.83. BC15/N0.0-N0-0-0/125-360-0.6-2Ø16/3.3 numunesine ait yük-deplasman grafiği

Deney numunelerin histerezis eğrisindeki her yüklemdeki maksimum yük noktalarının birleştirilmesi ile elde edilen zarf eğrisi Şekil 4.84'te verilmiştir.



Şekil 4.84. BC15/N0.0-N0-0-0/125-360-0.6-2Ø16/3.3 numunesi zarf eğrisi

Deney sonuçları Çizelge 4.59 ve Çizelge 4.60'te özetlenmiştir.

Çizelge 4.59. BC15/N0.0-N0-0-0/125-360-0.6-2Ø16/3.3 5 numunesi deplasman, süneklik ve rijitlik değerleri

Deney No	Grup	+ δ_y	- δ_y	+ δ_{max}	- δ_{max}	+ δ_u	- δ_u	+ μ	- μ	+ S_y	- S_y	+ S_{max}	- S_{max}
BC15/N0.0-N0-0-0/ 125-360-0.6-2Ø16/3.3	6	16,12	15,94	27,40	20,98	29,46	36,08	1,83	2,26	2,37	2,22	1,64	1,98

Çizelge 4.60. BC15/N0.0-N0-0-0/125-360-0.6-2Ø16/3.3 numunesi maksimum yük ve enerji tüketme kapasite değerleri

Deney No	Grup	+ P_y	- P_y	+ P_{max}	- P_{max}	+ E_y	- E_y	+ E_{pmax}	- E_{pmax}	+ E_t	- E_t
BC15/N0.0-N0-0-0/ 125-360-0.6-2Ø16/3.3	6	38,27	35,33	45,02	41,57	0,433	0,374	0,901	0,551	1,328	1,338

4.1.7.2. BC15/X3.3-T4-15-45/125-360-0.6-2Ø16/3.3 Numunesi

6. grupta test edilen ve BC15/X3.3-T4-15-45/125-360-0.6-2Ø16/3.3 olarak adlandırılan 4 mm çaplı MÇD ile ilk güçlendirilen numunedir. Deney sırasında Çevrim numarası (Ç.n), meydana gelen deplasman, çatlaklar, hasarlar ve deney elemanında gözlemlenen durumlar Çizelge 4.61’de verilmiştir. Şekil 4.85, yükleme başlamadan önce numunenin ilk ve son durumunu göstermektedir. Deney protokolüne uygun olarak, her çevrim iki kez tekrarlanmıştır. Deney, kesme çatlaklarının artmasıyla ve betonun kabuktan ayrılmasıyla sonlandırılmıştır. Bu deney numunesine ait yük-deplasman grafiği Şekil 4.87’de verilmiştir.

Çizelge 4.61. BC15/X3.3-T4-15-45/125-360-0.6-2Ø16/3.3 numunesinde gözlemlenen durumlar

Ç.n	Görelî ötelenme oranı/Deplasman %/(mm)	Çatlak No	Açıklama
+1 IO	0.0015/1.5735	1-2-3-4	1.58 mm Deplasman, 1060 kg Yük 1 numaralı çatlak temel kiriş birleşiminde oluşmuştur. 2 numaralı çatlak temelden 5 cm yukarıda oluşmuştur. 3 numaralı çatlak temelden 20 cm yukarıda oluşmuştur. 4 numaralı çatlak temelden 42 cm yukarıda oluşmuştur.
-1 IO	0.0015/1.5735	5-6-7-8	-1.60 mm Deplasman, 1073 kg Yük 5 numaralı çatlak kiriş temel birleşiminde oluşmuştur. 6 numaralı çatlak temelden 5 cm yukarıda oluşmuştur. 7 numaralı çatlak temelden 20 cm yukarıda oluşmuştur. 8 numaralı çatlak temelden 42 cm yukarıda oluşmuştur.
+1 IO	0.0015/1.5735		1.58 mm Deplasman, 1111 kg Yük 1 numaralı çatlak uzamıştır. 3 numaralı çatlak uzamıştır. 2 numaralı çatlak dallanmıştır. 4 numaralı çatlak uzamıştır.
-1 IO	0.0015/1.5735		-1.59 mm Deplasman, -1032 kg Yük 5 numaralı çatlak uzamıştır. 6 numaralı çatlak dallanmıştır. 7 numaralı çatlak uzamıştır.
+2	0.0020/2.098	9	2.09 mm Deplasman, 1395 kg Yük 1 numaralı çatlak uzamıştır.

LS			2 numaralı çatlak uzamıştır. 3 numaralı çatlak uzamış ve dallanmıştır. 4 numaralı çatlak uzamış ve dallanmıştır. 9 numaralı çatlak temelden 56 cm yukarıda oluşmuş ve kesme çatlağı şeklinde uzamıştır.
-2 LS	0.0020/2.098		-2.09 mm Deplasman, -1248 kg Yük 5 numaralı çatlak uzamıştır. 7 numaralı çatlak uzamıştır. 8 numaralı çatlak uzamış ve 4 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 8 numaralı çatlak dallanmıştır.
+2 LS	0.0020/2.098	10	2.10 mm Deplasman, 1378 kg Yük 7 numaralı çatlak uzamıştır. 4 numaralı çatlak dallanmıştır. 10 numaralı çatlak temelden 25 cm yukarıda oluşmuştur.
-2 LS	0.0020/2.098	11	-2.09 mm Deplasman, 1086 kg Yük 7 numaralı çatlak dallanmıştır. 6 numaralı çatlak dallanmıştır. 11 numaralı çatlak temelden 32 cm yukarıda oluşmuştur.
+3 CP	0.0030/3.147		3.14 mm Deplasman, 2017 kg Yük 1 numaralı çatlak uzamıştır. 3 numaralı çatlak dallanmıştır. 9 numaralı çatlak uzamıştır ve bulunduğu yerde etriye yoktur. Kesme çatlağı şeklinde ilerlemeye devam etmiştir.
-3 CP	0.0030/3.147	12	-3.15 mm Deplasman, -1580 kg Yük 5 numaralı çatlak 1 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 7 numaralı çatlak 3 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 12 numaralı çatlak temelden 57 cm yükseklikte oluşmuştur ve ilk rijitlik kayıpları ciddi olmamıştır.
+3 CP	0.0030/3.147	13	3.14 mm Deplasman, 1976 kg Yük 1 numaralı çatlak dallanmıştır. 10 numaralı çatlak dallanmıştır. 13 numaralı çatlak temelden 67 cm yükseklikte oluşmuştur.
-3 CP	0.0030/3.147		-3.16 mm Deplasman, -1490 kg Yük Herhangi bir çatlak oluşmamıştır.
+4 CP	0.0050/5.245	14-15	-5.24 mm Deplasman, -2888 kg Yük 14 numaralı çatlak temelden 32 cm yükseklikte oluşmuştur. 15 numaralı çatlak temelden 80 cm yükseklikte oluşmuştur. 9 numaralı çatlak uzamıştır. 13 numaralı çatlak uzamıştır.
-4 CP	0.0050/5.245		-5.25 mm Deplasman, -1820 kg Yük 11 numaralı çatlak dallanmıştır.
+4 CP	0.0050/5.245		5.24 mm Deplasman, 2758 kg Yük 2 numaralı çatlak uzamış ve dallanmıştır. 14 numaralı çatlak uzamıştır. 9 numaralı çatlak dallanmıştır. 15 numaralı çatlak uzamış ve dallanmıştır. 13 numaralı çatlak uzamış ve dallanmıştır. 14 numaralı çatlak ile 3 numaralı çatlak birleşmiştir.

-4 CP	0.0050/5.245	16	-5.25 mm Deplasman, -1707 kg Yük 16 numaralı çatlak temelden 67 cm yükseklikte oluşmuştur.
+5 CP	0.01/10.490	17-18	10.49 mm Deplasman, 4159 kg Yük 1 numaralı çatlak genişlemiştir. 17 numaralı çatlak oluşmuş ve 14 numaralı çatlak ile birleşmiştir. Temeldeki çatlak uzamıştır. 4 numaralı çatlak genişlemiş ve uzamıştır. 13 numaralı çatlak genişlemiş ve uzamıştır. 18 numaralı çatlak yükleme noktasında oluşmuş ve 16 numaralı çatlak ile birleşmiştir. Kesme çatlağı şeklinde başlayarak uzamıştır. 9 numaralı çatlak genişlemiş ve uzamıştır. 15 numaralı çatlak dallanmıştır.
-5 CP	0.01/10.490	19	-10.50 mm Deplasman, -3100 kg Yük 5 numaralı çatlak genişlemiştir. 6 numaralı çatlak dallanmış ve uzamıştır. 7 numaralı çatlak dallanmış ve uzamıştır. 19 numaralı kesme çatlağı oluşmuştur.
+5 CP	0.01/10.490		10.49 mm Deplasman, 3933 kg Yük 14 numaralı çatlak genişlemiştir. 4 numaralı çatlak 17 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 13 numaralı çatlak uzamış ve 9 numaralı çatlak ile birleşmiştir.
-5 CP	0.01/10.490		-10.50 mm Deplasman, -2630 kg Yük 19 numaralı çatlak genişlemiş, dallanmış ve 4 numaralı çatlak ile birleşmiştir.
+6 CP	0.02/20,98		20.98 mm Deplasman, 5320 kg Yük Temel çatlağında uzama meydana gelmiştir. 17 numaralı çatlak genişlemiştir. 9 numaralı çatlak genişlemiş ve uzamıştır. 4 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 18 numaralı çatlak uzamış ve 8 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 13 numaralı çatlak uzamış ve 7 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 13 numaralı çatlak dallanmış ve 9 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 15 numaralı çatlak dallanmış, genişlemiş ve 13 numaralı çatlak ile birleşmiştir. Kirişin sağ ucunda ezilme meydana gelmiştir.
-6 CP	0.02/20,98		-20.98 mm Deplasman, -2590 kg Yük Çatlak genişliği 1 cm olmuştur. 19 numaralı çatlak ana çatlak olmuş ve kesme çatlağı şeklinde ilerlemiştir.
+6 CP	0.02/20,98		21.00 mm Deplasman, 4190 kg Yük Mevcut çatlaklar genişlemiştir.
-6 CP	0.02/20,98		-21.00 mm Deplasman, -1740 kg Yük Sol taraftaki kabuk beton dökülmüştür. 12 numaralı çatlak uzamış ve genişlemiştir. 16 numaralı çatlak genişlemiştir.

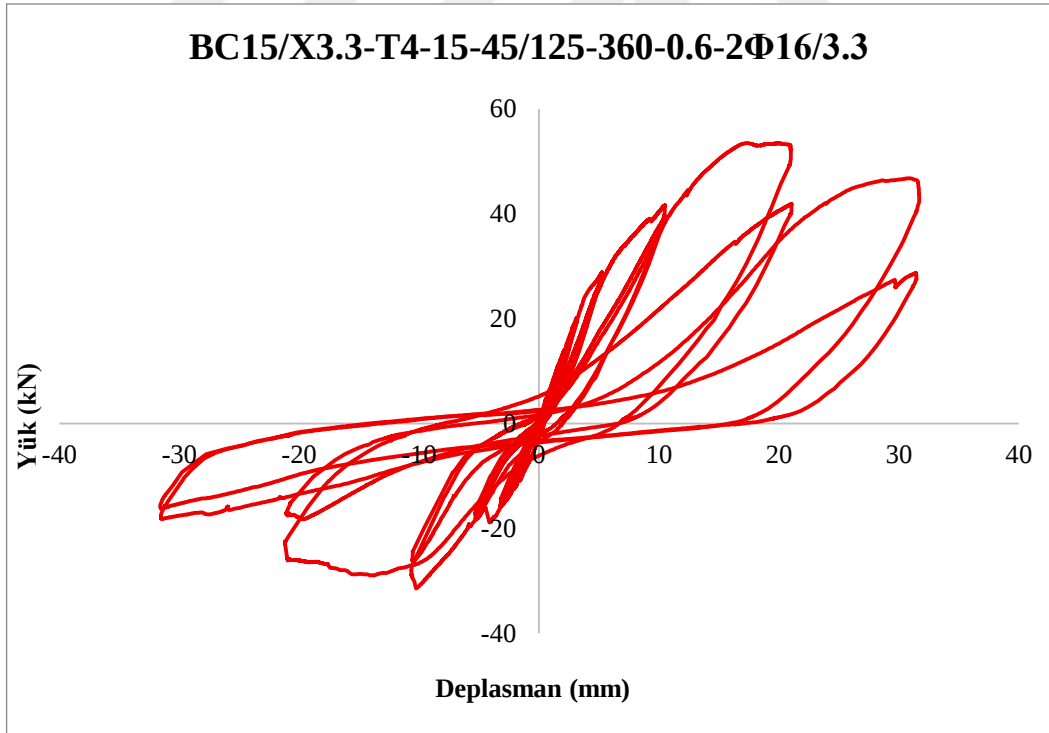
+7 CP	0.03/31,47	31.55 mm Deplasman, 4670 kg Yük Çatlaklar genişlemiştir. 18 numaralı çatlak uzamıştır. 13 numaralı çatlak uzamıştır. 16 numaralı çatlak dallanmıştır.
-7 CP	0.03/31,47	-31.50 mm Deplasman, 1830 kg Yük 16 numaralı ve 19 numaralı çatlaklar genişlemiştir. 6 numaralı çatlak genişlemiştir. Mevcut çatlaklar genişlemeye devam etmiştir.
+7 CP	0.03/31,47	31.48 mm Deplasman, 2830 kg Yük Mevcut çatlaklar genişlemiştir.
-7 CP	0.03/31,47	-31.49 mm Deplasman, 1620 kg Yük Deney sona ermiştir.



Şekil 4.85. BC15/X3.3-T4-15-45/125-360-0.6-2Ø16/3.3 numunesi deney öncesi ve sonrası görünümü

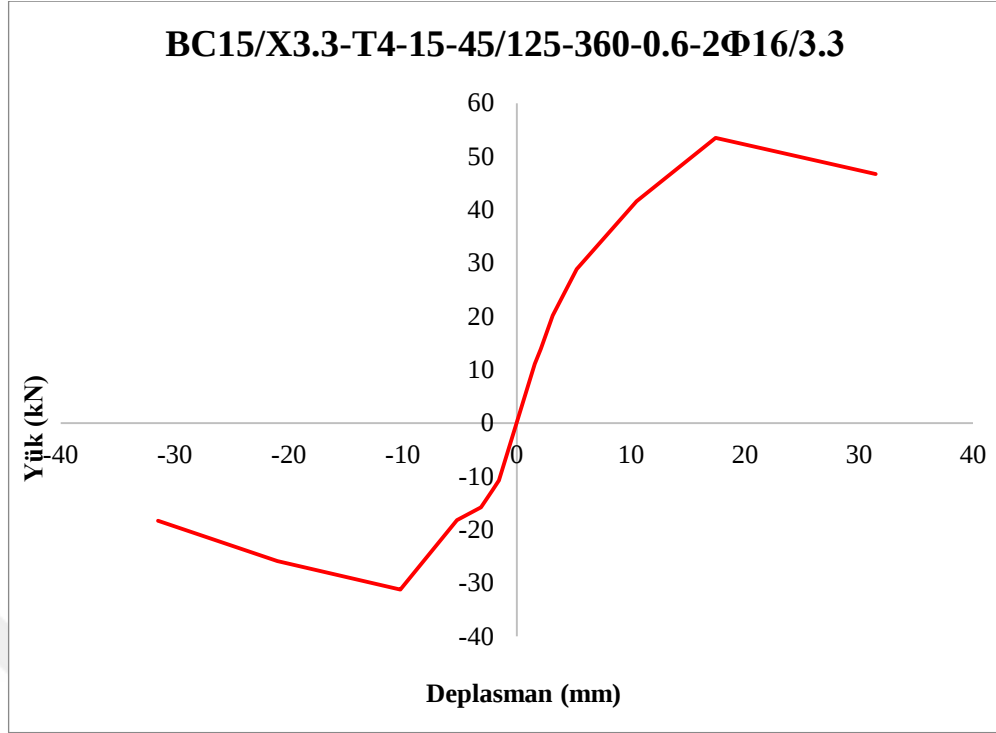


Şekil 4.86. BC15/X3.3-T4-15-45/125-360-0.6-2Ø16/3.3 numunesi deney sonu görünümü



Şekil 4.87. BC15/X3.3-T4-15-45/125-360-0.6-2Ø16/3.3 numunesine ait yük-deplasman grafiği

Deney numunelerin histerezis eğrisindeki her yüklemedeki maksimum yük noktalarının birleştirilmesi ile elde edilen zarf eğrisi Şekil 4.88’de verilmiştir.



Şekil 4.88. BC15/X3.3-T4-15-45/125-360-0.6-2Ø16/3.3 numunesi zarf eğrisi

Deney sonuçları Çizelge 4.62 ve Çizelge 4.63'te özetlenmiştir.

Çizelge 4.62. BC15/X3.3-T4-15-45/125-360-0.6-2Ø16/3.3 numunesi deplasman, süneklik ve rijitlik değerleri

Deney No	Grup	$+\delta_y$	$-\delta_y$	$+\delta_{max}$	$-\delta_{max}$	$+\delta_u$	$-\delta_u$	$+\mu$	$-\mu$	$+S_y$	$-S_y$	$+S_{max}$	$-S_{max}$
BC15/X3.3-T4-15-45/125-360-0.6-2Ø16/3.3	6	12,76	8,43	17,45	10,21	31,47	19,66	2,47	2,33	3,56	3,15	3,07	3,06

Çizelge 4.63. BC15/X3.3-T4-15-45/125-360-0.6-2Ø16/3.3 numunesi maksimum yük ve enerji tüketme kapasite değerleri

Deney No	Grup	$+P_y$	$-P_y$	$+P_{max}$	$-P_{max}$	$+E_y$	$-E_y$	$+E_{pmax}$	$-E_{pmax}$	$+E_t$	$-E_t$
BC15/X3.3-T4-15-45/125-360-0.6-2Ø16/3.3	6	45,48	26,55	53,51	31,24	0,378	0,144	0,600	0,188	1,303	0,727

4.1.7.3. BC15/X3.3-T4-15-45/125-360-0.0-2Ø16/3.3 Numunesi

6. grupta test edilen ve BC15/X3.3-T4-15-45/125-360-0.0-2Ø16/3.3 olarak adlandırılan 4 mm çaplı MÇD ile ikinci güçlendirilen numunedir. Deney sırasında Çevrim numarası (Ç.n), meydana gelen deplasman, çatlaklar, hasarlar ve deney elemanında gözlemlenen durumlar Çizelge 4.64'te verilmiştir. Şekil 4.89, yükleme başlamadan önce numunenin ilk ve son durumunu göstermektedir. Deney protokolüne uygun olarak, her çevrim iki kez tekrarlanmıştır. Deney, kesme çatlaklarının artmasıyla ve betonun

kabuktan ayrılmasıyla sonlandırılmıştır. Bu deney numunesine ait yük-deplasman grafiği Şekil 4.91’de verilmiştir.

Çizelge 4.64. BC15/X3.3-T4-15-45/125-360-0.0-2Ø16/3.3 numunesinde gözlemlenen durumlar

Ç.n	Görelî ötelenme oranı/Deplasman %/(mm)	Çatlak No	Açıklama
+1 IO	0.0015/1.5735	1-2	1.57 mm Deplasman, 942 kg Yük 1 numaralı çatlak temelden 6 cm yukarıda oluşmuştur. 2 numaralı çatlak temel-kiriş birleşiminde oluşmuştur.
-1 IO	0.0015/1.5735	3	-1.57 mm Deplasman, -896 kg Yük 3 numaralı çatlak kiriş-temel birleşiminde oluşmuştur.
+1 IO	0.0015/1.5735	4	1.58 mm Deplasman, 1.097 kg Yük 1 numaralı çatlak dallanmıştır. 4 numaralı çatlak temelden 45 cm yukarıda oluşmuştur.
-1 IO	0.0015/1.5735		-1.62 mm Deplasman, -875 kg Yük Bu döngüde herhangi bir çatlak oluşmamıştır.
+2 LS	0.0020/2.098	5	2.09 mm Deplasman, 1.307 kg Yük 1 numaralı çatlak uzamıştır. 2 numaralı çatlak uzamıştır. 4 numaralı çatlak dallanmıştır. 5 numaralı çatlak temelden 62 cm yukarıda oluşmuştur.
-2 LS	0.0020/2.098	6	-2.09 mm Deplasman, -1.076 kg Yük 3 numaralı çatlak uzamıştır. 6 numaralı çatlak temelden 8 cm yukarıda oluşmuştur.
+2 LS	0.0020/2.098		2.09 mm Deplasman, 1.264 kg Yük 4 numaralı çatlak uzamıştır.
-2 LS	0.0020/2.098		-2.10 mm Deplasman, -1.047 kg Yük Bu aşamada herhangi bir çatlak oluşmamıştır.
+3 CP	0.0030/3.147	7-8-9	3.14 mm Deplasman, 1.740 kg Yük 2 numaralı çatlak uzamıştır. 1 numaralı çatlak uzamıştır. 4 numaralı çatlak uzamış ve dallanmıştır. 5 numaralı çatlak uzamıştır. 7 numaralı çatlak temelden 1 cm yukarıda oluşmuş ve temelle birleşmiştir. 8 numaralı çatlak temelden 71 cm yukarıda oluşmuştur. 9 numaralı çatlak temelden 33 cm yukarıda oluşmuştur. Bu aşamada bir miktar rijitlik kaybı gözlemlenmiştir.
-3 CP	0.0030/3.147	10-11	-3.14 mm Deplasman, -1.382 kg Yük 3 numaralı çatlak, 2 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 10 numaralı çatlak temelden 17 cm yukarıda oluşmuştur. 11 numaralı çatlak temelden 55 cm yukarıda oluşmuştur.

+3 CP	0.0030/3.147		3.13 mm Deplasman, 1.730 kg Yük 9 numaralı çatlak dallanmıştır. 4 numaralı çatlak uzamıştır. 8 numaralı çatlak uzamıştır.
-3 CP	0.0030/3.147		-3.13 mm Deplasman, -1.230 kg Yük Bu aşamada herhangi bir çatlak oluşmamıştır.
+4 CP	0.0050/5.245	12-13-14	5.24 mm Deplasman, 2.380 kg Yük 8 numaralı çatlak uzamış ve 11 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 2 numaralı çatlak genişlemiştir. 1 numaralı çatlak temele doğru uzamıştır. 9 numaralı çatlak, 10 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 12 numaralı çatlak temelden 11 cm yukarıda oluşmuş ve 1 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 13 numaralı çatlak temelden 54 cm yukarıda oluşmuştur. 14 numaralı çatlak temelden 78 cm yukarıda oluşmuştur. Ciddi olmayan rijitlik kaybı gözlemlenmiştir.
-4 CP	0.0050/5.245	15-16	-5.24 mm Deplasman, -1.998 kg Yük 3 numaralı çatlak genişlemiştir. 6 numaralı çatlak uzamıştır. 15 numaralı çatlak temelden 24 cm yukarıda oluşmuştur. 16 numaralı çatlak kesme çatlağı şeklinde temelden 34 cm yukarıda oluşmuş ve 9 numaralı çatlak ile birleşmiştir.
+4 CP	0.0050/5.245		5.21 mm Deplasman, 2.392 kg Yük 14 numaralı çatlak uzamıştır.
-4 CP	0.0050/5.245	17	-5.24 mm Deplasman, -1.828 kg Yük 17 numaralı çatlak temelden 41 cm yükseklikte oluşmuştur.
+5 CP	0.01/10.490	18-19	10.49 mm Deplasman, 3.250 kg Yük 9 numaralı çatlak dallanmıştır. 2 numaralı çatlak genişlemiştir. Yükleme noktasından başlayan 18 numaralı ana kesme çatlağı oluşmuş ve 0.5 cm genişlikte çatlak gözlemlenmiştir. 19 numaralı çatlak kesme çatlağı şeklinde temelden 21 cm yukarıda oluşmuştur.
-5 CP	0.01/10.490	20-21-22-23-24	-10.49 mm Deplasman, -3.050 kg Yük 20 numaralı çatlak temelden 5 cm yukarıda oluşmuştur. 16 numaralı çatlak genişlemiş ve uzamıştır. 21, 22, 23 ve 24 numaralı çatlaklar oluşmuş ve bu çatlaklar kesme çatlağı şeklinde birleşmiştir.
+5 CP	0.01/10.490		10.48 mm Deplasman, 1.940 kg Yük 14 numaralı çatlak dallanmıştır.
-5	0.01/10.490		-10.50 mm Deplasman, -2.740 kg Yük Temelde çatlaklar gözlemlenmiştir.

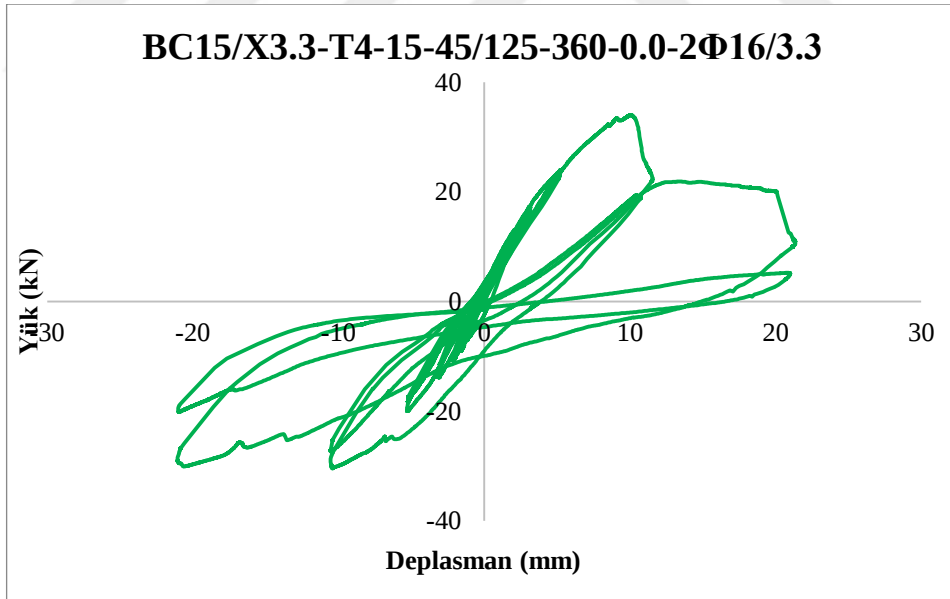
CP			21 numaralı çatlak uzamıştır. 22, 23 ve 16 numaralı çatlaklar genişlemiştir.
+6 CP	0.02/20,98		21.33 mm Deplasman, 1.100 kg Yük 14 numaralı çatlak hizasında mekanik dikiş çıkmıştır. 4 numaralı çatlak uzamıştır. 5 numaralı çatlak genişlemiş ve uzamıştır. Çatlakların genişliği 2 cm olmuştur.
-6 CP	0.02/20,98		-20.98 mm Deplasman, -2.950 kg Yük 16 numaralı çatlak dallanarak uzamıştır. 6 numaralı çatlak genişlemiştir. 24 numaralı çatlak dallanmış ve genişlemiş, 11 numaralı çatlak ile birleşmiştir. Mekanik dikiş burkulmuştur. Kirişin sol tarafı ezilmiştir.
+6 CP	0.02/20,98		20.98 mm Deplasman, 516 kg Yük Mevcut çatlaklar genişlemiştir.
-6 CP	0.02/20,98		-20.98 mm Deplasman, -2.014 kg Yük Deney sonlanmıştır.



Şekil 4.89. BC15/X3.3-T4-15-45/125-360-0.0-2Ø16/3.3 3 numunesi deney öncesi ve sonrası görünümü

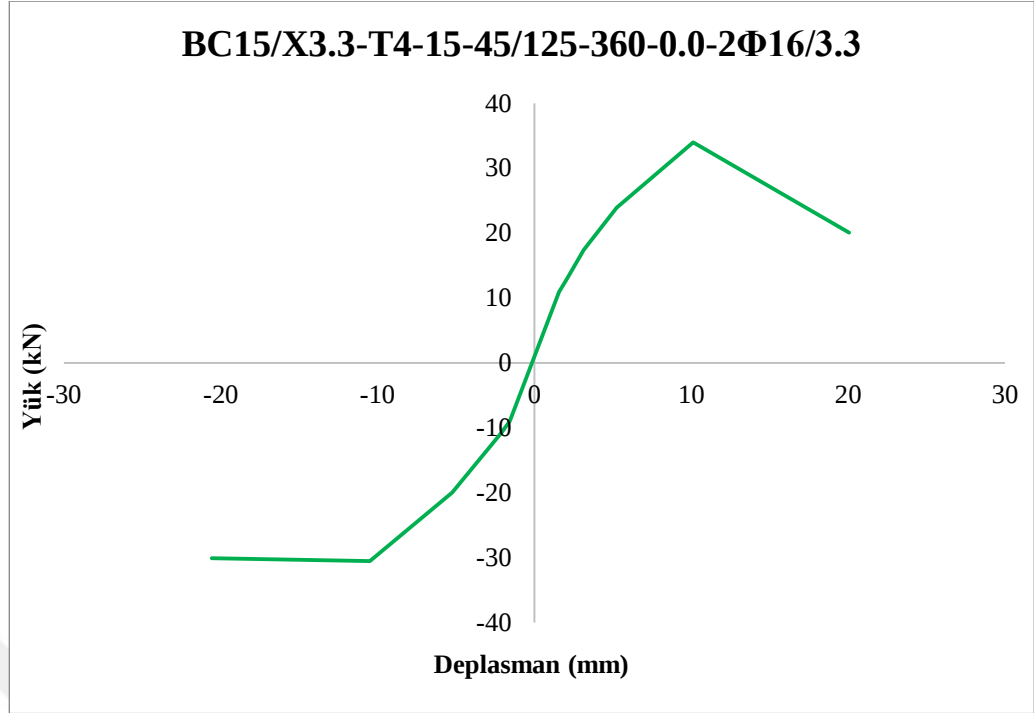


Şekil 4.90. BC15/X3.3-T4-15-45/125-360-0.0-2Ø16/3.3 3 numunesi deney sonu görünümü



Şekil 4.91. BC15/X3.3-T4-15-45/125-360-0.0-2Ø16/3.3 numunesine ait yük-deplasman grafiği

Deney numunelerin histerezis eğrisindeki her yüklemedeki maksimum yük noktalarının birleştirilmesi ile elde edilen zarf eğrisi Şekil 4.92’de verilmiştir.



Şekil 4.92. BC15/X3.3-T4-15-45/125-360-0.0-2Ø16/3.3 numunesi zarf eğrisi

Deney sonuçları Çizelge 4.65 ve Çizelge 4.66’da özetlenmiştir.

Çizelge 4.65. BC15/X3.3-T4-15-45/125-360-0.0-2Ø16/3.3 numunesi deplasman, süneklik ve rijitlik değerleri

Deney No	Grup	$+\delta_y$	$-\delta_y$	$+\delta_{max}$	$-\delta_{max}$	$+\delta_u$	$-\delta_u$	$+\mu$	$-\mu$	$+S_y$	$-S_y$	$+S_{max}$	$-S_{max}$
BC15/X3.3-T4-15-45/125-360-0.0-2Ø16/3.3	6	7,65	8,21	10,12	10,49	13,76	20,57	1,80	2,51	3,78	3,16	3,36	2,91

Çizelge 4.66. BC15/X3.3-T4-15-45/125-360-0.0-2Ø16/3.3 numunesi maksimum yük ve enerji tüketme kapasite değerleri

Deney No	Grup	$+P_y$	$-P_y$	$+P_{max}$	$-P_{max}$	$+E_y$	$-E_y$	$+E_{pmaks}$	$-E_{pmaks}$	$+E_t$	$-E_t$
BC15/X3.3-T4-15-45/125-360-0.0-2Ø16/3.3	6	28,88	25,93	33,98	30,50	0,144	0,135	0,215	0,193	0,484	0,499

4.1.8. 7. Grup Numuneler

4.1.8.1. BC15/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/4.9 Numunesi

4. grupta test edilen BC15/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/4.9 olarak adlandırılan ilk numune referans numunedir. Deney sırasında Çevrim numarası (Ç.n), meydana gelen deplasman, çatlaklar, hasarlar ve deney elemanında gözlemlenen durumlar Çizelge 4.67’de verilmiştir. Şekil 4.93, yükleme başlamadan önce numunenin ilk ve son durumunu göstermektedir. Deney protokolüne uygun olarak, her çevrim iki kez

tekrarlanmıştır. Deney, kesme çatlaklarının artmasıyla ve betonun kabuktan ayrılmasıyla sonlandırılmıştır. Bu deney numunesine ait yük-deplasman grafiği Şekil 4.95'te verilmiştir.

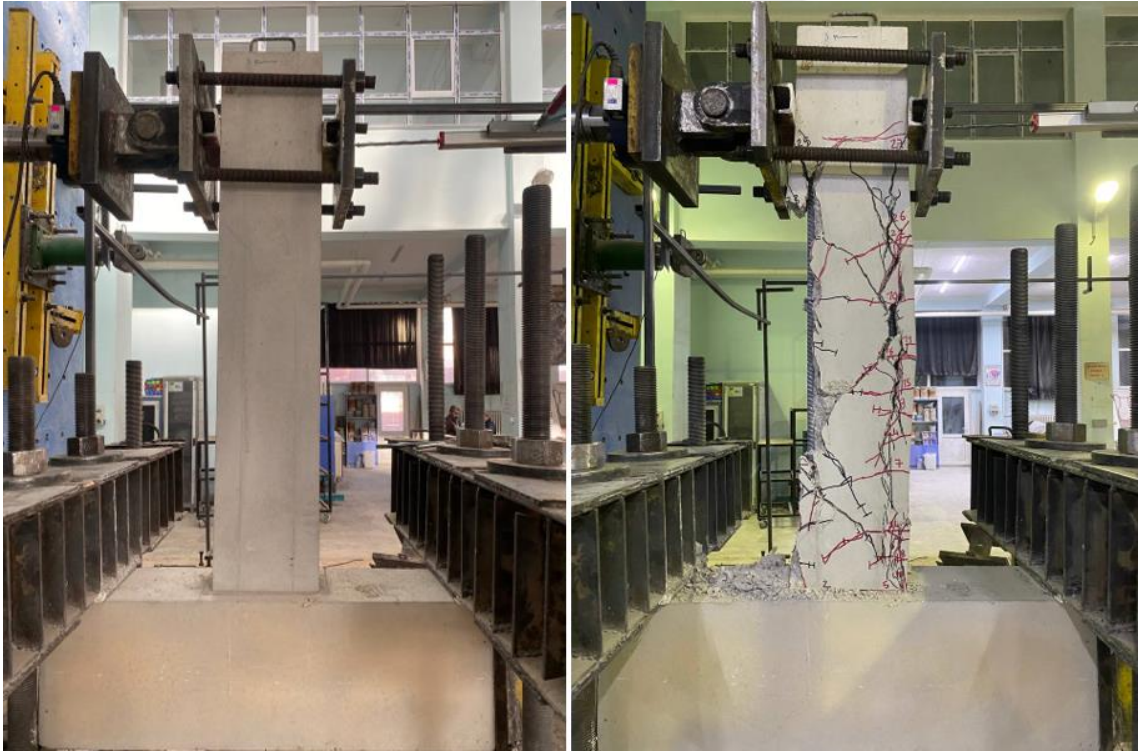
Çizelge 4.67. BC15/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/4.9 numunesinde gözlemlenen durumlar

Ç.n	Görelî ötelenme oranı/Deplasman %/(mm)	Çatlak No	Açıklama
+1 IO	0.0015/1.5735	1-2-3-4	1.57 mm Deplasman, 516 kg Yük 1 numaralı çatlak temelden 7 cm yukarıda oluşmuştur. 2 numaralı çatlak oluşmuştur. 3 numaralı çatlak temelden 27 cm yukarıda oluşmuştur. 4 numaralı çatlak temelden 64 cm yukarıda oluşmuştur.
-1 IO	0.0015/1.5735	5-6-7-8-9-10-11	-1.68 mm Deplasman, -502.3 kg Yük 5 numaralı çatlak oluşmuş ve 2 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 6 numaralı çatlak temelden 11 cm yukarıda oluşmuştur. 7 numaralı çatlak temelden 25 cm yukarıda oluşmuştur. 8 numaralı çatlak temelden 8 cm yukarıda oluşmuştur. 9 numaralı çatlak temelden 38 cm yukarıda oluşmuştur. 10 numaralı çatlak temelden 63 cm yukarıda oluşmuştur. 11 numaralı çatlak temelden 53 cm yukarıda oluşmuştur.
+1 IO	0.0015/1.5735	12-13	1.57 mm Deplasman, 500.46 kg Yük 12 numaralı çatlak temelden 19 cm yukarıda oluşmuş ve 7 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 13 numaralı çatlak temelden 41 cm yukarıda oluşmuştur. 4 numaralı çatlak uzamıştır.
-1 IO	0.0015/1.5735	14	-1.57 mm Deplasman, -458 kg Yük 14 numaralı çatlak temelden 13 cm yukarıda oluşmuştur. 10 numaralı çatlak, 4 numaralı çatlakla doğru uzamıştır.
+2 LS	0.0020/2.098		2.09 mm Deplasman, 627 kg Yük 12 numaralı çatlak dallanmıştır. 1 numaralı çatlak uzamıştır. 4 numaralı çatlak 10 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 13 numaralı çatlak uzamıştır.
-2 LS	0.0020/2.098	15	-2.09 mm Deplasman, -608 kg Yük 15 numaralı çatlak temelden 44 cm yukarıda oluşmuş ve 13 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 8 numaralı çatlak uzamıştır. 14 numaralı çatlak uzamıştır.
+2 LS	0.0020/2.098		2.10 mm Deplasman, 633 kg Yük 13 numaralı çatlak dallanmıştır.
-2 LS	0.0020/2.098		-2.09 mm Deplasman, -567 kg Yük 14 numaralı çatlak dallanarak uzamıştır. 9 numaralı çatlak uzamıştır.
+3 CP	0.0030/3.147		3.14 mm Deplasman, 897 kg Yük 3 numaralı çatlakta dallanmalar vardır. 13 numaralı çatlakta dallanma vardır.

-3 CP	0.0030/3.147	16	-3.14 mm Deplasman, -845 kg Yük 8 numaralı çatlak dallanmıştır. 9 numaralı çatlak dallanmıştır. 16 numaralı çatlak temelden 50 cm yukarıda oluşmuştur.
+3 CP	0.0030/3.147	17	3.14 mm Deplasman, 900 kg Yük 17 numaralı çatlak temelden 54 cm yukarıda oluşmuştur.
-3 CP	0.0030/3.147		-3.14 mm Deplasman, -782 kg Yük 7 numaralı çatlakta dallanmalar vardır.
+4 CP	0.0050/5.245	18-19-20	5.24 mm Deplasman, 1366 kg Yük Temelde ilk çatlama gözlenmiştir. 18 numaralı çatlak temelden 33 cm yukarıda oluşmuştur. 19 numaralı çatlak temelden 13 cm yukarıda oluşmuştur. 17 numaralı çatlak uzamıştır. 20 numaralı çatlak temelden 75 cm yukarıda oluşmuştur.
-4 CP	0.0050/5.245		-5.24 mm Deplasman, -1294 kg Yük 16 numaralı çatlak uzamıştır. 7 numaralı çatlakta genişlemeler vardır. 5 numaralı çatlak genişlemiştir. 8 numaralı çatlak uzamıştır. 6 numaralı çatlak, 14 numaralı çatlak ile birleşmiştir.
+4 CP	0.0050/5.245		5.20 mm Deplasman, 1310 kg Yük Bu aşamada herhangi bir çatlak oluşmamıştır.
-4 CP	0.0050/5.245	21	-5.24 mm Deplasman, -1255 kg Yük 16 numaralı çatlak dallanmıştır. 21 numaralı çatlak temelden 75 cm yukarıda oluşmuştur.
+5 CP	0.01/10.490	22-23	10.49 mm Deplasman, 2042 kg Yük 2 numaralı çatlak genişlemiş ve dallanmıştır. 22 numaralı kesme çatlağı oluşmuştur. 19 numaralı çatlak dallanmıştır. 22 numaralı çatlak, 12 numaralı çatlak ile kesişmiştir. 23 numaralı yeni kesme çatlağı oluşmuştur. 20 numaralı çatlak uzayarak 23 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 23 numaralı çatlak uzayarak 10 numaralı çatlak ile birleşmiştir.
-5 CP	0.01/10.490		-10.49 mm Deplasman, -2100 kg Yük 14 numaralı çatlak genişlemiş, uzamış ve dallanmıştır. 16 numaralı çatlak, 13 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 5 numaralı çatlak genişlemiştir.
+5 CP	0.01/10.490		10.49 mm Deplasman, 1944 kg Yük 3 numaralı çatlak uzamış ve 12 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 12 numaralı çatlak dallanmıştır. 23 numaralı çatlak uzamıştır. 17 numaralı çatlak uzamıştır.
-5 CP	0.01/10.490		-10.49 mm Deplasman, -1979 kg Yük 24 numaralı çatlak temelden 32 cm yukarıda oluşmuştur. 21 numaralı çatlak uzamıştır. 11 numaralı çatlak, 16 numaralı çatlak ile birleşmiştir.
+6	0.02/20.98		20.98 mm Deplasman, 3000 kg Yük

CP			3 numaralı çatlak, 22 numaralı çatlak ile birleşmiş, genişlemiş ve uzamıştır. 22 numaralı çatlak genişlemiş ve 8 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 13 numaralı çatlak, 18 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 18 numaralı çatlak dallanmıştır. 17 numaralı çatlak, 13 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 4 numaralı çatlak, 17 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 24 numaralı çatlak uzamıştır. 25 numaralı çatlak oluşmuş ve 20 numaralı çatlak ile birleşmiştir.
-6 CP	0.02/20,98		-20.98 mm Deplasman, -2746 kg Yük 16 numaralı çatlak ana kesme çatlağı olmuştur. 26 numaralı kesme çatlağı oluşmuştur. 21 numaralı çatlak, 10 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 16 numaralı çatlak 0.5 cm genişlemiş. 7 numaralı çatlak dallanmıştır. 5 numaralı çatlak genişlemiş. 4 numaralı çatlak genişlemiş ve uzamıştır. Kirişin temelle birleşen kısmında çatlak oluşmuştur.
+6 CP	0.02/20,98		20.98 mm Deplasman, 2804 kg Yük Mevcut çatlaklarda genişlemeler artmıştır. Kirişin sol ucunda çekme çatlağı oluşmuştur. 3, 13, 22 ve 23 numaralı çatlaklarda genişleme devam etmiştir. 23 numaralı çatlak, 11 numaralı çatlak ile birleşmiş ve dallanmıştır. 18 numaralı çatlak uzamıştır.
-6 CP	0.02/20,98		-20.98 mm Deplasman, -2533 kg Yük Mevcut çatlaklarda genişlemeler artmıştır. Özellikle 16 numaralı çatlakta genişleme devam etmiştir. Ana kesme çatlağı olan 16 numaralı çatlak, 10 numaralı çatlağa kadar uzamıştır.
+7 CP	0.03/31,47		31.47 mm Deplasman, 3303 kg Yük Kirişin sağ ucunda ezilme meydana gelmiştir. Mevcut çatlaklarda genişlemeler artmıştır. 20 numaralı çatlak dallanmıştır. 4 numaralı çatlak dallanmıştır. 23 ve 25 numaralı çatlaklarda dallanmalar meydana gelmiştir. 2 numaralı çatlakta genişlemeler devam etmiştir.
-7 CP	0.03/31,47		-32.02 mm Deplasman, -2000 kg Yük Ana kesme çatlağı 1 cm kadar genişlemiştir. 27 numaralı yeni çatlak oluşmuş ve 25 numaralı çatlak ile birleşmiştir.
+7 CP	0.03/31,47		31.47 mm Deplasman, 2693 kg Yük Sol tarafta kabuk beton dökülmüştür. 17 numaralı çatlak, 13 numaralı çatlak ile bir kere daha birleşmiştir.
-7 CP	0.03/31,47		-31.47 mm Deplasman, 1622 kg Yük Çatlaklardaki genişlemeler artmıştır.

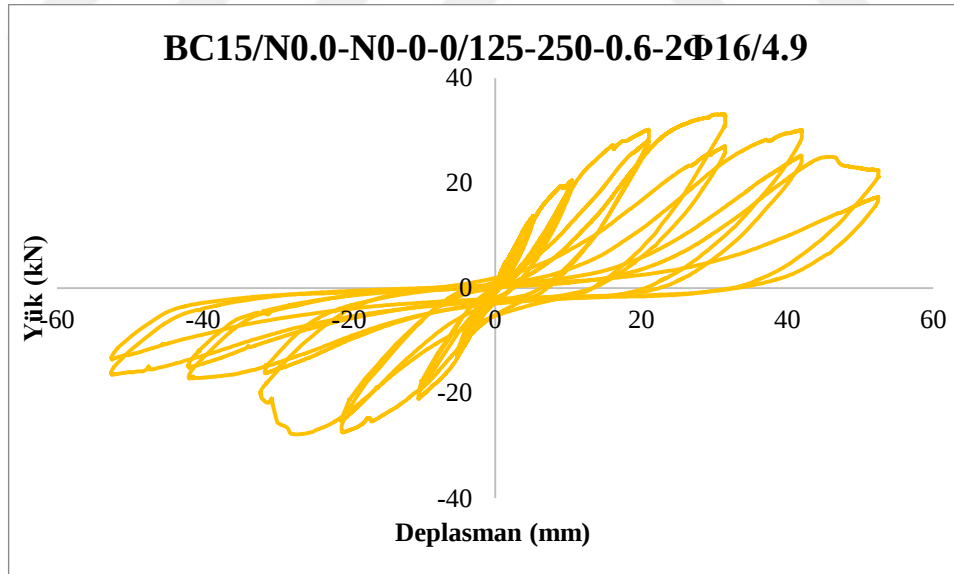
+8 CP	0.04/41,96		41.96 mm Deplasman, 3009 kg Yük Mevcut çatlaklarda genişlemeler iyice artmıştır.
-8 CP	0.04/41,96		-41.96 mm Deplasman, -1700 kg Yük 11 numaralı çatlak uzamıştır. Mevcut çatlaklardaki genişleme artmaya devam etmiştir.
+8 CP	0.04/41,96		41.96 mm Deplasman, 2518 kg Yük Üstteki kabuk beton dökülmüştür. Çatlaklardaki genişlemeler devam etmiştir.
-8 CP	0.04/41,96		-41.96 mm Deplasman, -1494 kg Yük Mevcut çatlaklar genişlemiştir.
+9 CP	0.05/ 52.45		52.45 mm Deplasman, 2249 kg Yük Sağ kabuk beton ezilmeleri meydana gelmiştir.
-9 CP	0.05/ 52.45		-52.50 mm Deplasman, -1645 kg Yük Çatlaklarda genişlemeler devam etmiştir.
+9 CP	0.05/ 52.45		52.45 mm Deplasman, 1731 kg Yük Sağ kabuk beton dökülmek üzere olmuştur.
-9 CP	0.05/ 52.45		-52.45 mm Deplasman, -1347 kg Yük Deney sonlanmıştır.



Şekil 4.93. BC15/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/4.9 numunesi deney öncesi ve sonrası görünümü

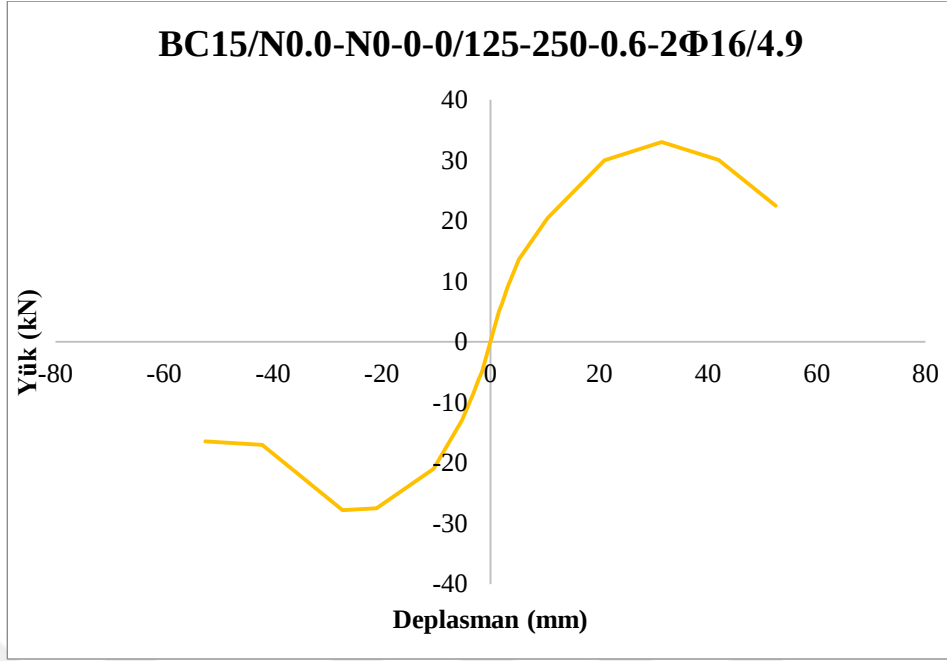


Şekil 4.94. BC15/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/4.9 numunesi deney sonu görünümü



Şekil 4.95. BC15/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/4.9 numunesine ait yük-deplasman grafiği

Deney numunelerin histerezis eğrisindeki her yüklemedeki maksimum yük noktalarının birleştirilmesi ile elde edilen zarf eğrisi Şekil 4.96'da verilmiştir.



Şekil 4.96. BC15/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/4.9 numunesi zarf eğrisi

Deney sonuçları Çizelge 4.68 ve Çizelge 4.69’da özetlenmiştir.

Çizelge 4.68. BC15/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/4.9 numunesi deplasman, süneklik ve rijitlik değerleri

Deney No	Grup	$+\delta_y$	$-\delta_y$	$+\delta_{max}$	$-\delta_{max}$	$+\delta_u$	$-\delta_u$	$+\mu$	$-\mu$	$+\delta_y$	$-\delta_y$	$+\delta_{max}$	$-\delta_{max}$
BC15/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/4.9	7	18,87	14,76	31,47	27,23	44,74	32,92	2,37	2,23	1,49	1,60	1,05	1,02

Çizelge 4.69. BC15/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/4.9 numunesi maksimum yük ve enerji tüketme kapasite değerleri

Deney No	Grup	$+P_y$	$-P_y$	$+P_{max}$	$-P_{max}$	$+E_y$	$-E_y$	$+E_{pmaks}$	$-E_{pmaks}$	$+E_t$	$-E_t$
BC15/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/4.9	7	28,08	23,63	33,03	27,80	0,340	0,229	0,723	0,553	1,330	1,058

4.1.8.2. BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/4.9 Numunesi

7. grupta test edilen ve BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/4.9 olarak adlandırılan 4 mm çaplı MÇD ile ilk güçlendirilen numunedir. Deney sırasında Çevrim numarası (Ç.n), meydana gelen deplasman, çatlaklar, hasarlar ve deney elemanında gözlemlenen durumlar Çizelge 4.70’te verilmiştir. Şekil 4.97, yükleme başlamadan önce numunenin ilk ve son durumunu göstermektedir. Deney protokolüne uygun olarak, her çevrim iki kez tekrarlanmıştır. Deney, kesme çatlaklarının artmasıyla ve betonun kabuktan ayrılmasıyla sonlandırılmıştır. Bu deney numunesine ait yük-deplasman grafiği Şekil 4.99’da verilmiştir.

Çizelge 4.70. BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/4.9 numunesinde gözlemlenen durumlar

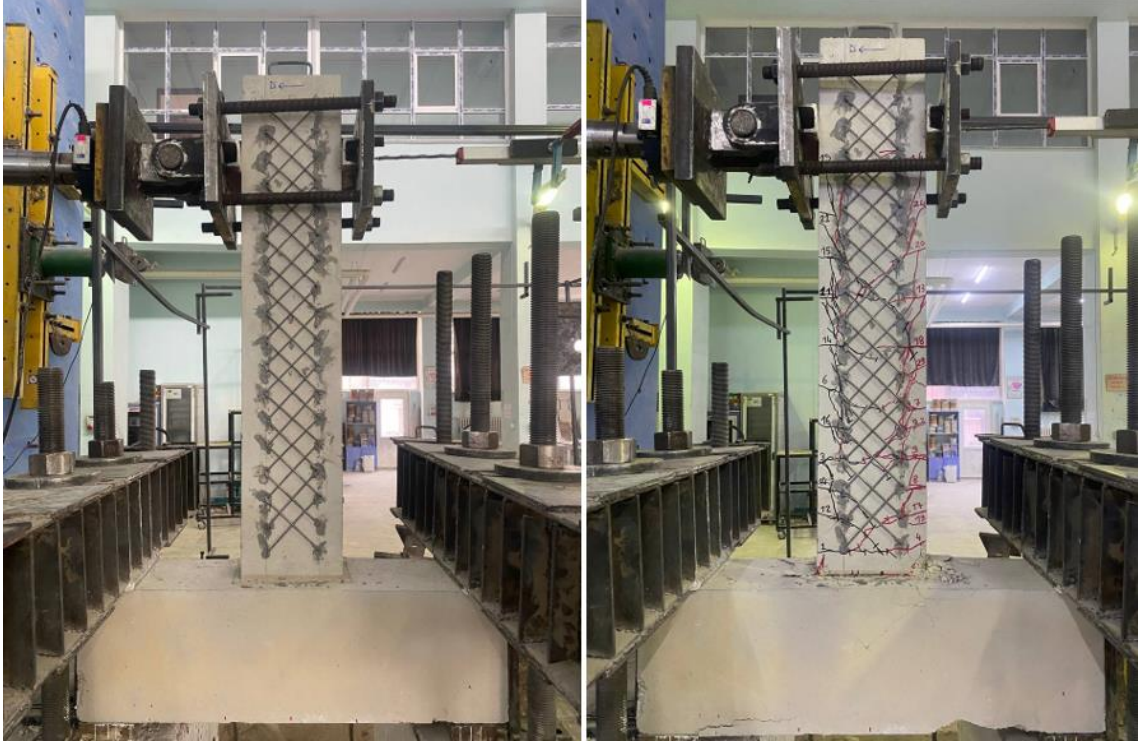
Ç.n	Görelî ötelenme oranı/Deplasman %/(mm)	Çatlak No	Açıklama
+1 IO	0.0015/1.5735	1-2-3	1.57 mm Deplasman, 431 kg Yük 1 numaralı çatlak temelden 5 cm yukarıda oluşmuş ve uzamıştır. 2 numaralı çatlak, kiriş-temel birleşiminde oluşmuş ve genişlemiştir. 3 numaralı çatlak temelden 25 cm yukarıda oluşmuş ve uzamıştır.
-1 IO	0.0015/1.5735	4-5	-1.57 mm Deplasman, -608 kg Yük 4 numaralı çatlak temelden 7 cm yukarıda oluşmuş ve genişlemiştir. 5 numaralı çatlak, kiriş-temel birleşiminde oluşmuş ve genişlemiştir.
+1 IO	0.0015/1.5735	6	1.57 mm Deplasman, 470 kg Yük 1 numaralı çatlak uzamıştır. 3 numaralı çatlak uzamıştır. 6 numaralı çatlak temelden 45 cm yukarıda oluşmuş ve uzamıştır.
-1 IO	0.0015/1.5735	7	-1.57 mm Deplasman, -540 kg Yük 7 numaralı çatlak temelden 38 cm yukarıda oluşmuş ve uzamıştır. 4 numaralı çatlak ile 1 numaralı çatlak birleşmiş ve genişlemiştir.
+2 LS	0.0020/2.098		2.09 mm Deplasman, 596 kg Yük 3 numaralı çatlak dallanmış ve uzamıştır. 1 numaralı çatlak dallanmış ve uzamıştır. 2 numaralı çatlak uzamıştır. 6 numaralı çatlak uzamıştır.
-2 LS	0.0020/2.098	8-9	-2.10 mm Deplasman, -690 kg Yük 5 numaralı çatlak ile 2 numaralı çatlak birleşmiş ve genişlemiştir. 8 numaralı çatlak temelden 20 cm yukarıda oluşmuş ve genişlemiştir. 9 numaralı çatlak temelden 27 cm yukarıda oluşmuş ve uzamıştır.
+2 LS	0.0020/2.098		2.09 mm Deplasman, 543 kg Yük 6 numaralı çatlak uzamıştır.
-2 LS	0.0020/2.098		-2.10 mm Deplasman, -668 kg Yük 7 numaralı çatlak ile 6 numaralı çatlak birleşmiş ve genişlemiştir.
+3 CP	0.0030/3.147	10-11	3.14 mm Deplasman, 812 kg Yük 10 numaralı çatlak temelden 20 cm yukarıda oluşmuş ve genişlemiştir. 11 numaralı çatlak temelden 64 cm yukarıda oluşmuş ve genişlemiştir.
-3 CP	0.0030/3.147		-3.14 mm Deplasman, -976 kg Yük 9 numaralı çatlak uzamış ve dallanmıştır.
+3 CP	0.0030/3.147	12	3.15 mm Deplasman, 765 kg Yük 6 numaralı çatlak dallanmış ve genişlemiştir.

			12 numaralı çatlak temelden 14 cm yukarıda oluşmuş ve uzamıştır.
-3 CP	0.0030/3.147	13	-3.14 mm Deplasman, -920 kg Yük 8 numaralı çatlak dallanmış ve genişlemiştir. 9 numaralı çatlak, 3 numaralı çatlak ile birleşmiş ve genişlemiştir. 13 numaralı çatlak temelden 64 cm yukarıda oluşmuş ve uzamıştır.
+4 CP	0.0050/5.245	14-15	5.25 mm Deplasman, 1240 kg Yük 12 numaralı çatlak kesme çatlağı şeklinde uzamıştır. 3 numaralı çatlak dallanmış ve uzamıştır. 6 numaralı çatlak dallanmış ve uzamıştır. 10 numaralı çatlak uzamıştır. 13 numaralı çatlak uzamıştır. 14 numaralı çatlak temelden 53 cm yukarıda oluşmuş ve uzamıştır. 15 numaralı çatlak temelden 73 cm yukarıda oluşmuş ve uzamıştır.
-4 CP	0.0050/5.245		-5.24 mm Deplasman, -1386 kg Yük 13 numaralı çatlak uzamış ve genişlemiştir.
+4 CP	0.0050/5.245		5.21 mm Deplasman, 1151 kg Yük 12 numaralı çatlak dallanmış ve uzamıştır. 2 numaralı çatlakta genişlemeler olmuştur.
-4 CP	0.0050/5.245		-5.24 mm Deplasman, -1317 kg Yük 5 numaralı çatlak genişlemiş ve uzamıştır. 7 numaralı çatlak dallanmış ve uzamıştır.
+5 CP	0.01/10.490	16	10.49 mm Deplasman, 1964 kg Yük Temeldeki çatlaklar uzamış ve genişlemiştir. 12 numaralı çatlak uzamıştır. 11 numaralı çatlak uzamıştır. 16 numaralı çatlak temelden 33 cm yukarıda oluşmuş ve uzamıştır. 14 numaralı çatlak uzamıştır.
-5 CP	0.01/10.490	17-18	-10.50 mm Deplasman, -2165 kg Yük Temeldeki çatlaklar uzamış ve dallanmıştır. 9 numaralı çatlak dallanmış ve uzamıştır. 5 numaralı çatlak genişlemiş ve uzamıştır. 17 numaralı çatlak temelden 14 cm yukarıda oluşmuş ve uzamıştır. 18 numaralı çatlak temelden 52 cm yukarıda oluşmuş ve uzamıştır.
+5 CP	0.01/10.490		10.49 mm Deplasman, 1787 kg Yük Temeldeki çatlaklar uzamış ve dallanmıştır. 2 numaralı çatlak genişlemiş ve uzamıştır. 10 numaralı çatlak 12 numaralı çatlak ile birleşmiş ve uzamıştır. 16 numaralı çatlak dallanmış ve uzamıştır. 15 numaralı çatlak dallanmış ve uzamıştır.
-5 CP	0.01/10.490	19-20	-10.49 mm Deplasman, -2007 kg Yük 7 ve 9 numaralı çatlaklarda genişlemeler olmuştur.

			19 numaralı çatlak temelden 11 cm yukarıda oluşmuş ve uzamıştır. 20 numaralı çatlak temelden 74 cm yukarıda oluşmuş ve uzamıştır.
+6 CP	0.02/20,98	21	20.98 mm Deplasman, 2785 kg Yük 10 numaralı çatlak uzamıştır. 12 numaralı çatlak genişlemiş ve uzamıştır. 3 numaralı çatlak 10 numaralı çatlak ile birleşmiş ve uzamıştır. 21 numaralı çatlak oluşmuş ve 15 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 3 numaralı çatlak dallanmış ve 16 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 16 numaralı çatlak uzamış ve 6 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 11 numaralı çatlak 14 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 14 numaralı çatlak 6 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 15 numaralı çatlak uzamış ve 13 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 21 numaralı çatlak oluşmuş ve 15 numaralı çatlak ile birleşmiştir.
-6 CP	0.02/20,98	22-23-24	-20.97 mm Deplasman, -3100 kg Yük 5 numaralı çatlak genişlemeye devam etmiştir. 17 numaralı çatlak dallanarak uzamıştır. 8 numaralı çatlak ile 17 numaralı çatlak birleşmiştir. 18 numaralı çatlak dallanmıştır. 22 numaralı yeni kesme çatlağı 9 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 7 numaralı çatlak ile 22 numaralı çatlak birleşmiştir. 23 numaralı çatlak oluşmuş ve 7 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 20 numaralı çatlak uzamıştır. 11 ve 14 numaralı çatlak birleşmiştir. 24 numaralı çatlak oluşmuş ve 20 numaralı çatlak ile birleşmiştir.
+6 CP	0.02/20,98		20.98 mm Deplasman, 2531 kg Yük Yükleme noktasında kesme çatlağı oluşmuş ve 12 numaralı çatlak genişleyip uzamıştır. 6 numaralı çatlak dallanmış ve genişlemiştir. 14 numaralı çatlak genişlemiş ve uzamıştır. 16 numaralı çatlak uzamıştır.
-6 CP	0.02/20,98		-20.98 mm Deplasman, -2531 kg Yük 23 numaralı çatlak uzamış ve 22 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 20 numaralı çatlak uzamıştır.
+7 CP	0.03/31,47	25	31.48 mm Deplasman, 3210 kg Yük Kirişin sağ ucunda ezilme gözlemlenmiştir. 15 numaralı çatlak uzamış ve 11 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 11 numaralı çatlak dallanarak 12 numaralı çatlak ile birleşmiştir.

			Yükleme noktasına yakın yerde 25 numaralı yeni çatlak oluşmuş ve 21 numaralı çatlak ile birleşmiştir.
-7 CP	0.03/31,47	26	-31.48 mm Deplasman, -3355 kg Yük 5 numaralı çatlakta genişlemeler artmıştır. 9 numaralı çatlak uzamış ve 3 ile 8 numaralı çatlaklarla birleşmiştir. 18 numaralı çatlak 23 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 13 numaralı çatlak 18 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 26 numaralı çatlak oluşmuş ve 24 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 18, 23, 8, 24 ve 13 numaralı çatlaklarda genişlemeler olmuştur.
+7 CP	0.03/31,47		31.47 mm Deplasman, 2863 kg Yük 10 numaralı çatlak dallanmıştır. 2 numaralı çatlak genişlemeye devam etmiştir. 21, 11, 14, 6, 16, 3, 10 ve 12 numaralı çatlaklarda genişlemeler olmuştur.
-7 CP	0.03/31,47		-31.49 mm Deplasman, 3056 kg Yük 17 numaralı çatlak uzamış ve kirişin sol ucunda ezilmeler gözlemlenmiştir.
+8 CP	0.04/41,96		41.96 mm Deplasman, 33268 kg Yük 2 numaralı çatlak genişlemeye devam etmiştir. Mevcut çatlaklar genişlemeye devam etmiştir. 21 numaralı çatlak uzamış ve 17 numaralı çatlak ile birleşmiştir.
-8 CP	0.04/41,96		-41.96 mm Deplasman, -3329 kg Yük 20 numaralı çatlak 18 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 23 numaralı çatlak uzamıştır. 22 numaralı çatlak uzamış ve 9 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 4, 5, 8, 9, 13, 17, 23 ve 24 numaralı çatlaklarda genişlemeler olmuştur.
+8 CP	0.04/41,96		41.97 mm Deplasman, 2800 kg Yük 2 numaralı çatlakta genişleme devam etmiştir. Mevcut çatlaklarda genişlemeler devam etmiştir.
-8 CP	0.04/41,96		-41.96 mm Deplasman, -3045 kg Yük Mevcut çatlaklarda genişlemeler olmuştur.
+9 CP	0.05/ 52.45		52.45 mm Deplasman, 2951 kg Yük 2 numaralı çatlak 1 cm kadar genişlemiş ve mevcut çatlaklarda genişlemeler olmuştur. Kirişin sağ ucunda ezilme gözlemlenmiştir.
-9 CP	0.05/ 52.45		-52.56 mm Deplasman, -3245 kg Yük 5 numaralı çatlak 1 cm kadar genişlemiş ve mevcut çatlaklarda genişlemeler olmuştur.
+9 CP	0.05/ 52.45		52.43 mm Deplasman, 2410 kg Yük Kirişin sağ ucunda ezilme gözlemlenmiştir. Sol uçta 1 cm genişleme olmuştur. Mevcut çatlaklarda genişlemeler olmuştur.
-9 CP	0.05/ 52.45		-52.70 mm Deplasman, -2310 kg Yük Sağ uçta kabuk beton dökülmüş ve 5 numaralı çatlakta 1 cm genişleme olmuştur. Kirişin sol ucunda ezilme gözlemlenmiştir. Mekanik dikişlerde sıyrılma olmamıştır.
+10	0.06/62,94		62.97 mm Deplasman, 2150 kg Yük Temelde çatlaklar oluşmuş ve 2 numaralı çatlak genişlemeye

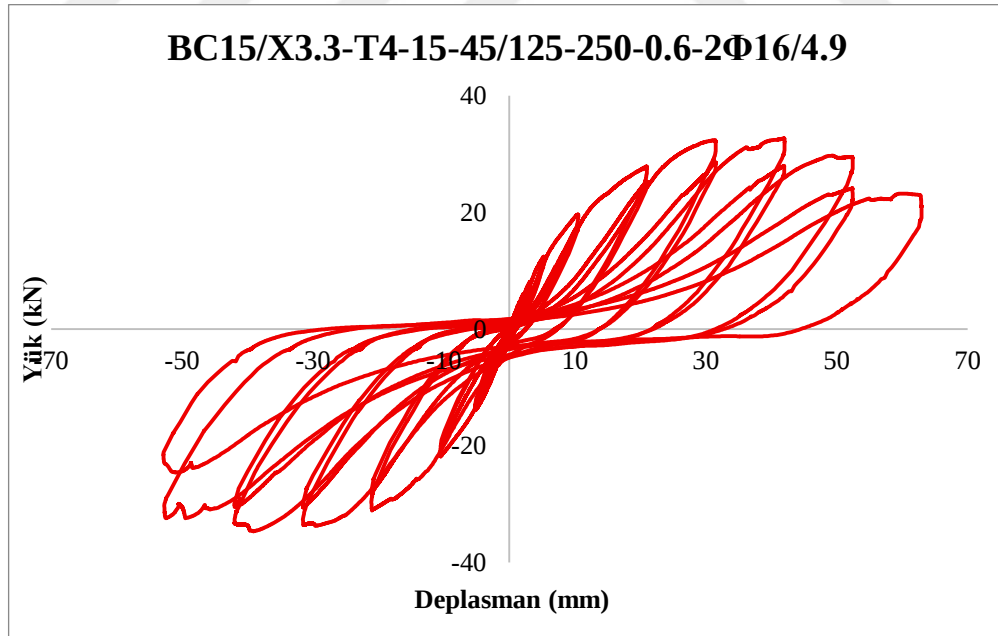
CP			devam etmiştir. Yük taşıma kapasitesi kaybolmuştur.
-10 CP	0.06/62,94		-63.26 mm Deplasman, -1840 kg Yük İleri hasarlar devam etmiştir.
+10 CP	0.06/62,94		62.94 mm Deplasman, 1719 kg Yük Mevcut çatlaklar genişlemeye devam etmiştir. İleri hasar devam etmiştir.
-10 CP	0.06/62,94		-62.94 mm Deplasman, -1450 kg Yük Deney sonlanmıştır.



Şekil 4.97. BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/4.9 numunesi deney öncesi ve sonrası görünümü

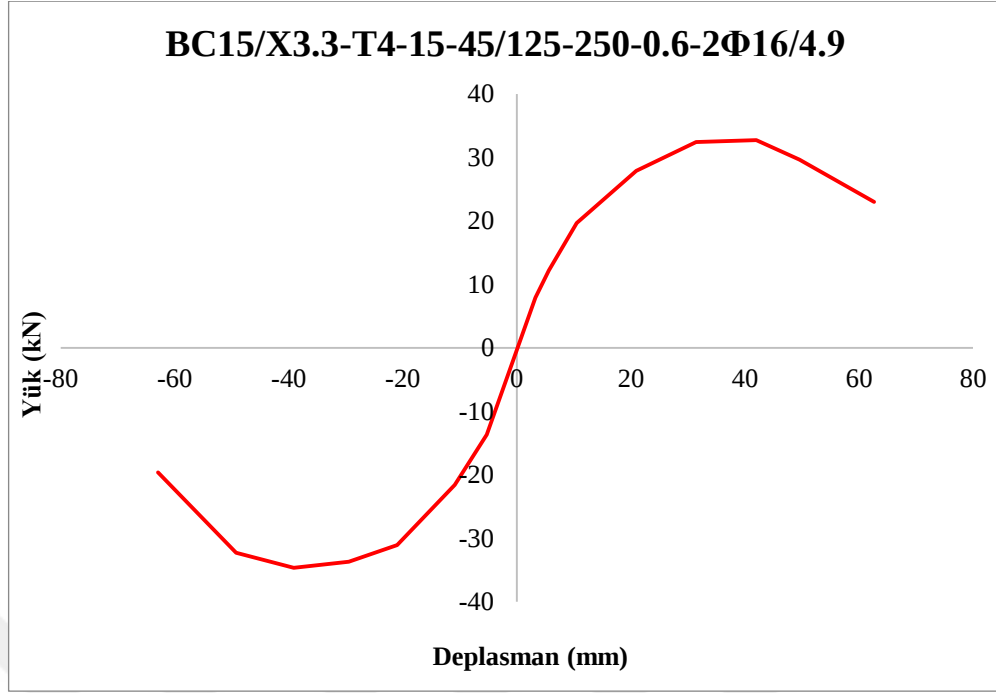


Şekil 4.98. BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/4.9 numunesi deney sonu görünümü



Şekil 4.99. BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/4.9 numunesine ait yük-deplasman grafiği

Deney numunelerin histerezis eğrisindeki her yüklemedeki maksimum yük noktalarının birleştirilmesi ile elde edilen zarf eğrisi Şekil 4.100'de verilmiştir.



Şekil 4.100. BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/4.9 numunesi zarf eğrisi

Deney sonuçları Çizelge 4.71 ve Çizelge 4.72’de özetlenmiştir.

Çizelge 4.71. BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/4.9 numunesi deplasman, süneklik ve rijitlik değerleri

Deney No	Grup	$+\delta_y$	$-\delta_y$	$+\delta_{max}$	$-\delta_{max}$	$+\delta_u$	$-\delta_u$	$+\mu$	$-\mu$	$+S_y$	$-S_y$	$+S_{max}$	$-S_{max}$
BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/4.9	7	20,84	19,27	42,01	39,11	53,23	52,30	2,55	2,71	1,33	1,53	0,78	0,89

Çizelge 4.72. BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/4.9 numunesi maksimum yük ve enerji tüketme kapasite değerleri

Deney No	Grup	$+P_y$	$-P_y$	$+P_{max}$	$-P_{max}$	$+E_y$	$-E_y$	$+E_{pmaks}$	$-E_{pmaks}$	$+E_t$	$-E_t$
BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/4.9	7	27,80	29,45	32,70	34,65	0,360	0,356	1,023	1,005	1,604	1,699

4.1.8.3. BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.0-2Ø16/4.9 Numunesi

7. grupta test edilen ve BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.0-2Ø16/4.9 olarak adlandırılan 4 mm çaplı MÇD ile ikinci güçlendirilen numunedir. Deney sırasında Çevrim numarası (Ç.n), meydana gelen deplasman, çatlaklar, hasarlar ve deney elemanında gözlemlenen durumlar Çizelge 4.73’te verilmiştir. Şekil 4.101, yükleme başlamadan önce numunenin ilk ve son durumunu göstermektedir. Deney protokolüne uygun olarak, her çevrim iki kez tekrarlanmıştır. Deney, kesme çatlaklarının artmasıyla ve betonun kabuktan ayrılmasıyla sonlandırılmıştır. Bu deney numunesine ait yük-deplasman grafiği Şekil 4.103’te verilmiştir.

Çizelge 4.73. BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.0-2Ø16/4.9 numunesinde gözlemlenen durumlar

Ç.n	Görelî ötelenme oranı/Deplasman %/(mm)	Çatlak No	Açıklama
+1 IO	0.0015/1.5735	1-2-3-4	1.57 mm Deplasman, 599 kg Yük 1 numaralı çatlak-Temelden 5 cm yukarıda oluşmuştur. 2 numaralı çatlak-Temelden 28 cm yukarıda oluşmuştur. 3 numaralı çatlak Kiriş Temel Birleşiminde oluşmuştur. 4 numaralı çatlak-Temelden 14 cm yukarıda oluşmuştur.
-1 IO	0.0015/1.5735	5-6-7-8	-1.57 mm Deplasman, -499 kg Yük 5 numaralı çatlak Kiriş Temel Birleşiminde oluşmuştur. 6 numaralı çatlak-Temelden 5 cm yukarıda oluşmuştur. 7 numaralı çatlak-Temelden 15 cm yukarıda oluşmuştur. 8 numaralı çatlak-Temelden 28 cm yukarıda oluşmuştur.
+1 IO	0.0015/1.5735	9-10	1.57 mm Deplasman, 579 kg Yük 9 numaralı çatlak-Temelden 38 cm yukarıda oluşmuştur. 10 numaralı çatlak-Temelden 54 cm yukarıda oluşmuştur.
-1 IO	0.0015/1.5735	11	-1.57 mm Deplasman, -465 kg Yük 5 numaralı çatlakta uzama vardır. 11 numaralı çatlak-Temelden 38 cm yukarıda oluşmuştur.
+2 LS	0.0020/2.098	12	2.09 mm Deplasman, 717 kg Yük 2 numaralı çatlak dallanmış ve uzamıştır. 9 numaralı çatlak uzamıştır. 1 numaralı çatlak dallanmış ve uzamıştır. 3 numaralı çatlak 5 numaralı çatlakla birleşmiştir. 12 numaralı çatlak-Temelden 67 cm yukarıda oluşmuştur.
-2 LS	0.0020/2.098	13-14-15	-2.10 mm Deplasman, -605 kg Yük 13 numaralı çatlak-Temelden 26 cm yukarıda oluşmuştur. 11 numaralı çatlak uzamış, 9 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 14 numaralı çatlak-Temelden 41 cm yukarıda oluşmuş ve 10 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 15 numaralı çatlak-Temelden 67 cm yukarıda oluşmuştur.
+2 LS	0.0020/2.098		2.09 mm Deplasman, 702 kg Yük 10 numaralı çatlakta dallanma vardır. 12 numaralı çatlak uzamıştır. Yük Deplasman eğrisinde belirgin bir rijitlik kaybı yoktur. Temelde 0.02 mm hareketlilik oluşmuştur.
-2 LS	0.0020/2.098		-2.10 mm Deplasman, -668 kg Yük Herhangi bir çatlak yoktur.
+3 CP	0.0030/3.147		3.14 mm Deplasman, 960 kg Yük 12 numaralı çatlak uzamıştır. 3 numaralı çatlakta genişleme vardır. Hafif bir rijitlik kaybı oluşmuştur.
-3 CP	0.0030/3.147		-3.14 mm Deplasman, 811 kg Yük Temel Kiriş Birleşimindeki 5 numaralı çatlakta genişlemeler vardır.

			8 numaralı çatlak 2 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 15 numaralı çatlakta uzama vardır.
+3 CP	0.0030/3.147		3.14 mm Deplasman, 962 kg Yük 4 numaralı çatlak uzamıştır. 12 numaralı çatlak 15 numaralı çatlak ile birleşmiştir.
-3 CP	0.0030/3.147		-3.64 mm Deplasman, -885 kg Yük 14 numaralı çatlakta dallanma vardır. 11 numaralı çatlak dallanmıştır.
+4 CP	0.0050/5.245		5.26 mm Deplasman, 1322 kg Yük 3 numaralı çatlakta genişleme vardır. Temelde ilk çatlak gözlemlenmiştir. 4 numaralı çatlak uzamıştır. 1 numaralı çatlakta dallanma vardır. 9, 10 ve 12 numaralı çatlaklarda dallanmalar vardır.
-4 CP	0.0050/5.245	16	-5.25 mm Deplasman, -1267 kg Yük 16 numaralı çatlak-Temelden 17 cm yukarıda oluşmuştur. 13 numaralı çatlak uzamıştır.
+4 CP	0.0050/5.245		5.24 mm Deplasman, 1223 kg Yük 3 numaralı çatlakta genişleme vardır.
-4 CP	0.0050/5.245		-5.24 mm Deplasman, -1211 kg Yük Herhangi bir şey yoktur.
+5 CP	0.01/10.490	17-18	10.49 mm Deplasman, 1980 kg Yük 4 numaralı çatlak uzamıştır. 3 numaralı çatlak genişlemiştir. 17 numaralı çatlak-Temelden 51 cm yukarıda oluşmuştur. 18 numaralı çatlak-Temelden 70 cm yukarıda oluşmuştur.
-5 CP	0.01/10.490	19-20-21	-10.49 mm Deplasman, -1985 kg Yük 16 numaralı çatlak ile 4 numaralı kesme çatlağı birleşmiştir. 5 numaralı çatlakta genişleme vardır. 19 numaralı çatlak-Temelden 33 cm yukarıda oluşmuştur. 20 numaralı çatlak-Temelden 45 cm yukarıda oluşmuştur. 21 numaralı çatlak-Temelden 70 cm yukarıda oluşmuştur.
+5 CP	0.01/10.490		10.52 mm Deplasman, 1870 kg Yük 3 numaralı çatlakta genişlemeler vardır. 10 ve 18 numaralı çatlakta dallanma vardır.
-5 CP	0.01/10.490		-10.60 mm Deplasman, -1880 kg Yük 15 numaralı çatlakta dallanma vardır. 20 numaralı çatlak ile 14 numaralı çatlak birleşmiştir.
+6 CP	0.02/20.98	22	20.98 mm Deplasman, 1780 kg Yük Yükleme noktasından başlayan 22 numaralı çatlak kesme çatlağı şeklinde temele kadar uzamıştır.

			Böyle bir hasar ilk defa görünmüştür. Ancak hasar hemen oluşmamıştır. Kesme çatlağı olduğu için çok belirgin bir rijitlik kaybı vardır.
-6 CP	0.02/20,98	23	-20.98 mm Deplasman, -2710 kg Yük 20 numaralı çatlak dallanmış ve 14 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 15 numaralı çatlak dallanmış ve 20 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 16 numaralı çatlak genişlemiş, uzamış ve 1 numaralı çatlak ile kesişmiş ve temel ucuna kadar uzamıştır. 23 numaralı yeni çatlak oluşmuş ve 22 numaralı çatlak ile birleşmiştir. 5 numaralı çatlakta genişlemeler vardır. Kirişin sol ucunda ezilme başlamıştır.
+6 CP	0.02/20,98		20.98 mm Deplasman, 1535 kg Yük 22 numaralı çatlakta dallanma ve genişlemeler vardır.
-6 CP	0.02/20,98		-20.96 mm Deplasman, -2270 kg Yük Mevcut çatlaklarda genişlemeler vardır. 15 ve 20 numaralı çatlaklarda dallanma vardır.
+7 CP	0.03/31,47		31.60 mm Deplasman, 1520 kg Yük 22 numaralı çatlak 2 cm'ye yakın genişlemiştir. Mekanik dikişler genişlemeyi sınırlamıştır.
-7 CP	0.03/31,47		-31.52 mm Deplasman, -1805 kg Yük 1 tane mekanik dikiş çatlak genişlemesinden dolayı çıkmıştır (Altan ikinci dikiş). Kesme kırılması olmuştur. Aşağı tekrar kesme çatlağı oluşmuştur.
+7 CP	0.03/31,47		31.47 mm Deplasman, 640 kg Yük Çatlaklarda genişlemeler meydana gelmiştir.
-7 CP	0.03/31,47		-31.47 mm Deplasman, 1585 kg Yük Deney sonlanmıştır.

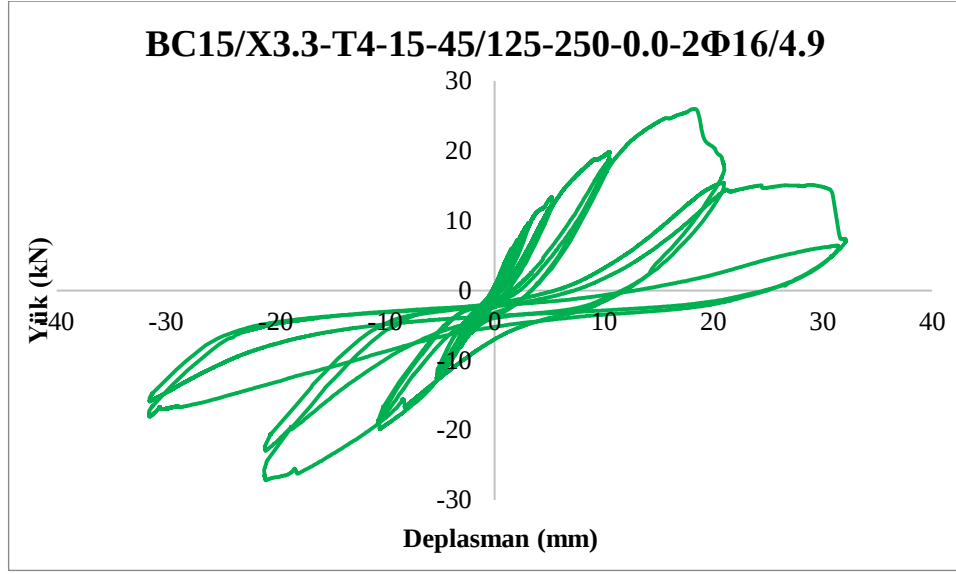
*Bu değerler salt potansiyometre ve yük hücresi okuma değerleridir. Bu nedenle yer değiştirmeler arasındaki ilişkiler bu tabloda göz ardı edilmiştir.



Şekil 4.101. BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.0-2Ø16/4.9 numunesi deney öncesi ve sonrası görünümü

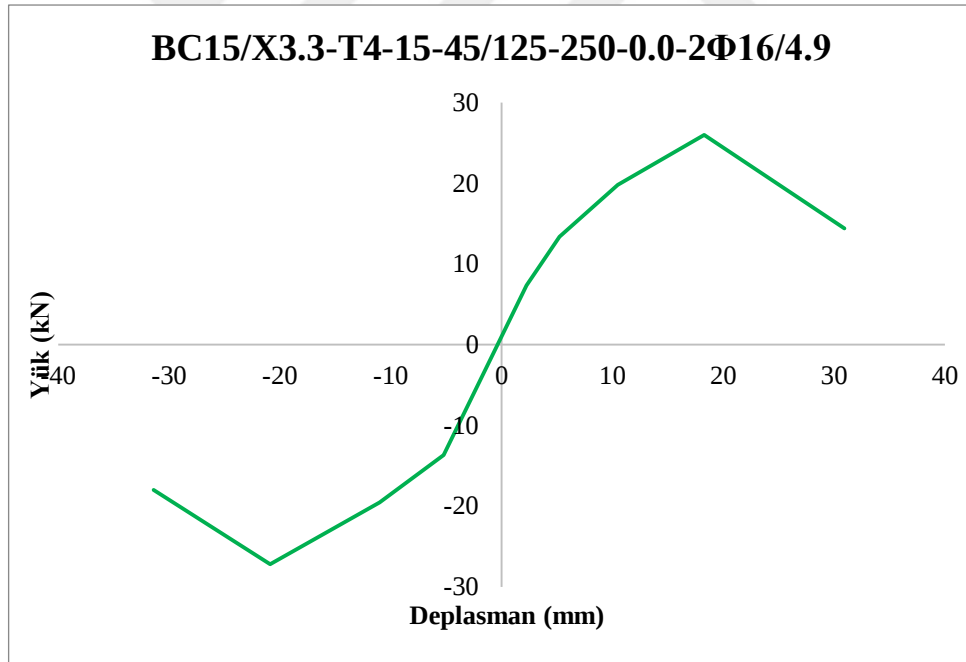


Şekil 4.102. BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.0-2Ø16/4.9 numunesi deney sonu görünümü



Şekil 4.103. BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.0-2Ø16/4.9 numunesine ait

Deney numunelerin histerezis eğrisindeki her yüklemdeki maksimum yük noktalarının birleştirilmesi ile elde edilen zarf eğrisi Şekil 4.104'te verilmiştir.



Şekil 4.104. BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.0-2Ø16/4.9 numunesi zarf eğrisi

Deney sonuçları Çizelge 4.74 ve Çizelge 4.75'te özetlenmiştir.

Çizelge 4.74. BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.0-2Ø16/4.9 numunesi deplasman, süneklik ve rijitlik değerleri

Deney No	Grup	$+\delta_y$	$-\delta_y$	$+\delta_{max}$	$-\delta_{max}$	$+\delta_u$	$-\delta_u$	$+\mu$	$-\mu$	$+S_y$	$-S_y$	$+S_{max}$	$-S_{max}$
BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.0-2Ø16/4.9	7	13,36	15,61	18,27	20,89	22,54	25,54	1,69	1,64	1,65	1,48	1,42	1,30

Çizelge 4.75. BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.0-2Ø16/4.9 numunesi maksimum yük ve enerji tüketme kapasite değerleri

Deney No	Grup	+P _y	-P _y	+P _{max}	-P _{max}	+E _y	-E _y	+E _{pmaks}	-E _{pmaks}	+E _t	-E _t
BC15/X3.3-T4-15-45/ 125-250-0.0-2Ø16/4.9	7	22,08	23,11	25,98	27,19	0,192	0,239	0,305	0,362	0,560	0,600

4.2. Konsol Kiriş Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması

Deneyssel çalışma kapsamında, çevrimsel yüklerin etkisi altında kesmeye karşı MÇD ile güçlendirilmiş konsol kirişler göstermiş olduğu davranışı anlamak için 8 grup halinde toplamda 26 adet deney kirişleri test edilmiştir. Bu bölümde her grupta, MÇD ile güçlendirilmiş kirişler, aynı geometrik parametrelere sahip güçlendirilmemiş referans kirişlerle karşılaştırılmıştır. Konsol kiriş yapısal davranışını incelemek amacıyla MÇD çapı, etrilyelerin aralığı, boyuna donatı çapı, betonun basınç dayanımı ve kesme açıklığı ile faydalı yükseklik arasındaki oran gibi parametrelerin etkileri değerlendirilmiştir.

Deney numuneleri aşağıdaki tanımlanan ifadeler özelinde karşılaştırılmıştır:

- Yük-deplasman grafiği
- Zarf eğrileri
- Rijitlik değerleri
- Tüketilen enerji değerleri
- Süneklik değerleri

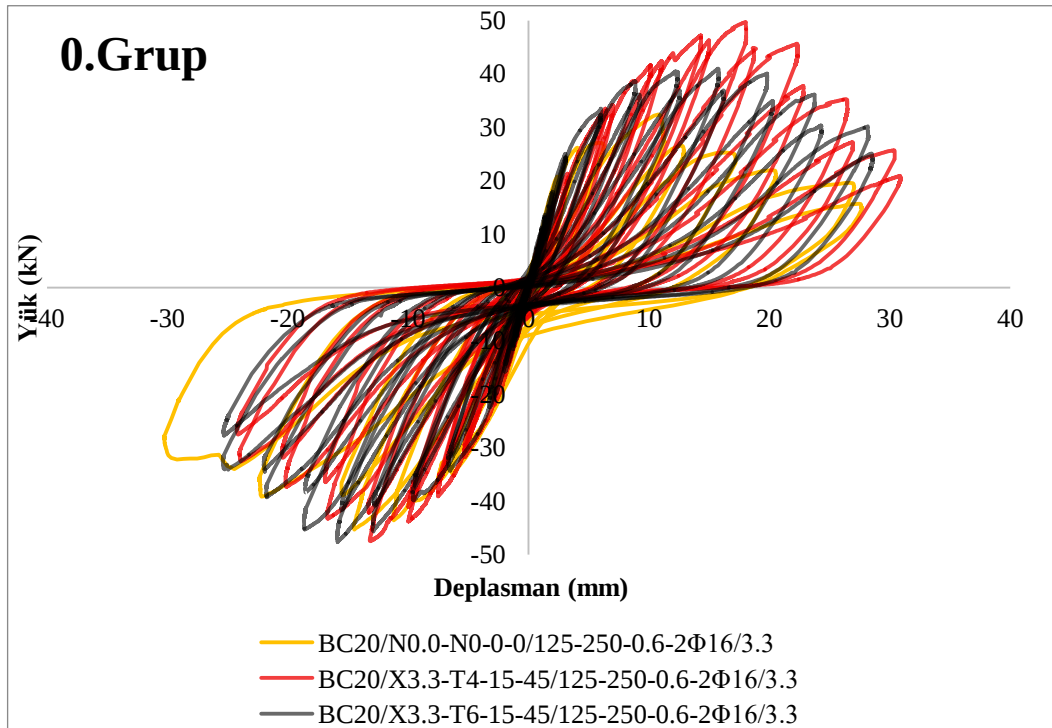
4.2.1. 0. Grup Deneylerin Karşılaştırılması

Deneyssel çalışmada ilk olarak, BC20/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/3.3 numunesi (referans kiriş) test edilmiştir. Deney sonunda 0.grup referans kiriş, ileri çevrimde 32.43 kN, geri çevrimde ise 45.29 kN yatay yük taşımıştır. BC20/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3 (4 mm çapında MÇD ile güçlendirilmiş kiriş) numunesinin ileri çevrimde referans kirişe göre kesme kapasitesi %53 (49.53 kN/32.43 kN) artmıştır. Geri çevrimde ise kesme kapasitesi kesme kapasitesi %46 (47.35 kN/32.43 kN) artmıştır. BC20/X3.3-T6-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3 numunesi (6 mm MÇD çapında ile güçlendirilmiş kiriş) referans kirişe göre ileri ve geri çevrimde kesme kapasitesi sırasıyla %26 (41.01/32.43 kN) ve %47 (47.62/32.43 kN) artmıştır (Şekil 4.105 ve Şekil 4.106).

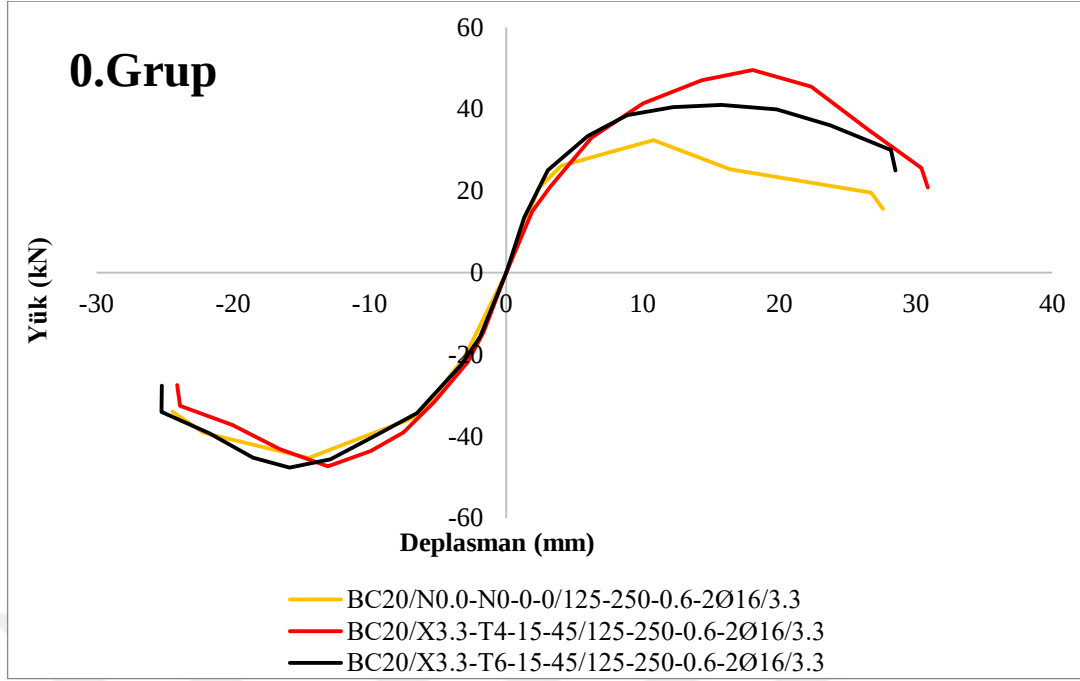
Numunelerin akma rijitliklerini kıyaslamak için güçlendirilmiş kirişlerin rijitlikleri, referans kirişin en düşük rijitliği (4.20 kN/mm) ile kıyaslanmıştır. 4 mm çapında MÇD ile güçlendirilen numunenin akma rijitliği (3.98 kN/mm) referans numuneye göre %5 azalmıştır. 6 mm çapında MÇD ile güçlendirilen numunenin ise akma rijitliği (4.07 kN/mm) referans numuneye göre %3 azalmıştır.

Referans ve güçlendirilmiş kirişlerin akma anındaki ($P_y=0.85P_{max}$) ve maksimum yük anındaki (P_{max}) enerji tüketimleri yük-deplasman grafiğinin altındaki alan toplanarak karşılaştırılmıştır. 4 mm çapında MÇD ile güçlendirilmiş numunenin akma anındaki ve maksimum yük anındaki enerji tüketimleri, referans kirişe göre sırasıyla %90 (0.203kJ /0.107kJ) ve %61 (0.42kJ/0.261kJ) artış olarak elde edilmiştir. 6 mm çapında MÇD ile güçlendirilmiş numunenin akma anındaki ve maksimum yük anındaki enerji tüketimleri ise referans kirişe göre sırasıyla %47 (0.157kJ /0.107kJ) ve %95 (0.509kJ/0.261kJ) artış olarak elde edilmiştir. 4mm çaplı MÇD ve 6mm çaplı MÇD ile güçlendirme arasında kesme kapasitesi ve enerji tüketme kapasitesi değerleri bakımından benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Referans kirişin süneklik katsayısı incelendiğinde en düşük katsayı 2.5 olarak elde edilmiştir. Güçlendirilen kirişlerin (4mm çaplı MÇD ve 6mm çaplı MÇD ile güçlendirme) süneklik katsayıları sırasıyla 2.2 ve 2.1 olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.105. 0. Grup deney numunelerinin histerezis eğrileri



Şekil 4.106. 0.Grup deney numunelerinin zarf eğrileri

4.2.2. 1. Grup Deneylerin Karşılaştırılması

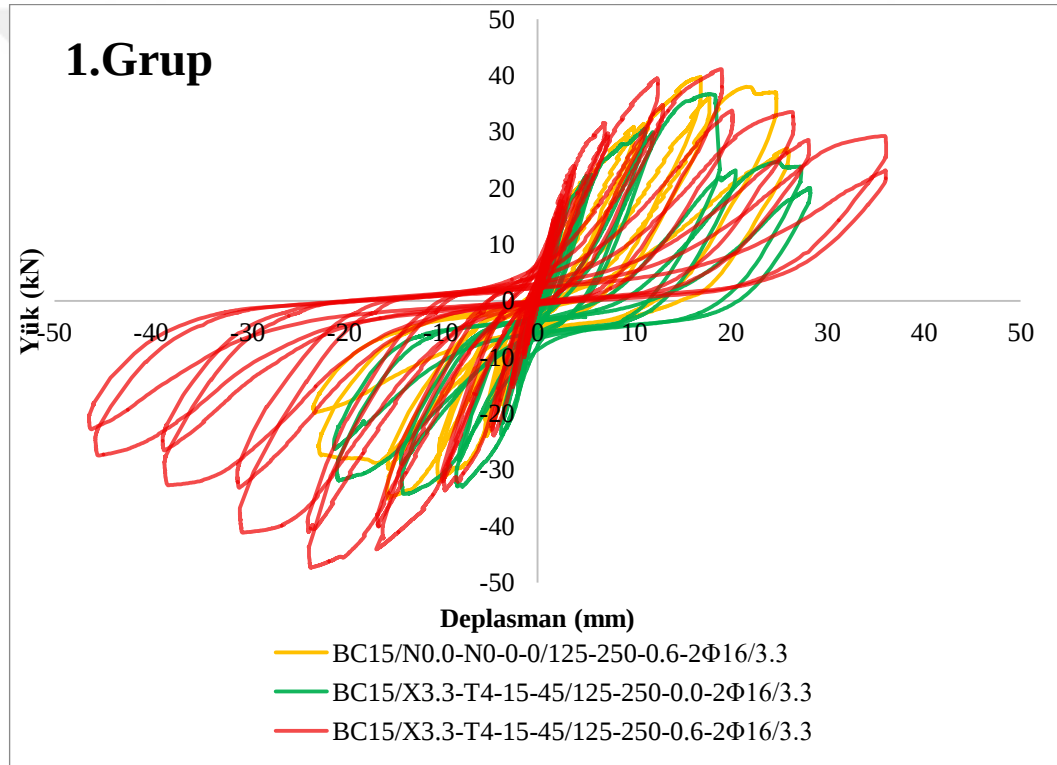
Bu grupta ilk olarak, BC15/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/3.3 numunesi (referans kiriş) test edilmiştir. Deney sonucunda 1.grup referans kiriş, ileri çevrimde 39.68 kN yük taşımıştır. Fakat geri çevrimde 34.79 kN yük taşımıştır. BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3 (4 mm çapında MÇD ile güçlendirilmiş kiriş) numunesinin ileri çevrimde referans kirişe göre kesme kapasitesi %18 (41.13 kN/34.79 kN) artmıştır. Geri çevrimde ise kesme kapasitesi %36 (47.28 kN/34.79 kN) artmıştır. BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.0-2Ø16/3.3 numunesi (4 mm MÇD ile etriyesiz güçlendirilmiş kiriş) referans kirişe göre kesme kapasitesi ileri çevrimde %5 (36.68 kN/34.79 kN) artmıştır ve geri çevrimde %2 (34.25/34.79 kN) azalmıştır (Şekil 4.107 ve Şekil 4.108).

Numunelerin akma rijitliklerini kıyaslamak için güçlendirilmiş kirişlerin rijitlikleri ve referans kirişin en düşük rijitliği (2.77 kN/mm) ile kıyaslanmıştır. 4 mm çapında MÇD ile güçlendirilen numunenin akma rijitliği (2.87 kN/mm) referans numuneye göre %4 artmıştır. 4 mm çapında MÇD ile etriyesiz güçlendirilmiş kirişin ise akma rijitliği (2.62 kN/mm) referans numuneye göre %5 azalmıştır.

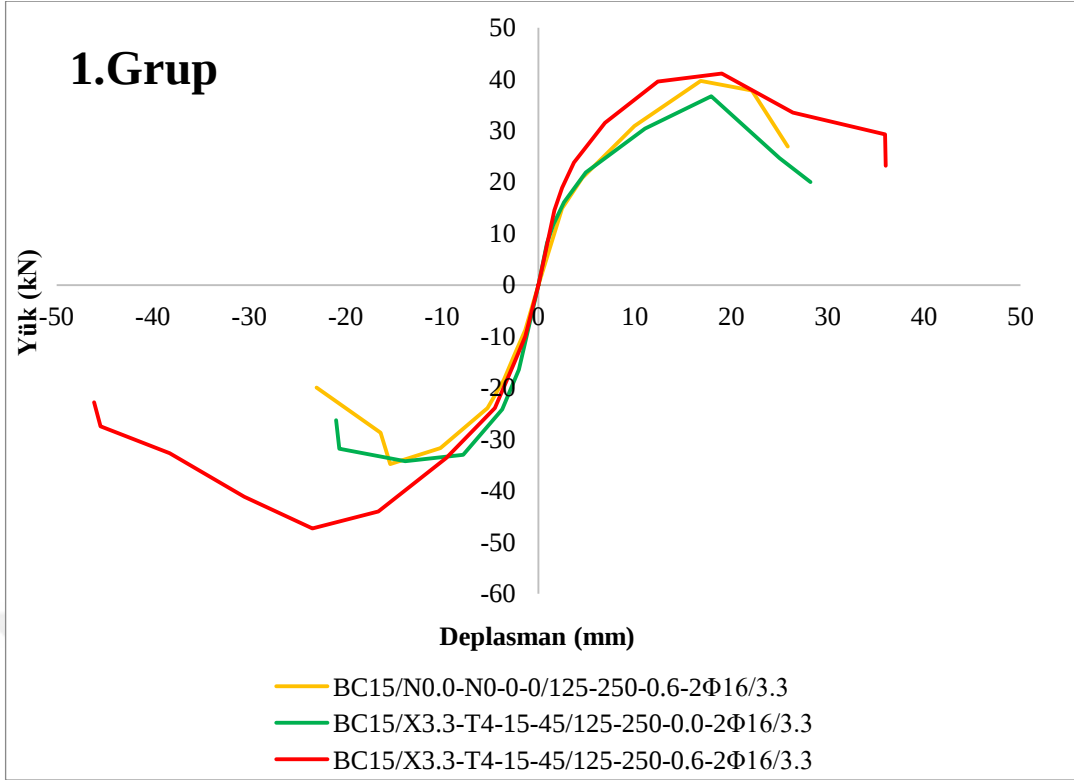
Referans ve güçlendirilmiş kirişlerin akma anındaki ($P_y=0.85P_{max}$) ve maksimum yük anındaki (P_{max}) enerji tüketimleri yük-deplasman grafiğinin altındaki alan toplanarak kıyaslanmıştır. 4 mm çapında MÇD ile güçlendirilmiş numunenin akma anındaki ve

maksimum yük anındaki enerji tüketimleri referans kirişe göre sırasıyla %32 (0.224kJ /0.170kJ) ve %59 (0.604kJ/0.381 kJ) artış olarak elde edilmiştir. 4 mm çapında MÇD ile etriyesiz güçlendirilmiş numunenin akma anındaki ve maksimum yük anındaki enerji tüketimleri ise referans kirişe göre sırasıyla %31 (0.117kJ /0.170kJ) ve %3 (0.369kJ/0.381kj) azalış olarak elde edilmiştir.

Referans kirişin en düşük süneklik oranı 1.8 olarak elde edilmiştir. Güçlendirilen kirişlerin (4mm çapında MÇD ile ve etriyesiz 4mm çapında MÇD ile güçlendirmiş numuneler) süneklik oranları sırasıyla 2.2 ve 2.6 olarak elde edilmiştir. Konsol kirişler kesme kirişi olarak tasarlandığından süneklik oranlarının düşük çıkması normal olarak değerlendirilmelidir.



Şekil 4.107. 1. Grup deney numunelerinin histerezis eğrileri



Şekil 4.108. 1. Grup deney numunelerinin zarf eğrileri

4.2.3. 2. Grup Deneylerin Karşılaştırılması

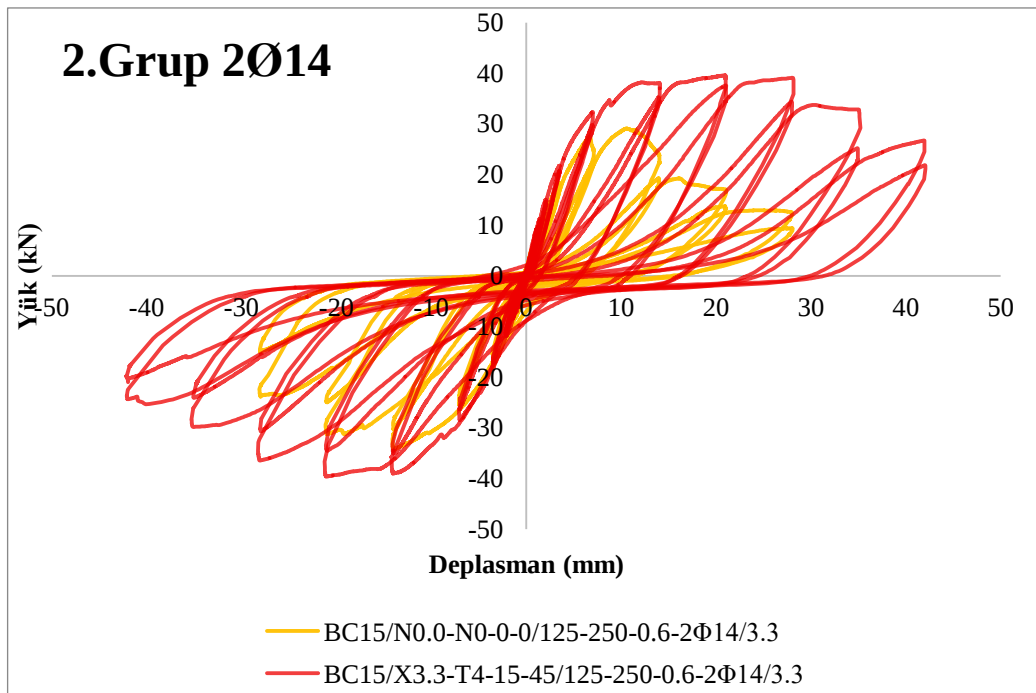
Bu grup deneylerin 1. Grup deneylerden tek farkı konsol kiriş boyuna donatısının değişiminin araştırılmasıdır. Bu doğrultuda konsol kiriş boyuna donatıları 2Ø14 ($\rho=0.011$) ve 2Ø18 ($\rho=0.019$) olarak dikkate alınarak 4 numune üretilmiştir.

Bu grupta ilk olarak, BC15/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø14/3.3 numunesi (2Ø14 boyuna donatılı olan referans kiriş) test edilmiştir. Deney sonucunda 2Ø14 boyuna donatılı olan referans kiriş ileri çevrimde 29.03 kN yük taşımıştır. Fakat geri çevrimde ise 34.28 kN yük taşımıştır. BC15/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø18/3.3 numunesi ise (2Ø18 boyuna donatılı olan referans kiriş) ileri ve geri çevrimde sırasıyla 37.81 kN ve 45.40 kN yük taşımıştır. BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø14/3.3 (2Ø14 boyuna donatıya sahip 4 mm çapında MÇD ile güçlendirilmiş kiriş) numunesinin ileri ve geri çevrimde aynı yükü taşıyarak referans kirişe göre kesme kapasitesi %36 (39.60 kN/29.03 kN) artmıştır. BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø18/3.3 (2Ø18 boyuna donatıya sahip 4 mm çapında MÇD ile güçlendirilmiş kiriş) numunesinin referans kirişe göre kesme kapasitesi ileri çevrimde %42 (53.85 kN/37.81 kN) artmış olup geri çevrimde %31 (49.70 kN/37.81 kN) artmıştır (Şekil 4.109 ve Şekil 4.110).

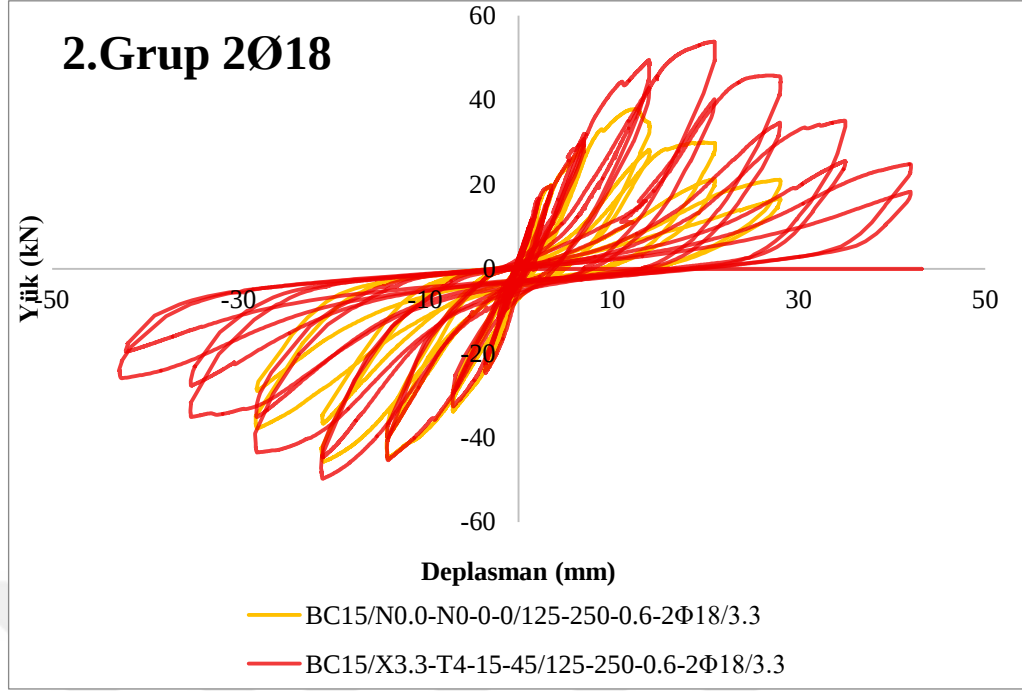
Numunelerin akma rijitliklerini kıyaslamak için güçlendirilmiş kirişlerin rijitlikleri, referans kirişin en düşük rijitliği ile kıyaslanmıştır. 2Ø14 boyuna donatıya sahip referans kiriş numunesi (3.05 kN/mm) ile güçlendirilen numunesinin akma rijitliği (3.20 kN/mm) karşılaştırıldığında, güçlendirilen kirişin akma rijitliği referans numuneye göre %5 artmıştır. 2Ø18 boyuna donatıya sahip referans kiriş numunesi (3.62 kN/mm) ile güçlendirilen numunenin akma rijitliği (3.41 kN/mm) karşılaştırıldığında ise referans numuneye göre %6 azalma gözlenmiştir.

Referans ve güçlendirilmiş kirişlerin akma anındaki ($P_y=0.85P_{max}$) ve maksimum yük anındaki (P_{max}) enerji tüketimleri yük-deplasman grafiğinin altındaki alan toplanarak kıyaslanmıştır. 2Ø14 boyuna donatıya sahip güçlendirilmiş kiriş numunenin akma anındaki ve maksimum yük anındaki enerji tüketimleri referans kirişe göre sırasıyla %106 (0.181kj /0.088kj) ve %184 (0.627kj/0.221 kj) artış olarak elde edilmiştir. 2Ø18 boyuna donatıya sahip güçlendirilmiş kiriş numunenin akma anındaki ve maksimum yük anındaki enerji tüketimleri referans kirişe göre sırasıyla %84 (0.347kj /0.189kj) ve %142 (0.743 kJ/0.307 kJ) artış olarak elde edilmiştir.

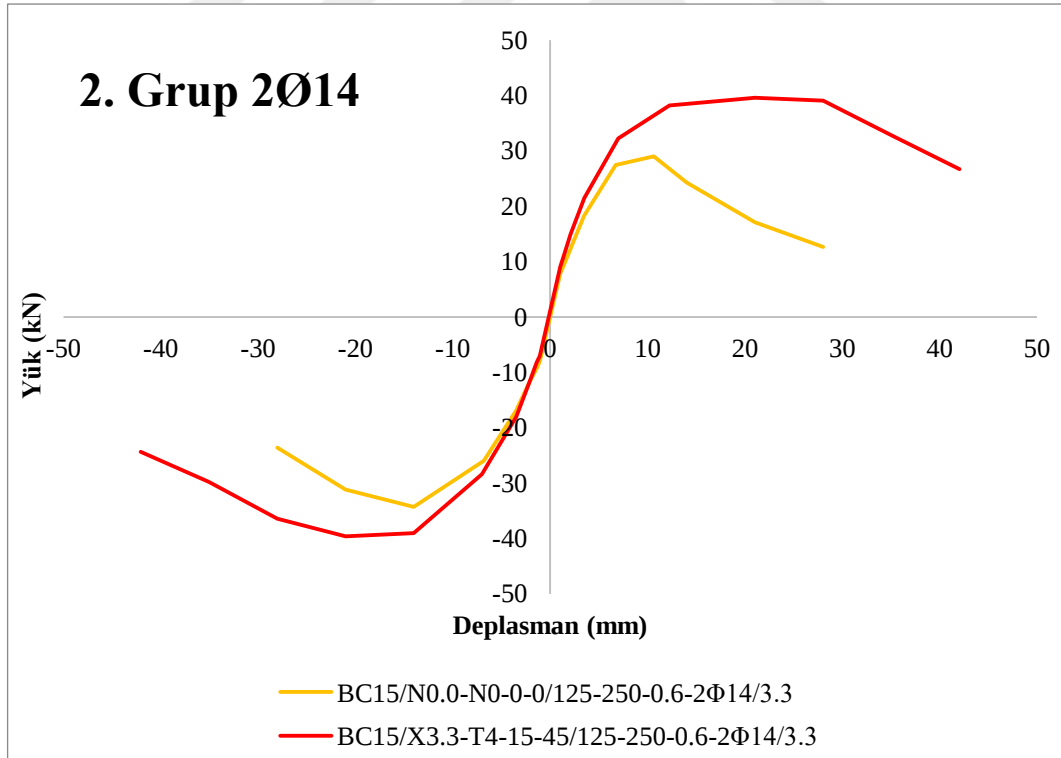
2Ø14 boyuna donatılı ve 2Ø18 boyuna donatılı olan Referans kirişlerin süneklik katsayıları sırasıyla 2.4 ve 2.1 olarak elde edilmiştir. Güçlendirilen kirişlerin (2Ø14 boyuna donatılı ve 2Ø18 boyuna donatılı olan 4mm MÇD ile güçlendirmiş numuneler) süneklik katsayıları ise sırasıyla 2.9 ve 2.2 olarak elde edilmiştir.



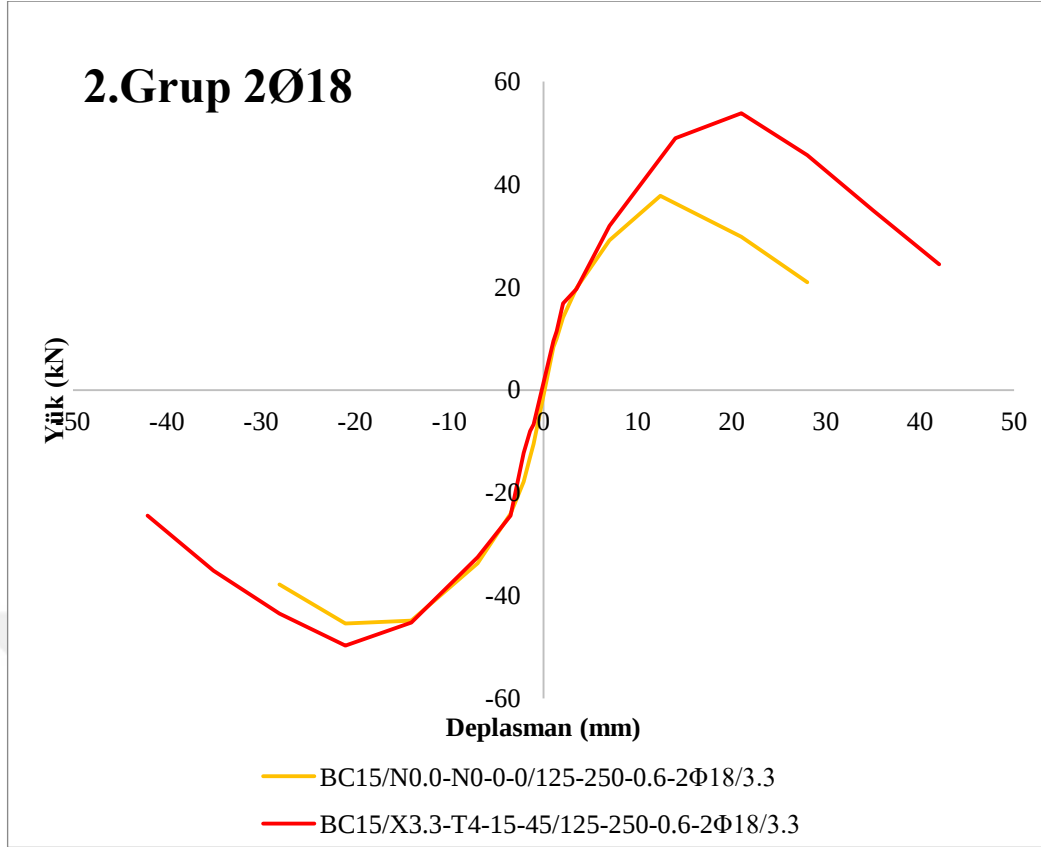
Şekil 4.109. 2.Grup 2Ø14 boyuna donatıya sahip deney numunelerinin histerezis eğrileri



Şekil 4.110. 2.Grup 2Ø18 boyuna donatıya sahip deney numunelerinin histerezis eğrileri



Şekil 4.111. 2.Grup 2Ø14 boyuna donatıya sahip deney numunelerinin zarf eğrileri



Şekil 4.112. 2.Grup 2Ø18 boyuna donatıya sahip deney numunelerinin zarf eğrileri

4.2.4. 3. Grup Deneylerin Karşılaştırılması

Grup deneylerin 1. Grup deneylerden tek farkı hedef beton basınç dayanım değişiminin araştırılmasıdır. Bu grupta C5-10 ve C10-15 olmak üzere iki farklı hedef beton basınç dayanımı için deneyler yapılmıştır.

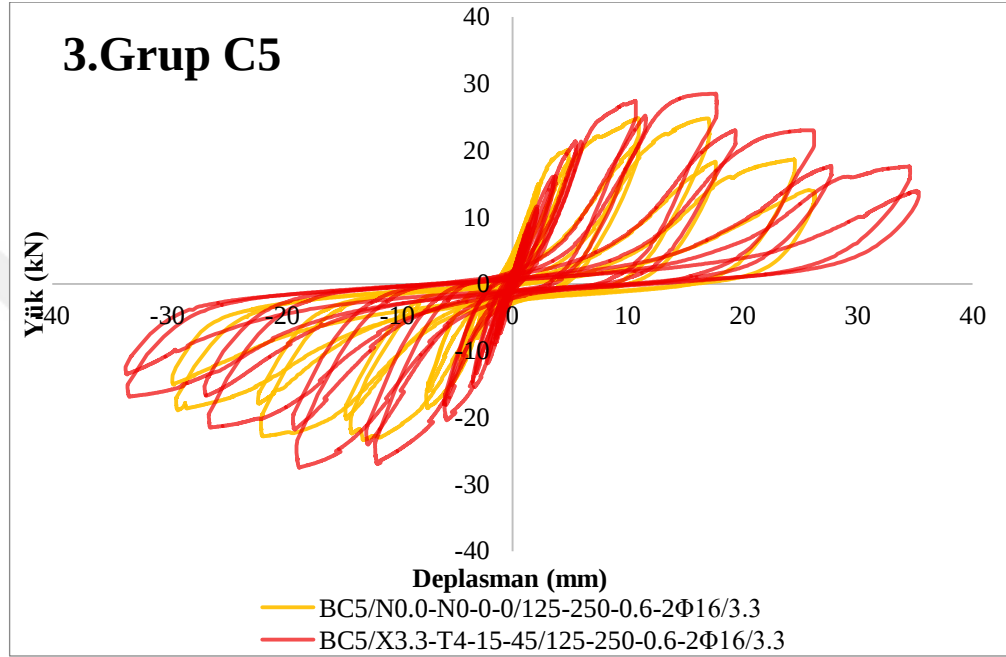
4.2.4.1. C5-10 Numuneler İçin:

İlk olarak, BC5/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/3.3 numunesi (5-10MPa basınç dayanımı olan referans kiriş) test edilmiştir. Deney sonucunda ileri çevrimde 24.81 kN yatay yük taşınmıştır. Fakat geri çevrimde ise 23.31 kN yük taşınmıştır. Bu durum kirişin basınç dayanımının düşük olmasından kaynaklanmaktadır. BC5/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3 (C5-10 basınç dayanımı ve 4mm çapında MÇD ile güçlendirilmiş kiriş) numunesinin referans kirişe göre kesme kapasitesi ileri çevrimde %22 (28.47 kN/23.31 kN) ve geri çevrimde %18 (27.55 kN/23.31 kN) artmıştır (Şekil 4.113 ve Şekil 4.114).

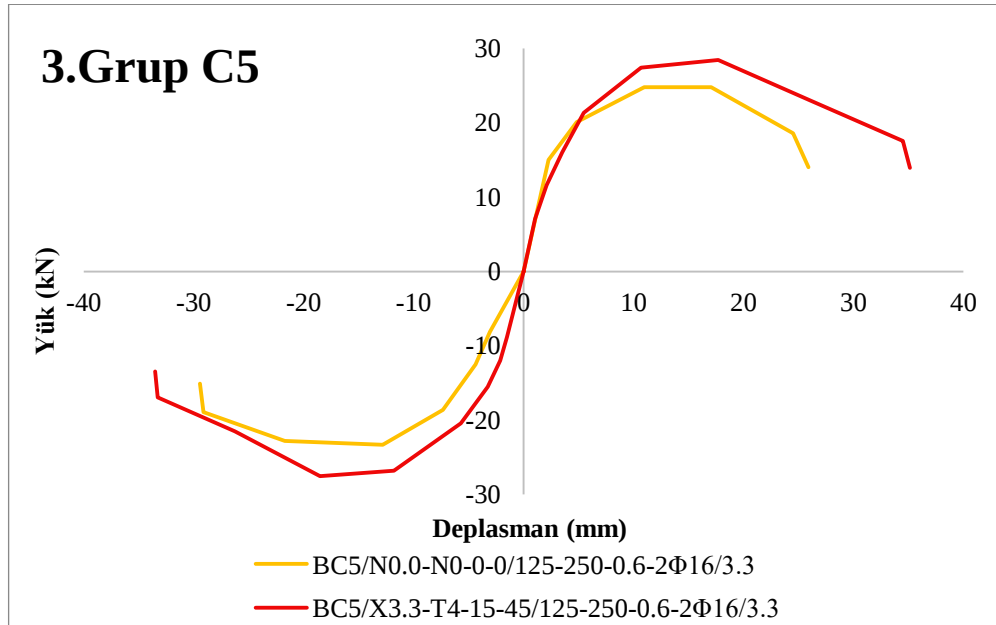
4 mm çapında MÇD ile güçlendirilen numunenin akma rijitliği (2.74 kN/mm) referans numuneye göre (2.26 kN/mm) %21 artmıştır.

4 mm çapında MD ile güçlendirilmiş numunenin akma anındaki ve maksimum yük anındaki enerji tüketimleri referans kirişe göre sırasıyla %27 (0.129 kJ /0.102 kJ) ve %110 (0.393 kJ/0.187 kJ) artış olarak elde edilmiştir.

5-10MPa basınç dayanımı olan referans kirişin en düşük süneklik katsayı 3.1 olarak elde edilmiştir. Güçlendirilen kirişin süneklik katsayı referans kiriş katsayısına eşit olarak bulunmuştur.



şekil 4.113. 3. Grup C5-10 basınç dayanımına sahip deney numunelerinin histerezis eğrileri



şekil 4.114. 3. Grup C5-10 basınç dayanımına sahip deney numunelerinin zarf eğrileri

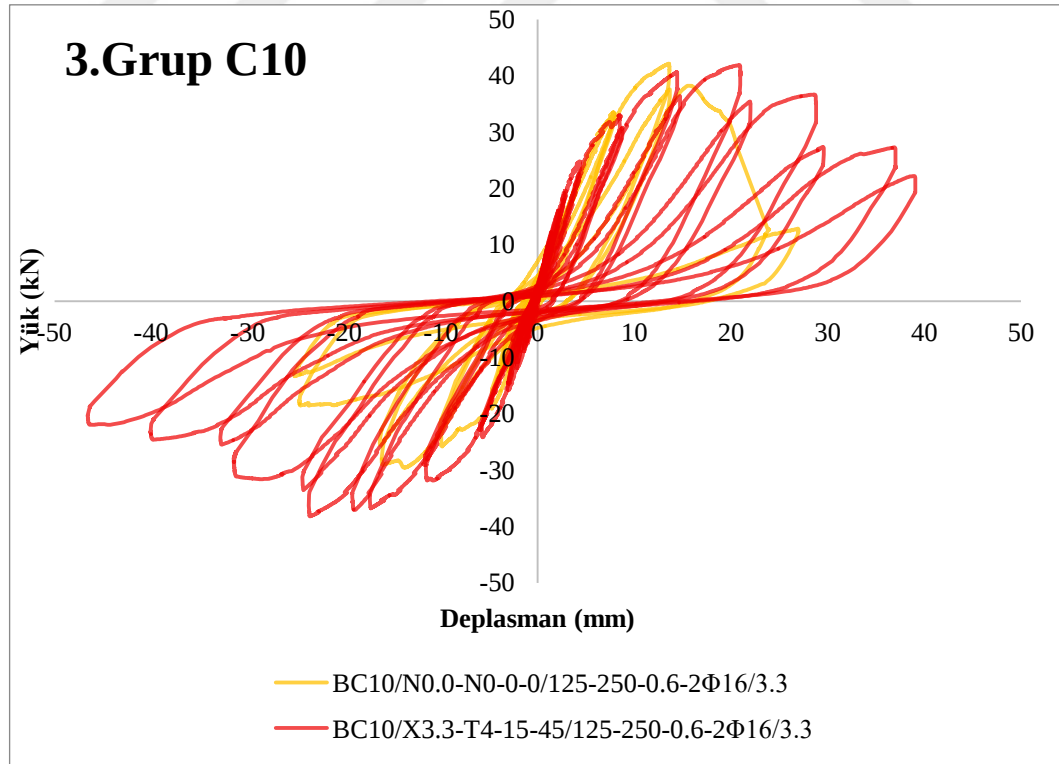
4.2.4.2. C10-15 Numuneler İçin:

İlk olarak, BC10/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/3.3 numunesi (referans kiriş) test edilmiştir. Deney sonucunda numune ileri çevrimde 42.17 kN yük taşımıştır. Fakat numune geri çevrimde ise 29.49 kN yük taşımıştır. İleri ve geri çevrimde taşınan yükün farklı olmasının sebebi, bir yönde kesme kırılması gerçekleştikten sonra diğer yönde kirişin boyunun kısılmasından kaynaklanmaktadır. BC10/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3 (10-15MPa basınç dayanımı olan 4mm çapında MÇD ile güçlendirilmiş kiriş) numunesinin referans kirişe göre kesme kapasitesi ileri çevrimde %42 (41.91 kN/29.49 kN) ve geri çevrimde %29 (38.17 kN/29.49 kN) artmıştır (Şekil 4.116 ve Şekil 4.117).

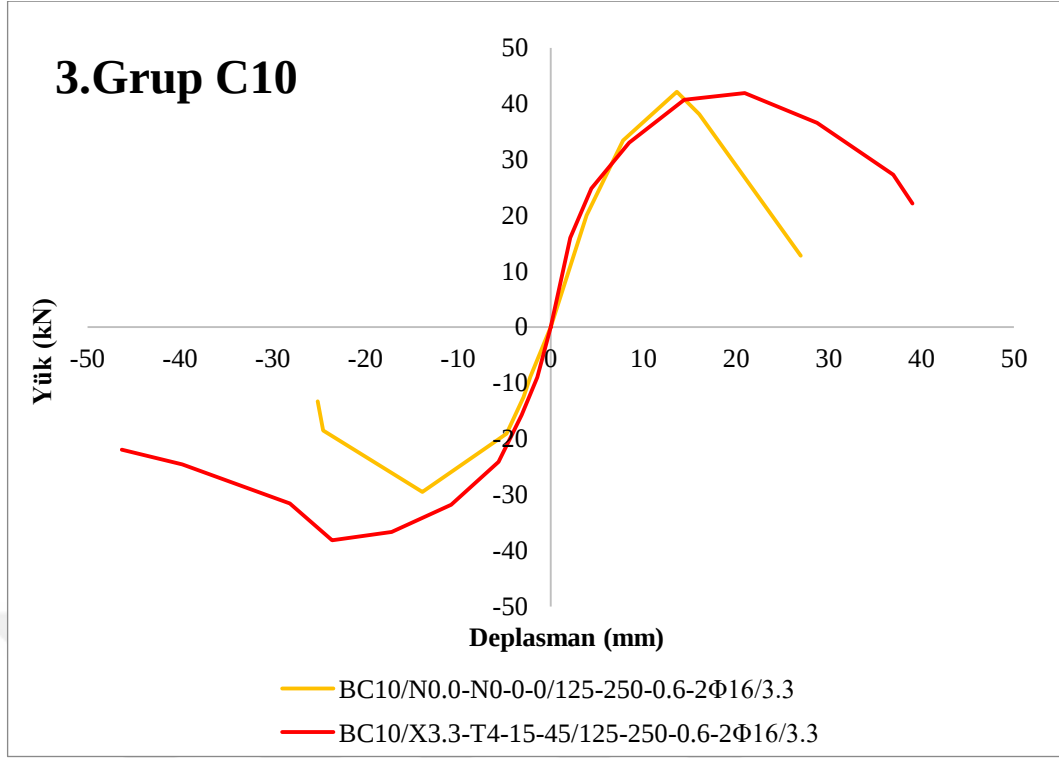
4 mm çapında MÇD ile güçlendirilen numunenin akma rijitliği (2.79 kN/mm) referans numuneye göre (2.51 kN/mm) %11 artmıştır.

4 mm çapında MÇD ile güçlendirilmiş numunenin akma anındaki ve maksimum yük anındaki enerji tüketimleri referans kirişe göre sırasıyla %44 (0.249 kJ /0.173 kJ) ve %151 (0.670 kJ/0.267 kJ) artış olarak elde edilmiştir.

10-15MPa basınç dayanımı olan referans kiriş süneklik en düşük katsayı 1.8 olarak elde edilmiştir. Güçlendirilen kirişlerin süneklik katsayı 2.8 olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.115. 3. Grup C10-15 basınç dayanımına sahip deney numunelerinin histerezis eğrileri



Şekil 4.116. 3. Grup C10-15 basınç dayanımına sahip deney numunelerinin zarf eğrileri

4.2.5. 4. Grup Numunelerin Karşılaştırılması

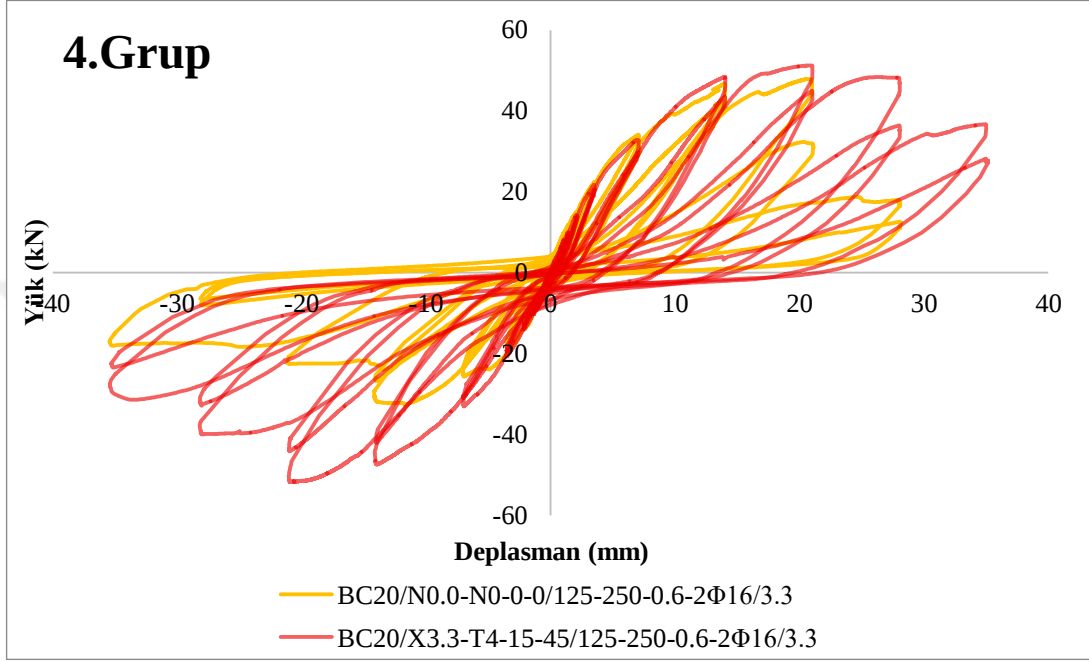
4. gruptaki deneyler ile 1. gruptaki deneyler arasındaki tek fark 3. gruptaki numunelere benzer olarak hedef beton basınç dayanımındaki değişimin araştırılmasıdır. Bu grupta 20-25MPa hedef basınç dayanımına sahip iki numune test edilmiştir.

İlk olarak, BC20/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/3.3 numunesi (20-25MPa basınç dayanımı olan referans kiriş) test edilmiştir. Deney sonucunda numune ileri çevrimde 47.80 kN yük taşımıştır. Fakat geri çevrimde ise numune 32.58 kN yük taşımıştır. Bu durum önceki gruplarda da ifade edildiği gibi bir yönde kesme kırılmasının oluşması ile diğer yönde etkili kiriş boyunun kısılmasına bağlı olarak kirişin daha fazla yük taşımasından kaynaklanmaktadır. BC20/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3 (4 mm çapında MÇD ile güçlendirilmiş kiriş) numunesinin referans kirişe göre kesme kapasitesi ileri çevrimde %57 (51.30 kN/32.58 kN) ve geri çevrimde %57 (51.70 kN/32.58 kN) artmıştır (Şekil 4.117 ve Şekil 4.118).

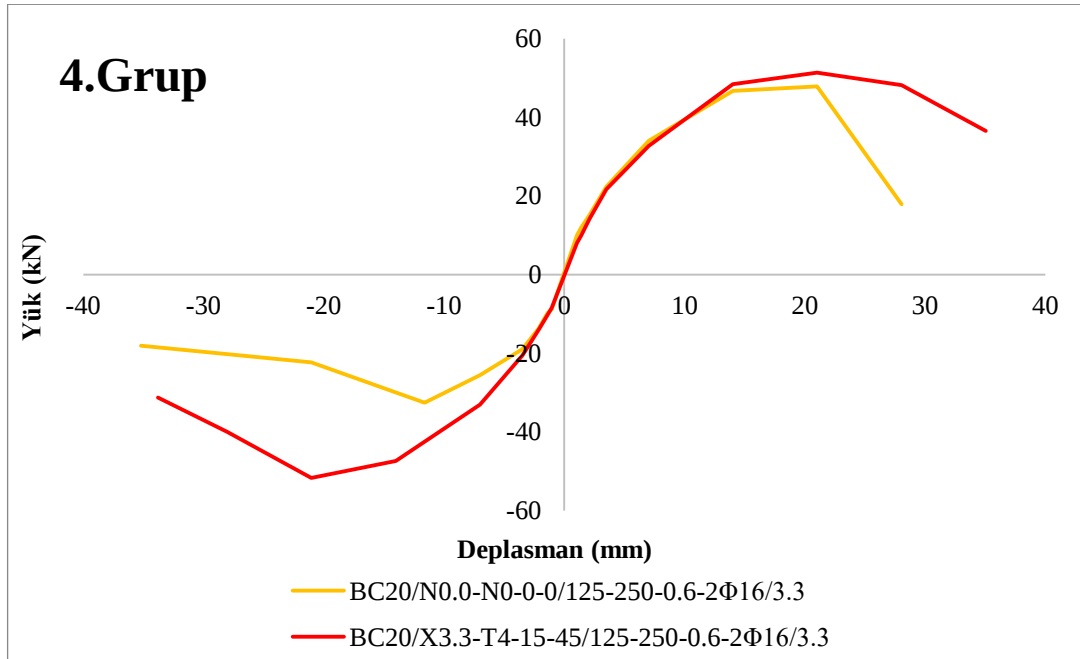
4 mm çapında MÇD ile güçlendirilen numunenin akma rijitliği (3.56 kN/mm) referans numuneye göre (3.30 kN/mm) %8 artmıştır.

4 mm çapında MD ile güçlendirilmiş numunenin akma anındaki ve maksimum yük anındaki enerji tüketimleri referans kirişe göre sırasıyla %113 (0.334 kJ /0.157 kJ) ve %204 (0.764 kJ/0.251 kJ) artış elde edilmiştir.

Referans kirişin en düşük süneklik katsayısı 1.9 olarak elde edilmiştir. Güçlendirilen kirişin süneklik katsayı ise 2.1 olarak elde edilmiştir.



şekil 4.117. 4. Grup deney numunelerinin histerezis eğrileri



şekil 4.118. 4. Grup deney numunelerinin zarf eğrileri

4.2.6. 5. Grup Numunelerin Karşılaştırılması

Bu grupta kesme açıklığı ile faydalı yükseklik arasındaki oran (a/d oranı) ve MÇD çapının değiştirilmesiyle güçlendirmedeki etkinlik araştırılmıştır. Bu doğrultuda kesme açıklığı ile faydalı yükseklik arasındaki oran 2.51 olarak seçilmiş ve bu şekilde önceki gruplara göre a/d oranı azaltılmıştır. Ayrıca güçlendirme için bu grupta 4 mm ve 6 mm çapında MÇD'ler kullanılmıştır.

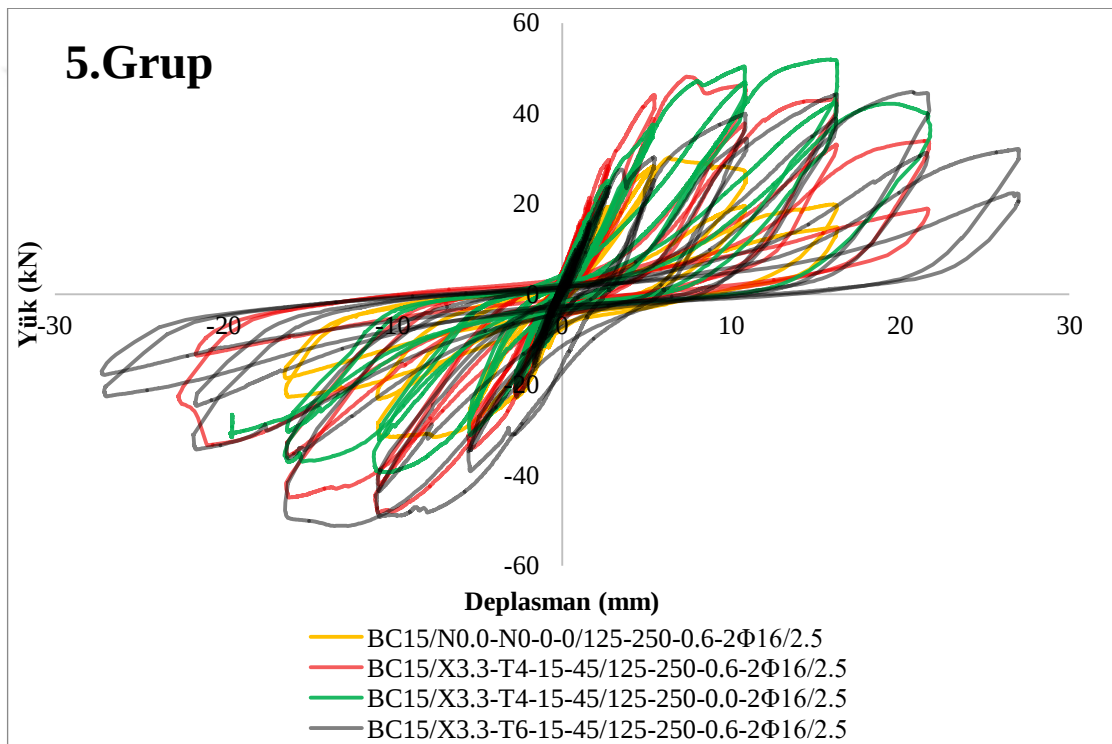
Bu grupta ilk olarak, BC15/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/2.5 numunesi (referans kiriş) test edilmiştir. Deneyde referans kiriş ileri çevrimde 30.26 kN yatay yük taşımıştır. Fakat geri çevrimde ise numune 31.54 kN yatay yük taşımıştır. BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/2.5 (etiriyeli 4 mm çapında MÇD ile güçlendirilmiş kiriş) numunesinin referans kirişe göre kesme kapasitesi ileri çevrimde %59 (48.13 kN/30.26 kN) ve geri çevrimde %59 (48.20 kN/30.26 kN) artmıştır. BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.0-2Ø16/2.5 (etiryesiz 4 mm çapında MÇD ile güçlendirilmiş kiriş) numunesinin referans kirişe göre kesme kapasitesi ileri çevrimde %71 (51.70 kN/30.26 kN) ve geri çevrimde %30 (39.27 kN/30.26 kN) artmıştır. BC15/X3.3-T6-15-45/125-250-0.6-2Ø16/2.5 (etiriyeli 6 mm çapında MÇD ile güçlendirilmiş kiriş) numunesinin referans kirişe göre kesme kapasitesi ileri çevrimde %47 (44.50 kN/30.26 kN) ve geri çevrimde %69 (51.22 kN/30.26 kN) artmıştır (Şekil 4.119 ve Şekil 4.120).

Numunelerin akma rijitliklerini kıyaslamak için güçlendirilmiş kirişlerin rijitlikleri ve referans kirişin en düşük rijitliği dikkate alınarak kıyaslanmıştır. Etriyeli 4 mm çapında MÇD ile güçlendirilmiş kiriş referans kiriş ile karşılaştırıldığında, referans kiriş numunesinin akma rijitliğine (5.29 kN/mm) göre güçlendirilmiş kirişin akma rijitliği (5.11 kN/mm) %3 oranında azalmıştır. Etriyesiz 4 mm çapında MÇD ile güçlendirilmiş kiriş, referans kiriş ile karşılaştırıldığında ise, güçlendirilmiş kirişin akma rijitliği (4.95 kN/mm) referans numuneye göre %6 azalmıştır. Etriyeli 6 mm çapında MÇD ile güçlendirilmiş kiriş ise referans kiriş numunesinin akma rijitliği (3.92 kN/mm) referans numuneye göre %26 azalmıştır.

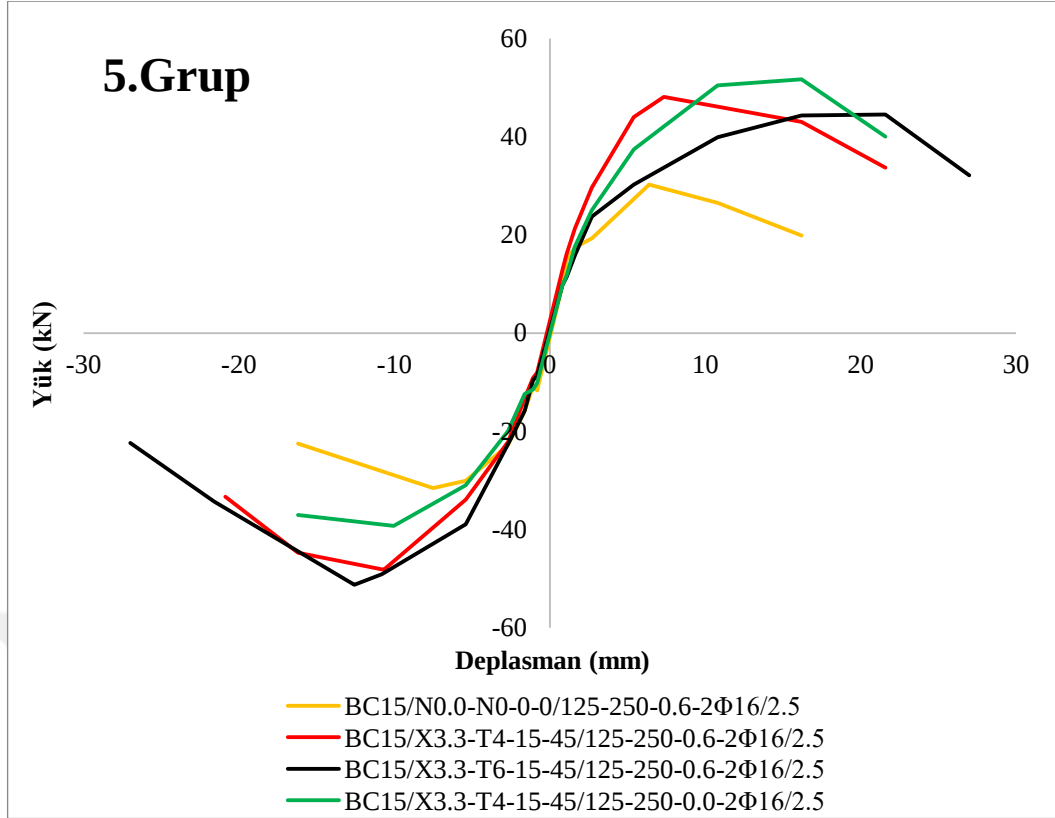
Referans ve güçlendirilmiş kirişlerin akma anındaki ($P_y=0.85P_{max}$) ve maksimum yük anındaki (P_{max}) enerji tüketimleri yük-deplasman grafiğinin altındaki alan toplanarak kıyaslanmıştır. Etriyeli 4 mm çapında MÇD ile güçlendirilmiş kiriş numunesinin akma anındaki ve maksimum yük anındaki enerji tüketimleri referans kirişe göre sırasıyla %67 (0.125kJ /0.075 kJ) ve %86 (0.236 kJ/0.127 kJ) artış elde edilmiştir. Etriyesiz 4 mm çapında MÇD ile güçlendirilmiş kiriş numunesinin akma anındaki ve maksimum yük

anındaki enerji tüketimleri referans kirişe göre sırasıyla %96 (0.147 kJ /0.075 kJ) ve %107 (0.263 kJ/0.127 kJ) artış elde edilmiştir. Etriyeli 6 mm çapında MÇD ile güçlendirilmiş kiriş numunesinin akma anındaki ve maksimum yük anındaki enerji tüketimleri referans kirişe göre sırasıyla %200 (0.225 kJ /0.075 kJ) ve %248 (0.443 kJ/0.127 kJ) artış elde edilmiştir.

Referans kirişin en düşük süneklik katsayı 2.4 elde edilmiştir. 4 mm çapında MÇD ile güçlendirilmiş kirişlerin (etiriyeli ve etriyesiz güçlendirilmiş numuneler) süneklik katsayıları sırasıyla 2.2 ve 2.5 olarak elde edilmiştir. 6 mm çapında MÇD ile güçlendirilmiş kiriş süneklik katsayı 2.1 olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.119. 5. Grup deney numunelerinin histerezis eğrileri



Şekil 4.120. 5. Grup deney numunelerinin zarf eğrileri

4.2.7. 6. Grup Numunelerin Karşılaştırılması

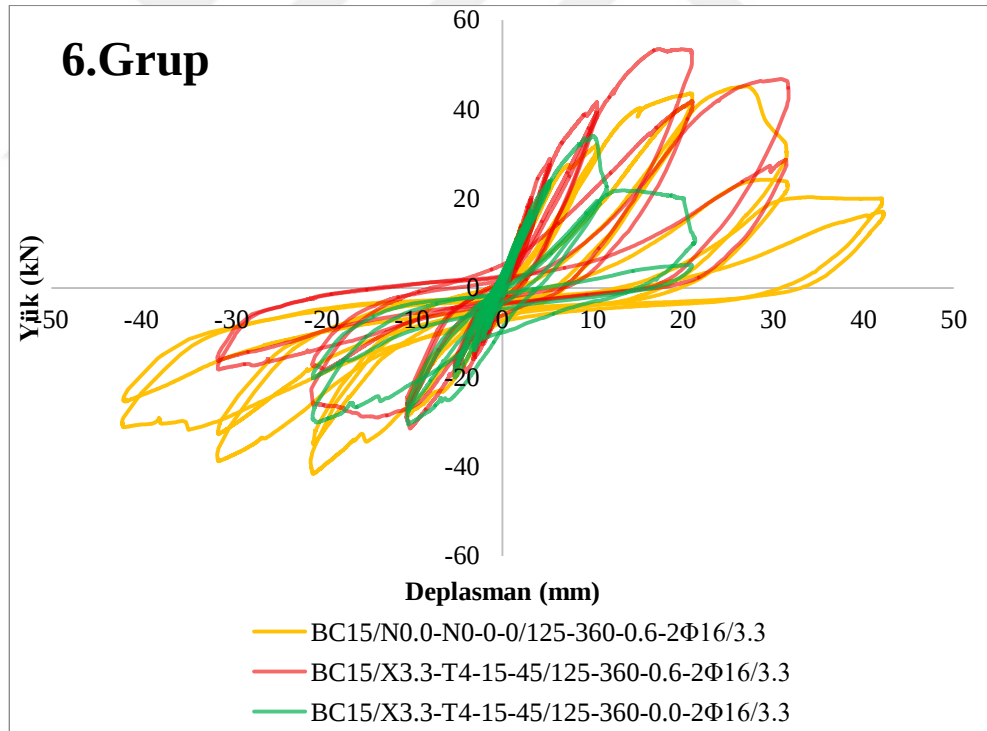
Bu grupta kesme açıklığı ile faydalı yükseklik oranı (a/d oranı) değişiminin güçlendirmedeki etkinliği araştırılmıştır. Bu doğrultuda kiriş yüksekliği artırılarak kesme açıklığı ile faydalı yükseklik arasındaki oran 3.23 olarak seçilmiştir. Bu grupta ilk olarak, BC15/N0.0-N0-0-0/125-360-0.6-2Ø16/3.3 numunesi (referans kiriş) test edilmiştir. Deney sonucunda 6.grup referans kiriş ileri çevrimde 45.02 kN yük taşımıştır. Fakat geri çevrimde ise 41.57 kN yük taşımıştır. BC15/X3.3-T4-15-45/125-360-0.6-2Ø16/3.3 (4 mm çapında MÇD ile güçlendirilmiş kiriş) numunesinin ileri çevrimde referans kirişe göre kesme kapasitesi %29 (53.51 kN/41.57 kN) artmıştır. Geri çevrimde ise kesme kapasitesi %25 (31.24 kN/41.57 kN) azalmıştır. BC15/X3.3-T4-15-45/125-360-0.0-2Ø16/3.3 numunesi (4 mm MÇD çapında ile etriyesiz güçlendirilmiş kiriş) referans kirişe göre kesme kapasitesi ileri çevrimde %18 (33.98 kN/41.57 kN) ve geri çevrimde %27 (30.50/41.57 kN) azalmıştır (Şekil 4.121 ve Şekil 4.122).

Numunelerin akma rijitliklerini kıyaslamak için güçlendirilmiş kirişlerin rijitlikleri, referans kirişin en düşük rijitliği (2.22 kN/mm) ile kıyaslanmıştır. 4 mm

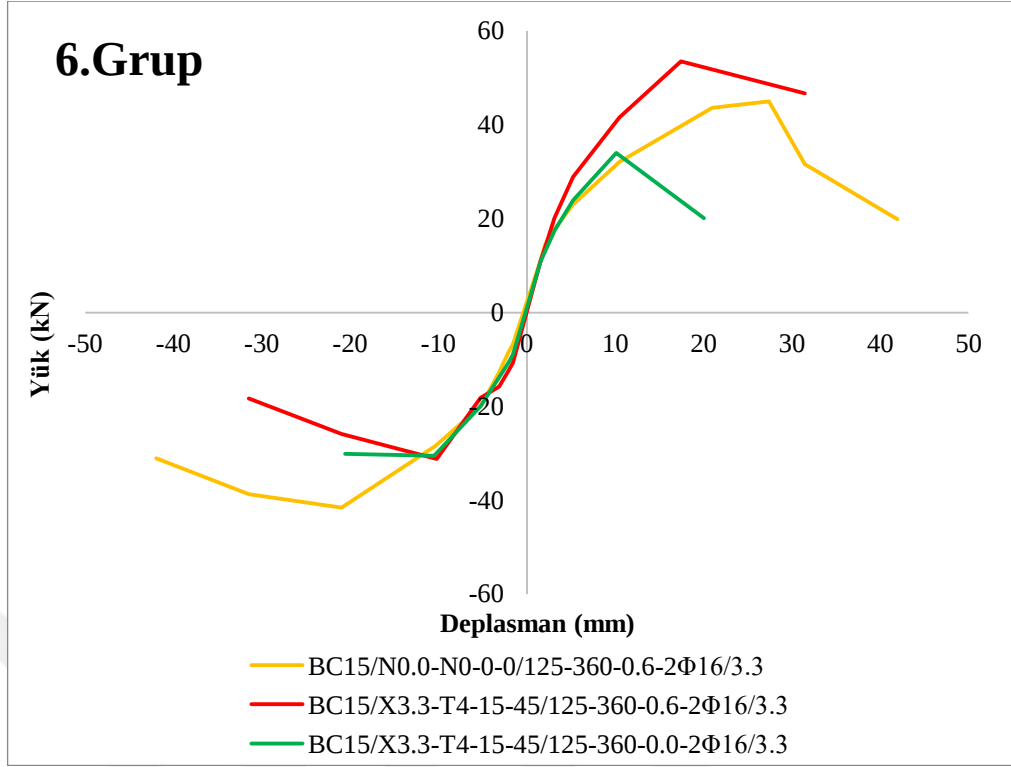
çapında MÇD ile güçlendirilen numunenin akma rijitliği (3.15 kN/mm) referans numuneye göre %42 artmıştır. 4 mm çapında MÇD ile etriyesiz güçlendirilmiş kiriş de akma rijitliği (3.16 kN/mm) referans numuneye göre %42 artmıştır.

Referans ve güçlendirilmiş kirişlerin akma anındaki ($P_y=0.85P_{max}$) ve maksimum yük anındaki (P_{max}) enerji tüketimleri yük-deplasman grafiğinin altındaki alan toplanarak kıyaslanmıştır. 4 mm çapında MÇD ile güçlendirilmiş numunenin akma anındaki ve maksimum yük anındaki enerji tüketimleri referans kirişe göre sırasıyla %62 (0.144 kJ /0.374 kJ) ve %66 (0.188 kJ/0.551 kJ) azalış elde edilmiştir. 4 mm çapında MÇD ile etriyesiz güçlendirilmiş numunenin akma anındaki ve maksimum yük anındaki enerji tüketimleri ise referans kirişe göre sırasıyla %64 (0.135kJ /0.374kJ) ve %65 (0.193kJ/0.551kJ) azalış elde edilmiştir.

Referans kirişin en düşük süneklik katsayısı 1.8 olarak elde edilmiştir. Güçlendirilen kirişlerin (4mm çaplı MÇD ve etriyesiz 4mm çaplı MÇD ile güçlendirilmiş numuneler) süneklik katsayıları sırasıyla 2.3 ve 2.5 elde edilmiştir.



Şekil 4.121. 6. Grup deney numunelerinin histerisiz eğrileri



Şekil 4.122. 6. Grup deney numunelerinin zarf eğrileri

4.2.8. 7. Grup Deneylerin Karşılaştırılması

Bu grupta kesme açıklığı ile faydalı yükseklik oranı (a/d oranı) değişiminin güçlendirmedeki etkinliği araştırılmıştır. Kesme açıklığı ile faydalı yükseklik oranı 4.88 seçilmiş ve bu şekilde önceki gruplara göre a/d oranı artırılmıştır.

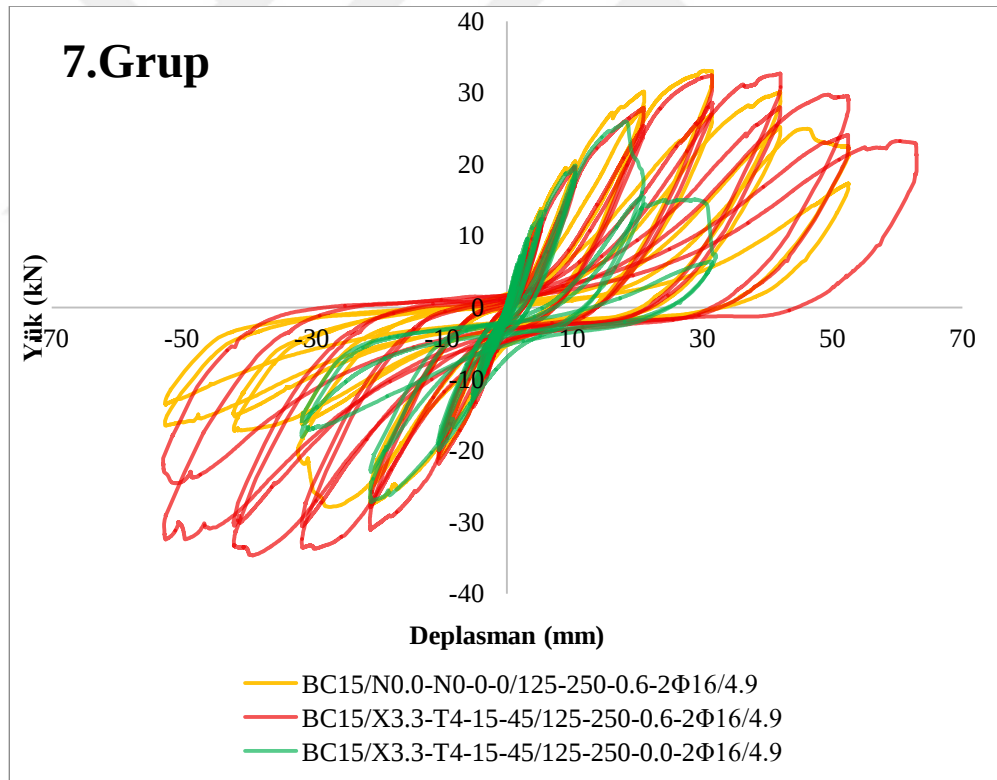
Bu grupta ilk olarak, BC15/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/4.9 numunesi (referans kiriş) test edilmiştir. Deney sonucunda 7. grup referans kiriş ileri çevrimde 33.03 kN yük taşımıştır. Fakat geri çevrimde ise 27.80 kN yük taşımıştır. BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/4.9 (4 mm çapında MÇD ile güçlendirilmiş kiriş) numunesinin ileri çevrimde referans kirişe göre kesme kapasitesi %18 (32.70 kN/27.80 kN) artmıştır. Geri çevrimde ise kesme kapasitesi %25 (34.65 kN/27.80 kN) artmıştır. BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.0-2Ø16/4.9 numunesi (4 mm çapında MÇD ile etriyesiz güçlendirilmiş kiriş) referans kirişe göre kesme kapasitesi ileri çevrimde %7 (25.98 kN/27.80 kN) ve geri çevrimde %2 (27.19 kN/27.80 kN) azalmıştır (Şekil 4.123 ve Şekil 4.124).

Numunelerin akma rijitliklerini kıyaslamak için güçlendirilmiş kirişlerin rijitlikleri, referans kirişin en düşük rijitliği (1.49 kN/mm) ile kıyaslanmıştır. 4 mm çapında MÇD ile güçlendirilen numunenin akma rijitliği (1.33 kN/mm) referans

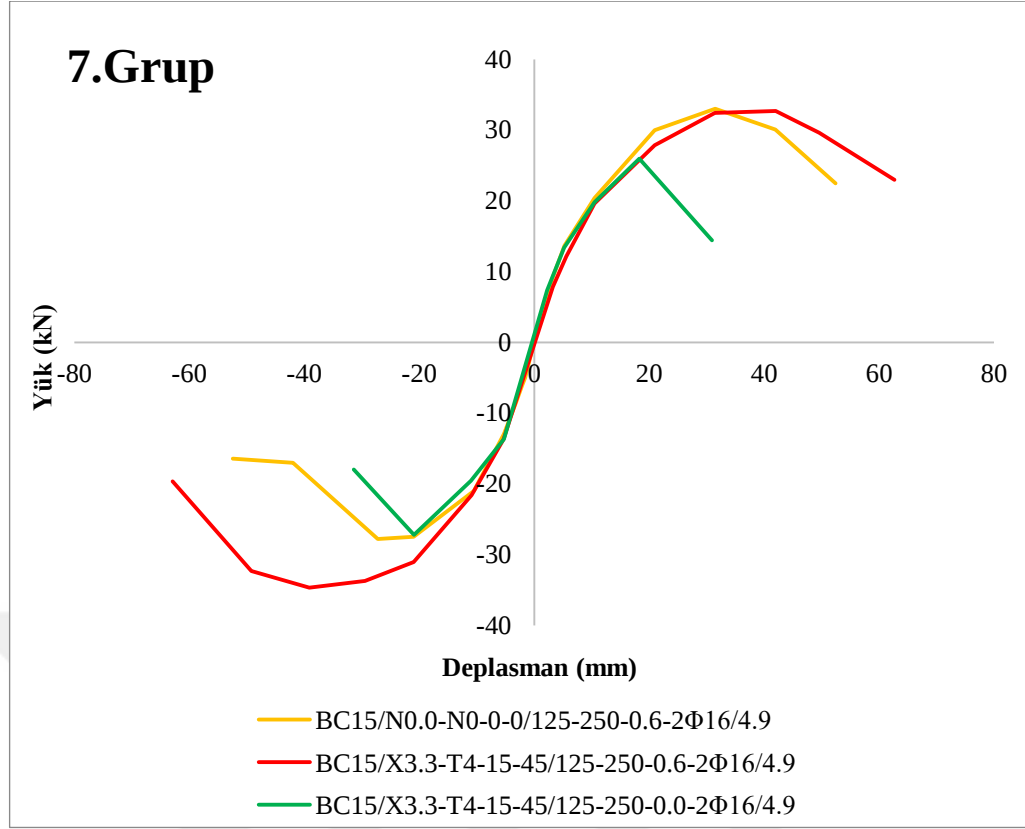
numuneye göre %11 azalmıştır. 4 mm MÇD çapında etriyesiz güçlendirilmiş kirişin ise akma rijitliği (1.48 kN/mm), referans numunenin akma rijitliğine göre %1 azalmıştır.

Referans ve güçlendirilmiş kirişlerin akma anındaki ($P_y=0.85P_{max}$) ve maksimum yük anındaki (P_{max}) enerji tüketimleri yük-deplasman grafiğinin altındaki alan toplanarak kıyaslanmıştır. 4 mm çapında MÇD ile güçlendirilmiş numunenin akma anındaki ve maksimum yük anındaki enerji tüketimleri referans kirişe göre sırasıyla %55 (0.356kJ /0.229kJ) ve %82 (1.005 kJ/0.553 kJ) artış olarak elde edilmiştir. 4 mm çapında MÇD ile etriyesiz güçlendirilmiş numunenin akma anındaki ve maksimum yük anındaki enerji tüketimleri ise referans kirişe göre sırasıyla %16 (0.192 kJ /0.229 kJ) ve %45 (0.305kJ/0.553 kJ) azalış olarak elde edilmiştir.

Referans kirişin en düşük süneklik katsayı 2.2 olarak elde edilmiştir. Güçlendirilen kirişlerin (4mm çapında MÇD ve etriyesiz 4mm çapında MÇD ile güçlendirilmiş numuneler) süneklik katsayıları sırasıyla 2.6 ve 1.6 olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.123. 7. Grup deney numunelerinin histerisiz eğrileri



Şekil 4.124. 7. Grup deney numunelerinin zarf eğrileri

Çizelge 4.76 ve 4.77’de deneysel çalışma sonucunda elde edilen deneysel sonuçlar sunulmuştur.

Çizelge 4.76. Deneyleri yapılan numunelerin deplasman, süneklik ve rijitlik değerleri

Deney No	Gr	$+\delta_y$	$-\delta_y$	$+\delta_{\max}$	$-\delta_{\max}$	$+\delta_u$	$-\delta_u$	$+\mu$	$-\mu$	$+\delta_y$	$-\delta_y$	$+\delta_{\max}$	$-\delta_{\max}$
BC20/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/3.3	0	5.53	9.17	10.80	14.48	14.59	22.47	2.64	2.45	4.98	4.20	3.00	3.13
BC20/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3	0	10.58	8.14	18.06	13.05	23.68	18.28	2.24	2.25	3.98	4.95	2.74	3.63
BC20/X3.3-T6-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3	0	6.78	9.93	15.76	15.87	24.61	21.08	3.63	2.12	5.14	4.07	2.60	3.00
BC15/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/3.3	1	12.18	8.83	16.85	15.38	23.56	16.23	1.93	1.84	2.77	3.35	2.36	2.26
BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3	1	9.24	14.02	19.03	23.44	25.03	31.39	2.71	2.24	3.78	2.87	2.16	2.02
BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.0-2Ø16/3.3	1	11.88	6.03	17.92	13.80	21.18	20.81	1.78	3.45	2.62	4.83	2.05	2.48
BC15/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø14/3.3	2	5.74	9.56	10.65	14.02	13.73	22.90	2.39	2.39	4.30	3.05	2.73	2.45
BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø14/3.3	2	8.25	10.51	21.03	21.03	34.14	30.95	4.14	2.95	4.08	3.20	1.88	1.88
BC15/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø18/3.3	2	8.89	10.08	12.42	21.03	18.52	27.31	2.08	2.71	3.62	3.83	3.04	2.16
BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø18/3.3	2	12.70	12.39	21.03	21.03	27.98	29.06	2.20	2.35	3.61	3.41	2.56	2.36
BC5/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/3.3	3	6.11	8.75	10.97	12.82	21.52	27.39	3.52	3.13	3.45	2.26	2.26	1.82
BC5/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3	3	7.91	8.55	17.70	18.52	24.28	23.82	3.07	2.79	3.06	2.74	1.61	1.49
BC10/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/3.3	3	9.39	9.98	13.60	13.84	17.01	18.15	1.81	1.82	3.82	2.51	3.10	2.13
BC10/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3	3	10.47	11.61	20.92	23.60	29.61	27.55	2.83	2.37	3.40	2.79	2.00	1.62
BC20/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/3.3	4	10.67	8.39	21.03	11.62	22.71	16.09	2.13	1.92	3.81	3.30	2.27	2.80
BC20/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3	4	11.88	12.33	21.03	21.03	30.80	25.66	2.59	2.08	3.67	3.56	2.44	2.46
BC15/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/2.5	5	4.86	4.19	6.39	7.52	11.43	12.06	2.35	2.88	5.29	6.39	4.74	4.19
BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/2.5	5	4.82	8.02	7.35	10.69	17.41	17.73	3.61	2.21	8.49	5.11	6.55	4.51
BC15/X3.3-T6-15-45/125-250-0.6-2Ø16/2.5	5	9.64	7.85	21.60	12.57	24.52	16.67	2.54	2.12	3.92	5.54	2.06	4.07
BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.0-2Ø16/2.5	5	8.11	6.74	16.20	10.05	19.79	16.88	2.44	2.51	5.42	4.95	3.19	3.91
BC15/N0.0-N0-0-0/125-360-0.6-2Ø16/3.3	6	16.12	15.94	27.40	20.98	29.46	36.08	1.83	2.26	2.37	2.22	1.64	1.98
BC15/X3.3-T4-15-45/125-360-0.6-2Ø16/3.3	6	12.76	8.43	17.45	10.21	31.47	19.66	2.47	2.33	3.56	3.15	3.07	3.06
BC15/X3.3-T4-15-45/125-360-0.0-2Ø16/3.3	6	7.65	8.21	10.12	10.49	13.76	20.57	1.80	2.51	3.78	3.16	3.36	2.91
BC15/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/4.9	7	18.87	14.76	31.47	27.23	44.74	32.92	2.37	2.23	1.49	1.60	1.05	1.02
BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/4.9	7	20.84	19.27	42.01	39.11	53.23	52.30	2.55	2.71	1.33	1.53	0.78	0.89
BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.0-2Ø16/4.9	7	13.36	15.61	18.27	20.89	22.54	25.54	1.69	1.64	1.65	1.48	1.42	1.30

Çizelge 4.77. Deneyleri yapılan numunelerin maksimum yük ve enerji tüketme kapasite değerleri

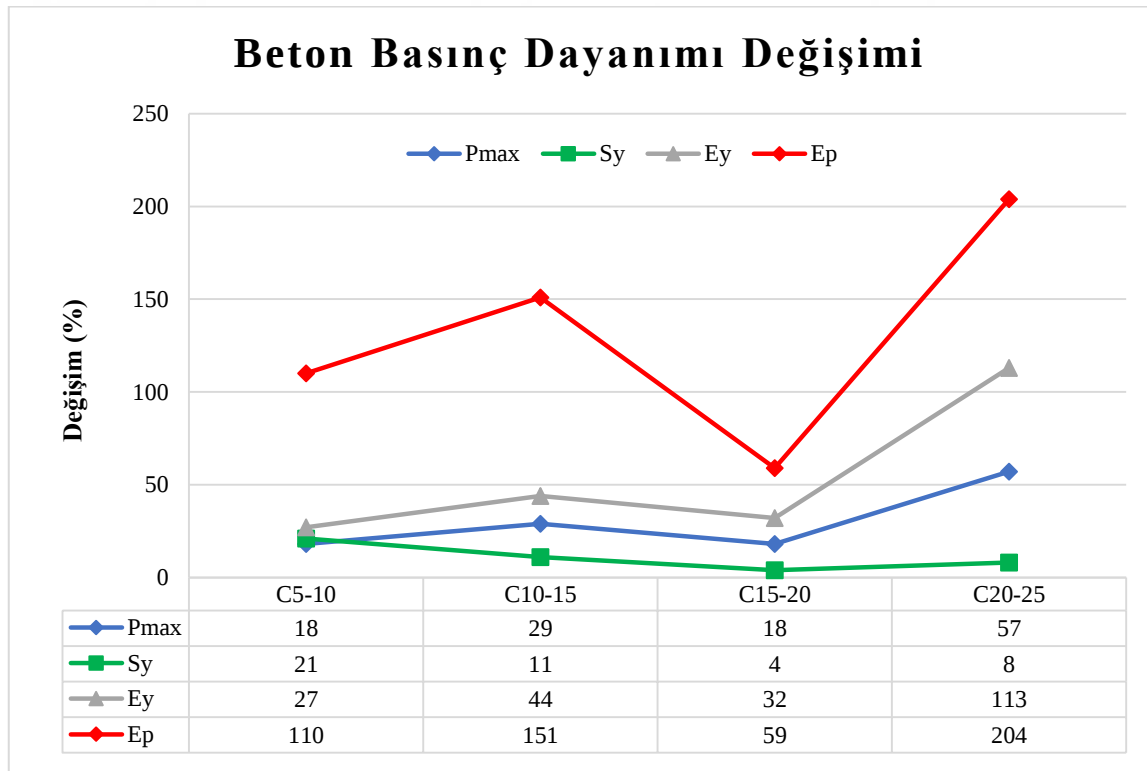
Deney No	Gr	+P _y	-P _y	+P _{max}	-P _{max}	+E _y	-E _y	+E _{pmaks}	-E _{pmaks}	+E _t	-E _t
BC20/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/3.3	0	27.56	38.50	32.43	45.29	0.107	0.236	0.261	0.449	0.670	0.857
BC20/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3	0	42.10	40.25	49.53	47.35	0.285	0.203	0.630	0.420	1.131	0.859
BC20/X3.3-T6-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3	0	34.86	40.48	41.01	47.62	0.157	0.262	0.509	0.527	0.978	0.915
BC15/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/3.3	1	33.73	29.57	39.68	34.79	0.274	0.170	0.439	0.381	0.765	0.574
BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3	1	34.96	40.19	41.13	47.28	0.224	0.378	0.604	0.790	1.181	1.622
BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.0-2Ø16/3.3	1	31.18	29.11	36.68	34.25	0.257	0.117	0.459	0.369	0.749	0.605
BC15/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø14/3.3	2	24.68	29.14	29.03	34.28	0.088	0.188	0.221	0.322	0.560	0.744
BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø14/3.3	2	33.66	33.66	39.60	39.60	0.181	0.233	0.663	0.627	1.400	1.315
BC15/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø18/3.3	2	32.14	38.59	37.81	45.40	0.189	0.272	0.307	0.743	0.776	1.034
BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø18/3.3	2	45.77	42.25	53.85	49.70	0.365	0.347	0.779	0.743	1.618	1.553
BC5/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/3.3	3	21.09	19.81	24.81	23.31	0.448	0.102	0.200	0.187	0.536	0.552
BC5/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3	3	24.20	23.42	28.47	27.55	0.129	0.140	0.393	0.399	0.790	0.727
BC10/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/3.3	3	35.84	25.07	42.17	29.49	0.204	0.173	0.363	0.267	0.739	0.534
BC10/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3	3	35.62	32.44	41.91	38.17	0.256	0.249	0.670	0.680	1.291	1.317
BC20/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/3.3	4	40.63	27.69	47.80	32.58	0.291	0.157	0.758	0.251	0.988	0.795
BC20/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3	4	43.61	43.95	51.30	51.70	0.334	0.349	0.770	0.764	1.416	1.290
BC15/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/2.5	5	25.72	26.81	30.26	31.54	0.089	0.075	0.127	0.172	0.378	0.407
BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/2.5	5	40.91	40.97	48.13	48.20	0.125	0.214	0.236	0.324	0.846	0.762
BC15/X3.3-T6-15-45/125-250-0.6-2Ø16/2.5	5	37.83	43.54	44.50	51.22	0.257	0.225	0.765	0.443	0.972	0.982
BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.0-2Ø16/2.5	5	43.95	33.38	51.70	39.27	0.241	0.147	0.635	0.263	0.883	0.619
BC15/N0.0-N0-0-0/125-360-0.6-2Ø16/3.3	6	38.27	35.33	45.02	41.57	0.433	0.374	0.901	0.551	1.328	1.338
BC15/X3.3-T4-15-45/125-360-0.6-2Ø16/3.3	6	45.48	26.55	53.51	31.24	0.378	0.144	0.600	0.188	1.303	0.727
BC15/X3.3-T4-15-45/125-360-0.0-2Ø16/3.3	6	28.88	25.93	33.98	30.50	0.144	0.135	0.215	0.193	0.484	0.499
BC15/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø16/4.9	7	28.08	23.63	33.03	27.80	0.340	0.229	0.723	0.553	1.330	1.058
BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/4.9	7	27.80	29.45	32.70	34.65	0.360	0.356	1.023	1.005	1.604	1.699
BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.0-2Ø16/4.9	7	22.08	23.11	25.98	27.19	0.192	0.239	0.305	0.362	0.560	0.600

4.2.9. Güçlendirme etkilerinin basınç dayanımı değişimine göre karşılaştırılması

Bu bölümde, 4 mm çapında MÇD ile güçlendirilen kirişlerin, beton basınç dayanımı değişimine göre %'sel karşılaştırılması yapılmıştır. Karşılaştırma, aynı geometrik özelliklere sahip ancak farklı basınç dayanımına sahip numunelerin arasında yapılmıştır. Karşılaştırma BC5/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3; BC10/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3; BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.0-2Ø16/3.3 ve BC20/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3 numunelerin arasında yapılmıştır. Şekil 4.125 analiz edildiğinde basınç dayanımı arttıkça, MÇD güçlendirmesinin P_{max} üzerindeki etkisinin pozitif ve doğrusal bir şekilde arttığı görülmektedir. Diğer bir ifade ile, beton basınç dayanımı arttıkça (yani C5-10 sınıfı betondan C20-25 sınıfı betona

geçildikçe), MÇD'nin P_{max} üzerindeki etkisi %18,45'ten %57,36'ya kadar artmıştır. Rijitlik (S_y) ise tam tersi bir eğilim göstermiştir. Basınç dayanımı arttıkça, MÇD ile güçlendirilen numunelerin S_y üzerindeki etkisi doğrusal bir şekilde azalmış ve beton sınıfı arttıkça bu etki %17,4'ten %9,1'e düşmüştür.

Kirişlerde, P_y yük seviyesine karşılık gelen enerji tüketim kapasitelerinin değerleri (E_y) ise basınç dayanımıyla birlikte istikrarlı bir şekilde artmıştır. C5-10 sınıfı betonda %30 olan E_y , C20-25 sınıfında %106,25'e kadar çıkmıştır. P_{max} yük seviyesine karşılık gelen enerji tüketimi (E_p) diğer parametrelere kıyasla daha dikkat çekici bir artış göstermiştir. Beton basınç dayanımı arttıkça E_p değerleri de artmıştır. Özellikle C20-25 sınıfı betonda E_p değeri, %204'e kadar artarak belirgin bir performans göstermiştir.

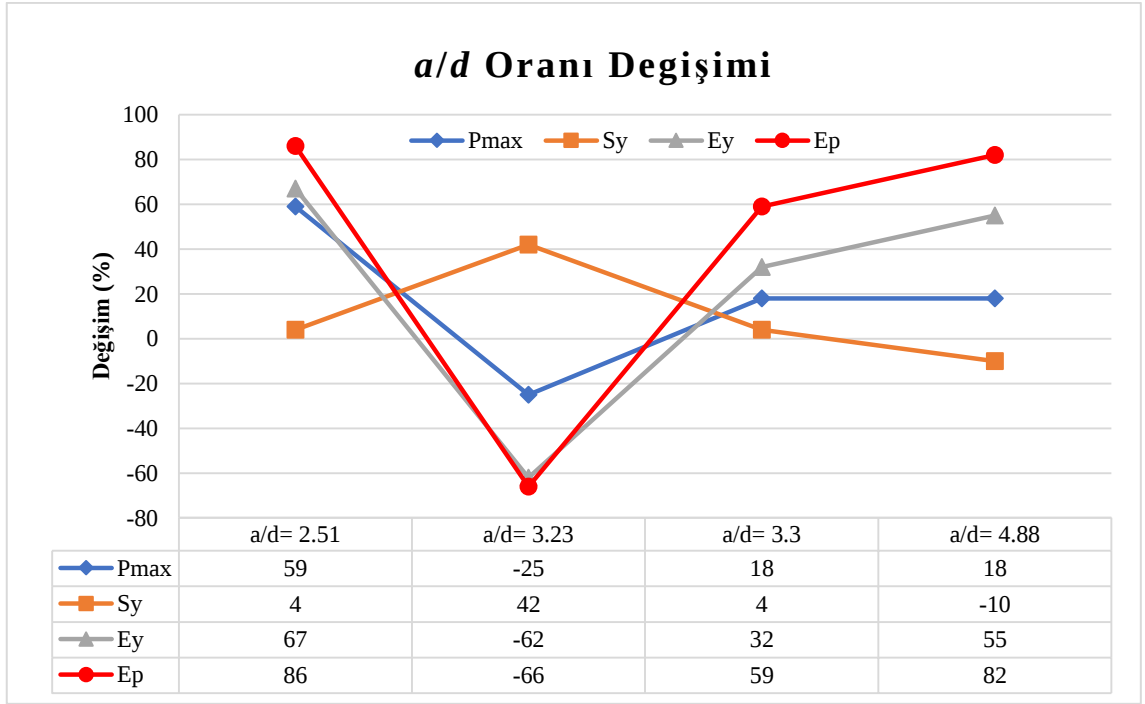


Şekil 4.125. 4mm MÇD güçlendirme etkilerinin beton basınç dayanımı değişimine göre % karşılaştırılması

4.2.10. Güçlendirme etkilerinin a/d oranı değişimine göre karşılaştırılması

Bu bölümde, 4 mm çapında MÇD ile güçlendirilen kirişlerin, a/d oranı değişimine göre %'sel karşılaştırılması yapılmıştır. Karşılaştırma BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/2.5; BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/3.3; BC15/X3.3-T4-15-45/125-360-0.6-2Ø16/3.3 ve BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø16/4.9 numunelerin arasında

yapılmıştır. Şekil 4.126 analiz edildiğinde a/d oranı arttıkça rijitlik ve maksimum yatay yük taşıma kapasitesi değişimi neredeyse benzer davranış göstermiştir. 4 mm çapında MÇD ile güçlendirilen kirişlerin P_{max} ve S_y üzerindeki etkisi incelendiğinde, a/d oranı arttıkça ilgili parametreler doğrusal bir şekilde azalmıştır. Yani a/d oranı arttıkça MÇD ile güçlendirmenin kirişlere katkısı giderek düşmüştür. Bu durum kiriş daha fazla eğilmeye çalıştığı için olmuştur. Başka bir ifadeyle a/d oranı azaldıkça MÇD'lerin kesme kapasitesine katkısı daha belirgin bir şekilde artmıştır.



Şekil 4.126. 4mm MÇD güçlendirme etkilerinin a/d oranı değişimine göre %'sel karşılaştırılması

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması ile konsol kirişlerin tersinir-tekrarlanır çevrimsel yatay yük etkileri altında MÇD ile etkili bir şekilde güçlendirilebileceği anlaşılmıştır. Çevrimsel yükler altında MÇD'nin test edildiği bu çalışma, literatürdeki ilk çalışmayı temsil etmesi adına oldukça değerlidir. Bu sayede bu tez çalışmasıyla elde edilen deney sonuçları gelecek çalışmalar için oldukça önemli bilgiler sunmaktadır. Çalışmanın spesifik sonuçları ve gelecek çalışmalar için öneriler sunulmuştur.

5.1. Sonuçlar

Yapılan deneysel çalışma sonucunda 26 adet konsol kiriş çevrimsel yükler altında test edilmiştir. Deneysel çalışma sonuçları şu şekilde özetlenebilir:

- Deney numunelerinin tasarımında, kirişlerin eğilme kapasitesi olabildiğince yüksek, kesme kapasitesi ise düşük tutulmuştur. Bu durum tüm numunelerin test sonucunda hem referans hem de MÇD ile güçlendirilmiş kirişlerin, yalnızca kesme hasarı sonucu göçmüşlerdir. Yapılan tüm deney sonuçları değerlendirildiğinde MÇD'nin kirişlerin kesme kapasitesine %59.10 oranına kadar katkı sağladığı net bir şekilde ortaya konulmuştur.
- Referans kirişlerin histerezis eğrilerinde farklı yük taşıma kapasitelerine sahip olduğu görülmüştür. Referans kirişte bir yönde kesme hasarı oluştuktan sonra, kirişin boyu yaklaşık %40 kısalmış olup, bu durum diğer yönde yük taşıma kapasitesinin artmasına neden olmuştur. Bu sebeple güçlendirilen kirişlerin performansı referans kirişin kesme davranışına özellikle ilk kırılma yönü dikkate alınarak karşılaştırılmalıdır.
- Çalışmada MÇD'lerin güçlendirilmiş kirişlerin çekirdek betonunu sargılamasıyla kesme hasarı geciktirilmiştir. Etriyeli kirişlerde MÇD ile yapılan güçlendirme, referans kirişlerden daha yüksek kapasitelere ulaşmıştır. Etriyesiz kirişlerde ise kapasite, referans kirişin yatay yük taşıma kapasitesine ulaşmıştır. Ancak 6 ve 7. grup etriyesiz güçlendirilmiş kirişler bu başarıyı gösterememiştir. Bu durum kirişlerin a_w/d oranının yüksek olması sebebiyle MÇD'lerin etkiliğinin azalmasından kaynaklanmıştır.

- Tüm kirişlerin süneklik katsayıları 4'ten küçük olduğundan beklenildiği üzere yeterli sünek davranmadığı anlaşılmaktadır. Bu durum kiriş tasarımları eğilme kapasitesi yüksek olduğu gözlenmiştir. 2. Grup numunelerde, Düşük donatı oranına sahip kirişlerde (BC15/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø14/3.3 ve BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø14/3.3 numuneleri), MÇD ile güçlendirilmesi kirişleri eğilme kapasitesine ulaştırarak referans kirişlere göre daha sünek bir göçmeye zorlamıştır. Çok yüksek donatı oranına sahip kirişlerde ise (BC15/N0.0-N0-0-0/125-250-0.6-2Ø18/3.3 ve BC15/X3.3-T4-15-45/125-250-0.6-2Ø18/3.3 numuneleri), MÇD güçlendirmesi eğilme kapasitesine ulaştırmamış olsa da enerji tüketim yeteneklerini önemli ölçüde (%142'ye kadar) artırmıştır.
- Beton basınç dayanımı artıkça MÇD ile yapılan güçlendirme kirişlerin mekanik performansını önemli seviyede iyileştirmiştir. MÇD ile güçlendirilmiş kirişler referans kirişlere göre daha yüksek mekanik performans seviyesine ulaşmıştır. Özellikle kesme kapasitesi ve enerji tüketiminde önemli iyileşmeler dikkat çekmiştir. Ancak düşük beton basınç dayanımına sahip kirişler daha az rijit davranmakta dolayısıyla bu kirişlerde açılan MÇD delikleri nedeniyle kiriş rijitliği üzerinde daha fazla etkili olmaktadır.
- MÇD çapının 4 mm'den 6 mm'ye çıkarılmasıyla, kiriş kesme kapasitesi artmış ve benzer sonuçlar elde edilmiştir. Ancak 6 mm çapında MÇD kullanıldığında, daha büyük çaplı delikler nedeniyle, kiriş rijitliğinde azalma meydana gelmiştir. Bu durum MÇD çapının kirişlerin performansı üzerinde önemli etkiler oluşturduğunu göstermektedir.
- Deney numunelerinde a/d oranı 2.5'ten 4,9'a doğru arttıkça kirişlerde kesme kuvveti talebi azalmakta ve kirişlerde dik eğilme çatlakları görülmektedir. Bu durum, Uysal'ın (2024) dikey yüklenen kirişlerdeki davranışıyla benzerdir. Kiriş eğildikçe oluşan eğilme çatlakları MÇD delikleriyle birleşmiş olup sonuç olarak MÇD'lerin etkinliğini azaltmaktadır. Ancak kesme kuvveti talebinin arttığı yani a/d oranının düştüğü durumlarda kiriş eğilmesi azalmakta dolayısıyla eğilme çatlakları MÇD deliklerine ulaşamamakta ve bu da MÇD'lerin etkinliğini önemli seviyede artırmaktadır.

- Kiriş yüksekliği artıkça MÇD çapı da uygun bir şekilde artırılmalıdır. Kiriş genişliğinin artmasıyla kullanılan 4 mm çapında MÇD'nin davranışının değişmesi dikkat çekici olmuştur. MÇD'ler X şeklinde yerleştirildiğinden, her çevrimde hem basınç hem de çekme kuvvetlerine maruz kalmaktadır. Ancak, kiriş genişliğinin 360 mm olması nedeniyle MÇD boyu da artmıştır. Betona temas etmeyen MÇD'lerde, MÇD'nin narinleşmesine ve yüksek yük seviyelerinde burkulma sorunlarına yol açtığı gözlenmiştir. Burkulma, MÇD'nin betona katkısını azaltmış ve açılan deliklerin kiriş kapasitesinin düşmesine neden olmuştur. Etriyesiz güçlendirilmiş kirişlerin, etriyeli referans kirişe kıyasla taşıma gücü oranları 1. 5. ve 7. grup deneylerinde sırasıyla 0.98, 1.30 ve 0.93 olarak belirlenmiştir. 6. grup deneyde ise bu oranlar hem etriyeli hem de etriyesiz güçlendirilmiş kirişler için referans kirişe göre 0.75 ve 0.73 en düşük değer olarak kalmıştır. Bu bulgular Uysal (2024) yapılan deneylerde gibi, statik yükleme altında ve döngüsel yüklemede kiriş genişliğinin aksine yüksekliğinin ($h=360\text{mm}$) artmasıyla MÇD çapının da artması gerektiğini göstermektedir.
- Sonuç olarak 45° açılı X şeklinde MÇD ile güçlendirme yöntemi, yetersiz kesme kapasitesine sahip betonarme konsol kirişlerin tersinir-tekrarlanır çevrimsel yüklerin etkisi altında etkili bir yöntem olduğu anlaşılmıştır. Bu yöntem özellikle düşük a/d oranına sahip kirişlerin kesme kapasitesini ve enerji tüketim performansını artırmak amacıyla oldukça etkili bir çözüm sunmaktadır. Ancak, bu yöntemin uygulanması sırasında kiriş genişliği ve MÇD çapı gibi parametrelerin dikkatlice değerlendirilmesi önem taşımaktadır.

5.2. Öneriler

- Daha geniş kirişlerde MÇD'nin etkinliği detaylandırılabilir. Özellikle genişliğin aksine geometrik yüksekliği yüksek kirişlerde (360mm yüksekliğe sahip kirişler gibi) testler gerçekleştirilebilir.
- MÇD'ler de gözlenen burkulma sorunlarından kurtulmak için farklı MÇD çap seçenekleri test edebilir.
- Farklı a/d oranlarına sahip kirişler dikkate alınarak deneysel parametreler artırılabilir.
- MÇD ile güçlendirilmiş kirişlerin darbe etkisi altındaki davranışları incelenebilir. Bu sayede darbeye karşı performansı değerlendirilebilir ve performans sınırları belirlenebilir.
- MÇD deliklerinin kiriş rijitliği üzerinde olumsuz etkisini azaltmak amacıyla farklı yöntemlerin araştırılması önem taşıyabilir.
- MÇD ile güçlendirilmiş kirişlerin korozyon ve yangın etkilerine karşı performansı araştırılabilir.

KAYNAKLAR

- Aksoylu, C., Özkılıç, Y. O., & Arslan, M. H. (2022). Mechanical Steel Stitches: An Innovative Approach for Strengthening Shear Deficiency in Undamaged Reinforced Concrete Beams. *Buildings*, 12(10). <https://doi.org/10.3390/buildings12101501>
- Aksoylu, C., Uysal, Y., Özkılıç, Y. O., Başaran, B., & Arslan, M. H. (2023). Strengthening shear deficiency in undamaged reinforced concrete beams using innovative 45° mechanical steel stitches. *Structures*, 58. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2023.105523>
- Alshlash, S., Aksoylu, C., Erkan, İ. H. ve Arslan, M. H., (2019), Kesme kapasitesi yetersiz ön hasarlı betonarme kirişlerin “dikiş demirleri” ile onarım/ güçlendirilmesi, *IV. Uluslararası Bilimsel ve Mesleki Çalışmalar Kongresi – Mühendislik*, Ankara, 178-183.
- Altın, S., Üniversitesi, G., Mimarlık, M., İnşaat, F., Bölümü 06570 -Maltepe, M., Ankara, /, Anıl, T. Ö., & Türkiye, A. (2002). Kesmeye Karşı Güçlendirilmiş Betonarme Kirişlerin Deprem Davranışı. İçinde *Orta Doğu Teknik Üniversitesi*.
- American Concrete Institute 374. (2013). Guide for testing reinforced concrete structural elements under slowly applied simulated seismic loads. (ACI 374.2R-13).
- Arslan, M. H., & Korkmaz, H. H. (2007). What is to be learned from damage and failure of reinforced concrete structures during recent earthquakes in Turkey? *Engineering Failure Analysis*, 14(1), 1-22. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2006.01.003>
- Aslan, S., Erkan, İ. H., Aksoylu, C., & Arslan, M. H. (2024). An experimental investigation and cost analysis of flexural or shear strengthening pre-damaged RC beams. *Structures*, 62. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2024.106091>
- Barbhuiya, S., & Choudhury, A. M. (2015). A study on the size effect of RC beam-column connections under cyclic loading. *Engineering Structures*, 95, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2015.03.052>
- Baş, F. (2024). Kesme kapasitesi yetersiz betonarme kirişlerin mekanik çelik dikişlerle güçlendirilmesinde kesme açıklığı/faydalı yükseklik oranı ve kiriş yüksekliği değişiminin araştırılması. *Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Konya Teknik Üniversitesi, Konya*.
- Benzeguir, Z. E. A. (2021), Comportement Des Poutres En Béton Armé Renforcées A L'effort Tranchant A L'aide De Matériaux Composites : Effet D'échelle. *Thèse de doctorat, Université De Quebec, Quebec*.
- Bernardo, L. F. A., Nepomuceno, M. C. S., & Pinto, H. A. S. (2016). Flexural ductility of lightweight-aggregate concrete beams. *Journal of Civil Engineering and Management*, 22(5), 622-633. <https://doi.org/10.3846/13923730.2014.914094>
- EMS Dubell ® Chemical Anchor F.1311 *Physical properties of uncured adhesive Specific gravity*. (2021).
- Esen, B., Gündoğay, A., Yaman, S., Tekeli Kabaş, H., & Demir, F. (2022). Betonarme Kirişlerin Davranışını Etkileyen Parametrelerin DeneySEL İncelenmesi. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 1043-1060. <https://doi.org/10.17482/uumfd.1120435>
- F. Ojaimi, M. (2021). Experimental Study on Shear Strengthening of Reinforced Concrete Beams Using Different Techniques of Concrete Jacketing. *Basrah journal of engineering science*, 21(2), 53-61. <https://doi.org/10.33971/bjes.21.2.8>
- Gemi, L., Aksoylu, C., Yazman, Ş., Özkılıç, Y. O., & Arslan, M. H. (2019). Experimental investigation of shear capacity and damage analysis of thinned end prefabricated concrete purlins strengthened by CFRP composite. *Composite Structures*, 229. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2019.111399>
- Hamoush, S., & Ahmad, S. H. (1997). Concrete crack repair by stitches (C. 30).
- Hussain, Q., Ruangrassamee, A., Joyklad, P., & Wijeyewickrema, A. C. (2022). Shear Enhancement of RC Beams Using Low-Cost Natural Fiber Rope Reinforced Polymer Composites. *Buildings*, 12(5). <https://doi.org/10.3390/buildings12050602>
- Jin, L., Du, X., Li, D., & Su, X. (2016). Seismic behavior of RC cantilever beams under low cyclic loading and size effect on shear strength: An experimental characterization. *Engineering Structures*, 122, 93-107. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2016.04.048>

- Kofoğlu, A. (2019). Kesmeye Karşı Çelik Kablolarla Güçlendirilmiş Betonarme Kirişin Davranışı. *Yüksek Lisans Tezi İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Ankara.
- Koçer, M. (2020). Korozyon Etkisi Altındaki, Mineral Katkı ile Üretilen Kolonların Tersinir Tekrarlanır Yatay Yük Altındaki Davranışlarının Araştırılması. *Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Konya Teknik Üniversitesi*, Konya
- Li, W., & Leung, C. K. Y. (2017). Effect of shear span-depth ratio on mechanical performance of RC beams strengthened in shear with U-wrapping FRP strips. *Composite Structures*, 177, 141-157. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2017.06.059>
- Ngo, M. D., Duc, M., & Renforcement, N. (2016). *Renforcement au cisaillement des poutres béton armé par matériaux composites naturels (fibre de Lin)*. <https://theses.hal.science/tel-01430749>
- Özkal, M. (2017), Kesme Açıklığı Küçük Olan Betonarme Kirişlerin Etriye Düzeni Ve Kenetlenme Yönünden İncelenmesi. F., *İ. M. Bölümü Erzincan Üniversitesi*, Erzincan.
- Öztürk, M., 2018, Türkiye bina deprem yönetmeliği ve türkiye deprem tehlike haritası ile ilgili iç anadolu bölgesi bazında bir değerlendirme, *Selçuk-Teknik Dergisi*, 17(2), 31-42.
- Özbek, E. (2008). T-Kesitli Betonarme Kirişlerin Kesme-Eğilmeye Karşı Güçlendirilmesi. *Yüksek lisans tezi İnşaat Mühendisliği Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara.
- Panda, K. C., Bhattacharyya, S. K., & Barai, S. V. (2013). Effect of transverse steel on the performance of RC T-beams strengthened in shear zone with GFRP sheet. *Construction and Building Materials*, 41, 79-90. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.11.098>
- Saatci, S., & Vecchio, F. J. (2009). Effects of Shear Mechanisms on Impact Behavior of Reinforced Concrete Beams. *İçinde ACI Structural Journal* (C. 106, Sayı 1). <https://www.researchgate.net/publication/279897771>
- TS-EN 1504-3, Beton yapıların korunması ve tamiri için mamuller ve sistemler - Tarifler, gerekler, kalite kontrol ve uygunluk değerlendirmesi - Bölüm 3: Yapısal olan ve yapısal olmayan tamir, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2006, s.27
- Uysal, Y., Aksoylu, C., Özkılıç, Y. O. ve Arslan, M. H., 2022, Kesme donatısı yetersiz ön hasarsız betonarme kirişlerin yenilikçi bir yaklaşımla güçlendirilmesi: mekanik çelik dikişler, 8. *Yapı Mekaniği Laboratuvarları Çalıştayı*, Eskişehir, 218-223
- Uysal, Y. (2024). Kesme Kapasitesi Yetersiz Betonarme Kirişlerin 45 Derece Açılı Mekanik Çelik Dikişlerle Güçlendirilmesinde Optimum Tasarımın Araştırılması *Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Konya Teknik Üniversitesi*, Konya.
- Wardeh, G., Fiorio, B., Ghorbel, E., & Gomart, H. (2017). *Projet National de recherche et développement THEME 2-Matériaux et Structures Comportement structurel: effort tranchant Rédigé par*. www.pnrecybeton.fr