



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**KOROZYON ETKİSİ ALTINDAKİ, MİNERAL
KATKI İLE ÜRETİLEN KOLONLARIN
TERSİNİR TEKRARLANIR YATAY YÜK
ALTINDAKİ DAVRANIŞLARININ
ARAŞTIRILMASI**

Mustafa KOÇER

DOKTORA TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Mart-2020
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Mustafa KOÇER tarafından hazırlanan “Korozyon Etkisi Altındaki, Mineral Katkı İle Üretilen Kolonların Tersinir Tekrarlanır Yatay Yük Altındaki Davranışlarının Araştırılması” adlı tez çalışması 04/03/2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Prof. Dr. Ülkü S. KESKİN

Danışman

Doç. Dr. Murat ÖZTÜRK

Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Raif BOĞA

Üye

Prof. Dr. Musa H. ARSLAN


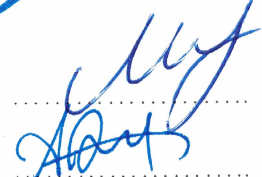
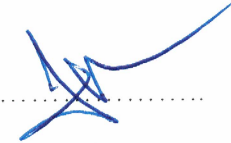


Üye

Dr. Öğr. Üyesi Nebi ÖZDÖNER

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Veli BAŞARAN

İmza

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN
Enstitü Müdürü

Bu tez çalışması, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü (BAP) tarafından TÜBİTAK C-18401056 nolu araştırma projesi ve ÖYP Koordinatörlüğü tarafından 2016 - ÖYP- 073 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.


Mustafa KOÇER

Tarih: 04.02.2020

ÖZET

DOKTORA TEZİ

KOROZYON ETKİSİ ALTINDAKİ, MİNERAL KATKI İLE ÜRETİLEN KOLONLARIN TERSİNİR TEKRARLANIR YATAY YÜK ALTINDAKİ DAVRANIŞLARININ ARAŞTIRILMASI

Mustafa KOÇER

Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Murat ÖZTÜRK
Yardımcı Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Raif BOĞA

2020, 318 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. Ülkü S. KESKİN
Prof. Dr. Musa H. ARSLAN
Doç. Dr. Murat ÖZTÜRK
Dr. Öğr. Üyesi Nebi ÖZDÖNER
Dr. Öğr. Üyesi Veli BAŞARAN

Betonarme yapıları servis ömürleri boyunca tehdit eden korozyon, donatıya verdiği tahribattan dolayı yapıların yanal yer değiştirme kapasitelerini kaybetmesindeki başlıca etkenlerden biri olarak gösterilmektedir. Ülkemizde meydana gelen yıkıcı depremler sonrası yapılan saha incelemeleri, yıkılan veya ağır hasar gören yapıların büyük bölümünde donatıların korozyona uğradığını ve beton ile donatı arasındaki aderansın kaybolduğunu göstermektedir. Bunun yanında deprem sırasında yapı güvenliği açısından en kritik elemanların kolonlar olduğu bilinmektedir. Bu nedenle, özellikle korozyona uğramış betonarme kolonların yatay yük altındaki davranışlarını ve alınabilecek önlemleri araştırmak, Türkiye gibi aktif deprem kuşağı içinde yer alan bir ülke için büyük önem taşımaktadır. Bu tez çalışmasında, yüksek fırın cürufu (YFC) ve uçucu külün (UK), CEM I 42.5R çimentosunun yerine belirli oranlarda kullanımının, betonarme kolonun içerisinde ki donatı korozyonuna etkisi ve kolonların yatay yük altında davranışına olumlu/olumsuz katkısı deneysel olarak araştırılmıştır. Bu amaçla tez çalışması kapsamında, içerisinde hiçbir mineral katkının bulunmadığı 280 kg/m³ çimento dozajlı 3 adet betonarme kolon numunesi, KONTROL serisi olarak üretilmiştir. Mineral katkılı serilerde ise, çimentonun yerine çimento miktarının %20'si ve %40'ı oranında YFC, %10'nu ve %20'si oranında UK kullanılarak, her bir seriden 3'er adet olmak üzere toplam 12 adet betonarme kolon numunesi üretilmiştir. Her bir seri için üretilen üç adet kolondan biri referans olarak seçilmiş, geriye kalan iki kolon numunesinin donatılarda Faraday Denklemi kullanılarak teorik olarak sırasıyla %10 ve %30 ağırlık kayıpları oluşana kadar sabit voltaj altında korozyona maruz bırakılmıştır. Hızlandırılmış korozyon deneyleri sonrasında, numuneler deprem etkisini yansıtan tersinir-tekrarlanırlı yatay yük altında deneye tabi tutulmuştur. Yanal yükleme deneyinden sonra numunelerin içinden donatılar parça parça çıkartılarak özel solüsyonlarla (HCl asit çözeltisi) pas ve beton kalıntılarından arındırılmıştır. Böylece donatıların ağırlıkları tartılarak ilk ağırlıkları ile karşılaştırılmış ve numunelerde meydana gelen gerçek korozyon seviyeleri belirlenerek yorumlanmıştır. Deneysel sonuçlar, beton üretiminde mineral katkı kullanımının betonarme elemanların korozyon riskini azalttığı ve deprem davranışlarını iyileştirdiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Betonarme Kolon, Hızlandırılmış Korozyon Deneyi, Korozyon, Yüksek Fırın Cürufu, Uçucu Kül

ABSTRACT

PhD THESIS

INVESTIGATION OF BEHAVIOR OF REVERSED RECURRENT HORIZONTAL LOADS OF COLUMNS PRODUCED BY MINERAL ADMIXTURE UNDER CORROSION EFFECT

Mustafa KOÇER

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

**Advisor: Assoc. Prof. Dr. Murat ÖZTÜRK
Co-Advisor: Asst. Prof. Dr. Ahmet Raif BOĞA**

2020, 318 Pages

Jury

**Prof. Dr. Ülkü S. KESKİN
Prof. Dr. Musa H. ARSLAN
Assoc. Prof. Dr. Murat ÖZTÜRK
Asst. Prof. Dr. Nebi ÖZDÖNER
Asst. Prof. Dr. Veli BAŞARAN**

Corrosion threatens reinforced concrete buildings throughout their service life and it is considered as one of the main factors for buildings to lose their horizontal displacement capacities due to destruction caused on reinforcement by corrosion. Field research that are made after the devastating earthquakes indicates that corrosion of reinforcement elements and deteriorated adherence between concrete and reinforcement lead to destroyed or heavily damaged buildings. In addition, it is well-known that, columns are the most critical elements for structural safety during earthquakes. For this reason, it is of great importance for a country like Turkey located in an active earthquake zone to investigate the behaviors of corroded reinforced concrete columns particularly under lateral load and investigate measures to be accounted. In this thesis, the effect of using blast furnace slag (BFS) and fly ash (FA) replacing with CEM I 42.5R cement were experimentally investigated on the reinforcement corrosion in reinforced concrete column together with its positive / negative contribution to the behavior of columns under lateral load. For this purpose, three reinforced concrete column specimens incorporating cement by dosage of 280 kg / m³ that do not contain mineral admixtures were produced as CONTROL series. In the mineral incorporating series, 12 reinforced concrete column specimens were produced by using 20% and 40% BFS and 10% and 20% FA instead of cement with three of each series. Then, one of the three columns produced for each series was selected as a reference, the rest of two column specimens were subjected to corrosion under constant voltage until theoretically 10% and 30% weight losses were reached using the Faraday equation in the reinforcement. After accelerated corrosion tests, the specimens were tested under reversed-cyclic lateral load that simulates the earthquake effect. After the lateral loading test, the reinforcements were removed one by one from rust and concrete residues with special solutions (HCl acid solution). Thus, the weights of the rebars were weighed and compared with the initial weights and the actual corrosion levels in the specimens were determined and discussed. Experimental results show that the use of mineral admixtures in concrete production reduces the risk of corrosion of reinforced concrete elements and improves earthquake behavior.

Keywords: Reinforced Concrete Column, Accelerated Corrosion Test, Corrosion, Blast Furnace Slag, Fly Ash.

ÖNSÖZ

Tez çalışmamın her aşamasında yardımlarını esirgemeyerek yetişmemi sağlayan, bilgi ve tecrübesi ile bana yol gösteren, çalışmama ışık tutan, karşılaştığım her zorlukta yardımlarını esirgemeyerek daima destek olan başta saygı değer danışman hocam Doç. Dr. Murat ÖZTÜRK olmak üzere, bu çalışmanın ortaya çıkmasında bilgi, fikir ve görüşleriyle çok büyük emekleri olan yardımcı danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Raif BOĞA'ya şükran ve teşekkürlerimi en kalbi duygularıyla sunarım.

Tez izleme komitesinde bulunan ve konu ile ilgili bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım Sayın Prof. Dr. Musa Hakan ARSLAN ve Sayın Dr. Öğr. Üyesi Nebi ÖZDÖNER'e teşekkürlerimi sunarım.

Deneyisel çalışmalarım sırasında laboratuvar imkânlarından faydalanmamı sağlayan ve her türlü yardımda bulunan İnşaat Mühendisliği Bölümü eski Bölüm Başkanımız rahmetli hocam Sayın Prof. Dr. Özcan TAN'a ve katkılarını esirgemeyen bölümümüzün değerli tüm öğretim elemanlarına teşekkür ederim. Deneyisel çalışmalarım sırasında yardımları için Sayın Dr. Öğr. Üyesi Alptuğ ÜNAL ve Sayın Arş. Gör. Ensar SUCİ olmak üzere, tüm araştırma görevlisi arkadaşlarıma ve laboratuvar sorumlusu Sayın Yüksel ÇİFTÇİ'ye teşekkür ederim.

Deneyisel çalışma kısmında, malzemelerin temin edilmesinde, deneyisel numunelerin üretilmesinde yardımlarını esirgemeyen KAV BETON A.Ş. yönetim kurulu üyesi İnş. Müh. İsmail KAVAK'a ve firmasına sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmayı destekleyen KTÜN Öğretim Üyesi Yetiştirme Programı Koordinatörlüğü'ne (ÖYP) ve S.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne şükranlarımı sunuyorum.

Bugünlere gelmemde büyük pay sahibi olan, maddi ve manevi her türlü desteklerini benden esirgemeyen, çalışmalarım süresince yanımda olan sevgili aileme de teşekkürü borç bilirim. Bu tezi annem Aysel KOÇER ve babam Şahap KOÇER'e ithaf ediyorum.

Mustafa KOÇER
KONYA-2020

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Tezin Amacı	3
1.2. Tezin Önemi	4
1.2. Tezin Kapsamı.....	5
1.4. Tezin Katma Değeri ve Yaygın Etkisi	5
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	7
2.1. Korozyon Hasarlı Kolonların Sismik Davranışları Üzerine Yapılan Çalışmalar ...	7
2.2. Korozyon Hasarlı Kolonların Güçlendirilmesine Yönelik Yapılan Çalışmalar ...	12
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	16
3.1. Dene Numunelerinin Tasarlanması ve Detaylandırılması	17
3.1.1. Numunelerin Tasarlanması.....	17
3.1.2. Numunelerin Özellikleri.....	19
3.2. Kullanılan Malzemeler.....	21
3.2.1. Çimento	21
3.2.2. Yüksek Fırın Cürufu (YFC)	21
3.2.3. Uçucu Kül (UK).....	21
3.2.4. Agregalar	22
3.2.5. Sodyum Klorür Tuzu ve Süper Akışkanlaştırıcı.....	22
3.3. Beton Karışım Oranları.....	22
3.4. Dene Numunelerinin Üretilmesi.....	24
3.4.1. Temellerin Üretilmesi	25
3.4.2. Kolonların Üretilmesi.....	27
3.5. Beton Serileri ile İlgili Yapılan Deneyler	30
3.5.1. Beton Basınç Dayanımı Deneyi.....	31
3.5.2. Yarmada-Çekme Deneyi	32
3.5.3. Elektriksel Direnç Deneyi	34
3.5.4. Hızlı Klorür Geçirimsizliği Deneyi.....	35
3.6. Çelik Çekme Deneyi.....	37
3.7. Hızlandırılmış Korozyon Deneyi	38
3.8. Tasarımın Güncellenmesi	45
3.9. Dene Düzenegi ve Ölçüm Tekniği	46
3.9.1. Yükleme Sistemi.....	47
3.9.2. Ölçüm Tekniği	50

3.9.3. Deneylerde Uygulanan Yükleme Programı	54
3.9.4. Ölçümlerin Değerlendirilmesi	54
4. NUMUNELERİN DEPREMİ BENZEŞTİREN YATAY YÜKLEME ALTINDA TEST EDİLMESİ.....	63
4.1. Deney Sonuçları	64
4.1.1. Deney Numunesi-1 (KONTROL-%0)	64
4.1.2. Deney Numunesi-2 (UK10-%0)	78
4.1.3. Deney Numunesi-3 (UK20-%0)	92
4.1.4. Deney Numunesi-4 (YFC20-%0)	106
4.1.5. Deney Numunesi-5 (YFC40-%0)	120
4.1.6. Deney Numunesi-6 (KONTROL-%10)	134
4.1.7. Deney Numunesi-7 (UK10-%10)	147
4.1.8. Deney Numunesi-8 (UK20-%10)	161
4.1.9. Deney Numunesi-9 (YFC20-%10)	175
4.1.10. Deney Numunesi-10 (YFC40-%10)	189
4.1.11. Deney Numunesi-11 (KONTROL-%30)	203
4.1.12. Deney Numunesi-12 (UK10-%30)	216
4.1.13. Deney Numunesi-13 (UK20-%30)	229
4.1.14. Deney Numunesi-14 (YFC20-%30)	242
4.1.15. Deney Numunesi-15 (YFC40-%30)	254
4.2. Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması	267
4.2.1. 1. Grup Karşılaştırma (Beton Serisi Sabit, Korozyon Oranı Değişken)	268
4.2.2. 2. Grup Karşılaştırma (Beton Serisi Değişken, Korozyon Oranı Sabit)	279
4.3. Teorik ve Gerçek Ağırlık Kaybı Değerlerinin Karşılaştırılması	288
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	296
5.1 Sonuçlar	297
5.2 Öneriler	302
KAYNAKLAR	303
ÖZGEÇMİŞ.....	307

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

ϕ	: Donatı çapı, mm
A_s	: Donatı alanı
V_e	: Yatay kesme kuvveti
V_{max}	: Maksimum yatay yük
δ_{max}	: Maksimum yatay yüke karşılık gelen deplasman
δ_u	: Göçme deplasmanı
δ_y	: Akma deplasmanı
$\sigma_{yç}$: Yarmada-çekme dayanımı
Σ	: Toplam
A	: Histerezis eğrisi altında kalan alan, mm ²
A_c	: Kolon en kesit alanı
A_{sw}	: Etkili kesme donatısı alanı
B	: Histerezis eğrisi altında kalan alan
b	: Kolon kesit genişliği, mm
d	: Kesitin faydalı yüksekliği
D	: Numunenin çapını
d'	: Paspayı
d_A, d_B	: 1 birimlik bir alanı
E	: Tüketilen Enerji
E_c	: Betonun elastisite modülü
E_s	: Donatının Elastisite modülü
f_{ywk}	: Enine donatının akma dayanımı, MPa
F	: Deney elemanına gelen yatay yük, kN
f'_c	: Beton silindirinin basınç dayanımı, MPa
f_c	: Beton basınç dayanımı, MPa
f_{ck}	: Beton karakteristik basınç dayanımı, MPa
f_{ctd}	: Beton çekme dayanımı, MPa
f_{su}	: Donatı çekme dayanımı, MPa
f_y	: Donatı akma dayanımı, MPa
f_{yd}	: Donatı dizayn akma dayanımı, MPa
f_{yk}	: Donatı karakteristik akma dayanımı, MPa
h	: Deney elemanının yüksekliği, mm
I_0	: Amper
L	: Kolon etkili boyu
M_r	: Moment taşıma kapasitesi, kNm
M_y	: Kolonun akma momenti
ϕ	: Rijitlik değeri
P_k	: Kırılma yükü
Q	: Toplam gecen yük (Coulomb)

R	: Rijitlik
s	: Etriye donatısı aralığı, mm
t	: Zaman
V	: Potansiyel fark
V_c	: Betonun kesme dayanımı
V_{cr}	: Betonun eğik çatlama dayanımı
V_d	: Dizayn kesme kuvveti
V_{max}	: Sisteme etki eden maksimum kesme kuvveti, kN
V_r	: Kolonun kesme kuvveti taşıma kapasitesi
V_w	: Donatının kesme kuvveti dayanımı
V_y	: Kolonun akma dayanımı
δ_l	: Tepe deplasman değeri
Δ_u	: Kolonun göçme deplasmanı
Δ_y	: Kolonun akma deplasmanı
μ	: Süneklik katsayısı
μ_s	: Ultrases Dalga Hızı

Not: Bu dizinde yer almayan bazı semboller, metin içinde ilgili yerlerinde açıklanmıştır.

Kısaltmalar

ASTM C 618	: American Society for Testing and Materials
CEM I 42.5R	: Erken Dayanımlı Portland Çimentosu
CFRP	: Karbon Elyaf Takviyeli Polimer
CFS	: Karbon Fiber Levha
GFRP	: Cam Elyaf Takviyeli Polimer
HPFRC	: Yüksek Performanslı Elyaf Takviyeli Beton
LVDT	: Lineer variable differential transformer
MPa	: Mega Paskal
PET	: Epoksi Reçine Bağlayıcı Polietilen Tereftalat
SAP2000	: Yapısal Analiz Programı
TBDY 2018	: Türkiye Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmeliği
TDG	: Teknik Destek Grubu
TextBOX	: Veri Toplama Cihazı
TS708	: Türk Standardı-Beton Çelik Çubukları
TS-EN 197	: Türk Standardları Enstitüsü
UK	: Uçucu Kül
YFC	: Yüksek Fırın Cürufu

1. GİRİŞ

Günümüz inşaat sektöründe en çok kullanılan yapı malzemesi betondur (Sideris ve Savva, 2005). Geleneksel betonun yanı sıra, bilimsel çalışmaların artması ve teknolojinin gelişmesi sonucunda farklı ihtiyaçları karşılayabilen birçok beton çeşidi üretilmiştir. Yeni nesil betonlarda kullanılan birçok mineral katkı türü bulunmaktadır (Topçu ve Boğa, 2010). Bunlardan ilk akla gelenleri, yüksek fırın cürufu (YFC) ve uçucu kül (UK)'dür. Bu mineral katkılar ile geçirimsizliği daha az, işlenebilirliği daha fazla ve hidrotasyon ısısı daha az olan beton elde edilmektedir (Hossain ve Lachemi, 2004).

Mineral katkılı çimento türleri ülkemizde 2002 yılında yürürlüğe giren ve 2012 yılında yapılan revize ile Avrupa normlarına uygun hale getirilen TS EN 197-1 ile standartlaştırılmıştır (TS-EN197-1, 2012). Bu revize ile standartta yer alan 27 adet çimento türü içerisinde, giderilen en büyük eksiklik sülfata dayanıklı çimento türlerinin eklenmesidir. Bu tür çimento sınıfı, yapılacak olan nitelikli yapının sülfata maruz kalma riski var ise çok nadir bir şekilde kullanılmaktadır. Fakat yapının atmosferle teması olan bölümlerinde korozyon hasarının meydana gelebilme riski göz ardı edilmektedir. Bu durum, yapıları ön görülen hizmet ömürlerini tamamlayamamasındaki başlıca etken ve önemli bir husus haline gelmiştir.

Beton ve çeliğin bir araya gelmesiyle oluşan betonarme yapılar, servis ömürleri boyunca çeşitli çevresel etkilere maruz kalmaktadırlar (Boğa ve Topçu, 2012). Bu etkilerden en önemli olanı, beton içerisindeki donatının korozyonudur (Tapan ve Aboutaha, 2011). Beton içerisindeki donatıda oluşan korozyon ürünü, sadece donatı çapında bir azalma meydana getirmemekte, betonarme yapıların yapısal davranışını da önemli derecede etkilemektedir(Liu ve ark., 2017; Li ve ark., 2018a; Li ve ark., 2018b). Yapılan çalışmalar, korozyona uğramış bir yapı elemanının yük taşıma kapasitesinin değerlendirilmesi sırasında sadece donatı çapında meydana gelen azalmayı dikkate almanın çok gerçekçi bir yaklaşım sergilemediğini göstermektedir(Di Carlo ve ark., 2017; Li ve ark., 2018b; Rajput ve ark., 2019). Korozyon ürününden dolayı donatıda meydana gelen hacim artışı, betonda yüksek gerilmelere ve çatlakların oluşmasına neden olmaktadır(Di Carlo ve ark., 2017). Korozyon hasarlı bir yapı için, donatı ile beton arasındaki aderanstan, beton ve çeliğin mekanik özelliklerinden, donatının sahip olduğu en kesit alanından, sargı donatısı etkinliğinden söz etmek ve proje verilerini dikkate almak çok gerçekçi olmamaktadır(Göksu ve İlki, 2016; Ma ve ark., 2017). Bunun yanında deprem sırasında yapı güvenliği açısından en kritik elemanların kolonlar olduğu

bilinmektedir. Bu nedenle, özellikle korozyona uğramış betonarme kolonların yatay yük altındaki davranışlarını ve alınabilecek önlemleri araştırmak, aktif deprem kuşağı içinde yer alan ülkeler için büyük önem taşımaktadır.

Korozyon, betonarme yapıları servis ömürleri boyunca tehdit ederek, yapıların yanal yer değiştirme kapasitelerini kaybetmesine neden olmaktadır (Göksu ve İlki, 2016). Korozyondan etkilenen yapılar için hizmet ömrü, donatının beton örtüsünün kaybolması ile karakterize edilmektedir ve bu aşamada artık yapı, korozyon hasarına karşı daha korumasız kalmaktadır. Ülkemizde meydana gelen yıkıcı depremler sonrasında yapılan saha incelemeleri, yıkılan veya ağır hasar gören yapıların büyük bölümünde donatıların korozyona uğradığını ve beton ile donatı arasındaki aderansın kaybolduğunu göstermektedir (Doğan, 2009).

Günümüzde, çoğu betonarme yapının tasarım ömrüne yakın bir yaşa sahip olması nedeniyle, yapıların korozyon etkisinden dolayı, projelendirme safhasında öngörülen dayanım ve yatay rijitliklerinin şu an ne kadarına sahip olduğu ve depreme karşı ayakta kalabilme yetenekleri bilinmemektedir. Ülkemizde yürürlükte olan 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY, 2018), korozyon etkisinin, mevcut yapılar incelenirken dikkate alınması gerektiğini belirtmesine rağmen, ne oranda dikkate alınacağı veya kabul edilebilir korozyon hasar seviyesinin ne olduğu hakkında her hangi bir bilgi vermemektedir. Korozyon olayı binalarda önemli yapısal sorunlar doğurmaktadır: kesitlerin dayanımını belirgin bir şekilde azaltmasının yanı sıra, donatıda süneklik kaybı da meydana getirmektedir (Liu ve ark., 2017). Ayrıca korozyon olayının oluşması, elemanlarda çatlama ve yüksek gerilmelere neden olmakta ve bu da beton-donatı aderansını olumsuz etkilemektedir. Çeliğin korozyonu ile ilgili olarak, literatürde bulunan teorik ve deneysel araştırmaların özellikle statik yüklere maruz kalan betonarme kolon, kiriş veya ön gerilmeli kirişlerle ilgili çalışmalar olduğu görülmüştür (Di Carlo ve ark., 2017; Li ve ark., 2018a). Bu çalışmaların bir kısmında, korozyon hasarına uğramış yapı elemanlarının yük-deplasman ilişkileri incelenmiş, bir kısmında ise yapı elemanlarının korozyon hasarı sonrasında onarım çalışmaları yapılmıştır. Fakat belli bir seviyenin üstünde korozyon hasarına maruz kalan yapı elemanlarında yapılan iyileştirme çalışmalarından beklenen sonuç alınamamıştır. Dolayısıyla yapıların başlangıçta korozyona karşı dayanıklı olması oldukça önemlidir.

1.1. Tezin Amacı

Bu tez çalışmasında, deprem sırasında yapı güvenliği ve bütünlüğü açısından en kritik elemanlar olan kolonlarda YFC ve UK kullanımının, betonarme kolon içindeki donatının korozyon performansına etkisi ve buna paralel olarak korozyon hasarına uğramış mineral katkılı/katkısız kolonların yatay yük altındaki davranışları deneysel olarak araştırılmıştır. Mineral katkılı kolonlardan elde edilen sonuçlar ile mineral katkısız olarak üretilen kolonlardan elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak irdelenmiştir. Bu amaçla 5 seri halinde (mineral katkısız kontrol serileri, % 10 oranında uçucu kül içeren seriler, % 20 oranında uçucu kül içeren seriler, % 20 oranında yüksek fırın cürufu içeren seriler ve % 40 oranında yüksek fırın cürufu içeren seriler) toplam 15 adet betonarme kolon numunesi üretilmiştir. Çalışmanın ilk aşamasında kolonlar, hızlandırılmış korozyon yöntemiyle 2 farklı seviyede korozyona maruz bırakılmışlardır. Hızlandırılmış korozyon deneylerinde, her bir seri için üretilen üç adet kolondan biri korozyon hasarına maruz bırakılmamış, geriye kalan iki kolon numunesi ise, içerisindeki donatılarda Faraday Denklemi kullanılarak teorik olarak sırasıyla %10 ve %30 ağırlık kayıpları oluşana kadar sabit voltaj altında korozyona uğratılmıştır. Kontrol serilerinde %10 ve %30 ağırlık kayıplarının elde edildiği süreler belirlenmiş, yüksek fırın cürufu ve uçucu kül katkılı seriler de elde edilen bu süreler boyunca korozyona uğratılmıştır. Böylece mineral katkılı/katkısız kolonların, 2 farklı korozyon seviyesi altında, donatılarında meydana gelen ağırlık kayıpları ve akma dayanımlarındaki azalmalar belirlenmiş ve bunlara bağlı olarak oluşan, yatay yük davranışı irdelenerek, kullanılan mineral katkıların bu anlamda faydaları/zararları araştırılmıştır. Böylece “Deprem bölgelerinde yeni inşa edilecek yapılarda mineral katkı kullanımının avantaj/dezavantajları nelerdir?” sorusuna yanıt aranması amaçlanmıştır.

Çalışma kapsamında dikkate alınan temel parametreler şunlardır:

- Mineral katkının kullanılmaması
- %20 ve %40 oranında YFC kullanımı
- %10 ve % 20 oranında UK kullanımı
- Sabit voltaj ve iki farklı ağırlık kaybı için hızlandırılmış korozyon deneyi.

Temel parametreler doğrultusunda, çalışmanın amacı şu şekilde sıralanabilir:

- 1) Çimento ağırlığının belirli oranlarında mineral katkı kullanılması ile beton içerisindeki donatının korozyon performansındaki değişimin araştırılması,

- 2) Aynı mineral katkıya sahip betonarme kolonlarda farklı oranlarda mineral katkı kullanılmasının korozyon performansına etkisinin araştırılması,
- 3) Aynı mineral katkıya sahip betonarme kolonlarda farklı oranlarda mineral katkı kullanılmasının, kolonun yatay yük taşıma kapasitesine ve sünekliğine etkisinin araştırılması,
- 4) Farklı mineral katkılı betonarme kolonların yatay yük taşıma kapasitesinin ve sünekliğinin incelenmesi ve karşılaştırılması,
- 5) Mineral katkılı betonarme kolonların mineral katkısız betonarme kolonlara göre enerji sönümlenme kapasitelerindeki değişimin araştırılması,
- 6) Korozyon hasarlı mineral katkısız ve mineral katkılı betonarme kolonların yatay yük altındaki ani dayanım kayıplarının araştırılması,
- 7) Aynı serideki numunelerin kendi içlerinde karşılaştırılmasıyla, farklı korozyon seviyesinin yatay yük taşıma kapasitesine etkisinin araştırılması.

1.2. Tezin Önemi

Amaçlar doğrultusunda bu tez çalışmasında belirlenen hedefler aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- 1) Korozyon hasarından dolayı yapılan onarım çalışmalarının maliyetli olması ve bazı durumlarda elemanların projelerinde öngörülen kesit kapasitelerinin ve sünekliklerinin kazandırılması konusunda tatmin edici olmaması sebebiyle, yeni yapılacak yapıların daha güvenilir ve daha fazla servis ömrü ile ayakta kalması hedeflenmektedir.
- 2) Endüstriyel bir atık maddenin kullanılması sebebiyle yapının hizmet ömründe elde edilecek kazanımın ülke ekonomisine, çevre kirliliğine ve ayrıca beton birim maliyetinde elde edilen kazançla da yine ekonomiye katkı sağlayacağı düşünülmektedir.
- 3) Korozyon deneyleri uygulamada tercih edilen boyutlardaki kolon numunelerinin $\frac{1}{2}$ ölçeğinde modellenmesi ile gerçekleştirilmiştir. Böylece elde edilen sonuçların uygulamadaki kolon davranışını yansıtması sağlanmıştır.
- 4) Korozyon hasarından dolayı, kolonun taşıma gücünde ve sünekliğinde meydana gelen kayıp hakkında mühendislere ve araştırmacılara fikir verecek sonuçlar elde edilmiştir.

1.2. Tezin Kapsamı

Kontrol serisi olarak 3 adet, betonarme kolon numunesi üretilmiştir. Çimento yerine ağırlıkça %20 ve %40 oranında YFC içeren 3'er adet ve yine çimento yerine ağırlıkça %10 ve %20 oranında UK içeren 3'er adet olmak üzere toplam 12 adet mineral katkılı betonarme kolon numunesi üretilmiştir. Numuneler TBDY 2018 yapım yönetmeliğine uygun bir şekilde tasarlanmıştır.

Her bir serideki kolonlardan ilki korozyona maruz bırakılmamış, geriye kalan iki kolonun donatılarında %10 ve %30 ağırlık kaybına kadar hızlandırılmış korozyona uğratılmıştır. Hızlandırılmış korozyon deneylerinden sonra korozyon hasarlı/hasarsız kolonlar, yatay yükleme düzeneği sayesinde depremi temsil eden tersinir-tekrarlanır yatay yüklemeye tabi tutulmuştur. Deneyler sonucunda her bir serideki referans kolon ile iki farklı seviyede korozyon hasarına maruz bırakılmış kolonların yatay yük-ötelenme, rijitlik ve enerji tüketimi açısından karşılaştırılması yapılmıştır. Böylece korozyon hasarına maruz bırakılmış kolon kesitlerinde meydana gelen dayanım kayıpları belirlenmiştir. Ayrıca, aynı süre boyunca korozyon etkisi altında kaldıklarından dolayı, mineral katkısız olarak üretilmiş betonarme elemanlar ile mineral katkılı betonarme elemanların korozyon hasarına karşı dirençleri ve davranış farklılıkları hakkında bilgi edinilmiştir. Bunun yanında, yatay yükleme deneylerinden sonra betonarme kolonların içindeki donatılar çıkartılarak, teorik ağırlık kayıpları ile gerçek ağırlık kayıpları karşılaştırılmıştır. Kolon numunelerindeki donatıların çıkartılması ile klor iyonlarının donatıya vermiş olduğu tahribat belirlendiği gibi, gerçek ağırlık kaybı yüzdeleri de belirlenerek, betonun içerisindeki donatıları, klor iyonlarına karşı koruyabilme kabiliyetleri açısından, mineral katkısız ve mineral katkılı betonların etkinliği karşılaştırılmıştır.

1.4. Tezin Katma Değeri ve Yaygın Etkisi

Topraklarının çok büyük bölümü deprem riski altında bulunan ve sıklıkla yıkıcı depremlerin meydana geldiği ülkemizde, donatılarda meydana gelen korozyon hasarı yapıların deprem performansını olumsuz etkileyen başlıca etkenlerden biridir. Her ne kadar yeni inşa edilen yapılar yönetmelik koşullarına uygun üretilseler de, kullanım ömürleri boyunca gerek çevre koşullarından dolayı, gerekse beton üretimindeki faktörlerden dolayı korozyona maruz kalmaktadırlar. Bu da deprem sırasında sistemde süneklik ve enerji tüketimini sağlayan temel bileşen olan donatıların kesitlerinin ve akma

dayanımlarının azalmasına, oluşan pas hacminden dolayı betonda çatlama ve kabuk atmaya ve beton-donatı aderansında azalmaya neden olmaktadır. Dolayısıyla özellikle kolonların dizayn aşamasında öngörülenden daha gevrek olmasına, daha az yatay yük taşıma kapasitesine sahip olmasına ve daha az enerji tüketmelerini sağlamaktadır. Bu yüzden, kolonda geçirimsizliği azaltarak donatıları korozyona karşı korumak, binaların servis ömürleri sırasında olumsuz etkilenen deprem davranışını kaybetmeden can ve mal kayıpları azaltılabilecektir.

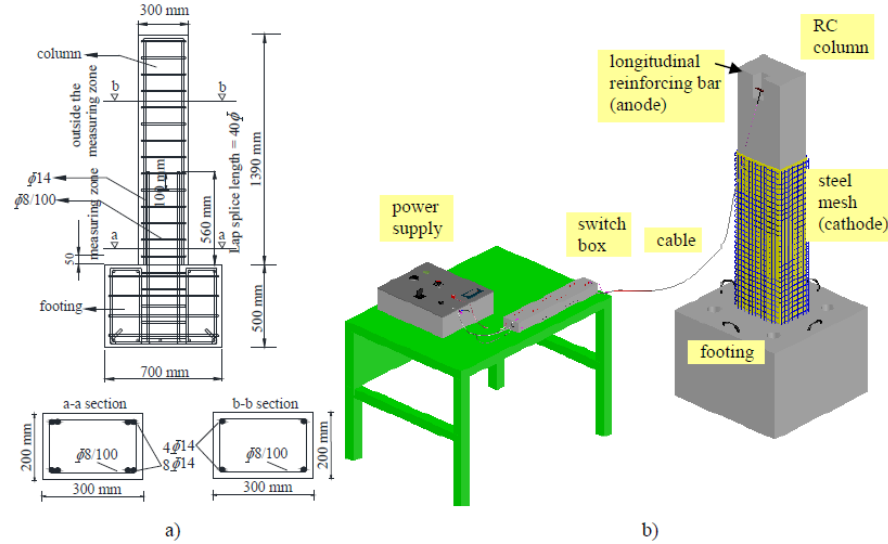
Bu tezin özgünlüğü, literatürde bulunan korozyon hasarlı mevcut betonarme yapılar için onarım (iyileştirme) çalışmalarının aksine, yeni dizayn edilecek binaların korozyona karşı performansları artırılarak, servis sürelerini uzatmaya ve başlangıçta sahip oldukları deprem performansını korumaya yönelik bir çalışma olmasıdır. Böylece literatürdeki açık kapatılmaya çalışılmıştır. Bu amaçla, kullanılan mineral katkılar endüstriyel atık olduğu için hem ülke ekonomisine ve çevre kirliliğini önlemeye katkı sağlanacak, hem de endüstriyel atık malzemelerin kullanılması sebebiyle binanın birim maliyetlerinde bir artış meydana getirmeyecektir. Bu yüzden mineral katkılı betonlarla üretilen kolonların içindeki donatı korozyonunun ve döngüsel yük altındaki davranışının araştırılması ile literatüre ve ülke ekonomisine katkılar sağlanacağı düşünülmektedir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Korozyon hasarlı betonarme kolonların deprem davranışlarına yönelik çalışmalar ve korozyon hasarlı kolonların hasar öncesi dayanım ve sünekliklerini sağlamak amacıyla çeşitli onarım/güçlendirme yöntemleri, farklı araştırmacılar tarafından bir dizi çalışma ile literatüre kazandırılmıştır. Bu çalışmalarda elde edilen genel kanı, betonarme kolonların korozyon hasarı seviyesine bağlı olarak yük taşıma kapasitelerinde ani düşüşler görüldüğü ve sahip oldukları kesit sünekliklerinin kaybolduğudur. Yine bu kolonlarda yapılan onarım çalışmalarında da kolonun korozyon hasarından önce sahip olduğu kesit kapasite değerlerine genel olarak ulaşılammıştır. Literatürde yer alan korozyon hasarlı betonarme kolonların yatay yük altında davranışlarına yönelik sınırlı sayıda bulunan çalışmalarla ilgili bilgiler aşağıda verilmiştir.

2.1. Korozyon Hasarlı Kolonların Sismik Davranışları Üzerine Yapılan Çalışmalar

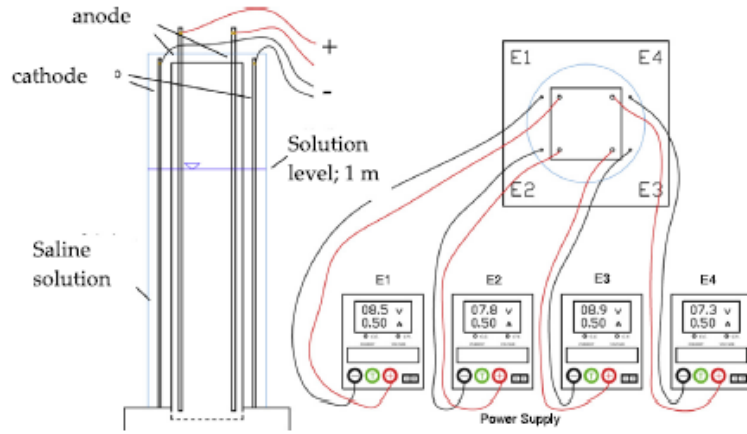
Göksu ve İlki (2016), dikdörtgen kesitli altı kolonu farklı seviyelerde hızlandırılmış korozyon hasarına maruz bırakarak (hafif hasardan, şiddetli hasara doğru farklı korozyon seviyelerinde) elde ettikleri numuneleri sabit aksenal ve döngüsel yatay yük altında test etmişlerdir. Hızlandırılmış korozyon deneyinde klor iyonlarının nüfuzu, beton karışım suyuna çimento ağırlığının % 4'ü kadar kalsiyum klorür (CaCl_2) ekleyerek ve beton dökümünden sonra kolona kauçuk sararak sağlanmıştır. Kolon boyuna ve enine donatılarına 6V sabit bir voltaj uygulanarak, akımın yönü anot kutbu olan kolon donatılardan katot görevi gören kauçuk üstüne sarılan çelik hasıra doğru olmuştur. Kauçuk ise büyük korozyon seviyeleri için beton yüzeyine püskürtülen CaCl_2 çözeltilisinin daha geç sönmülmesini sağlamak amacıyla kullanılmıştır. Araştırmacılar deney süresi boyunca kolonlarda GECOR8 cihazı ile korozyon hızını ölçerek yarı hücre potansiyel yöntemiyle korozyon oranlarını belirlemişlerdir. Daha sonra donatıdan alınan kuponlar yardımıyla ilk başta ağırlık kaybına bakılmış daha sonra elektronik mikroskop yardımıyla, meydana gelen kesit kayıpları belirlenmiştir. Şekil 2.1'de numune detayları ve hızlandırılmış korozyon deney düzeneği gösterilmiştir.



Şekil 2.1. a) Numune detayları b) Hızlandırılmış korozyon deney düzeneği (Göksu ve İlki, 2016)

Çalışmanın temel amacı, korozyonun, kolonların ötelenme kapasitesi üzerindeki olumsuz etkisini göstermektir. Referans kolonun (NS-X0) yatay ötelenme kapasitesi % 8 mertebelerinde iken, korozyon hasarı en fazla (korozyon hasarı % 54) olan NS-X54 isimli deney numunesinin yatay ötelenme kapasitesi % 2 olarak belirlenmiştir ve dayanımında önemli miktarda kayıp olduğu gözlemlenmiştir. Yazarlar, korozyonun kolonlar üzerindeki etkisinin göz ardı edilmesi durumunda, kolonların olası bir deprem sırasında beklenmedik yapısal göçme mekanizmalarına neden olacağını vurgulamışlardır. Yapının deprem performansının değerlendirilmesi sırasında, kolonların korozyon nedeniyle kaybettikleri büyük enerji sönümlenme kapasitelerinin, yatay ötelenme oranlarında azalma meydana getirdiği için göz önüne alınması gerektiğini vurgulamışlardır (Göksu ve İlki, 2016).

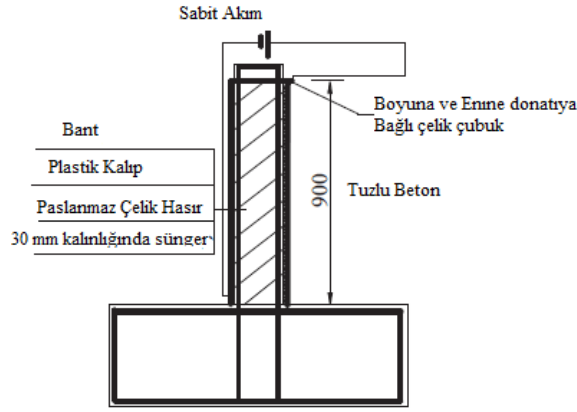
Meda ve arkadaşları (2014), tam ölçekli deney numuneleri üzerinde korozyonun döngüsel yüke etkisini incelemek amacı ile biri referans olan dört adet numune hazırlamışlardır. Deneysel parametre olarak sadece korozyon seviyesi seçilmiş ve referans kolon hariç diğer üç numunenin ikisi istenilen korozyon seviyesini sağlamak amacıyla sadece korozyona uğratılmıştır. Korozyona maruz kalan iki numuneden, betonun donatı korozyonuna etkisini ve korozyon süresini bulmuşlardır. Belirlenen bu süreye göre son numune korozyona maruz bırakılarak, sabit eksenel ve çevrimsel yatay yük altında kolon davranışını incelemiştir. Şekil 2.2’de hızlandırılmış korozyon düzeneği gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Hızlandırılmış korozyon deney düzeneği (Meda ve ark., 2014)

Deneyel sonuçlardan, korozyonun döngüsel yüklemeye maruz bırakılan kolonların davranışını önemli ölçüde etkilediği görülmüştür. Donatısında % 20 seviyesinde kütle kaybı oluşan kolonun çevrimsel yükleme altında yük taşıma kapasitelerinde % 30'luk bir azalma meydana geldiği ve ayrıca %50 mertebesinde göçme deplasmanında azalma olduğu görülmüştür (Meda ve ark., 2014).

Yang ve ark. (2016), hem deniz bölgesinin iklim koşullarını yansıtmak, hem de sodyum klorürlü suyun sıçrayabildiği bölge koşullarını temsil etmesi amacıyla emdirme yöntemi yerine sarma yöntemi ile korozyona uğramış betonarme kolonların histeretik davranışlarını araştırmışlardır. Deneyler, sabit düşey yük ile birlikte döngüsel yanal yükler altında her biri farklı miktarda donatı korozyonuna sahip beş adet betonarme kolon üzerinde gerçekleştirilmiştir. Şekil 2.3'de hızlandırılmış korozyon düzeneği gösterilmiştir. Deneyden sonra numunelerde yapılan incelemeler ve ağırlık ölçümleri, korozyonun konsol bölümün orta kısmında yoğunlaştığını göstermiştir. Her bir numune için korozyon hasarlarının sırasıyla % 5,1, % 8,3, % 13,25 ve % 16,8 olduğu belirlenmiştir. Bu değerler teorik olarak yapılan hesaplamalardan daha küçüktür. Numunelerin yaptıkları maksimum deplasman miktarları ve yük taşıma kapasitelerinin, korozyon miktarı ile ters orantılı olarak kademeli bir şekilde azaldığı görülmüştür (Yang ve ark., 2016).



Şekil 2.3. Hızlandırılmış korozyon düzeneği (Yang ve ark., 2016).

Ma ve arkadaşları (2012), donatı korozyonu ile hasar gören betonarme kolonların sismik performansındaki azalmayı araştırmışlardır. Toplam 13 adet betonarme dairesel kolon, hızlandırılmış korozyon testlerine tabi tutulduktan sonra, tersinir çevrimsel yanal yer değiştirme ve sabit eksenel yük altında test edilmiştir. Testteki kontrollü değişkenler korozyon seviyesi ve eksenel yük oranıdır. Donatı korozyon miktarları % 0 ile % 15.1 aralığında ve eksenel yük oranları 0.15 ile 0.9 arasında değişmektedir. Test sonuçları, daha yüksek korozyon seviyeleri ve daha yüksek eksenel yüklerin, daha az kararlı histerik döngülere ve daha ciddi bir dayanım azalmasına, ayrıca rijitlik ve süneklik kaybına neden olduğunu göstermiştir (Ma ve ark., 2012).

Vu ve arkadaşları (2018), korozyon hasarının kesme hasarı oluşacak olan kısa kolonlar üzerinde sismik yükleme altındaki etkisini araştırmak için 8 adet tam ölçekli betonarme kolon üretmişlerdir. Numuneler içerisinde % 5'lik NaCl çözeltisi bulunan havuzlarda hızlandırılmış korozyona maruz bırakılmıştır. Deneysel parametre olarak, donatı korozyon seviyeleri ve iki farklı eksenel yük oranı seçilmiştir. Deneysel sonuçlar, eksenel yük oranı ve korozyon hasarının fazla olduğu numunelerin, deformasyon kapasitelerinde ve kesme dayanımlarında önemli kayıplar olduğunu göstermiştir. Ayrıca, çalışma kapsamında kolon donatılarında oluşan korozyon hasarını Faraday Denklemi gibi ağırlık kaybı ile hesaplamak yerine, ortalama ve en küçük donatı alanının ilk alana oranlanmasıyla her bir kolon için üç farklı şekilde korozyon seviyesi hesaplamışlardır. Çalışma sonunda numunelerin teorik kesme dayanımları ile gerçek dayanımlarına en yakın sonucu bulmak için, çukur korozyonun olduğu en kesite göre hesaplamının daha gerçekçi sonuçlar verdiğini göstermişlerdir (Vu ve Li, 2018).

Li ve arkadaşları (2018), etriyelerinde korozyon hasarı olan betonarme kolonları araştırmak için, 8 adet korozyon hasarlı betonarme kolon üreterek düşük döngüsel yatay yük altında test etmişlerdir. Plastik mafsal bölgesindeki etriyeler dikkate alınarak, bu etriyelerin ortalama ağırlık kayıplarına göre korozyon yüzdelerini belirlemişlerdir. Deneysel parametre olarak, etriye aralığı ve çapı seçilmiştir. Deney sonuçları, korozyonlu etriyelerin sargı etkisini azalttığını ve korozyon miktarında ki artışların da kolonların döngüsel yük altında performanslarının azalmasına neden olduğunu göstermiştir. Ayrıca akma noktası sonrası her bir deplasmanda iki döngü yapılmış ve kolonların etriyelerindeki korozyon miktarı arttıkça ilk çevrime göre ikincisinde önemli dayanım azalmaları meydana geldiği görülmüştür (Li ve ark., 2018b).

Guo ve arkadaşları (2015), korozyon hasarına sahip köprü kolonlarının döngüsel yük altındaki davranışlarını araştırmışlardır. Bunun için biri referans olmak üzere 4 adet köprü kolonu imal ederek, bu kolonların üç tanesini farklı seviyelerde hızlandırılmış korozyona tabi tutmuşlardır. Kolonlar, içerisinde %3.5 NaCl çözeltisi bulunan havuzda, Faraday Denklemine göre boyuna donatılarında %5, %10 ve %15'lik kütle kaybı olacak şekilde sırasıyla 23, 45 ve 67 gün bekletilmişlerdir. Hızlandırılmış korozyon deneyinden sonra test edilen kolonların performansları, korozyon seviyesi ile orantılı şekilde azalmıştır (Guo ve ark., 2015).

Li ve arkadaşları (2018), çalışmalarında, farklı eksenel yük ve korozyon hasarına sahip altı adet betonarme kolonu dinamik yükleme altında test etmişlerdir. Donatıları üniform korozyon hasarına sahip olmayan kolonların, sismik performanslarını araştırmışlardır. Deneysel parametre olarak iki farklı eksenel yük düzeyi ve iki farklı korozyon seviyesi belirlemişlerdir. Hızlandırılmış korozyon deneyi sargılama yöntemi ile kütle kayıplarını da akım değişkeni olarak Faraday Denklemi ile hesaplamışlardır. Test sonuçları, korozyon miktarının artmasıyla kolonların, yanal ötelenmelerinde, enerji yutma kapasitelerinde azalma meydana geldiğini gösterirken, sünekliklerinde bir miktar artma olduğunu gözlemlemişlerdir. Kolonların her iki yüzünde meydana gelen farklı seviyelerdeki korozyon hasarının, betonarme elemanların itme ve çekme yönünde farklı miktarlarda yük taşımaya ve göçme mekanizmalarının da farklı olmasına neden olduğunu gözlemlemişlerdir. Bu şekilde korozyon hasarına sahip kolonların değerlendirmesini süneklikle değil, enerji yutma kapasiteleri ile değerlendirmenin daha doğru olacağını vurgulamışlardır (Li ve ark., 2018a).

Aditya ve arkadaşları (2018), çalışmalarında, deprem yönetmeliğine uygun şekilde üretilen altı adet betonarme kolonun sismik performansı üzerinde korozyonun etkisini incelemişlerdir. Kolonlarda, iki farklı etriye türü, etriye aralığı ve iki farklı korozyon seviyesi deneysel parametre olarak seçilerek sabit aksenal yük altında yarı statik döngüsel yük altında test edilmişlerdir. Korozyon hasarı numunelerin etrafına oluşturulan bir tank yardımıyla, hızlandırılmış korozyon protokolüne uygun bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Numunelerin deneyleri sonunda, plastik mafsal bölgesindeki etriyelerde korozyon hasarının boyuna donatılara göre fazla olması sebebiyle, yük taşıma kapasitelerinde ani düşüşler meydana geldiğini gözlemlemişlerdir. Ayrıca korozyon hasar miktarının artmasıyla, plastik bölgedeki etriyelerin sargı etkisinin dikkate alınmaması gerektiğini vurgulamışlardır (Rajput ve Sharma, 2018)

Demirtaş (2008), İstanbul Teknik Üniversitesi Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarında, korozyonun betonarme kolonların deprem performansına etkisini sabit aksenal yük ve yön değiştiren tekrarlı yatay yükler altında incelemiştir. Deney numuneleri, ülkemizdeki mevcut yapıların özelliklerini yansıtmak üzere beton dayanımı düşük, düz yüzeyli donatılar kullanılarak, enine donatısı yetersiz olarak üretilmiştir. Numuneler temel üzerine oturmuş konsol kolon olarak üretilmiştir. Deney numunelerinden biri referans numunesi olarak dışarıdan hiç bir etki yapılmadan bırakılmış, diğer ikisi ise beton dökümü esnasında beton karışımına $CaCl_2$ ilave edilerek ve daha sonra hızlandırılmış korozyon işlemine tabi tutulmuştur. Üretilen 3 adet numune, göçmeye kadar zorlanmış, dayanım, süneklik, enerji yutma ve rijitlik değişimleri ile hasar oluşumları incelenmiştir. Referans numunesinin dayanımının, hızlandırılmış korozyona maruz bırakılmış numunelere göre daha yüksek olduğu ve en büyük yüke, daha büyük yatay öteleme oranlarında ulaştığı görülmüştür (Bahadır, 2008).

2.2. Korozyon Hasarlı Kolonların Güçlendirilmesine Yönelik Yapılan Çalışmalar

Jumbo Li ve arkadaşları (2009), korozyon hasarına uğramış betonarme kolonların güçlendirilmesinde, karbon elyaf takviyeli polimer (CFRP) ve çelik ceketleme uygulanmasının etkinliğini araştırmışlardır. Toplam 14 adet betonarme kolon değişken aksenal yük ve çevrimsel yatay yük altında test edilmiştir. Bu çalışmada incelenen değişkenler arasında, farklı güçlendirme tekniklerinin etkinliği, inşaat demirinin korozyon derecesi, aksenal yük, CFRP levhaları ve çelik ceketin etkileri de

bulunmaktadır. Korozyona uğramış betonarme kolonların iki kat CFRP levha ve çelik ceket ile güçlendirilmesinin, kolonların sismik performansını arttırmada etkili olduğunu ve güçlendirilmemiş olanlara kıyasla daha düşük dayanım kaybına sahip, daha kararlı histerezis eğrileri oluşturduğu görülmüştür. Ek olarak, iki kat CFRP levhaları ve çelik ceket ile güçlendirilen korozyonlu betonarme kolonların, yalnızca tek kat malzeme ile güçlendirilmiş olanlardan daha iyi davranış gösterdikleri görülmüştür (Li ve ark., 2009).

Kalyoncuoğlu ve arkadaşları (2013), donatıları korozyona maruz kalması nedeniyle hasar görmüş dört kolonun sismik performansı üzerine deneysel bir çalışma yapmışlardır. Bu amaçla, standartlara uymayan dört kolon, yüksek aksel yük ve döngüsel yanal yük altında test edilmiştir. Kolonlar son derece düşük kaliteli betondan ve nervüzsüz donatılardan imal edilmiştir. Referans numuneler hariç, diğer numuneler hızlandırılmış korozyon işlemine tabi tutulmuştur. Korozyon hasarı gören numunelerden biri rehabilitasyon / onarım prosedüründen önce test edilmiş, diğer iki numune ise onarım prosedüründen sonra test edilmiştir. Referans numunesinin beton dayanımının çok düşük olması ve donatının düz yüzeyli olması sebebiyle korozyon, beton ve donatı arasındaki aderansın erken kaybolmasına neden olmuş, bu yüzden hesaplanan teorik eğilme dayanımına erişilememiştir. Üçüncü numunenin yapısal harçla onarılması dayanımda artış sağlarken süneklikte etkili olamamıştır. Dördüncü korozyon hasarlı numunenin iyileştirme işleminde uygulanan yapısal harç üzerine FRP sargı, hem dayanım hem de sünekliğinde önemli derece artış sağlamıştır (Kalyoncuoglu ve ark., 2013).

Aditya ve arkadaşları (2019), betonarme kolonların sismik performansının iyileştirilmesine yönelik bir çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında, 5 tanesi sargı donatısı yetersiz, standartlara uygun olmayacak şekilde, 1 tanesi standartlara uygun olacak şekilde toplam 6 adet tam ölçekli betonarme kolon numunesi üreterek test etmişlerdir. Standartlara uygun olan ve olmayan birer numune referans olarak bırakılmış, geriye kalan 4 numunenin donatıları ağırlık kayıpları %30 olacak şekilde hızlandırılmış korozyona maruz bırakılmıştır. Korozyon hasarlı 4 kolondan biri yine referans olarak seçilmiş, diğer üç kolonun ilki yüksek performanslı elyaf takviyeli beton (HPFRC) ile diğer ikisi ise fiber betonla güçlendirildikten sonra tek kat ve iki kat cam elyaf takviyeli polimer (GFRP) ile sargılamışlardır. Tüm numuneler, sabit aksel yük ve tersinir-tekrarlanır çevrimsel yük altında test edilmiştir. HPFRC ile güçlendirilen numune, standartlara uygun olmayan numune ile karşılaştırıldığında daha sünek ve enerji yutma

kapasitesi daha yüksek olarak elde edilmiş, fakat standartlara uygun numunenin yük taşıma kapasitesine erişememiştir. Tek kat ve iki kat GFRP uygulanan numunelerin ise, standartlara uygun olarak üretilen numunenin dayanım, süneklik ve enerji yutma kapasitesine ulaştığı görülmüştür (Rajput ve ark., 2019).

Liu ve Li (2018), çalışmalarında, 12 adet betonarme kolonu sabit eksenel yük altında yarı statik döngüsel yüke maruz bırakmışlardır. Deneysel parametre olarak, hacimsel etriye oranı, korozyon hasar yüzdesi, epoksi reçine bağlayıcılı polietilen tereftalat (PET) ve cam fiber takviyeli polimer (CFRP) seçilmiştir. Çalışmanın temel amacı, kesme dayanımı yetersiz elemanların, cam fiber takviyeli polimer yerine maliyeti daha düşük olan ve geri dönüşümden elde edilen (örneğin pet şişeler) polietilen tereftalat (PET) veya polietilen naftalat (PEN) elyaflar ile sargılanması konusunda ki etkinliğinin araştırılmasıdır. Betonarme kolonların deprem performansları, yük-deplasman eğrileri, enerji yutma kapasiteleri, yatay ötelenme oranları ve rijitlik azalmalarına bakılarak yorumlanmıştır. Deneysel sonuçlar, PET-600 ve CFRP ile güçlendirilmiş kolonların, temel olarak aynı sismik performansa sahip olduğunu göstermiş ve PET-600'ün yapı güçlendirme alanında yeni bir yüksek performanslı güçlendirme malzemesi türü olarak kullanılabileceğini ortaya koymuştur. (Liu ve Li, 2018).

Du ve arkadaşları (2013), betonarme kirişlerin yapısal performansı üzerinde donatı korozyonunun etkisini araştırmışlardır. 5 adet betonarme kiriş üretilmiş ve kirişler dayanımlarının %60'ına kadar yüklendikten sonra korozyon hasarına maruz bırakılmış ve daha sonra göçme noktasına kadar yüklemeye devam edilmiştir. Korozyon hasarlı kirişlerin korozyon hasarsız kirişlere göre %60'dan sonra yapılan yüklemelerde ani dayanım kayıpları ile göçme noktasına ulaştığı görülmüştür (Du ve ark., 2013).

Ghaffari ve arkadaşları (2013), çalışmalarında, korozyon hasarlı betonarme kolonların düşük maliyetle güçlendirilmesi üzerine bir teknik önermişlerdir. Çalışmalarında biri referans olmak üzere dört adet betonarme kolon üretmişler ve kolonların 3 tanesinin de donatı en kesit kaybı %46 olacak şekilde hızlandırılmış korozyona maruz bırakmışlardır. Korozyona maruz kalan 3 kolondan iki tanesi güçlendirilmiştir. Düşük maliyetli güçlendirme tekniği olarak, kolon donatıları ve filiz donatılarında oluşan kesit kayıplarını kaynakla doldurularak ve kaynakla doldurulmuş kesitleri birbirleri ile kaynatarak uygulamışlardır. Betonarme kolonlar güçlendirildikten sonra tüm kolonlar

sabit aksel ve tersinir-tekrarlanır yatay yük altında test edilmiştir. Deneysel sonuçlar, önerilen iyileştirme teknikleri, numunelerin maksimum yük taşıma kapasitelerini kısmen artırsa da, dayanım, süneklik ve enerji yutma kapasitelerinde önemli bir iyileşme meydana getirmediğini göstermiştir (Ghaffari, 2013).

Bousias ve ark. (2002), korozyon hasarına uğramış betonarme kolonlarının sismik yenileme çalışmalarını incelemiştir. 18-20 MPa beton dayanımına ve korozyonlu donatılara sahip kolonlar, yönetmeliklere uymayacak şekilde tasarlanmıştır. Daha sonra bu kolonlar sabit aksel yük ve tersinir çevrimsel yük altında test edilmek üzere farklı tip ve sargı katmanı olarak kombine edilerek incelenmiştir (Bousias ve ark., 2002).

Lee H. ve ark. (2003), karbon elyaf levhalarla güçlendirilmiş korozyon hasarlı betonarme kolonlar üzerine bir çalışma yapmışlardır. Donatıları farklı seviyelerde korozyon hasarına sahip ve karbon fiber levha (CFS) ile güçlendirilmiş betonarme kolonları çevrimsel bir yatay yükleme altında test etmişlerdir. Sonuç olarak, yapısal davranışlarındaki bozulmanın temel nedeninin, kabuk betonunun dökülmesinden ve korozyona dayanıklı donatının mekanik özelliklerini kaybetmesinden kaynaklandığını belirtmişlerdir. Aksel kuvvetin baskın olduğu çekirdek betonunda, korozyon hasarının fazla olduğu etriyelerde kopma ve boyuna donatılarda çevrimsel yükten dolayı meydana gelen burkulma yüzünden ani kesme kırılmalarının olduğu görülmüştür. CFS'yi kullanarak kesme kuvvetine karşı yapılan güçlendirmede, bağ çözülmesini ve kesme çatlaklarının gelişmesini engelleyerek, sargı etkisinden dolayı süneklikte bir miktar artış sağlamışlardır (Lee ve ark., 2003).

Literatür incelemesinden de görüldüğü üzere, mineral katkı kullanılarak üretilen betonarme kolonların korozyon ve deprem davranışı ile ilgili bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu yüzden, bu çalışma sayesinde literatürde eksikliği görülen korozyon hasarlı mineral katkılı kolonların yatay yükleme altında davranışları incelenerek, literatürdeki mevcut açık kapatılmaya çalışılmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tez çalışmasında, CEM I 42.5R çimentosu kullanılarak üretilen betonarme kolon içerisinde çimento yerine ağırlıkça yüksek fırın cürufu (YFC) ve uçucu kül (UK) kullanımının, betonarme kolon içerisindeki donatının korozyon performansına etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla, içerisinde hiçbir mineral katkının bulunmadığı 280 kg/m³ çimento dozajlı 3 adet betonarme kolon numunesi, kontrol serisi olarak üretilmiştir. Mineral katkılı serilerde ise, çimentonun yerine çimento miktarının %20'si ve %40'ı oranında YFC, %10'nu ve %20'si oranında UK kullanılarak her bir seriden 3'er adet olmak üzere 12 adet betonarme kolon numunesi üretilmiştir. Dolayısıyla çalışma kapsamında toplam 15 adet betonarme kolon numunesi 5 farklı beton karışım oranı hazırlanarak tasarlanmıştır. Her bir serinin bir numunesi referans olarak seçilmiş, geriye kalan iki numune iki farklı seviyede (%10 ve %30 ağırlık kaybı) sabit voltaj altında korozyon hasarına maruz bırakılmıştır. Çalışma kapsamında kullanılan mineral katkı oranları ve korozyon hasar yüzdeleri literatüre uyumlu olarak seçilmiştir. Beton karışımında kullanılacak mineral katkı yüzdeleri ve korozyon seviyeleri Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Mineral katkı yüzdeleri ve korozyon seviyeleri

Numunelerin isimlendirilmesi	Çimento ve mineral katkı oranları			Korozyon Seviyesi		
	Çimento (%)	YFC (%)	UK (%)	%0	%10	%30
Kontrol-%0	100	-	-	+	-	-
Kontrol-%10	100	-	-	-	+	-
Kontrol-%30	100	-	-	-	-	+
YFC20-%0	80	20	-	+	-	-
YFC20-%10	80	20	-	-	+	-
YFC20-%30	80	20	-	-	-	+
YFC40-%0	60	40	-	+	-	-
YFC40-%10	60	40	-	-	+	-
YFC40-%30	60	40	-	-	-	+
UK10-%0	90	-	10	+	-	-
UK10-%10	90	-	10	-	+	-
UK10-%30	90	-	10	-	-	+
UK20-%0	80	-	20	+	-	-
UK20-%10	80	-	20	-	+	-
UK20-%30	80	-	20	-	-	+

Numunelerin isimlendirilmesinde ilk terim kullanılan mineral katkı türünü, ikinci terim mineral katkının yüzdesini, üçüncü terim korozyon seviyesini temsil etmektedir. Örneğin, YFC40-%10 terimi mineral katkı olarak yüksek fırın cürufunun çimentonun

yerine ağırlıkça %40 oranında kullanıldığını, son terim olan % 10 ise korozyon seviyesini göstermektedir.

3.1. Deney Numunelerinin Tasarlanması ve Detaylandırılması

Tez çalışması için ilk önce geniş çaplı bir literatür taraması yapılmıştır. Literatür taramasından sonra deneysel program; beton dizaynlarının yapılması ve malzemelerin mekanik deneyleri, deneysel numunelerin tasarlanması ve üretilmesi, hızlandırılmış korozyon deneyleri ve yatay yükleme deneyleri olarak dört aşamada gerçekleştirilmiştir.

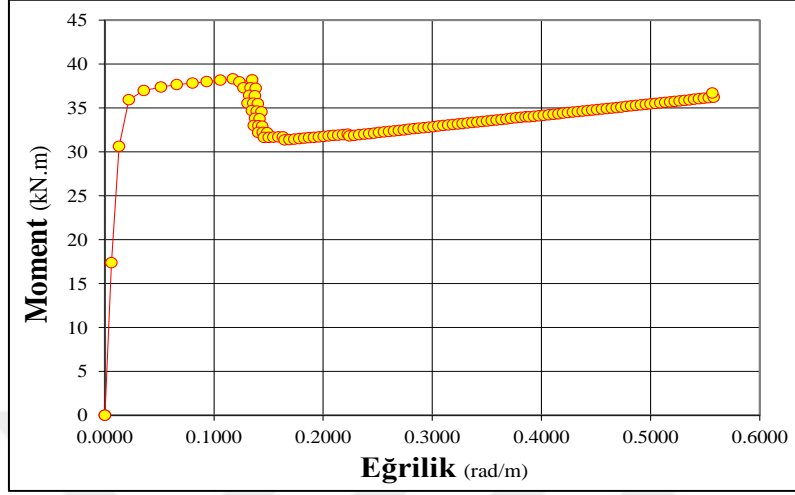
3.1.1. Numunelerin Tasarlanması

Laboratuvar ortamında numuneler, mevcut hidrolik silindir, kren kirişi ve yük hücrelerinin kapasiteleri düşünülerek; 1/2, 1/3 vb. ölçeklerde üretilmektedir. Bu bölümde, hızlandırılmış korozyon testine maruz bırakmak amacıyla 1/2 ölçekli bir betonarme kolon numunesinin ön tasarımı yapılmıştır. Ön tasarım hesabında kullanılan malzeme mekanik özellikleri ve numune geometrik özellikleri şunlardır:

- $b=200$ mm
- $h=300$ mm
- $L= 1500$ mm
- $f_c= 30$ MPa
- Enine ve boyuna donatı sınıfı= B420C
- Enine ve boyuna donatı ortalama akma dayanımı = 420 MPa
- Boyuna donatı çapı ve adedi= 6 Φ 12
- Enine donatı çapı ve aralığı= 22 Φ 8/7/10/5
- $E_c= 3250\sqrt{f_c} + 14000 = 31800$ MPa (TS500, 2000)
- $E_s= 200000$ MPa
- $d'=23$ mm

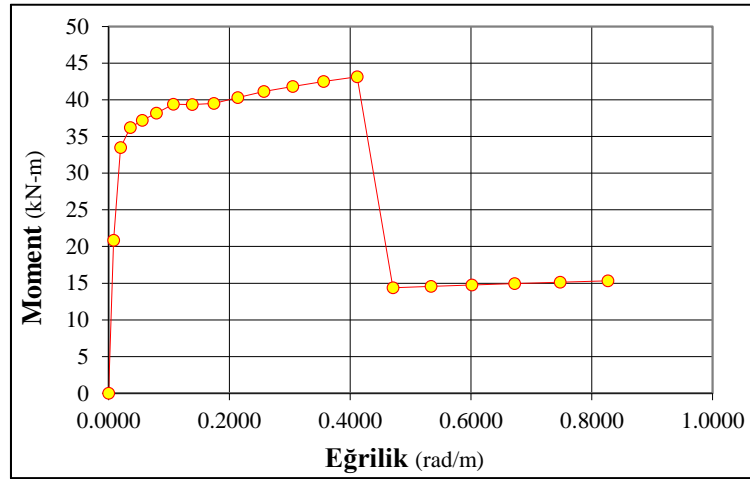
Deneyler sırasında numunelerde hasarın eğilmeden dolayı oluşması için gereken kontroller yapılmıştır. Ayrıca, betondaki sargı etkisini ve donatıdaki pekleşmeyi dikkate alarak, deney numunelerine ait taşıma gücü momentlerini ve buna bağlı olarak taşıyabileceği yüklerin belirlenmesinin, daha gerçekçi sonuçlar vereceği düşünülmüştür. Bu yüzden, kesitlere ait moment-eğrilik grafikleri elde edilmiştir. Teorik olarak yapılan taşıma gücü momenti hesabıyla, Ersoy ve Özcebe (2016) kitabında bulunan hesap programı ve SAP2000 (2016) programı kullanılarak bulunan taşıma gücü momenti

karşılaştırılmıştır (Ersoy, 2016; SAP2000, 2016). Ersoy ve Özcebe (2016) kaynağında bulunan hesap programı ile numunenin akma momenti $M_y = 36,250$ kN-m olarak elde edilmiştir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Deneysel numunenin moment-eğrilik ilişkisi(Ersoy, 2016)

SAP2000 (2016) programı ile moment kapasite hesabı yapıldığında; $M_y = 36,202$ kN-m elde edilmiştir. Şekil 3.2’de SAP2000 (2016) programından elde edilen moment eğrilik ilişkisi gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Deneysel numunenin moment-eğrilik ilişkisi(SAP2000, 2016)

Moment kapasitesine karşılık gelen kesme kuvveti hesaplandığında 24.16 kN elde edilmektedir.

$$V_e = \frac{M}{h} = \frac{36,250}{1,5} = 24,16 \text{ kN} \quad (3.1)$$

Seçilen numunenin kesme kuvveti taşıma kapasitesi TS 500-2000’e (TS500, 2000) göre;

$$V_r = V_s + V_c \quad (3.2)$$

$$V_r = \left(\frac{A_{sw}}{s}\right) f_{yw} \times d + 0.80 V_{cr} \quad (3.3)$$

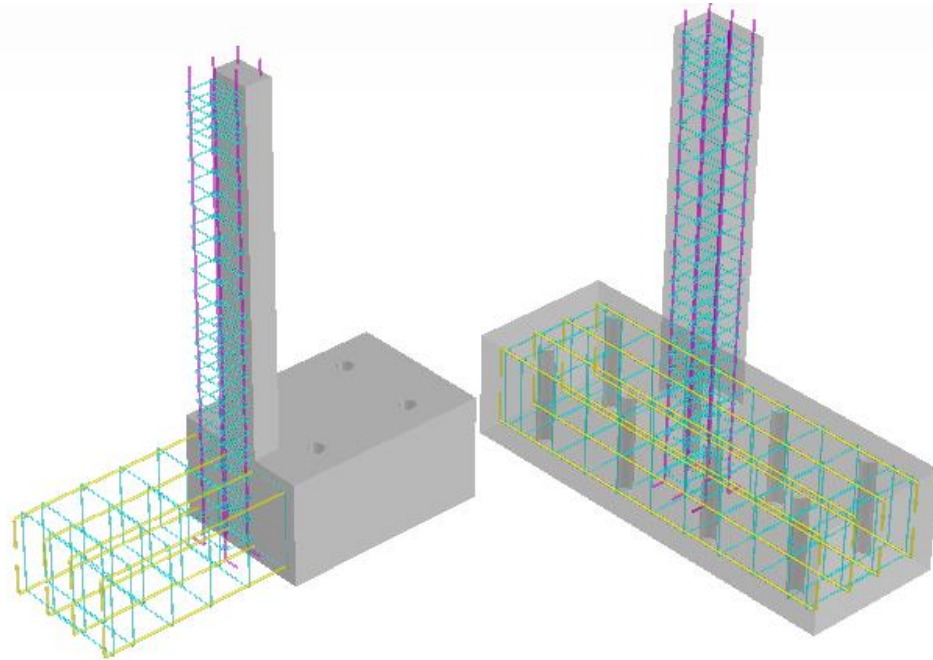
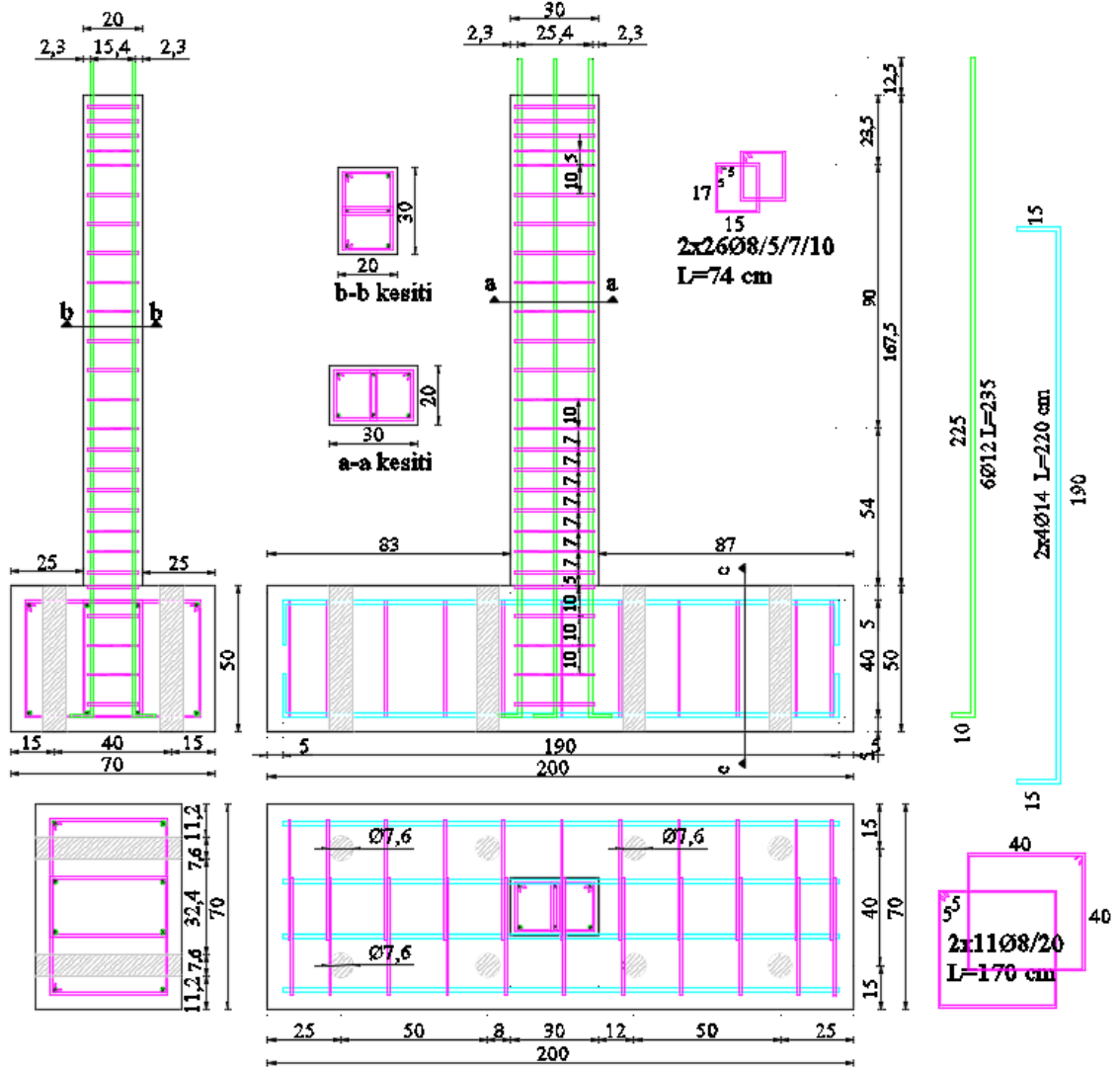
$$V_r = \left(\frac{A_{sw}}{s}\right) f_{yw} \times d + 0,8 * 0.65 \times f_{ct} \times b \times d \quad (3.4)$$

$$V_r = \left(\frac{2*50}{70}\right) 420 \times 277 + 0,8 \times 0.65 \times 0,35 \times \sqrt{30} \times 200 \times 277 = 22.14t = 221.4 kN \quad (3.5)$$

şeklinde elde edilmektedir. Ön tasarımı yapılan numunelerin kesme dayanımının yeterli olduğu ve öngörüldüğü gibi kolonlarda eğilme hasarından dolayı yük taşıma kapasitesine ulaşılacağı görülmüştür.

3.1.2. Numunelerin Özellikleri

Kolonlar dikdörtgen en kesitli olup, kesit boyutları ½ geometrik ölçeğinde 20×30cm olarak seçilmiştir. Yüksekliği 167,5 cm olan konsol kolonlar, temelde meydana gelen oturma ve dönmeler çalışma kapsamında dikkate alınmayacağı için, boyutları 50×70×200 cm olan rijit bir temel ayağı ile desteklenmiştir. Betonarme kolon numunelerini, rijit döşeme üzerine sabitleyebilmek için, temelde 8 adet $\Phi 7.6$ cm çapında tij boşlukları bırakılmıştır. Kolonda 6 $\Phi 12$ boyuna donatı ve $\Phi 8/7/10$ cm'lik enine donatı kullanılmıştır. Kolonda boyuna donatıların $\Phi 12$ olarak kullanılmasında hem deneysel numunelerin 1/2 ölçekli olması hem de boyuna donatı oranı ve kesitte boyuna donatı yerleşim düzeni göz önünde bulundurulmuştur. $\Phi 8$ çapından daha küçük kesitli donatıların piyasadan zor temin edilmesi ve deneysel elemanların korozyon hasarına maruz kalacağı için etriyelerin çapında geometrik ölçekten dolayı bir azaltmaya gidilmemiştir. Ayrıca hızlandırılmış korozyon deneyleri sırasında, etriyelerde her hangi bir yalıtım(epoksi vb.) kullanılmayacaktır. Bu yüzden, elektroliz devreye seri şekilde bağlı olan her bir boyuna ve enine donatı arasında korozyon hasarının homojen bir şekilde dağılmasını sağlamak için birim boydaki kütle miktarları yakın olacak şekilde bir tasarım yapılmıştır. Numuneler TBDY-2018'e uygun olarak detaylandırılmıştır (TBDY, 2018). Temelde ise alt ve üst eğilme donatısı olarak 4 $\Phi 14$ ve kesme donatısı olarak da 2 $\Phi 8/20$ cm'lik etriyeler kullanılmıştır. Kolonun paspayı 2.3cm, temel ayağının paspayı ise 5 cm olarak belirlenmiştir. Şekil 3.3'de numune detayları, Şekil 3.4'de numunelerin 3 boyutlu izometrik görünüşü gösterilmiştir.



3.2. Kullanılan Malzemeler

3.2.1. Çimento

Deneysel çalışmalarda Konya Çimento Fabrikası'nın üretmiş olduğu TS EN 197-1 standartlı CEM I 42.5 R Portland Çimentosu kullanılmıştır (TS-EN197-1, 2012). Çimentonun kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 3.2'de gösterilmiştir.

3.2.2. Yüksek Fırın Cürufu (YFC)

Mineral katkılı serilerde, Karadeniz Ereğli Demir Çelik Fabrikası'na ait öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu kullanılmıştır. Yüksek fırın cürufuna ait kimyasal ve fiziksel özellikler Çizelge 3.2'de gösterilmiştir.

3.2.3. Uçucu Kül (UK)

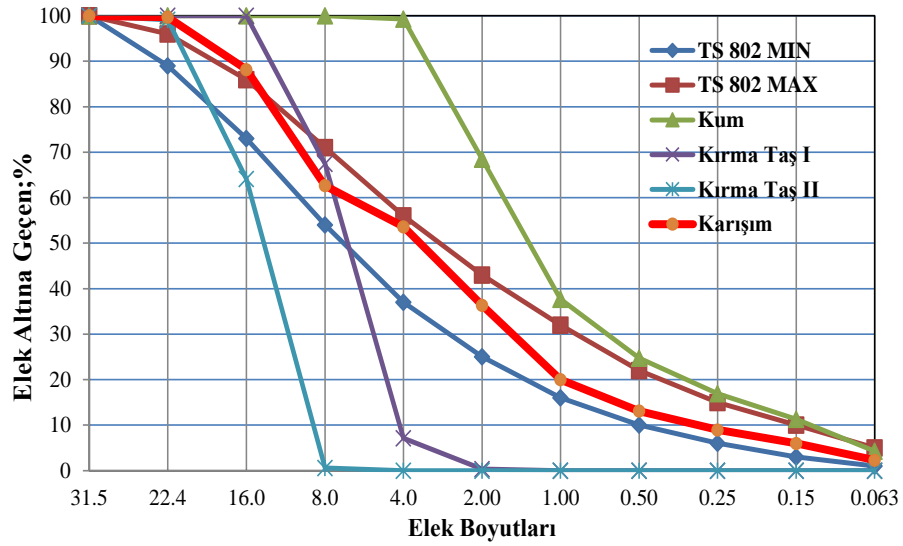
Deneylerde, Seyitömer Termik Santraline ait uçucu kül kullanılmıştır. Seyitömer Termik Santraline ait uçucu külde, $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ miktarı ortalama, % 81.71 olup ASTM C 618'e göre % 70.00'in üzerinde ve CaO'in % 10'dan az olması nedeniyle F sınıfı (düşük kireçli) uçucu kül sınıfına girmektedir (ASTM_C618-08, 2008). Uçucu küle ait kimyasal ve fiziksel özellikler Çizelge 3.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. Çimento, UK ve YFC'nin kimyasal ve fiziksel özellikleri

Kimyasal Bileşim, %	CEM I 42.5 R	UK	YFC
SiO ₂	19.31	49.81	35.6
Al ₂ O ₃	5.17	18.5	11.7
Fe ₂ O ₃	2.51	13.4	0.88
CaO	62.93	4.31	39.8
MgO	2.08	4.56	5.23
Na ₂ O	0.26	0.55	0.41
K ₂ O	0.58	1.84	1.21
SO ₃	3.36	1.45	2.16
MnO	-	-	0.91
Kükürt (S)	-	-	0.55
Cl	0.01	-	0.009
Kızdırma kaybı	1.98	3.52	0.00
Çözünmeyen Kalıntı	0.95	-	-
Serbest Kireç	1.90	-	-
Fiziksel Özellikler			
Özgül ağırlık, gr/cm ³	3.15	2.1	2.86
Özgül yüzey, cm ² /gr	3415	2835	4521

3.2.4. Agregalar

Deneylerde Konya Darbazlar Hazır Beton Ltd.Şti.'nin ocaklarından elde edilen kalker esaslı kırma kum ve kırma taş agregaları kullanılmıştır. Kaba agrega olarak kullanılan kırma taşların en büyük tane büyüklüğü 22.4 mm'dir. Karışım granülometrisinde kum, kırma taş I ve kırma taş II sırasıyla % 58, % 22 ve % 20 oranlarında kullanılmıştır. Kum, kırma taş I ve kırma taş II'nin incelik modülleri sırasıyla 2.95, 6.64, 7.77, özgül ağırlıkları sırasıyla 2.66 gr/cm³, 2.70 gr/cm³ ve 2.70 gr/cm³ olarak bulunmuştur. Agregaların ve karışımının granülometri eğrileri Şekil 3.5'de gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Agregaların ve karışımının granülometri eğrileri

3.2.5. Sodyum Klorür Tuzu ve Süper Akışkanlaştırıcı

Korozyon performanslarının belirlenmesi amacı ile yapılan hızlandırılmış korozyon deneylerinde sanayi tipi sodyum klorür tuzu kullanılmıştır. Kimyasal katkı olarak, GRACE firmasının ürünü olan DARACEM 153 yüksek oranda su azaltıcı/süper akışkanlaştırıcı beton katkısı kullanılmıştır.

3.3. Beton Karışım Oranları

Bu çalışmadaki temel amaç, betonarme kolonların korozyon performanslarını ve deprem performansına etkisini, klasik beton ve mineral katkılı beton yönünden karşılaştırmaktır. Bu amaçla inşaat sektöründe yaygın olarak kullanılan CEM I 42.5R çimentolu C30 sınıfı betonlar kontrol serileri olarak üretilmiştir. Kontrol serilerinin C30

beton kalitesinde olması için deneme karışımları hazırlanmış ve karışımlarda kullanılan çimento dozajı belirlenmiştir. Mineral katkı seriler olan, YFC'li ve UK'lı serilerde de aynı dozaj miktarları (toplam bağlayıcı miktarı olarak) kullanılmıştır. Şekil 3.6'da beton dizaynı için yapılan deneme karışımlarının hazırlanışı gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Deneme karışımlarının hazırlanması

CEM I 42.5R çimentolu kontrol serilerinin beton üretiminde, çimento dozajı 280 kg/m^3 , su/çimento oranı 0.61 olarak belirlenmiş ve çimento+mineral katkı ağırlığının % 1.5 -1.7'si oranında su azaltıcı katkı maddesi kullanılmıştır. C30 betonun üretimi için, ağırlık olarak karışım oranları Çimento: Su: Kum: Kırma Taş 1: Kırma Taş 2 = 1: 0.61:

3.95: 1.52: 1.38'dir. Ayrıca donatıların korozyonunu hızlandırmak için beton karışımına su ağırlığının % 3'ü oranında NaCl eklenmiştir.

Mineral katkı serilerde ise, çimento yerine, çimento ağırlığının % 20'si ve % 40'ı oranında YFC, % 10'nu ve % 20'si oranında UK eklenerek, toplam bağlayıcı miktarı 280 kg/m³ olarak sabit tutulmuştur. Böylece deneysel numunelerin üretimi sırasında, kontrol serileri ile beraber 5 farklı beton karışımı hazırlanmıştır. Beton karışımında kullanılan mineral katkı yüzdeleri ve korozyon seviyeleri Çizelge 3.3'de verilmiştir. Numunelerin isimlendirilmesinde ilk terim kullanılan mineral katkı türünü, ikinci terim mineral katkının yüzdesini, üçüncü terim korozyon seviyesini temsil etmektedir.

Çizelge 3.3. Beton karışım oranları, 1kg/m³ için

Seriler	Çimento kg	YFC kg	UK kg	Kum kg	K.Taş I, kg	K.Taş II, kg	Su kg	Katkı kg	NaCl kg	Korozyon Seviyesi (%)
Kontrol-%0	280	-	-	1106	426	387	171	4.2	5.13	0
UK10-%0	252	-	28	1099	423	385	171	4.48	5.13	
UK20-%0	224	-	56	1092	420	382	171	4.76	5.13	
YFC20-%0	224	56	-	1103	425	386	171	4.48	5.13	
YFC40-%0	168	112	-	1100	423	385	171	4.76	5.13	
Kontrol-%10	280	-	-	1106	426	387	171	4.2	5.13	10
UK10-%10	252	-	28	1099	423	385	171	4.48	5.13	
UK20-%10	224	-	56	1092	420	382	171	4.76	5.13	
YFC20-%10	224	56	-	1103	425	386	171	4.48	5.13	
YFC40-%10	168	112	-	1100	423	385	171	4.76	5.13	
Kontrol-%30	280	-	-	1106	426	387	171	4.2	5.13	30
UK10-%30	252	-	28	1099	423	385	171	4.48	5.13	
UK20-%30	224	-	56	1092	420	382	171	4.76	5.13	
YFC20-%30	224	56	-	1103	425	386	171	4.48	5.13	
YFC40-%30	168	112	-	1100	423	385	171	4.76	5.13	

3.4. Deney Numunelerinin Üretilmesi

Numuneler prefabrik yapı elemanları üreten BETOKAV A.Ş. tesislerinde üretilmiştir. Deney elemanlarının üretimi iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Tüm numunelerde, temeller özdeş olduğu için ilk olarak temellerin betonları dökülmüş olup, ikinci aşamada beton serilerine göre üçerli gruplar halinde kolonların üretimi yapılmıştır. Numunelerin üretimi tamamlandıktan sonra, Konya Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü Deprem Araştırma Laboratuvarına nakledilmiştir.

3.4.1. Temellerin Üretilmesi

Betonarme numunelerin temellerinde meydana gelen oturma ve dönmeler çalışma kapsamı dışında olduğu için, boyutlar oldukça rijit seçilmiş ve tüm temeller özdeş, C30 beton sınıfı kalitesinde hazır beton ile üretilmiştir.

Numuneler hazırlanırken ilk olarak kalıplar imal edilmiştir. Kalıplar 3 mm kalınlığında saç yüzeyli çelik kalıplardan oluşmaktadır. Daha sonra kolon donatıları ile beraber dışarıda hazırlanan temel donatıları kalıplara yerleştirilmiştir. Ayrıca, numuneleri deprem laboratuvarındaki rijit yer döşemesine sabitleyebilmek için, temel donatıları yerleştirildikten sonra her bir numunenin temeline 8 adet 76 mm çapındaki PVC borular önceden belirlenen mesafelere yerleştirilmiştir. Böylece beton dökümü esnasında bu deliklerin kapanması engellenerek, tij delikleri oluşturulmuştur. Numuneleri taşımak için de, temelin dört tarafına kancalar yerleştirilmiştir.

Betonarme numunelerin temellerinde, alt ve üst eğilme donatısı olarak $4\Phi 14$, kesme donatısı olarak da $2\Phi 8/20\text{cm}$ 'lik etriyeler kullanılmıştır. Temel ayağında paspayı 5 cm olarak belirlenmiştir. Kolon boyuna donatıları yekpare şekilde, bindirme bölgesi yapılmadan temele yerleştirilmiştir. Kolon-temel birleşimindeki etriyeler, kolon alt yüzünden temel alt yüzüne doğru 10 cm ara ile daha önceden belirtilen hususlar dikkate alınarak düzenlenmiştir. Şekil 3.7'de donatıların numune kalıplarına yerleştirilmesi gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Numune kalıplarına donatıların yerleştirilmesi

Şekil 3.8.a'da temel betonlarının döküm işlemi, Şekil 3.8.b'de küp numune alımı gösterilmiştir. Beton döküm işlemi sırasında betonun iyi yerleşmesini sağlamak amacı ile vibrasyon işlemi uygulanmıştır (Şekil 3.8.c). Temel beton dökümleri 5'erli gruplar halinde 3 seferde dökülmüştür. Her bir gruptan 3 adet olmak üzere, toplamda 9 adet standart beton küp numunesi alınmıştır. Temel döküm işleminden sonra deneysel numuneler 7 gün boyunca sabah akşam sulanarak kür işlemi uygulanmıştır. Küp numunelere de aynı kür işlemi uygulanarak, aynı ortamda muhafaza edilmiştir. Küp numuneler 7 günlük kür süresinden sonra aynı ortamda 28. güne kadar bekletilmiş ve sonrasında basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Şekil 3.9'da temel kalıpları söküldükten sonra numunelerin durumu gösterilmiştir.



Şekil 3.8. a) Temel betonunun kalıba yerleştirilmesi b) Küp numune alımı c) Vibrasyon işlemi



Şekil 3.9. Temel kalıpları söküldükten sonra numunelerin durumu

Şekil 3.10' da ise küp numunelerin test edilmesi gösterilmiştir. Küp numunelerinin basınç dayanımları 0.8 katsayısı ile çarpılarak silindir basınç dayanımları elde edilmiştir. Yapılan testler sonucunda temel betonunun ortalama silindir basınç dayanımı 32.40 MPa olarak elde edilmiştir. Çizelge 3.4'de temel betonundan alınan küp numunelerin beton basınç dayanımları gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Küp numunelerin test edilmesi

Çizelge 3.4. Küp numunelerin beton basınç dayanımları (temel betonu için)

Numune No	Ağırlık (gr)	Yük (kN)	Kesit Alanı (cm ²)	Küp Dayanımı (Mpa)	Ortalama Küp Dayanımı (Mpa)	Silindir Dayanımı (Mpa)	Ortalama Silindir Dayanımı (Mpa)
1	8794.2	964.8	225	42.88		34.30	
2	8494.7	932.0	225	41.42		33.14	
3	8258.9	906.1	225	40.27		32.22	
4	8051.7	883.4	225	39.26		31.41	
5	8021.0	880.0	225	39.11	40.50	31.29	32.40
6	8051.7	883.4	225	39.26		31.41	
7	8260.9	906.3	225	40.28		32.22	
8	8466.0	928.8	225	41.28		33.02	
9	8351.2	916.2	225	40.72		32.58	

3.4.2. Kolonların Üretilmesi

Numuneler 2 aşamalı olarak üretildiğinden dolayı, kolon-temel birleşiminde aderansı artırmak için, kolon üretiminden önce temel yüzeyinde pürüzlendirme işlemi yapılmıştır. Pürüzlendirme işleminin ardından 3 mm kalınlığındaki saç kalıplar birleştirilerek kolon kalıpları imal edilmiştir (Şekil 3.11.a). Kolon kalıpları beton dökümü öncesinde her iki yönde düşey doğrultuda şakülüne getirilmiştir (Şekil 3.11.b).



Şekil 3.11. a) Kolon kalıp imalatı b) Düşey terazinin ayarlanması

Kalıp imalatından sonra kolonlar için daha önceden hazırlanan beton karışım oranlarına göre betonlar hazırlanmıştır. Beton döküm işlemi santral bazında yapılmış olup, ilave edilecek olan mineral katkıları ve sanayi tipi NaCl tuzu santralin bandından karışıma ilave edilmiştir. İlk olarak 3 adet kontrol numunesinin beton döküm işlemi gerçekleştirilmiştir. Beton dökümü sırasında 150×150×150 mm boyutlarındaki küp numune ve $\Phi 100 \times 200$ mm boyutlarındaki silindir numune örnekleri alınmıştır. Şekil 3.12.a-c'de kontrol serilerinin beton döküm işlemi ve numune alımları gösterilmiştir.



Şekil 3.12. a) Kontrol serilerin kolon beton dökümü b) Vibrasyon işlemi c) Küp numune örneklerinin alımı

Kontrol serilerinin 2 gün sonra kalıpları açılmış, ardından mineral katkılı serilerin beton döküm işlemleri gerçekleştirilmiştir. Mineral katkılı seriler; çimentonun yerine

çimento ağırlığının % 10 ve % 20'si oranında uçucu kül ilaveli ve % 20 ve % 40'ı oranında yüksek fırın cürufu ilaveli serilerdir. Toplam 6 adet kolon kalıbı olduğu için her iki seri ayrı günlerde dökülmüştür. Mineral katkılı serilerin her birinden, 150×150×150 mm boyutlarındaki küp numune ve Φ 100x200 mm boyutundaki silindir numune örnekleri alınmıştır. Su ağırlığının %3'ü oranında NaCl sanayi tipi tuz ve mineral katkıları bunkerlerden gelen band yardımı ile karıştırma kazanına ilave edilmiştir. Şekil 3.13'de beton karışımlarının hazırlanması, bantlardan mineral ve NaCl tuzunun ilave edilmesi (Şekil 3.13.a), numune alım örnekleri (Şekil 3.13.b-c) ve transmikserler yardımıyla beton döküm işlemleri gösterilmiştir (Şekil 3.13.d-e).



Şekil 3.13. a) Beton karışımlarının hazırlanması b-c) Küp ve silindir numunelerin alımı d-e) Mineral katkı kolonların beton döküm işlemi

Betonu dökülen deney numuneleri, beton dökümünden 2 gün sonra kalıptan çıkarılmış ve 7 gün boyunca fabrikada kür işlemi uygulanmıştır. Beton basınç dayanımı,

beton döküldükten 7 gün sonra karakteristik dayanımının yaklaşık %70'ine ulaşmaktadır. Bu yüzden, laboratuvara taşıma sırasında numunelerin hasar görmemesi için 7 gün boyunca numuneler fabrikada bekletilmiş, daha sonra deneylerin yapılacağı Konya Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Deprem Araştırma Laboratuvarı'na taşınmıştır. Laboratuvarda bulunan vinç vasıtasıyla deney numuneleri, hızlandırılmış korozyon işlemi için sıralanmış ve 28 günlük kür süresi dolana kadar kür işlemine devam edilmiştir. Küp ve silindir numunelere ise 28 gün boyunca kirece doymun su havuzlarında kür işlemi yapılmıştır. Deney numunelerinin kalıptan çıkmış hali ve kür işleminin uygulanması Şekil 3.14'de gösterilmiştir.



Şekil 3.14. Numunelere laboratuvarda kür işlemi

3.5. Beton Serileri ile İlgili Yapılan Deneyler

Üretilen beton serilerine ait numunelerin mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla basınç ve yarmada-çekme deneyleri yapılmıştır. Beton serilerin, dayanıklılık özelliklerini belirlemek amacıyla da, hızlı klorür geçirimliliği, elektriksel direnç deneyi ve hızlandırılmış korozyon deneyleri yapılmıştır. Yapılan mekanik ve dayanıklılık deneyleri ile ilgili ayrıntılı bilgiler aşağıda alt başlıklar halinde verilmiştir. Numuneler üzerinde yapılan malzeme deneyleri Afyon Kocatepe Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Malzemeleri Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

3.5.1. Beton Basınç Dayanımı Deneyi

Beton serilerinden alınan 150×150×150 mm boyutlarındaki, 28 gün boyunca suda bekletilen küp numuneler üzerinde basınç dayanım deneyleri yapılmıştır. Deneylerde 2000 kN kapasiteli beton presisi ile 0.3 MPa/sn’lik sabit hızla yüklenen numunelerin basınç dayanım deneyleri, TS EN 12390-3 standardına uygun olarak yapılmıştır (TS-EN12390-3, 2019). Numunelerin kırılma yükü (P_k), yüzey alanlarına (A_c) bölünerek (P_k/A_c), basınç dayanımları tayin edilmiştir. Çizelge 3.5’de beton serilerine ait beton basınç dayanımları özetlenmiştir. Numunelerin silindir dayanımlarını belirlemek için, küp dayanımları 0.8 katsayısı ile çarpılmıştır.

Çizelge 3.5. Beton serilerine ait beton basınç dayanımları

Seriler	Numune No	Ağırlık (gr)	Yük (kN)	Kesit Alanı (cm ²)	Küp Dayanımı (MPa)	Ort. Küp Dayanımı (MPa)	Silindir Dayanımı (MPa)	Ort. Silindir Dayanımı (MPa)
Kontrol	1	8022.2	822.11	225	36.54	36.46	29.23	29.17
	2	8043	825.07	225	36.67		29.34	
	3	8083.2	812.1	225	36.09		28.87	
	4	8012	817.99	225	36.36		29.08	
	5	8038	819.43	225	36.42		29.14	
	6	8062.6	826	225	36.71		29.37	
UK10	1	8023	935.28	225	41.57	40.07	33.25	32.05
	2	8019	884.97	225	39.33		31.47	
	3	7973.6	920	225	40.89		32.71	
	4	7965.8	867	225	38.53		30.83	
	5	7973.2	895	225	39.78		31.82	
	6	7981.2	907	225	40.31		32.25	
UK20	1	8063	893.7	225	39.72	38.89	31.78	31.11
	2	8157	898.88	225	39.95		31.96	
	3	8071	908	225	40.36		32.28	
	4	8097	830	225	36.89		29.51	
	5	8086	867	225	38.53		30.83	
	6	8029.6	853	225	37.91		30.33	
YFC20	1	8060	941.1	225	41.83	39.29	33.46	31.43
	2	8145	890.3	225	39.57		31.66	
	3	8054	849	225	37.73		30.19	
	4	8063	888	225	39.47		31.57	
	5	8020.8	855	225	38.00		30.40	
	6	8042.4	881	225	39.16		31.32	
YFC40	1	8112	1032.03	225	45.87	43.69	36.69	34.95
	2	8102	996.6	225	44.29		35.43	
	3	8027	905	225	40.22		32.18	
	4	8096	1066	225	47.38		37.90	
	5	8066.2	937	225	41.64		33.32	
	6	8113.2	961	225	42.71		34.17	

Çizelge 3.5 incelendiğinde; tüm serilerde toplam bağlayıcı miktarı (çimento veya çimento+mineral katkı) 280kg/m³ olmasına rağmen, Kontrol serisinin basınç dayanımı

29.17 MPa elde edilirken, UK10, UK20, YFC20 ve YFC40 mineral katkılı serilerin beton basınç dayanımlarında sırasıyla % 10.01, % 6.8, % 7.8, % 20.02'lik artışlar meydana gelmiştir. UK'lı serilerde mineral katkı oranının artması basınç dayanımını % 2.8 azaltırken, YFC'li serilerin dayanımında % 11.2 artış olduğu görülmektedir. Sonuç olarak, mineral katkı kullanılan serilerin basınç dayanımı ortalamaları Kontrol serilerinden daha yüksek çıkmıştır. Şekil 3.15'de numunelerin basınç dayanım deneyi gösterilmiştir.



Şekil 3.15. Numunelerin basınç dayanım deneyi

3.5.2. Yarmada-Çekme Deneyi

Beton serilerinin çekme dayanımlarını belirlemek için yarmada-çekme dayanım deneyleri TS EN 12390-6'ya uygun olarak yapılmıştır (TS-EN12390-6, 2010). Yarmada-çekme dayanımları 28 gün boyunca suda bekletilen silindir numuneler üzerinde yapılmıştır. Kontrol ve mineral katkılı serilerin her birinden 3'er adet $\Phi 100 \times 200$ mm boyutlarında ki silindir numuneler, pres tablasına boyuna olarak yerleştirilmiştir. Böylece, çizgisel bir basınç kuvveti numuneler üzerine 0.05 MPa/sn yükleme hızıyla uygulanmış, buna dik doğrultuda numuneler üzerinde çekme gerilmeleri oluşturulmuştur. Artan basınç yükü altında, betonun çekme dayanımına ulaşması sonucu, numunelerde boyuna şekilde kırılmalar gözlemlenmiştir. Kırılma yükü belirlendikten sonra, çekme gerilmeleri Denklem 3.6 ile hesaplanmıştır.

$$\sigma_{y\zeta} = \frac{2P_k}{\pi LD} \quad (3.6)$$

Bu denklemde, $\sigma_{y\zeta}$ (MPa) yarmada-çekme dayanımı, P_k (N) kırılma yükü, D (mm) numunenin çapını, L (mm) numunenin boyunu ifade etmektedir. Şekil 3.16'da yarmada-

çekme deneylerinin yapıldığı test cihazı ve deneyden sonra numunelerin durumları gösterilmiştir. Deney sonunda numuneler incelendiğinde, bağlayıcılar ile agregalar arasında bir kopma meydana gelmediği, numunelerin agregalarında kopmalar meydana gelerek yarmada-çekme dayanımlarına ulaştığı görülmüştür. Çizelge 3.6'da beton serilerine ait numunelerin yarmada çekme dayanım sonuçları özetlenmiştir.



Şekil 3.16. Yarmada-çekme deney cihazı ve deney sonunda numunelerin görünümü

Çizelge 3.6. Beton serilerin yarmada-çekme dayanımları

Seriler	Numune No	Çap (mm)	Boy (mm)	P (Kırılma Yüğü) (kN)	Çekme Dayanımı (MPa)	Ort. Çekme Dayanım (MPa)
Kontrol	1	105.69	199	110.01	3.33	3.15
	2	105.94	200	88.82	2.67	
	3	105.61	186	106.61	3.46	
UK10	1	105.74	201	98.52	2.95	3.17
	2	105.25	201	112.6	3.39	
	3	105.4	201	105.6	3.17	
UK20	1	106.06	202	110.82	3.29	3.36
	2	105.15	203	114.86	3.43	
	3	105.1	201	111.7	3.37	
YFC20	1	105.95	201	119.55	3.58	3.31
	2	105.35	200	100.79	3.05	
	3	104.5	201	109.5	3.32	
YFC40	1	105.65	201	119.39	3.58	3.48
	2	106.68	202	114.05	3.37	
	3	105.5	202	117.2	3.50	

3.5.3. Elektriksel Direnç Deneyi

Betonun elektriksel direncinin betonun kalitesi, bağıl nem, betonun doygunluk derecesini etkileyen sıcaklık gibi dış ortam koşulları ile güçlü bir ilişkisi vardır (Boğa, 2010). Korozyon riski ve betonun elektriksel direnci arasındaki ilişki birçok araştırmacı tarafından Çizelge 3.7'deki gibi verilmiştir (Song ve Saraswathy, 2006).

Çizelge 3.7. Elektriksel direnç ile korozyon olasılığı arasındaki ilişki

Elektriksel Direnç (k Ω .cm)	Korozyon Olasılığı
<5	Çok yüksek
5-10	Yüksek
10-20	Düşük
>20	Önemsiz

Bu çalışmada, elektriksel direnç deneylerinde James Instruments'ın ürünü olan RM-8000 marka elektriksel direnç ölçer kullanılmıştır. Elektriksel direnç ölçümleri 28 gün boyunca suda bekletilen silindir numuneler üzerinde yapılmıştır. Suyu doymun durumdaki 3 adet silindir numune, yüzeyleri kuruyana kadar bekletilmiş ve sonrasında elektriksel direnç ölçümleri yapılmıştır. Elektriksel ölçüm yapabilmek için, 8mm derinliğinde ve 50 mm genişliğinde prob delikleri numuneler üzerine açılmıştır. Açılan bu deliklerin içi iletken bir jel ile doldurulmuş ve cihazın problemleri bu deliklere yerleştirilerek okumalar yapılmıştır. Çizelge 3.8'de beton serilerine ait elektriksel direnç okumaları ve Şekil 3.17'de elektriksel direnç ölçümü gösterilmiştir.

Çizelge 3.8. Numunelerin elektriksel direnç sonuçları

Seriler	Numune 1	Numune 2	Numune 3	Ortalama	Korozyon Olasılığı
Kontrol	4.3	3.9	4.1	4.1	Çok yüksek
UK10	5.9	7.1	6.65	6.55	Yüksek
UK20	7.8	7.3	7.25	7.45	Yüksek
YFC20	14.7	10.4	12.4	12.5	Düşük
YFC40	20	16.25	18.05	18.1	Düşük



Şekil 3.17. Elektriksel direnç ölçümü

Çizelge 3.8'deki numunelerin elektriksel direnç sonuçlarına bakıldığında, kontrol ve uçucu küllü seriler $10 \text{ k}\Omega \cdot \text{cm}$ sınır değerinin altında kalırken, YFC'li seriler bu değer üzerinde kalmıştır. Mineral katkı olarak yüksek fırın cürufu kullanımının ve oranının artmasının betonun elektriksel direnç değerini artırdığı görülmüştür.

3.5.4. Hızlı Klorür Geçirimsizliği Deneyi

Betonların klorür geçirimsizliği, korozyona karşı dayanıklılık açısından oldukça önemli bir özelliktir. Klorür iyonlarının beton içerisine girmesi ile çelik donatının yüzeyindeki doğal pasivite bozulur ve sıklıkla betonarme yapılarda donatı korozyonu oluşur. Betonların klorür geçirimsizlikleri belirlenirken ASTM C 1202 hızlı klorür geçirimsizliği deney yönteminden yararlanılmaktadır (ASTM_C1202-19, 2019). Hızlı klorür geçirimsizliği deneyleri 28 gün boyunca suda bekletilen $100 \times 200 \text{ mm}$ boyutlarındaki silindirik numunelerden elde edilen deney çapı 100 mm , kalınlığı 50 mm olan disk numuneler üzerinde ASTM C 1202 yöntemine göre yapılmıştır. ASTM C 1202'de anlatılan yöntem, betonun elektriksel iletkenliğinin incelenerek, betonun klorür iyonu geçişine karşı göstereceği direncin belirlenmesine dayanmaktadır. Deneylerde kullanılan hızlı klorür geçirimsizliği deney düzeneği Şekil 3.18'de gösterilmiştir. Deneyin başlangıcından, bitimine kadar, geçen 6 saat boyunca her 30 dakikada ampermetre yardımı ile devreden geçen akım ölçülmekte ve kaydedilmektedir. Daha sonra Denklem 3.7 yardımı ile devreden geçen toplam yük hesaplanmaktadır.

$$Q = 900 (I_0 + 2I_{30} + 2I_{60} + \dots + 2I_{300} + 2I_{330} + I_{360}) \quad (3.7)$$

Bu denklemde Q (Coulomb) toplam geçen yükü, I_0 (amper) düzeneğe gerilim uygulandığı anda ölçülen akımı ve I_t (amper) düzeneğe gerilim uygulanmasından t dakika sonra ölçülen akımı göstermektedir.



Şekil 3.18. Hızlı klorür geçirirliği deney düzeneği

Deneyler sonucunda elde edilen toplam geçen yük değerleri ASTM C 1202 sınır değerleri ile karşılaştırılarak (Çizelge 3.9), üretilen betonların klorür geçirirliğik seviyeleri belirlenmiştir (ASTM_C1202-19, 2019). Çizelge 3.10’da betonların klorür geçirirliğiklerinin beton serilerine göre değişimi gösterilmiştir. Beton üretimlerinde NaCl kullanılmasına rağmen YFC katkılı betonların klor geçirirliğikleri oldukça küçük çıkmıştır.

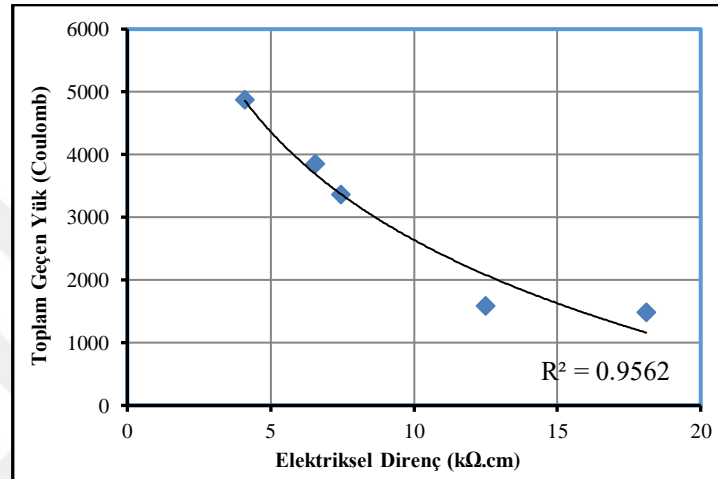
Çizelge 3.9. Toplam geçen yük ile klorür geçirirliği arasındaki ilişki (ASTM_C1202-19, 2019)

Toplam Geçen Yük (Coulomb)	Klorür Geçirirliği
>4000	Yüksek
2000-4000	Orta
1000-2000	Düşük
100-1000	Çok Düşük
<100	Önemsiz

Çizelge 3.10. Numunelerin klor geçirirliği deney sonuçları

Seriler	Toplam Geçen Yük (Coulomb)	Klorür Geçirirliği
Kontrol	4876	Yüksek
UK10	3853	Orta
UK20	3362	Orta
YFC20	1585	Düşük
YFC40	1486	Düşük

Şekil 3.19’da kontrol ve mineral katkıli seriler üzerinde, hızlı klorür geçirimsizliği deneylerinden elde edilen toplam geçen yük değerleri ile elektriksel direnç değerleri arasındaki ilişki gösterilmiştir. Şekil 3.19 incelendiğinde, elektriksel direnç değerlerinin artışı ile klorür geçirimsizliklerinin de azaldığı görülmektedir. Kontrol ve mineral katkıli seriler için regresyon analizi sonucunda toplam geçen yük ile elektriksel direnç değerleri arasında üstel bir ilişki elde edilmiştir. Elde edilen R^2 değerinin oldukça yüksek olduğu görülmekte ve aralarında yüksek bir ilişki olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 3.19. Toplam geçen yük değerleri ile elektriksel direnç arasındaki ilişki

Çizelge 3.11’de beton seriler üzerine yapılan malzeme deneyleri tek bir çizelgede özetlenmiştir.

Çizelge 3.11. Beton serilen mekanik özellikleri

Seriler	Ortalama Küp Dayanımları (MPa)	Ortalama Silindir Dayanımı (MPa)	Yarmada-Çekme Dayanımı (MPa)	Elektriksel Direnç Deneyi	Toplam Geçen Yük (Coulomb)
Kontrol	36.46	29.17	3.15	4.10	4876
UK10	40.07	32.05	3.17	6.55	3853
UK20	38.89	31.11	3.36	7.45	3362
YFC20	39.29	31.43	3.31	12.50	1585
YFC40	43.69	34.95	3.48	18.10	1486

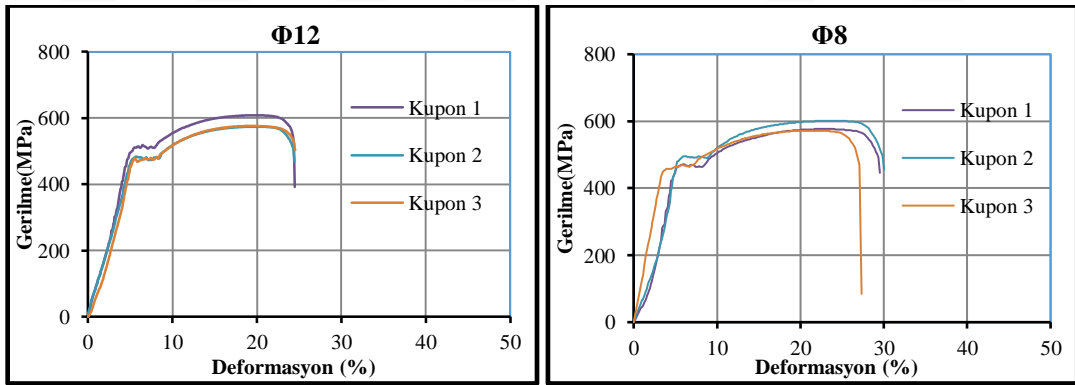
3.6. Çelik Çekme Deneyi

Kolonlarda boyuna ve enine donatı olarak, $\Phi 8$ ve $\Phi 12$ mm çaplarında nervürlü B420C donatı çeliği kullanılmıştır. Kullanılan donatı çeliğinin gerilme-şekil değiştirme ilişkisini elde etmek için donatılardan alınan, 3'er adet 400 mm uzunluğundaki kuponlar üzerinde çelik çekme deneyleri yapılmıştır (Şekil 3.20). Donatı çeliklerinin TS-708'de

verilen sınır değerleri sağladıkları görülmüştür. (TS708, 2016). Şekil 3.21’de $\Phi 8$ ve $\Phi 12$ mm donatılarına ait gerilme-deformasyon ilişkileri verilmiştir. Donatı kuponlarına yapılan çelik çekme deneyinde, boyuna ve enine donatıların ortalama akma dayanımları sırasıyla 480MPa ve 452 MPa, ortalama kopma dayanımları sırasıyla 573 MPa ve 577 MPa olarak elde edilmiştir.



Şekil 3.20. Donatı çeliği çekme deneyi



Şekil 3.21. $\Phi 12$ ve $\Phi 8$ mm donatılarına ait gerilme-deformasyon ilişkisi

3.7. Hızlandırılmış Korozyon Deneyi

Üretilen her bir beton serisinin korozyona karşı dayanıklılığını ve deprem performansına korozyonun etkisini belirlemek amacıyla, her bir seriden bir adet referans olmak üzere diğer iki kolonun donatılarında sırasıyla, %10 ve %30 seviyelerine kadar hızlandırılmış korozyon deneyi yapılmıştır. Hızlandırılmış korozyon deneyi sabit voltaj altında, elektrokimyasal metot (dış akım) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu deney yönteminde kullanılan deney düzeneği, doğru akım kapasiteli bir güç kaynağı, verilerin

toplanmasında kullanılan bir veri toplama cihazı, bir adet Breadboard, bir adet taş direnç, içerisinde NaCl çözeltisi ve dört adet paslanmaz çelik plaka bulunan bir plastik hazneden oluşmaktadır. Korozyon hasarı, numunelerde plastik mafsallın kolon-temel birleşiminde meydana geleceği dikkate alınarak, numunelerin konsol kısmının temelden itibaren 50cm'lik seviyesine kadar uygulanmıştır. Bunun için ilk başta cam elyaf takviyeli polyester levhalar, 148cm uzunluğunda kesilerek, çapı $\Phi 44$ cm olan silindirik boru haline getirilmiştir. Daha sonra hazne ile temel birleşiminde, temel betonuna Cl^- iyonlarının nüfus etmesini engellemek için, MasterSeal 525 (çimento ve akrilik esaslı, iki bileşenli) çimento esaslı su yalıtım malzemesi 3 kat uygulanmıştır (Şekil 3.22). Su yalıtım malzemesi uygulandıktan sonra numuneler belli bir süre beklemeye bırakılmıştır.



Şekil 3.22. Su yalıtım malzemesinin uygulanması

Masterseal 525 prizini aldıktan sonra Sikadur-31 epoksi reçinesi ile hazırlanan hazneler temel üzerine sabitlenmiştir. Daha sonra Masterseal 525 ile Sikadur-31 üzerine tekrar bir kat daha su yalıtımı yapılmıştır. Şekil 3.23'de Sikadur-31 hazırlanması, uygulanması ve haznelerin sabitlenmesi işlemi gösterilmiştir. Epoksi reçinesi prizini aldıktan sonra hazneler 50 cm seviyesine kadar su ile doldurularak, haznelerin su kaçırmadığı kontrol edilmiştir (Şekil 3.24).



Şekil 3.23. Haznelerin temele üzerine sabitlenmesi

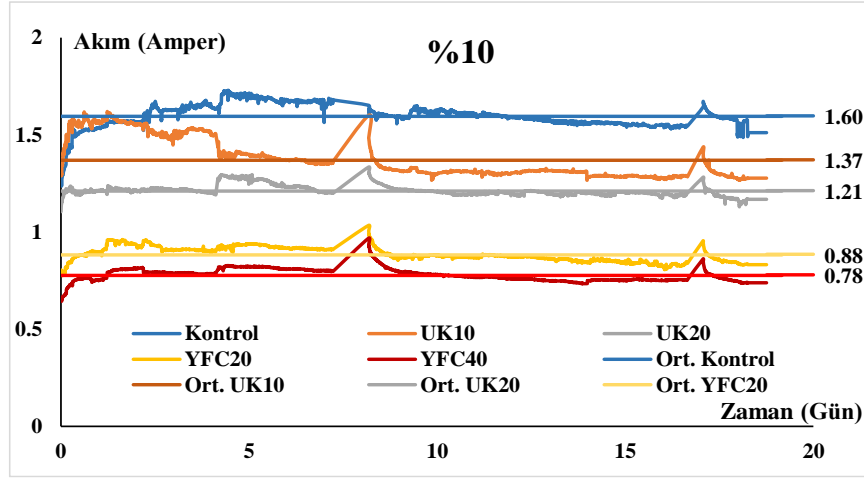


Şekil 3.24. Haznelerin kontrol edilmesi

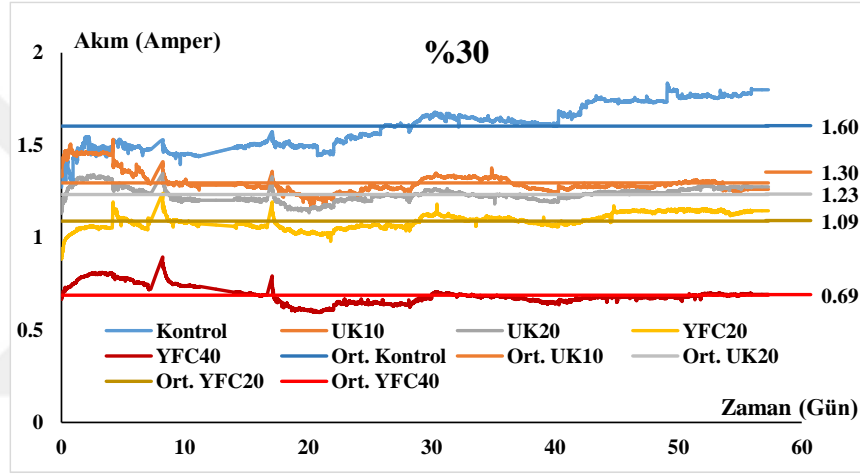
Kolon numuneleri laboratuvar ortamında 28 gün boyunca kür yapıldıktan sonra hazneler 50 cm yüksekliğe kadar % 3 NaCl çözeltisi ile doldurulmuştur. Kolon numunelerinde korozyon nedeniyle oluşacak istenilen ağırlık kayıplarını elde edebilmek için deney düzeneğinden geçen ortalama akımların ve deney sürelerinin bilinmesi gerekmektedir. Bu amaçla öncelikle kolonların 50 cm'lik bölümünde bulunan donatıların gerçek ağırlıkları belirlenmiş ve bu ağırlıkların % 10'u ve % 30'u hesaplanarak, ulaşılabilecek teorik ağırlık kayıp miktarları belirlenmiştir. Hızlandırılmış korozyon deney düzeneğinde tüm numunelere sabit 11V potansiyel fark uygulanarak, devreden geçen akımlar, bir direnç vasıtasıyla veri toplama cihazında her 5sn'de bir kaydedilmiştir. Potansiyel fark sabit olduğu için numunelerin akım çekme kapasiteleri, beton serilerinin dirençlerine göre farklılık göstermiştir. Her günün sonunda veri toplama cihazından alınan ortalama korozyon akımı değerleri Faraday Denklemine (Denklem 3.8) yerine koyularak, donatılarda oluşan ağırlık kayıpları belirlenmiştir (Meda ve ark., 2014; Koçer ve ark., 2019b). Kontrol serileri, korozyon deneylerine başlamadan önce hesaplanan %10 ve % 30 teorik ağırlık kayıplarına ulaştığında korozyon deneyleri hem kontrol serileri için hem de mineral katkılı seriler için sonlandırılmıştır. Şekil 3.25 ve 3.26'da %10 ve %30 korozyon serilerine ait toplam 10 adet betonarme kolon numunesinin, zamana bağlı korozyon akımının değişim grafiği gösterilmiştir.

$$\text{Ağırlık Kaybı}(gr) = \frac{t(s) \times I(A) \times 55,847 (g/mol)}{2 \times 96487 (coulomb)} \quad (3.8)$$

Burada t'nin birimi saniye, I'nın birimi amper, 55,847 g/mol demirin atomik ağırlığı, (2) demirin değerliği, (96487) Faraday sabitidir. Kontrol serilerinin çektiği ortalama akım değerleri Faraday denklemine yerine konularak %10 ve %30 teorik ağırlık kayıplarına ulaşılabilecek sürelerde deneylere son verilmiştir. Bu süreler kontrol serileri için sırasıyla 19.16 (456sa. 237dak.) ve 57.30 (1368sa. 432dak.) gündür. Kontrol serileri hedeflenen ağırlık kayıpları seviyesine ulaşıncaya, mineral katkılı numunelerin de hızlandırılmış korozyon deneylerine son verilmiştir. Buradaki temel amaç, Kontrol numunelerinin istenilen ağırlık kayıpları seviyelerine ulaşmasını sağlamak ve mineral katkılı serileri de aynı sürede korozyon etkisine maruz bırakarak, geçirimsizlik özelliklerine göre korozyon hasarı değişimini gözlemlemektir.



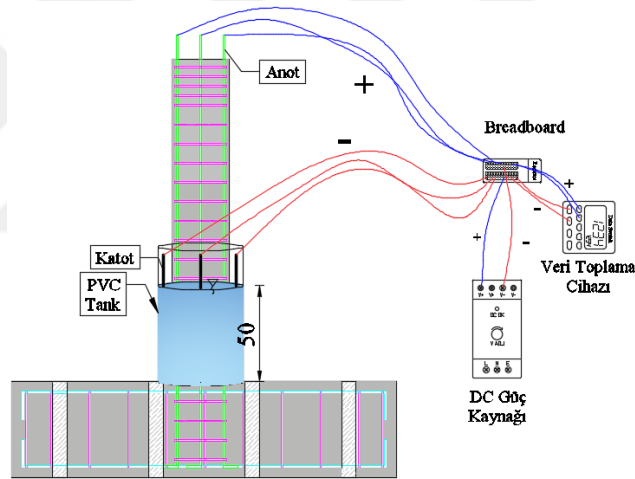
Şekil 3.25. %10 ağırlık kaybına göre korozyon akımlarının zamana göre değişimi



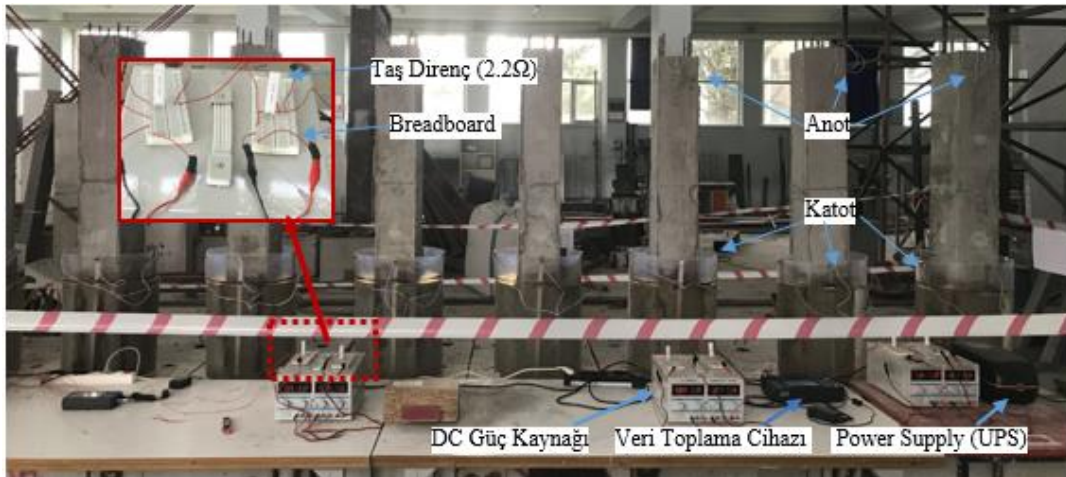
Şekil 3.26. %30 ağırlık kaybına göre korozyon akımlarının zamana göre değişimi

Şekil 3.25 ve Şekil 3.26 incelendiğinde, deney süresi boyunca her bir numuneye sabit 11V gerilim uygulanırken, numunelerin akım çekme kapasiteleri korozyon hasarına karşı gösterdikleri dirençlere bağlı olarak farklılık göstermiştir. Ağırlık kaybı % 10 olan seride, mineral katkının kullanılmadığı Kontrol numunesinde ortalama 1.6A akım elde edilmiştir. Mineral katkılı UK10, UK20, YFC20, YFC40 serilerinde sırasıyla akım çekme kapasitelerinde % 14.3, % 23.2, % 45, % 51.25'lik bir azalma meydana gelmiştir. Ağırlık kaybı % 30 olan seride Kontrol numunesinin akım değeri benzer şekilde 1.6A olurken, UK10, UK20, YFC20, YFC40 serilerde sırasıyla % 18.56, % 23.125, % 31.8, % 56.8'lik bir azalma meydana gelmiştir. Her bir seri kendi içinde düşünüldüğünde, mineral katkılı serilerin korozyon hasarına karşı dirençlerinin Kontrol serisine göre daha iyi olduğu görülmüştür. Beton serileri mineral katkı türü bakımından karşılaştırılırsa; YFC'li serilerin UK'lı serilere göre, daha elverişli sonuçlar verdiği görülmektedir. YFC20 ve

YFC40'li serileri mineral katkı oranları bakımından incelediğimizde ise, korozyon süresinin artması YFC20'li serinin korozyon akımında % 23.8 artış meydana getirirken, YFC40 seride % 11.5'lik bir azalma meydana gelmiştir. Korozyon hasarı % 10 ve % 30 olan korozyon serisinde, YFC20 ve YFC40 serilerinin deney başındaki korozyon akımları birbirine oldukça yakın olması rağmen, korozyon hasar süresinin uzaması sonucunda YFC20'li seri olumsuz bir şekilde etkilenmiştir. YFC40'lı seride ise 0.65A başlangıç akımı elde edilirken, deney süresi boyunca ani akım artışları olsa da deney sonunda 0.7A olarak, ortalama 0.69 amper değeri ile deney tamamlanmıştır. Buradan, mineral katkı oranı olarak YFC40'lı serilerin korozyon direncinin YFC20'li serilere göre daha iyi olduğu anlaşılmaktadır. Şekil 3.27'de hızlandırılmış korozyon deney düzeneği şematik olarak, Şekil 3.28'de görsel olarak gösterilmiştir. Şekil 3.29'da hızlandırılmış korozyon deneyi sırasında, Şekil 3.30'da hızlandırılmış korozyon deneyi sonrasında betonarme elemanlarda korozyon gelişimi gösterilmiştir.



Şekil 3.27. Şematik olarak hızlandırılmış korozyon deney düzeneği



Şekil 28. Hızlandırılmış korozyon deney düzeneği



Şekil 29. Hızlandırılmış korozyon deney görüntüleri



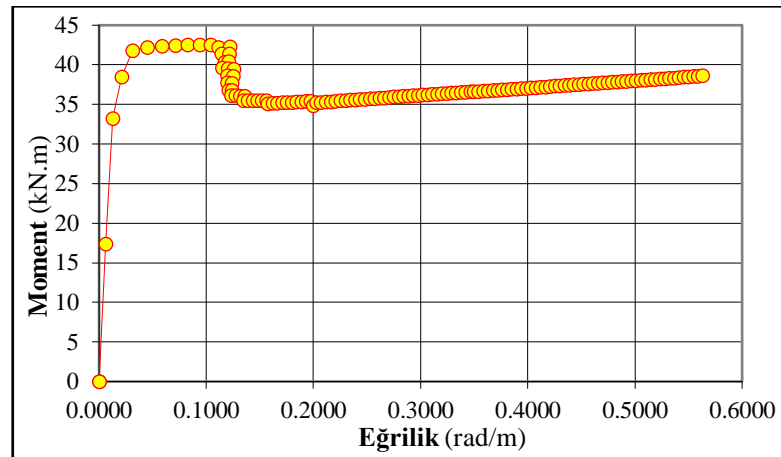
Şekil 30. Hızlandırılmış korozyon deneyi ardından görüntüler

3.8. Tasarımın Güncellenmesi

Numunelerin üretiminden sonra malzeme deneylerinden elde edilen sonuçlara göre, numune tasarımı tekrar gözden geçirilerek, hesaplar kontrol edilmiştir. Kontrol serisinin 28 günlük beton basınç dayanımı 29.17 MPa, boyuna ve enine donatıların akma dayanımları sırasıyla 480MPa ve 452 MPa, kopma dayanımları sırasıyla 573 MPa ve 577 MPa alınarak yük taşıma kapasiteleri güncellenmiştir. Bu hesaplamalar her bir seri için ayrı ayrı yapılarak teorik göçme yükleri hesaplanmıştır. Kontrol serisi için mevcut malzeme değerlerine göre yük taşıma kapasitesi aşağıdaki gibidir.

- $b=200$ mm
- $h=300$ mm
- $L= 1500$ mm
- $f_c= 29.17$ MPa
- Enine ve boyuna donatı sınıfı= B420C
- Boyuna ve enine donatı ortalama akma dayanımı(sırasıyla) = 480MPa - 452 MPa
- Boyuna ve enine donatı ortalama kopma dayanımı(sırasıyla) = 573 MPa-577 MPa
- Boyuna donatı çapı ve adedi= $6\Phi 12$
- Enine donatı çapı ve aralığı= $22\Phi 8/7/10/5$
- $E_c= 3250\sqrt{f_c} + 14000 = 31553$ MPa (TS500, 2000)
- $E_s= 200000$ MPa
- $d'=23$ mm

Ersoy ve Özcebe (2016) tarafından geliştirilen hesap programı ile numunenin ($N=0$) akma momenti $M_y= 41.83$ kN-m olarak elde edilmiştir (Şekil 3.31).



Şekil 3.31. Deneysel numunenin moment-eğrilik ilişkisi (Ersoy, 2016)

-Kesme Hesabı:

Moment kapasitesine karşılık gelen kesme kuvveti hesaplandığında;

$$V_e = \frac{M}{h} = \frac{41.83}{1.5} = 27.88 \text{ kN} \quad (3.9)$$

elde edilmektedir. Seçilen numunenin kesme kuvveti taşıma kapasitesi TS 500-2000'e (TS500, 2000) göre;

$$V_r = V_s + V_c \quad (3.10)$$

$$V_r = \left(\frac{A_{sw}}{s}\right) f_{yw} \times d + 0.80 V_{cr} \quad (3.11)$$

$$V_r = \left(\frac{A_{sw}}{s}\right) f_{yw} \times d + 0.8 * 0.65 \times f_{ct} \times b \times d \quad (3.12)$$

$$V_r = \left(\frac{2*50}{70}\right) 452 \times 277 + 0.8 \times 0.65 \times 0.35 \times \sqrt{29.12} \times 200 \times 277 = 233.2 \text{ kN} \quad (3.13)$$

olarak bulunmuştur. Tasarımı yapılan numunelerin kesme dayanımının yeterli olduğu ve istenildiği gibi kolonlarda eğilme hasarından dolayı yük taşıma kapasitesine ulaşacağı görülmüştür.

3.9. Deney Düzeneği ve Ölçüm Tekniği

Bu çalışma kapsamında, içerisinde hiçbir mineral katkının bulunmadığı 280 kg/m³ çimento dozajlı 3 adet numune, kontrol serisi olarak üretilmiştir. Mineral katkılı serilerde ise çimento yerine, çimento miktarının %20'si ve %40'ı oranında YFC, %10'nu ve %20'si oranında UK kullanılarak, her bir seriden 3'er adet olmak üzere toplam 12 adet kolon numunesi üretilmiştir. Dolayısıyla çalışma kapsamında toplam 15 adet betonarme kolon numunesi, 5 farklı beton karışım oranı hazırlanarak üretilmiştir. Her bir serinin bir numunesi referans olarak seçilmiş, geriye kalan iki numune ise iki farklı seviyede (%10 ve %30 ağırlık kaybı) sabit voltaj altında korozyon hasarına maruz bırakılmıştır. Hızlandırılmış korozyon deneyinin ardından referans numuneler ve korozyon hasarlı numuneler, deprem yüklerini benzeştiren tersinir-tekrarlanır yatay yük altında, Konya Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Deprem Laboratuvarı'nda test edilmiştir. Deneysel numuneler laboratuvar döşemesinde bulunan deliklere tijler yardımıyla sabitlenmiş ve deprem duvarında bulunan delikler sayesinde de yükleme sistemi duvara sabitlenerek yatay yükleme gerçekleştirilmiştir. Deneylerde yükleme, hidrolik kriko yardımıyla itme-çekme şeklinde uygulanmıştır ve numuneler üzerine yerleştirilen potansiyometrik cetveller vasıtasıyla yer değiştirmeler ölçülmüştür. Deneyler sırasında ölçüm aletlerinden okunan yük ve deplasman değerleri, bilgisayar

destekli veri okuma sistemi sayesinde kayıt altına alınmıştır. Deneylerde, numunelerin akma noktasına kadar yük kontrollü, akma noktasından sonra deplasman kontrollü olarak yüklemesi gerçekleştirilmiştir.

3.9.1. Yükleme Sistemi

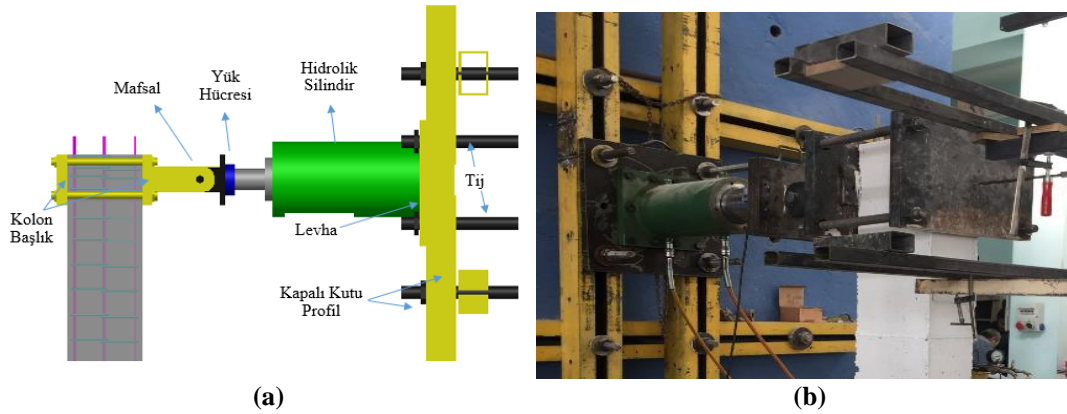
Deprem laboratuvarında bulunan yükleme düzeneği, deney numuneleri 1/2 geometrik ölçeğinde olduğu için, öncelikle bu boyutlara göre düzenlenmiştir. Numunelerin temelleri, ankastre mesnet şartlarını sağlayabilecek şekilde rijit olarak üretilmiş ve üretimleri sırasında temellerde bırakılan delikler yardımıyla, laboratuvarın rijit döşemesine sabitlenmiştir. Laboratuvarın, rijit betonarme duvarın ve döşeme sisteminin temsili görüntüsü Şekil 3.32’de gösterilmiştir.



Şekil 3.32. KTÜN İnşaat Müh. Deprem Laboratuvarı'nda bulunan yükleme duvarı ve döşeme sistemi (Akın, 2011)

Yatay yükleme düzeneğindeki hidrolik silindir vasıtasıyla deneysel numunelere itme ve çekme kuvvetleri uygulanmıştır. Bunun için ilk önce yatay yükleme düzeneği, rijit deprem duvarında bulunan deliklere 4 adet kapalı kutu profille beraber sabitlenmiştir. Kullanılan kutu profiller vasıtasıyla yatay yükleme düzeneği hem yatay eksen, hem de düşey eksen üzerinde hassas bir şekilde hareket edebilmektedir. Daha sonra hidrolik silindir 4 cm kalınlığında 75×75 cm boyutlarındaki plaka ile duvara sabitlenmiştir. Hidrolik silindirin uç kısmına yiv açılarak, yük ölçümlerinin yapılabilmesi için yük hücresi (loadcell) bağlanmıştır. Hidrolik silindirin uç kısmına bağlanan yük hücresinin kapasitesi itme ve çekmede 500kN'dur. Bu sayede yük hücresinden okunan veriler hem itmede hem de çekmede bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Ayrıca yük hücresinin diğer yüzeyine bir plaka bağlanmış ve plakanın ucuna mafsal bir sistem yapılmıştır. Bu mafsal sayesinde, itme ve çekme kuvvetleri uygulanırken sistemin zorlanması önlenmiş ve

numunenin daha kolay deplasman yapabilmesi sağlanmıştır. Şekil 3.33'de yükleme düzeneği şematik ve deneysel görünümü gösterilmiştir.

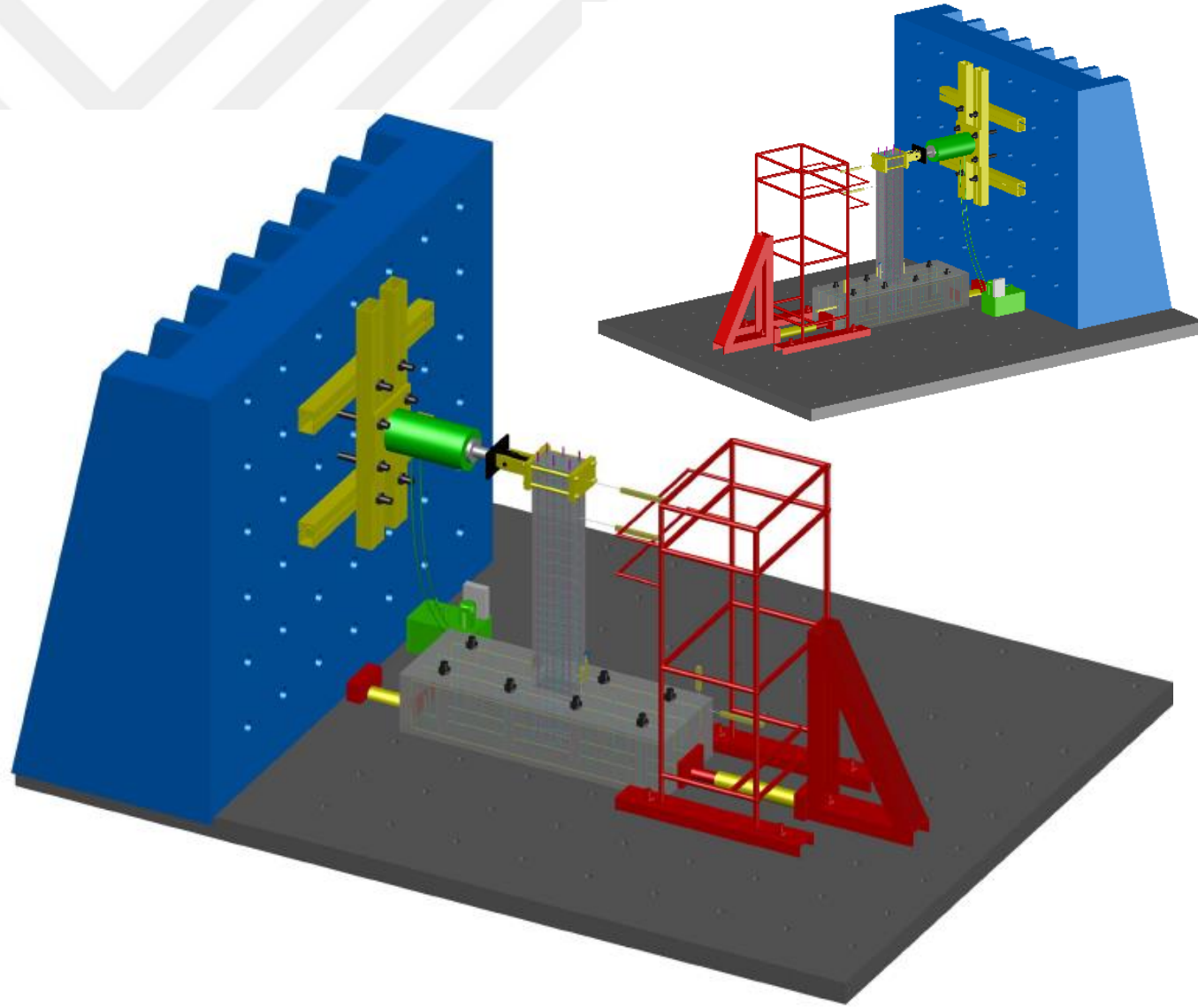


Şekil 3.33. Yükleme sisteminin (a) şematik, (b) deneysel görünümü

Deneyler sırasında deney elemanlarının temellerinde meydana gelebilecek hareketlerin engellenmesi gerekmektedir. Bu yüzden numuneler, temellerinde bırakılan 8 adet boşluk yardımıyla laboratuvar deliklerine tijlerle sabitlenmiştir. Ayrıca, iki adet hidrolik silindir temellerin sağına ve soluna yerleştirilerek temel sıkıştırılmıştır. Numunelerin tersinir tekrarlanır şekilde yüklenmesi sırasında potansiyometrik cetvellerin (LVDT) sarsılmaması amacıyla, kutu profilden bir adet iskele imal edilmiş ve bu iskele deneysel elemandan bağımsız bir şekilde konumlandırılmıştır. Şekil 3.34'de deneysel eleman yerleştirildikten sonra yükleme düzeneğinin üstten çekilmiş görünümü, Şekil 3.35'de bilgisayar ortamında 3 boyutlu çizilmiş ayrıntısı gösterilmiştir.



Şekil 3.34. Deneysel eleman yerleştirildikten sonra yükleme sisteminin görünümü



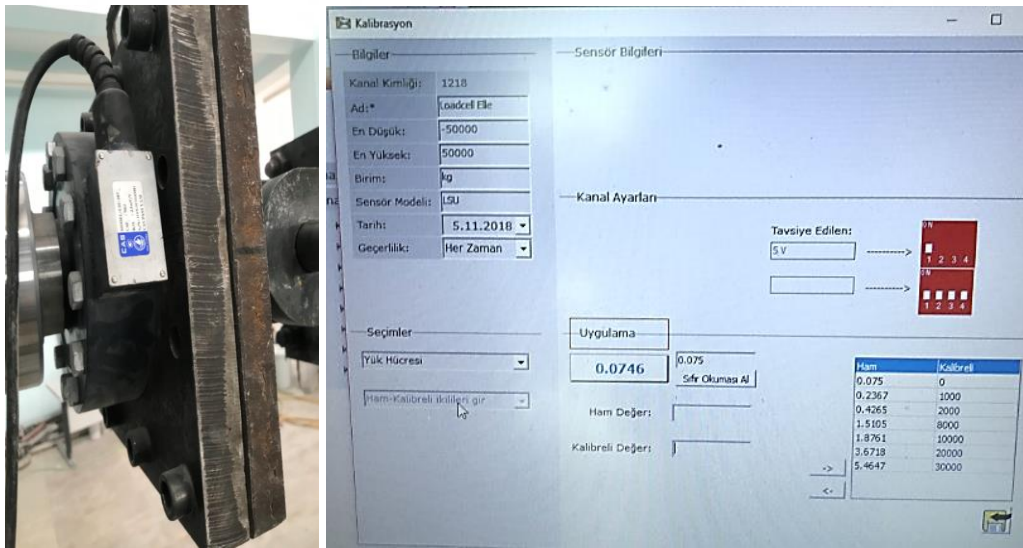
Şekil 3.35. Yükleme sisteminin 3 boyutlu şematik görünümü

3.9.2. Ölçüm Tekniği

Deneylerde yük ölçümleri yük hücresi (loadcell) ile yer değiştirme ölçümleri ise LVDT (Lineer variable differential transformer) kullanılarak yapılmıştır. Bu cihazlardan okunan veriler 2 adet 8 kanallı TDG marka veri toplama cihazı ile kayıt altına alınarak anlık bilgisayar ortamına aktarılmış ve Excel ortamında ilgili grafikler hazırlanmıştır.

3.9.2.1. Yük Ölçümleri

Deney elemanlarına itme ve çekme şeklinde hidrolik kriko ile uygulanan yatay yük, yük hücreleri vasıtasıyla okunmuştur. Bunun için ilk önce yük hücresinin beton presi ile kalibrasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra yatay yükleme düzeneğinde ki hidrolik silindirin yivli uç kısmına monte edilmiştir. Yük hücresinin çıkış uçları veri toplama cihazına bağlanarak, okunan gerilme değerleri aygıt geçidi yardımıyla bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Kullanılan yük hücresi yassı tip olup itme ve çekmede $\pm 500\text{kN}$ kapasiteye sahiptir ve yatay yük, kolon-temel birleşiminin 150cm üstünden uygulanmıştır. Şekil 3.36.a'da deneylerde kullanılan yassı tip loadcell ve Şekil 3.36.b'de kalibrasyonu gösterilmiştir.



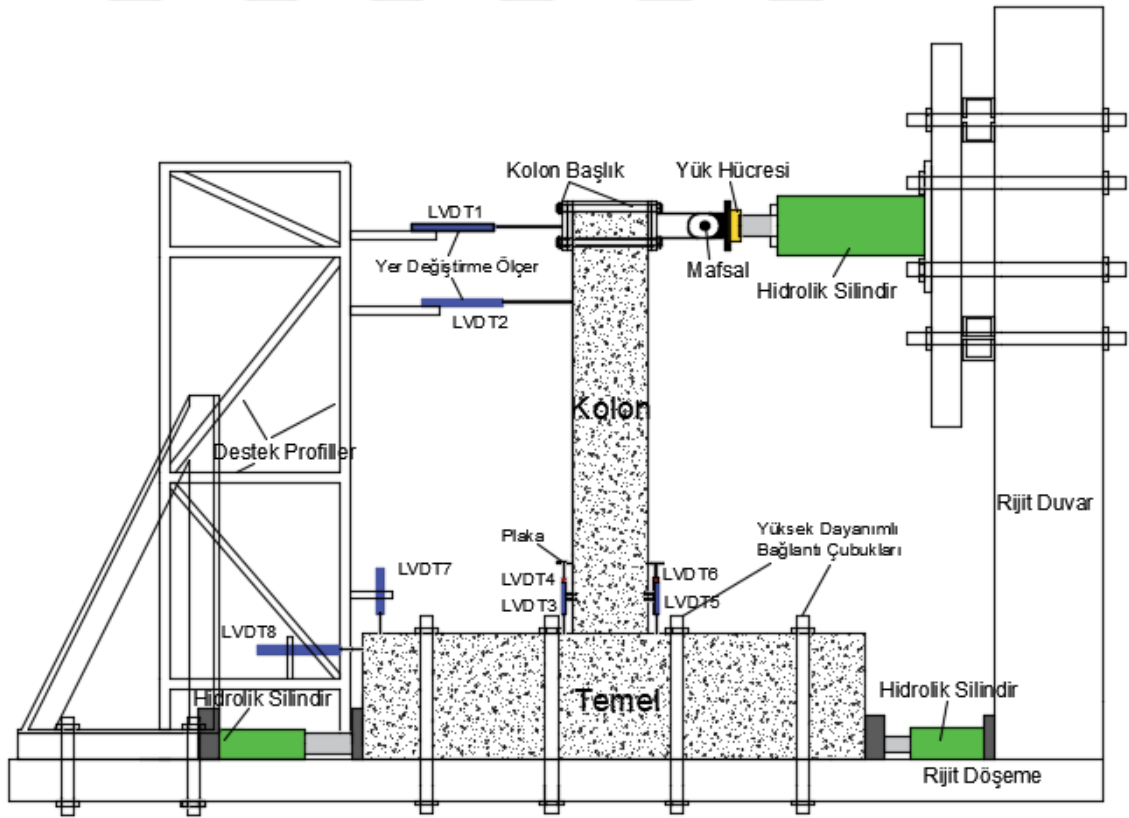
(a)

(b)

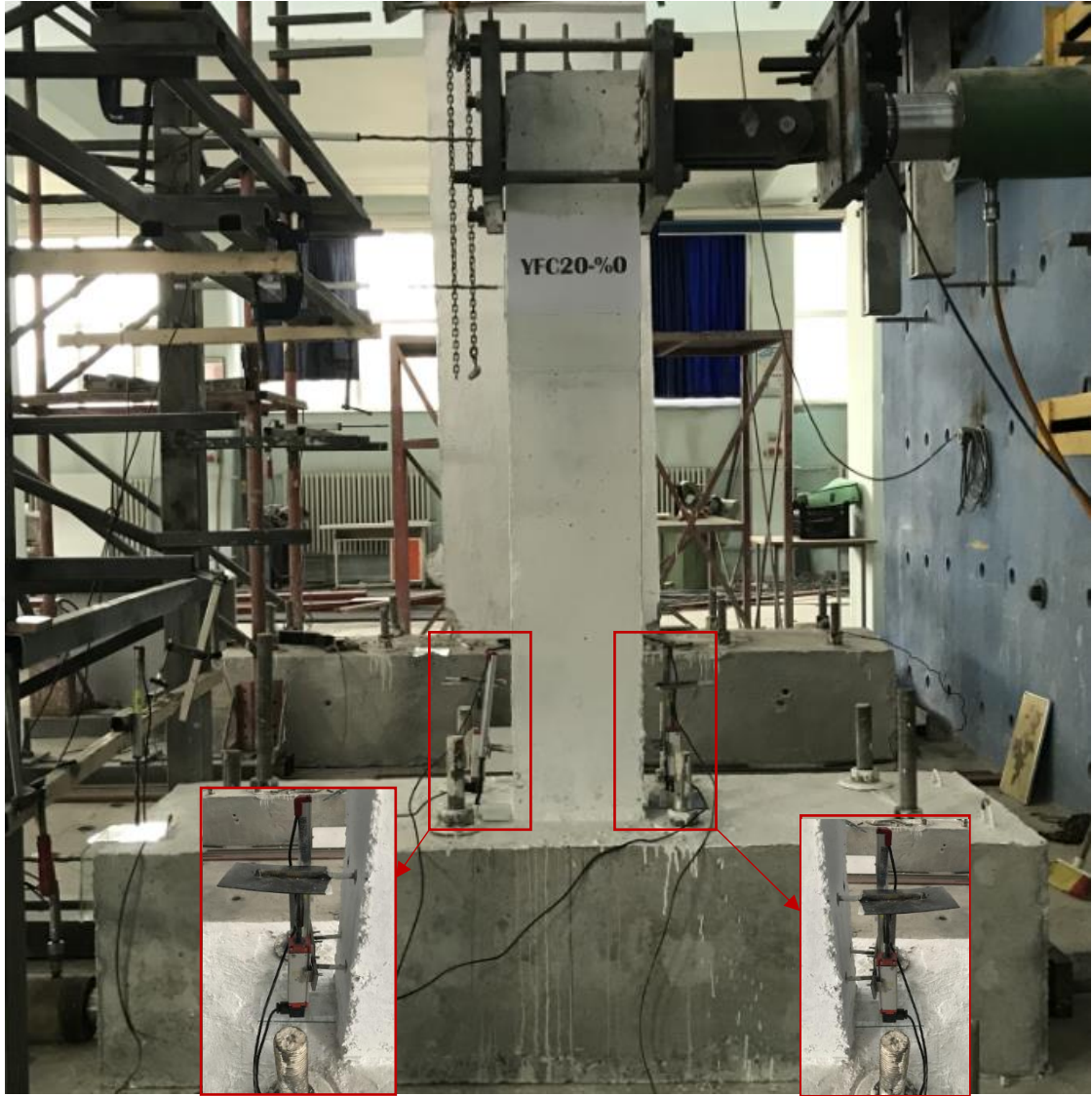
Şekil 3.36. a) Deneylerde kullanılan yük hücresi b) Kalibrasyonu

3.9.2.2. Deplasman Ölçümleri

Deneyler sırasında, deney numunelerinde meydana gelen yer değiştirmeler LVDT olarak adlandırılan deplasman ölçüm aletleri ile ölçülmüştür. LVDT'ler, merkezlerinde bulunan milin hareket etmesi sonucu bir gerilim üretmektedirler. Deneylerde toplam 8 adet LVDT kullanılmıştır. Deneylerden önce kullanılan deplasman ölçerlerin ilk olarak kalibrasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Kalibrasyon işlemi merkezlerinde bulunan milin hareketi sonucu oluşan gerilimlere uzunluk atanarak yapılmaktadır. Böylece LVDT'lerde okunan gerilmeler veri toplama (data logger) cihazına aktarılmakta ve bu okunan gerilmeler, program vasıtasıyla deplasmana dönüştürülerek kayıt altına alınmaktadır. Şekil 3.37'de deneylerde kullanılan ölçüm düzeneği şematik olarak gösterilmiş, Şekil 3.38'de ise numunenin deney öncesi görünümü gösterilmiştir.



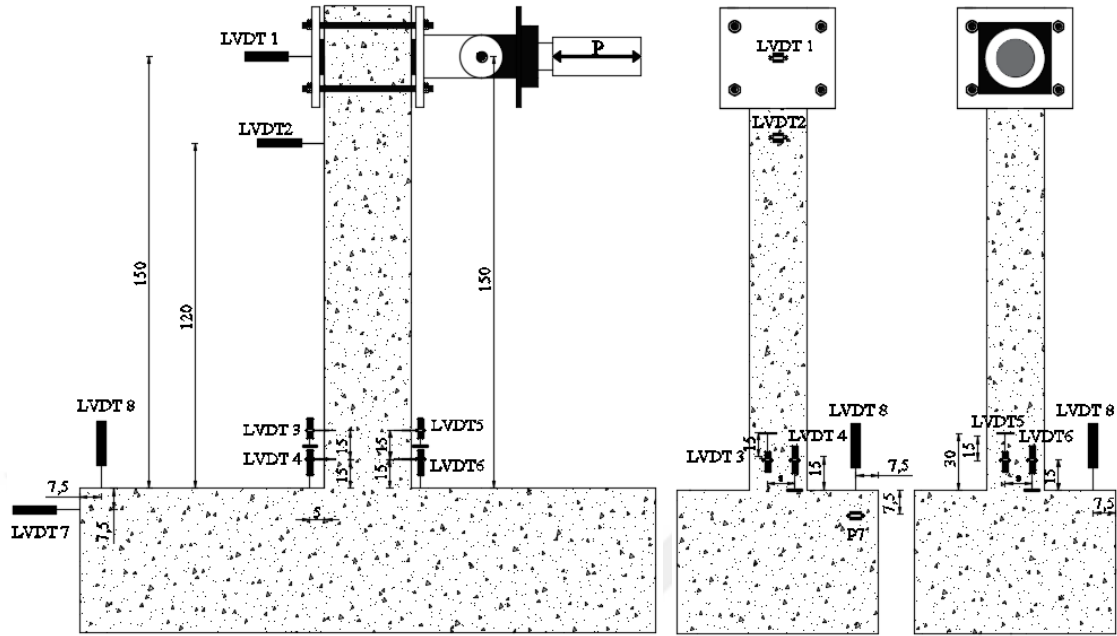
Şekil 3.37. Deneylerdeki ölçüm düzeneğinin şematik görünümü



Şekil 3.38. YFC20-%0 numunesinin deney öncesi görünümü

Kolon yüksekliği boyunca; temelden 150 cm uzaklıkta 400 mm ölçüm kapasitesine sahip 1 adet uç LVDT, uç ölçüm noktasının 30 cm altında 400 mm ölçüm kapasitesine sahip 1 adet LVDT, kolon ön ve arka yüzünde düşey olarak temelden 15 cm ve 30 cm yüksekliğinde 100 mm ve 200 mm ölçüm kapasitesine sahip her iki yüzde toplam 4 adet LVDT, temelde düzlem içi ve düzlem dışı yer değiştirme ölçümleri için de 200 mm ve 400 mm ölçüm aralığına sahip toplam 2 adet LVDT yerleştirilmiştir. Şekil 3.39’de LVDT’lerin numunelere yerleşim düzeni gösterilmiştir. LVDT 1 yatay yükün uygulandığı mesafeye, LVDT 2’de kolon yükleme bölgesinde meydana gelebilecek olası hasar sebebiyle LVDT 1’den sağlıklı veriler alınamaması ihtimaline karşı yerleştirilmiştir. LVDT 3- LVDT 6 yer değiştirme ölçerler, kolonun plastik mafsall

bölgesinde meydana gelecek yer değiştirmeleri ölçmek için, LVDT 7, LVDT 8 temelde meydana gelebilecek olası yer değiştirme ve dönmelerin ölçümü için kullanılmıştır.



Şekil 3.39. LVDT yerleşim düzeni

Deneysel elemanların net tepe deplasmanları Denklem 3.14 ile belirlenmiştir. Ayrıca LVDT 2 değerleri kullanılarak yapılan lineer hesaplama ile kontrol edilmiştir.

$$\Delta_{\text{net,tepe}} = LVDT 1 - LVDT 7 \quad (3.14)$$

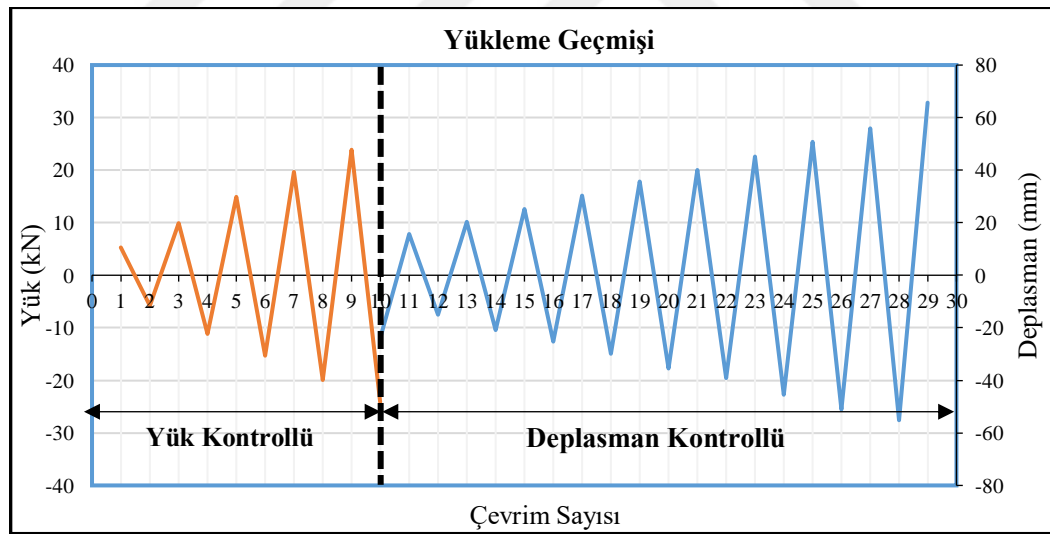
$$\Delta_{\text{net,kontrol}} = 1.25 \times (LVDT 2 - LVDT 7) \quad (3.15)$$

3.9.2.3. Yük ve Deplasman Değerlerinin Bilgisayara Aktarılması

Deneyler sırasında LVDT ve yük hücresinden alınan gerilme değerleri, aygıt geçidinden geçtikten sonra veri toplama cihazına aktarılmıştır. Bu sistemde iki adet 8 kanallı TDG marka veri toplama cihazı (data logger) kullanılmıştır. Deneyler sırasında bir adet yük hücresi, 8 adet LVDT kullanılmasından dolayı, toplamda 9 kanala ihtiyaç duyulduğu için 2 adet TextBOX 1001 kutusu birbirine tek bir aygıt geçidi ile seri olarak bağlanmıştır. Bilgisayara yüklenmiş olan Testlab Basic (Sürüm 1.70) programı sayesinde yük hücresinden 0.2 kN, LVDT'lerden de 0.01mm hassasiyetle elde edilen veriler, 125 ms'de bir bilgisayar ortamına aktarılarak, EXCEL formatında kaydedilmiştir.

3.9.3. Deneylerde Uygulanan Yükleme Programı

Tüm deneyler, sistemin nominal akma yüküne kadar yük kontrollü, akma gerçekleşikten sonra yatay yükteki artış hızı azalacağı için deplasman artışlarına bağlı olarak deplasman kontrollü statik yükleme şekilde gerçekleştirilmiştir. Yükleme adımları gerçeleştirildiği için her bir numunenin davranışı göz önüne alınarak, bir sonraki yükleme adımına karar verilmiştir. Bu yükleme adımları, yük kontrollü bölümde 5 kN yük artırımları ile deplasman kontrollü bölümde (akma noktasından sonra, numune akma yüküne ulaşıldıysa) ise, tepe deplasmanı 50 mm değerine ulaşınca kadar 5 mm ($\Delta/L=0.0033$) aralıklarla, 50 mm uç deplasmanından sonra ise 10 mm ($\Delta/L=0.0066$) ötelenme adımları ile gerçekleştirilmiştir. Her bir numunenin, (korozyon hasarına maruz kalmaları ve 5 farklı beton serisinden dolayı) akma ve maksimum yatay yük kapasiteleri farklı olduğundan, her bir numune için farklı yük-deplasman eğrileri elde edilmiştir. Şekil 3.40'da tipik bir yükleme geçmişi gösterilmiştir. Deney numunelerinde maksimum yükün % 20 azalması ile göçme konumuna ulaşıldığı kabul edilmiş, fakat daha büyük hasarlar meydana gelinceye kadar testler devam etmiştir.



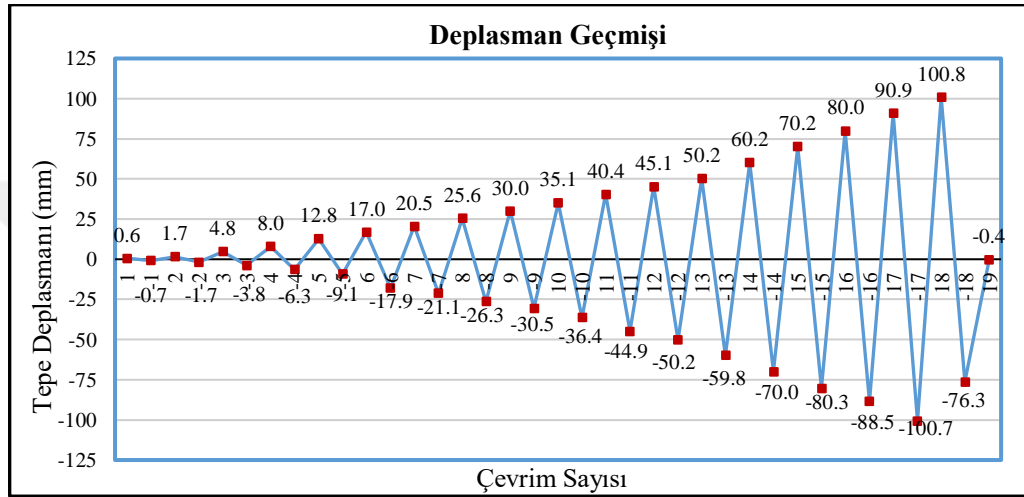
Şekil 3.40. Yükleme geçmişi

3.9.4. Ölçümlerin Değerlendirilmesi

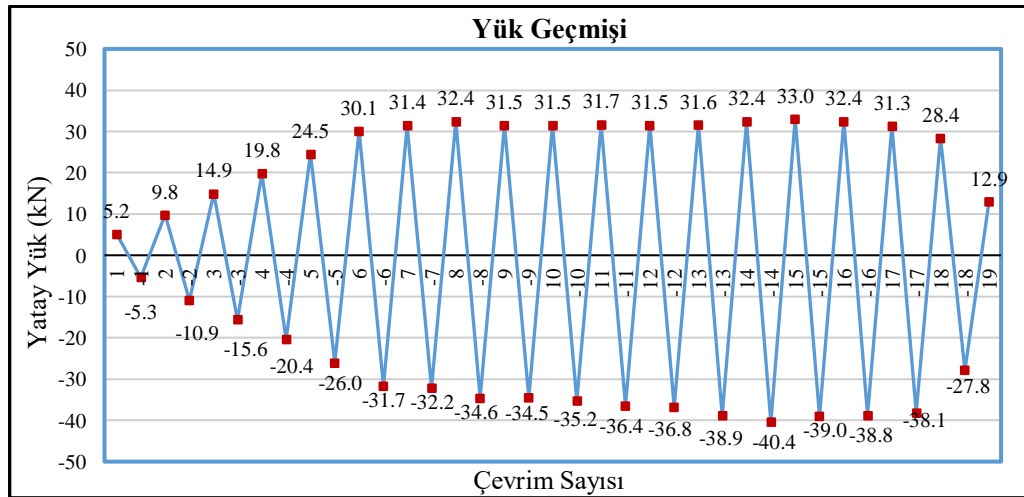
Deneyler sırasında, LVDT'lerden ve yük hücresinden alınan verilerden hareketle, deney numunelerinin davranışları açıklanmaya çalışılmıştır. Bu amaçla, her bir deney numunesi için, yük geçmişi, deplasman geçmişi, yük-deplasman eğrileri, dayanım zarfı, rijitlik azalımı, tüketilen enerji grafikleri elde edilmiştir.

3.9.4.1. Yük Geçmişi ve Deplasman Geçmişi Grafiklerinin Çizilmesi

Deneyler sırasında her bir çevrimin ileri ve geri yüklemelerinden elde edilen maksimum yatay yük ile maksimum tepe deplasman değerleri belirlenmiştir. Daha sonra yatay ekseninde çevrim sayısı düşey ekseninde o çevrimdeki maksimum deplasman veya maksimum yük olacak şekilde ilişkileri grafiksel olarak değerlendirilerek, yük geçmişi ve deplasman geçmişi grafikleri çizilmiştir. Şekil 3.41’de örnek olarak Kontrol-%0 deney numunesine ait yük geçmişi ve deplasman geçmişi grafiği verilmiştir.



(a) Deplasman geçmişi



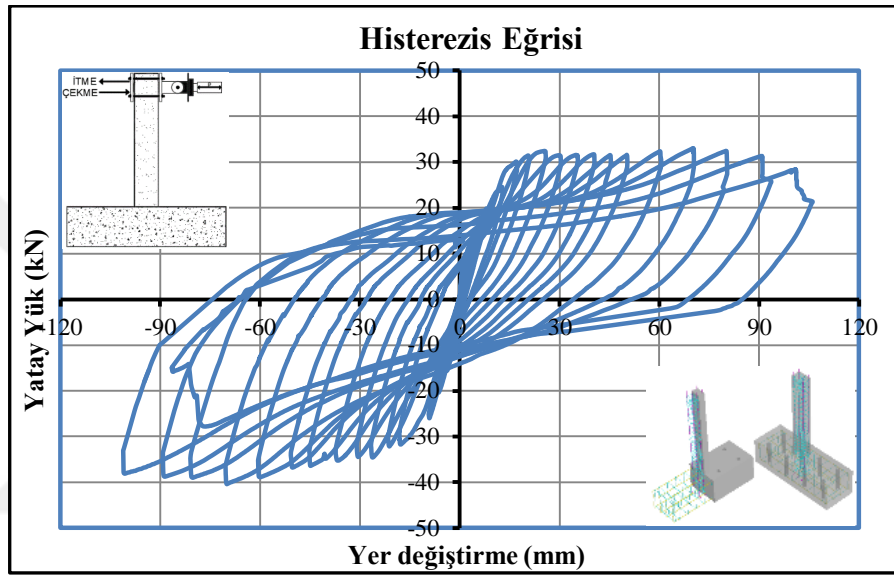
(b) Yük geçmişi

Şekil 3.41. Yükleme geçmişi grafikleri

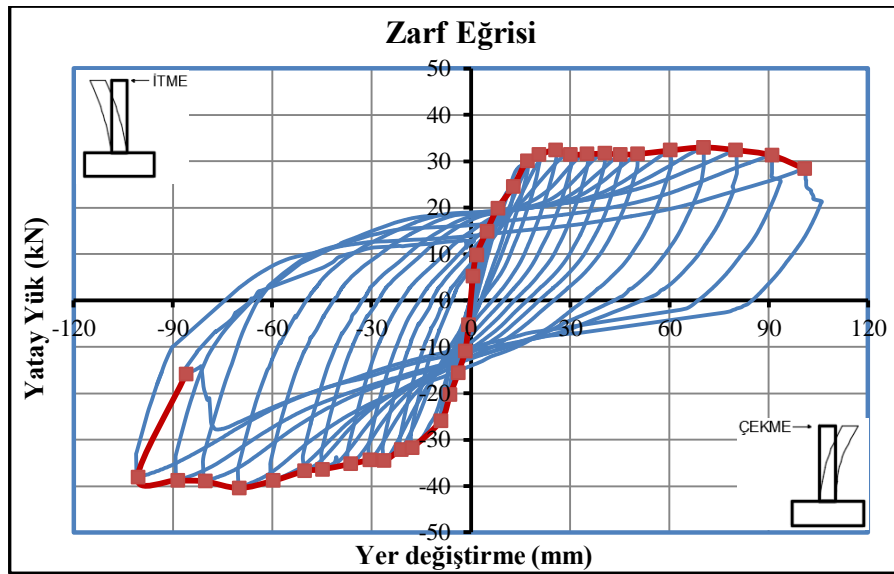
3.7.4.2. Zarf Eğrisi ve Histerezis Eğrisinin Çizilmesi

Deney numunelerine uygulanan yük esaslı ve deplasman esaslı yükleme prosedürü, deney numunelerinde sürekli değişen yatay yük ve yer değiştirme değerlerinin oluşmasına neden olmaktadır. Elde edilen bu veriler deney sonuna kadar artımsal bir

biçimde kayıt edilerek Excel formatına çevrilmiştir. Artan yüke karşılık gelen deplasman değerleri ileri ve geri çevrimlerde birleştirilerek numunelerin yük deplasman eğrileri (histerezis eğrileri) elde edilmiştir. Her bir çevrim için akmaya kadar en büyük yatay yük değeri ile bu yüke karşılık gelen deplasman değerleri, akmadan sonra ise çevrimdeki en büyük deplasman değerleri ile buna karşılık gelen yatay yük değerleri belirlenmiştir. Belirlenen bu tepe noktalarının birleştirilmesi ile de zarf eğrisi elde edilmiştir. Şekil 3.42’de örnek olarak Kontrol-%0 deney numunesine ait yük deplasman eğrisi ile bu eğriye ait zarf eğrisi gösterilmiştir.



(a) Histerezis eğrisi



(b) Histerezis eğrisinden zarf eğrisinin elde edilmesi

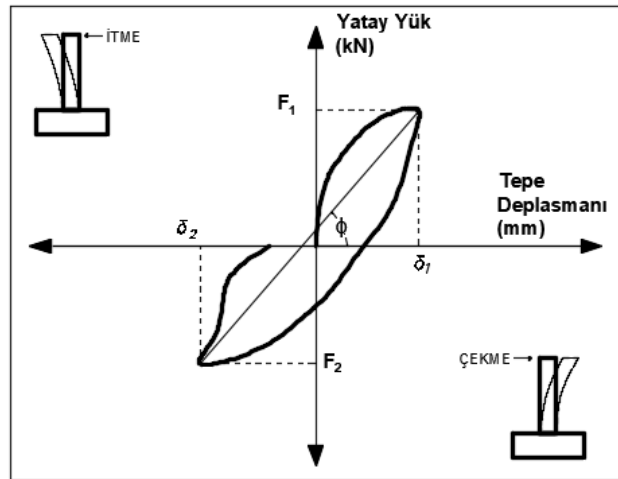
Şekil 3.42. Histerezis ve zarf eğrisi çizimleri

3.7.4.3. Rijitlik Değişim Grafiğinin Çizilmesi

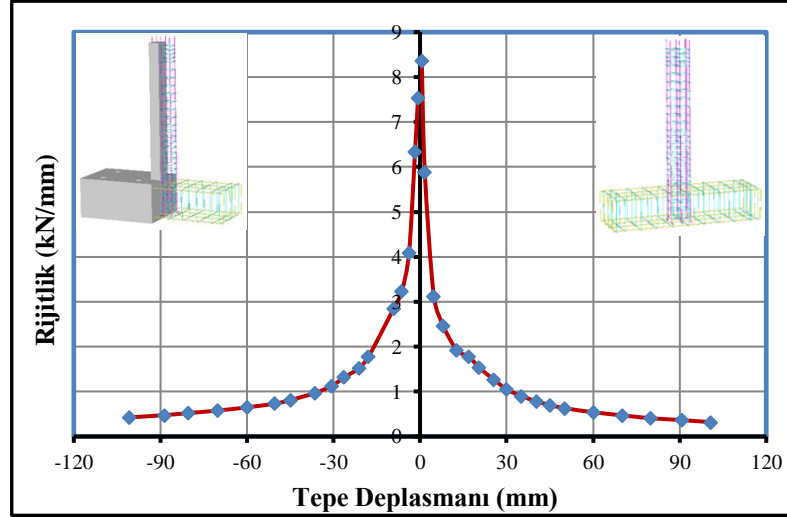
Deney numunelerinde artan yatay yük altında hasarların (çatlakların) oluşması nedeniyle, yanal ötelenme rijitliklerinde azalmalar meydana gelmektedir. Bu yüzden, her bir çevrim için yük-deplasman grafiğinin eğimi bulunarak, numunelerin rijitlik azalım grafikleri elde edilmiştir. Her bir çevrimde, ileri ve geri yüklemelerde yük-deplasman eğrisinde okunan yatay yük değerleri F_1 ve F_2 ve tepe deplasman değerleri δ_1 ve δ_2 olarak gösterilirse, o çevrim için rijitlik değeri (ϕ), Denklem 3.16'da gösterildiği gibi hesaplanabilir (Öztürk, 2010).

$$Rijitlik(\phi) = \frac{(|F_1|+|F_2|)}{(|\delta_1|+|\delta_2|)} \quad (3.16)$$

Şekil 3.43'de bir çevrimde rijitlik değerlerinin hesaplanması gösterilmiştir. Burada, F_1 ve δ_1 sıfırdan büyük, F_2 ve δ_2 değerleri sıfırdan küçüktür. Rijitlik azalımı grafiği, her bir çevrimdeki eğim açısı bulunarak, o çevrime ait tepe deplasmanına bağlı olarak verilmiştir. Bu yüzden grafiklerin, pozitif çevrimler için rijitlik eğimine (F_1 / δ_1) karşılık gelen δ_1 deplasmanı, negatif çevrimlerdeki rijitlik eğime (F_2 / δ_2) karşılık gelen δ_2 deplasmanına göre çizilmesi ile rijitlik azalım grafiğinde sağ taraf itmeyi (pozitif), sol taraf çekmeyi (negatif) temsil etmektedir. Şekil 3.44'de örnek olarak Kontrol-%0 deney numunesine rijitlik azalım grafiği verilmiştir.



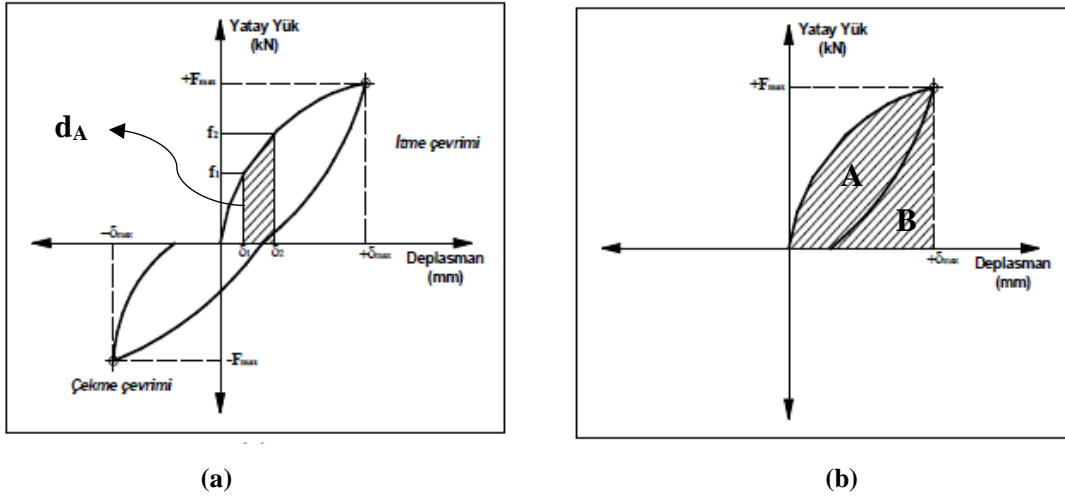
Şekil 3.43. Rijitlik azalımının hesaplanması



Şekil 3.44. Rijitlik azalım grafiği örneği

3.7.4.4. Tüketilen Enerji Grafiğinin Çizilmesi

Enerji tüketimi matematiksel olarak yük–deplasman eğrisinin altındaki alan olarak, döngüsel yükleme durumunda ise histerezis eğrileri arasında ki etkili alan (her çevrim için o çevrimdeki yükleme ve boşaltma eğrileri arasındaki alan) olarak ifade edilir (Rajput ve Sharma, 2018). Şekil 3.45’de tipik bir histerezis eğrisi verilmiştir. Bu eğrinin altında kalan alanı bulmak için çevrimde ilk olarak her bir kayıt adımındaki bir adımlık alanın bulunması ve daha sonra maksimum yüke kadar her bir alanın toplanması gerekmektedir. Maksimumun yüke kadar bir adımlık alanların toplanması ile Şekil 3.45 (b)’deki gibi bir alan (A+B alanı) elde edilmektedir. Yükleme ve boşaltma eğrileri arasındaki alanı (A alanı) bulmak için ise çevrimdeki maksimum yükten sonra elde edilen alanı (B alanı) çıkartmak gerekmektedir. Yani, yüklemede toplanan alanlardan (A+B), maksimum yükten sonra boşaltmadaki alanın (B) çıkartılması ile histerezis eğrisi içinde kalan alan hesaplanmaktadır (Balık, 2012).

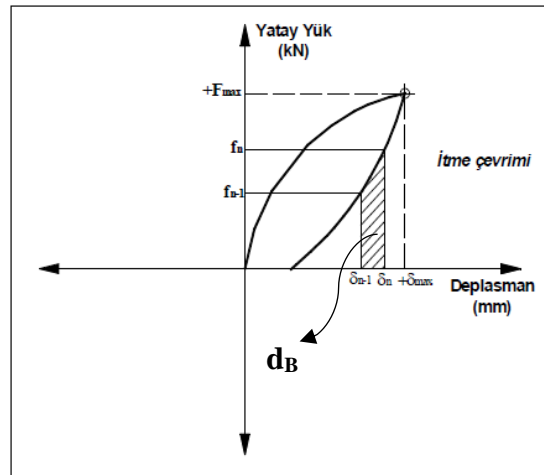


Şekil 3.45. Çevrimde tüketilen enerjinin hesaplanması (Balık, 2012)

Şekil 3.45.(a)'da verilen yük-deplasman eğrisindeki taralı d_A birimlik alanın hesabı Denklem 3.17 ile elde edilmektedir.

$$d_A = (\delta_2 - \delta_1) \frac{(f_2 + f_1)}{2} \quad (3.17)$$

Burada, f_1 ve f_2 değerleri anlık yük okumalarını, δ_2 ve δ_1 değerleride, bu yük okumalarına karşılık gelen deplasmanları ifade etmektedir. Çevrimdeki maksimum yüke kadar her bir, 1 birimlik d_A alanı toplanırsa, Şekil 3.45.(b)'deki alan elde edilecektir. Çevrimdeki maksimum yükten sonra, 1 birimlik bir d_B alanı, Şekil 3.46'da gösterilmiştir.



Şekil 3.46. Boşaltma durumunda eğrinin altında kalan alanın elde edilmesi (Balık, 2012)

Boşaltma durumunda eğrinin altındaki alanın hesabı için Denklem 3.18-20'den yararlanılmıştır.

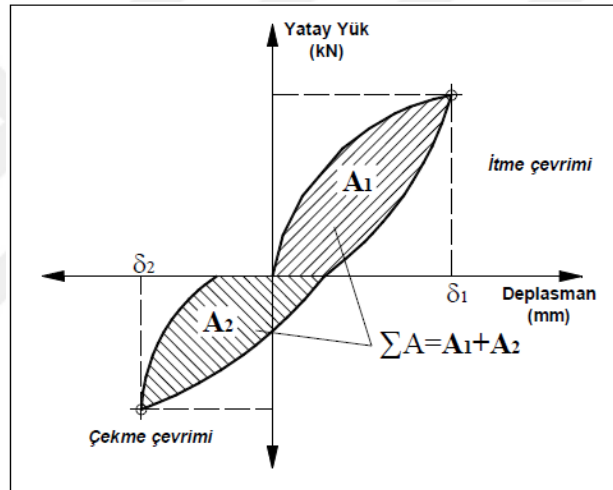
$$\delta_{n+1} - \delta_n < 0 \quad (3.18)$$

$$(f_{n+1} + f_n)/2 > 0 \quad (3.19)$$

$$d_A = (\delta_{n+1} - \delta_n) \frac{(f_{n+1} + f_n)}{2} < 0 \quad (3.20)$$

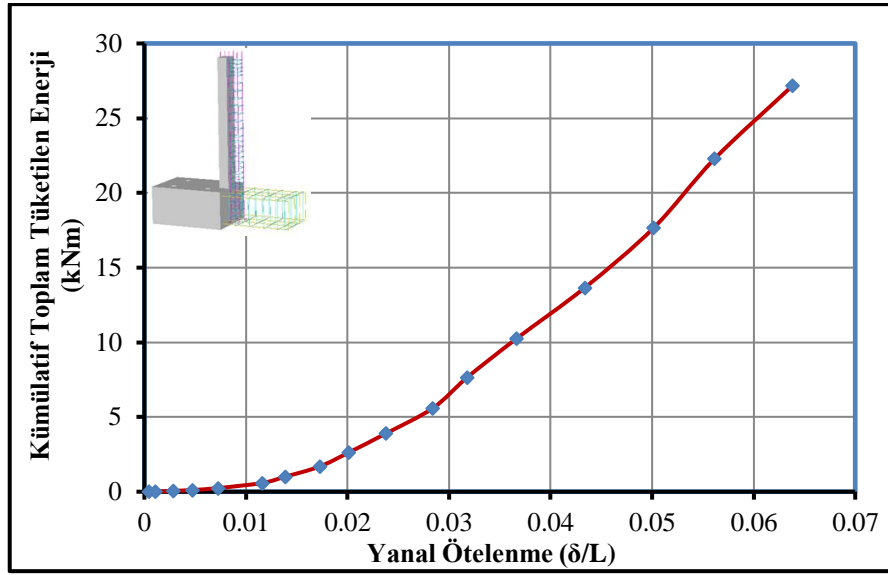
Bu formüller yardımıyla her bir çevrimde ki histerezis eğrisi arasında kalan alanı (A alanını) bulmak için yüklemdeki ve boşaltmadaki bulunan alanların toplanması integral yardımıyla Denklem (3.21)'deki gibi yapılmıştır. Şekil 3.47'de itme çevrimi için alan A_1 , çekme çevrimi için alan A_2 olarak gösterilerek, birinci çevrimdeki toplam tüketilen enerji A_1+A_2 olarak belirlenmiştir.

$$\int d_A(\text{yükleme}) + d_B(\text{boşaltma}) \quad (3.21)$$



Şekil 3.47. İtme ve çekme çevrimindeki toplam tüketilen enerji (Balık, 2012)

Çalışma kapsamında yapılan deneyler için tüketilen enerji grafikleri, dikey eksende kümülatif toplam enerji (kNm), yatay eksen de ise her çevrimin itme ve çekme deplasmanlarının ortalamasının deneysel numunelerin yüksekliğine bölünmesiyle elde edilen yatay ötelenme oranlarına bağlı olarak çizdirilmiştir. Şekil 3.48'de örnek bir tüketilen enerji grafiği verilmiştir.



Şekil 3.48. Tüketilen enerji grafik örneği

3.7.5.5. Süneklik Grafiklerinin Çizilmesi

Süneklik yapı veya yapıyı oluşturan elemanların dayanım ve rijitliğinde önemli bir kayıp olmaksızın plastik deformasyon yapabilme yeteneğidir (Paulay, 1993). Deprem gibi yatay yükler altında, yapıyı veya yapının bir taşıyıcısı olan kolonları değerlendirmek için süneklik parametreleri içinden en uygun nicelik deplasmandır (Koçer ve ark., 2019a). Böylece konsol bir kolonun sünekliği, göçme deplasmanının akma deplasmanı oranı ile belirlenmektedir (Denklem 3.21).

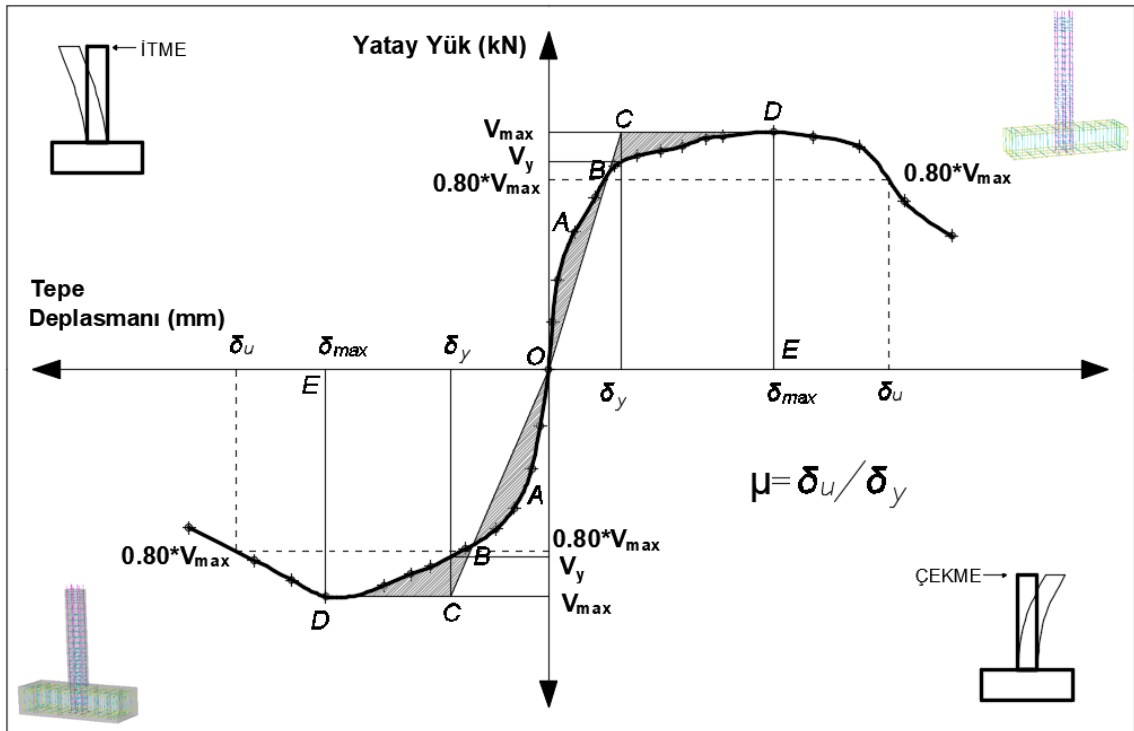
$$\mu = \frac{\delta_u}{\delta_y} \quad (3.21)$$

Deplasman sünekliği hesaplanırken, yük-deplasman eğrisinde akma ve göçme deplasmanının belirlenmesi için, çeşitli araştırmacılar tarafından günümüze kadar yapılan deneysel çalışmalar ile alternatif yöntemler önerilmiş ve bazı kabuller yapılmıştır (Park, 1988; Paulay, 1993; Priestley, 2000). Bu çalışmada, akma deplasmanının belirlenmesi için, eşdeğer elasto-plastik enerji yöntemi dikkate alınmıştır ve Şekil 3.49'da gösterilmiştir. Bu yöntemde, başlangıçtan çizilen teğet ile maksimum yatay yük teğetinin kesiştirilmesi ile elde edilen OBCD çizgisinin, OABD iskelet eğrisi ile arasında sınırladığı, OAB alanı ile BCD alanının birbirine eşit olması gerekmektedir. Bunun için A(OABDE) ile A(OBCDE) birbirlerine eşitlenerek akma deplasmanı olan δ_y elde edilmektedir (Ma ve ark., 2012). Denklem 3.22'de δ_y 'nin nasıl elde edildiği gösterilmiştir. Deney numunelerinin maksimum yükte meydana gelen % 20 azalma ile

göçme konumuna ulaştığı kabul edilmiş, fakat daha büyük hasarlar meydana gelinceye kadar testler devam ettirilmiştir (Yang ve ark., 2016).

$$A(OABDE) = A(OBCDE) = \frac{\delta_{max} - \delta_y + \delta_{max}}{2} \times V_{max} \quad (3.22)$$

Denklemden, V_{max} maksimum yatay yükü, δ_{max} maksimum yatay yüke karşılık gelen deplasmanı, δ_y akma deplasmanını, $A(OABDE)$ eğrisinin altında kalan alanı, $A(OBCDE)$ yamuğun alanını temsil etmektedir.



Şekil 3.49. Deney numunelerinin süneklik değerinin hesaplanması

4. NUMUNELERİN DEPREMİ BENZEŞTİREN YATAY YÜKLEME ALTINDA TEST EDİLMESİ

Bu bölümde, deney elemanlarının hızlandırılmış korozyona maruz bırakılmasının ardından, deprem yüklerini benzeştiren tersinir-tekrarlanır yatay yük altında test edilmesi ve deneylere ait davranış eğrileri ayrı ayrı gösterilerek sonuçlar yorumlanmıştır. Deney elemanlarının üretiminde 5 farklı beton karışım oranı kullanıldığı ve ayrıca korozyon hasarına maruz kaldıkları için özdeş birer yükleme programı uygulanamamıştır. Tüm deneysel elemanlarda yatay çevrimsel yüklemeye önce yük kontrollü olarak başlanmış, nominal akma sınırına ulaşıldığı zaman, deplasman kontrollü olarak devam edilmiştir. Deneyler, numunelere 5 kN'luk yatay yük verilmesi ile başlamış ve nominal akma sınırına kadar her bir yükleme adımı 5 kN'luk yük artırımları ile devam etmiştir. Deplasman kontrollü yüklemeye, deplasman artırımları tepe deplasmanı 20 mm ye kadar 2.5 mm, 20 mm - 50 mm arası 5 mm, 50 mm'den sonra 10 mm olarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca deneysel elemanların maksimum yatay yüklerinde meydana gelen % 20'lik azalma ile göçme konumuna ulaştığı kabul edilse de, deney elemanlarında göçme meydana gelene kadar deneyler devam ettirilmiştir.

Deney elemanları, yatay yükleme altında test edilmeden önce beyaz boya ile boyanarak, deney esnasında oluşan çatlakların daha iyi gözlemlenmesi sağlanmıştır. Deneyler sırasında aynı yüklemeye oluşan çatlaklara aynı isimlendirmeler verilerek numune üzerlerinde işaretlenmiş, meydana gelen çatlak ve hasarların not edildiği çatlak analiz çizelgesi oluşturulmuştur. Ayrıca deney sırasında meydana gelen çatlak ve hasarlar her bir yükleme adımından sonra fotoğraflanarak kayıt altına alınmıştır. Deneylerde numunelerde oluşan çatlaklar ve hasarlar bilgisayar programında işlenerek çatlaklar ile ilgili yorumlar yapılmıştır.

Deneysel sonuçların daha iyi anlaşılması, birbirleriyle karşılaştırılabilmesi için her numune için aşağıdaki grafikler sırasıyla verilmiştir:

- ✓ Yük geçmişi grafiği
- ✓ Deplasman geçmişi grafiği
- ✓ Yatay yük- Tepe deplasman grafiği
- ✓ Zarf eğrisi grafiği
- ✓ Sistem rijitlik azalım grafiği
- ✓ Kümülatif toplam tüketilen enerji-tepe deplasman grafiği
- ✓ Sistem süneklik grafiği

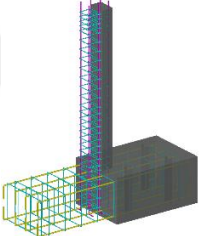
Deneylerin bireysel sonuçlarının ardından, yapılan çalışmalar birbirleri ile karşılaştırmalı olarak gösterilmiş ve deneysel sonuçlar yorumlanmıştır.

4.1. Deney Sonuçları

4.1.1. Deney Numunesi-1 (KONTROL-%0)

Çalışma kapsamında ilk test edilen numune, Kontrol-%0 isimli referans numunedir. Kontrol-%0 isimli numune, mineral katkısız seriye ait 3 adet numuneden, korozyon hasarına maruz bırakılmayan referans numunedir. Kontrol-%0 isimli numuneye ait parametrik değerler Çizelge 4.1’de özetlenmiştir.

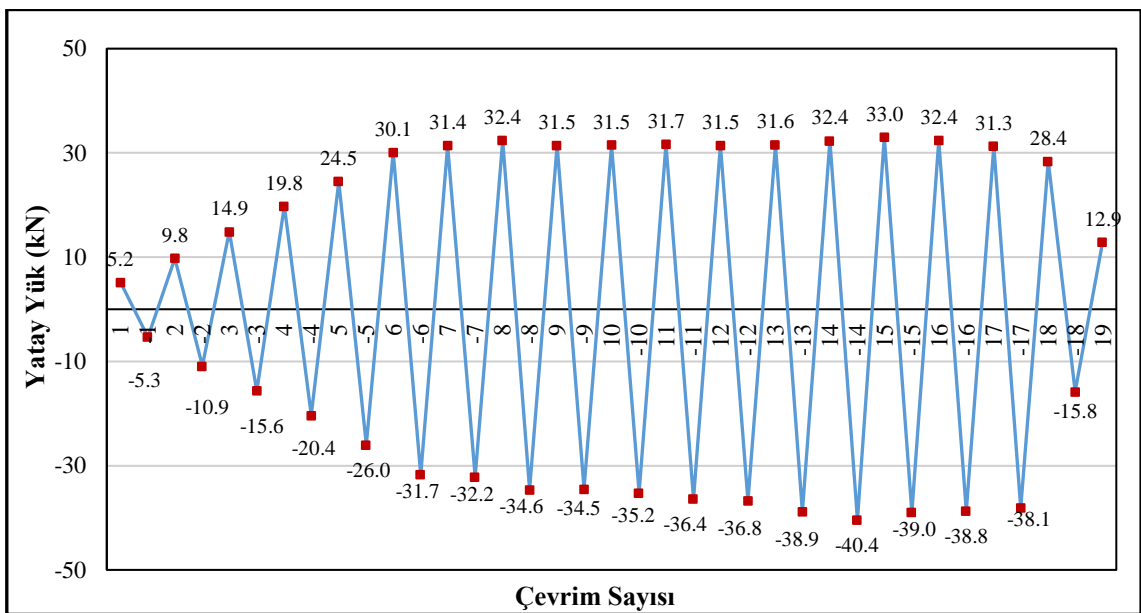
Çizelge 4.1. Kontrol-%0 numunesinin parametrik özellikleri

Deney Numunesi No	Numune görünümü	Mineral Katkı Türü (1 m ³ için) (kg)			Ortalama Silindir Basınç Dayanımı (MPa)	Korozyon Seviyesi (%)
		CEM I 42.5R	UK	YFC		
Deney-1 KONTROL-%0		280	-	-	29.17	0
Çimentolu Seri						

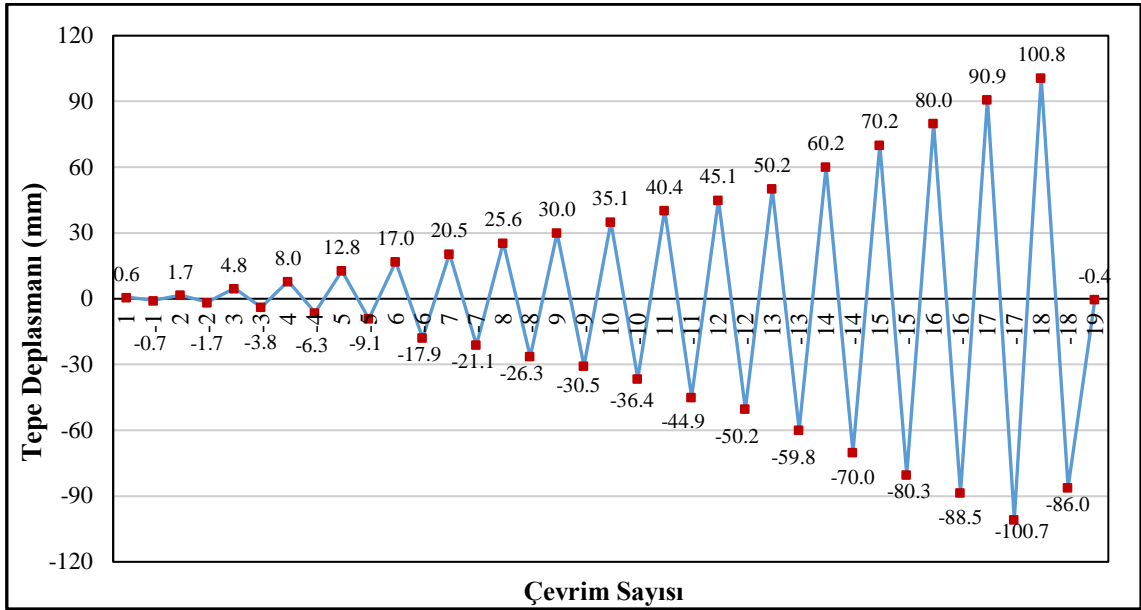
Deney elemanının tersinir-tekrarlanır yatay yükleme altında test edilmeden hemen önce ki, yatay yükleme deney düzeneğine yerleştirilmiş hali Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Şekil 4.2’de deney elemanına ait yük geçmişi grafiği, Şekil 4.3’de deplasman geçmişi grafiği verilmiştir.



Şekil 4.1. Kontrol-%0 numunesinin deney öncesi görünümü



Şekil 4.2. Kontrol-%0 deney numunesinin yük geçmişi grafiği



Şekil 4.3. Kontrol-%0 deney numunesinin deplasman geçmişi grafiği

Şekil 4.2'deki yükleme geçmişi grafiğinden de görüldüğü gibi 7. çevrime kadar ± 5 kN yük artırımı uygulanmış ve sonraki çevrimlerde deplasman kontrollü yüklemeye geçilmiştir. Deplasman kontrollü yüklemeye ise 50 mm'ye kadar 5 mm deplasman artırımı uygulanmış ve 50 mm'den sonra 10 mm'lik deplasman artırımları ile deneye devam edilmiştir. Yük geçmişi grafiği incelendiğinde, 7. çevrimden sonraki yüklemelerde deneysel numunenin ideal akma noktasına ulaştığı görülmektedir. İlerleyen çevrimlerde yatay yükte artış olmadığından deplasman kontrollü olarak göçme konumuna -86 mm'de donatıda meydana gelen kopma ile ulaşılmıştır. Deney aşamasında her bir çevrimde gözlemlenen davranış Çizelge 4.2'de verilmiştir.

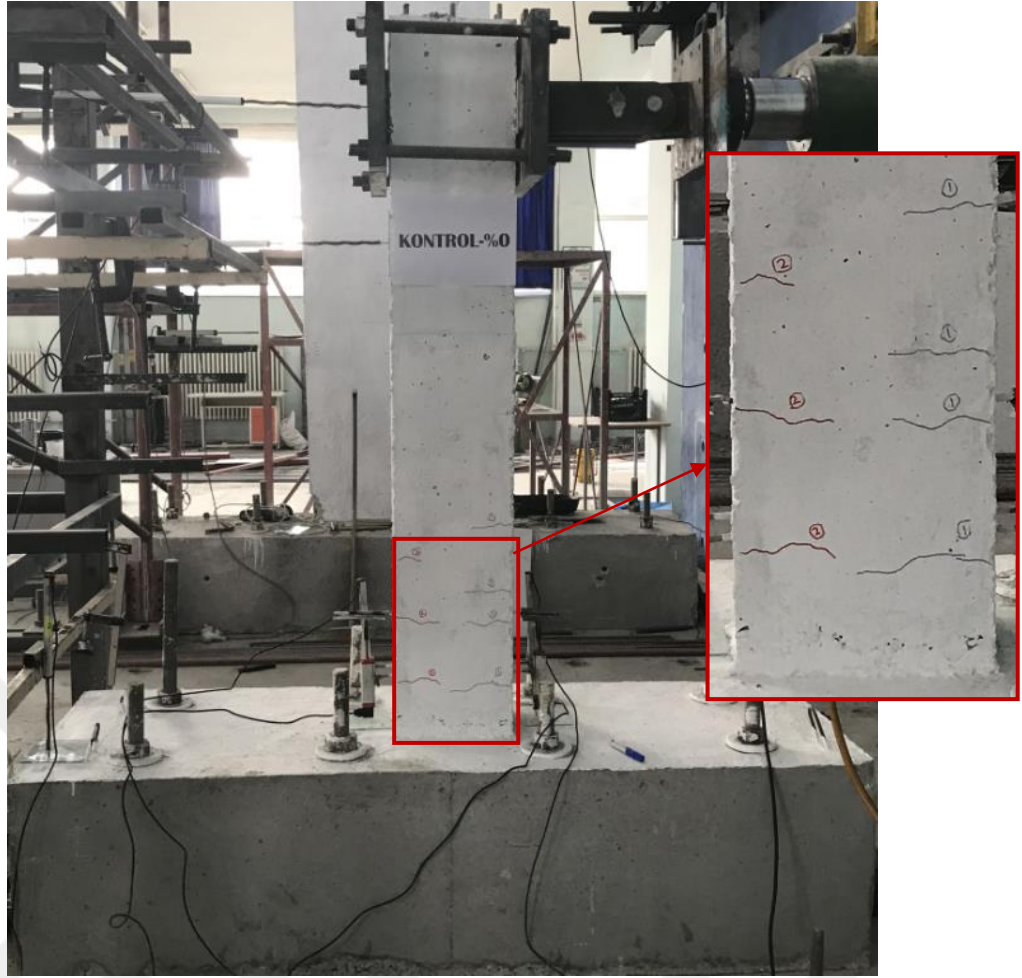
Çizelge 4.2. Kontrol-%0 numunesinde çatlak ve hasar oluşumları

Çevrim No (+, itme) (-, çekme)	Maksimum Yatay Yük (kN)	Maksimum Tepe Deplasmanı (mm)	Numunede Gözlenen Çatlak ve Hasar Oluşumu
1	5.17	0.62	Deneyin ilk iki çevriminde herhangi bir çatlak gözlemlenmemiştir.
-1	-5.32	-0.71	
2	9.76	1.66	
-2	-10.93	-1.72	*İlk çatlak meydana geldi.
3	14.91	4.77	Kolon-temel birleşiminden itibaren 12, 29, 37 ve 54 cm yüksekliğinde dört adet çatlak meydana gelmiştir.
-3	-15.61	-3.82	Kolon-temel birleşiminden itibaren 14, 30 ve 45 cm yüksekliğinde 3 adet çatlak meydana gelmiştir.

Çevrim No (+, itme) (-, çekme)	Maksimum Yatay Yük (kN)	Maksimum Tepe Deplasmanı (mm)	Numunede Gözlenen Çatlak ve Hasar Oluşumu
4	19.82	8.03	Kolon-temel birleşiminden itibaren 73 cm yüksekliğinde yeni çatlak oluştu ve daha önce oluşan çatlakların boyları uzamıştır.
-4	-20.38	-6.30	Kolon-temel birleşiminden itibaren 61 cm yüksekliğinde yeni çatlak oluştu ve daha önce oluşan çatlakların boyları uzamıştır.
5	24.54	12.77	Kolon-temel birleşiminden itibaren 46 cm yüksekliğinde ve kolon temel birleşiminde yeni çatlak oluşmuştur. Daha önce oluşan çatlakların boyları uzamış ve çatlak genişlikleri artmıştır.
-5	-26.01	-9.14	Kolon-temel birleşiminden itibaren 5, 53 ve 72 cm yüksekliğinde ve kolon temel birleşiminde yeni çatlaklar meydana gelmiştir. Daha önce oluşan çatlakların boyları uzamış ve çatallaşmıştır.
6	30.11	16.96	Kolon-temel birleşiminden itibaren 69 cm yüksekliğinde yeni çatlak meydana gelmiştir ve daha önce oluşan çatlakların boyları uzamıştır. *Deney numunesi akma konumuna ulaşmıştır.
-6	-31.73	-17.85	Kolon-temel birleşiminden itibaren 37 ve 94 cm yüksekliğinde yeni çatlak meydana gelmiştir ve daha önce oluşan çatlakların boyları uzamıştır. *Deney numunesi akma konumuna ulaşmıştır.
Deplasman Kontrollü Yükleme Geçilmiştir.			
7	31.41	20.50	Daha önce meydana gelen çatlakların boyları uzamıştır.
-7	-32.15	-21.12	Daha önce meydana gelen çatlakların boyları uzamıştır.
8	32.40	25.57	Kolon temel birleşiminde itmede ve çekmede meydana gelen çatlaklar birleşmiştir.
-8	-34.58	-26.26	Daha önce meydana gelen çatlakların genişlikleri artmaktadır.
9	31.48	30.00	Kolon-temel birleşiminden itibaren 5 cm yüksekliğinde yeni çatlak meydana gelmiştir ve kolon-temel birleşimindeki çatlağın genişliği artmıştır. Önceki yüklemelerde meydana gelen çatlakların boyları uzamaktadır. Çatlak genişlikleri artmaktadır.
-9	-34.47	-30.51	Önceki yüklemelerde meydana gelen çatlakların boyları uzamaktadır. Çatlak genişlikleri artmaktadır.
10	31.53	35.06	Önceki yüklemelerde meydana gelen çatlakların boyları uzamaktadır. Çatlak genişlikleri artmaktadır.
-10	-35.23	-36.35	Önceki yüklemelerde meydana gelen çatlakların boyları uzamaktadır. Çatlak genişlikleri artmaktadır.
11	31.68	40.35	Önceki yüklemelerde meydana gelen çatlakların boyları uzamaktadır. Çatlak genişlikleri artmakta ve çatallaşmaktadır.
-11	-36.42	-44.86	Önceki yüklemelerde meydana gelen çatlakların boyları uzamaktadır. Çatlak genişlikleri artmakta ve çatallaşmaktadır.
12	31.49	45.14	Çatlakların boyları uzayarak itme ve çekme çatlakları birleşmiştir. Ayrıca meydana gelen çatlaklar çatallaşarak ilerlemektedir.

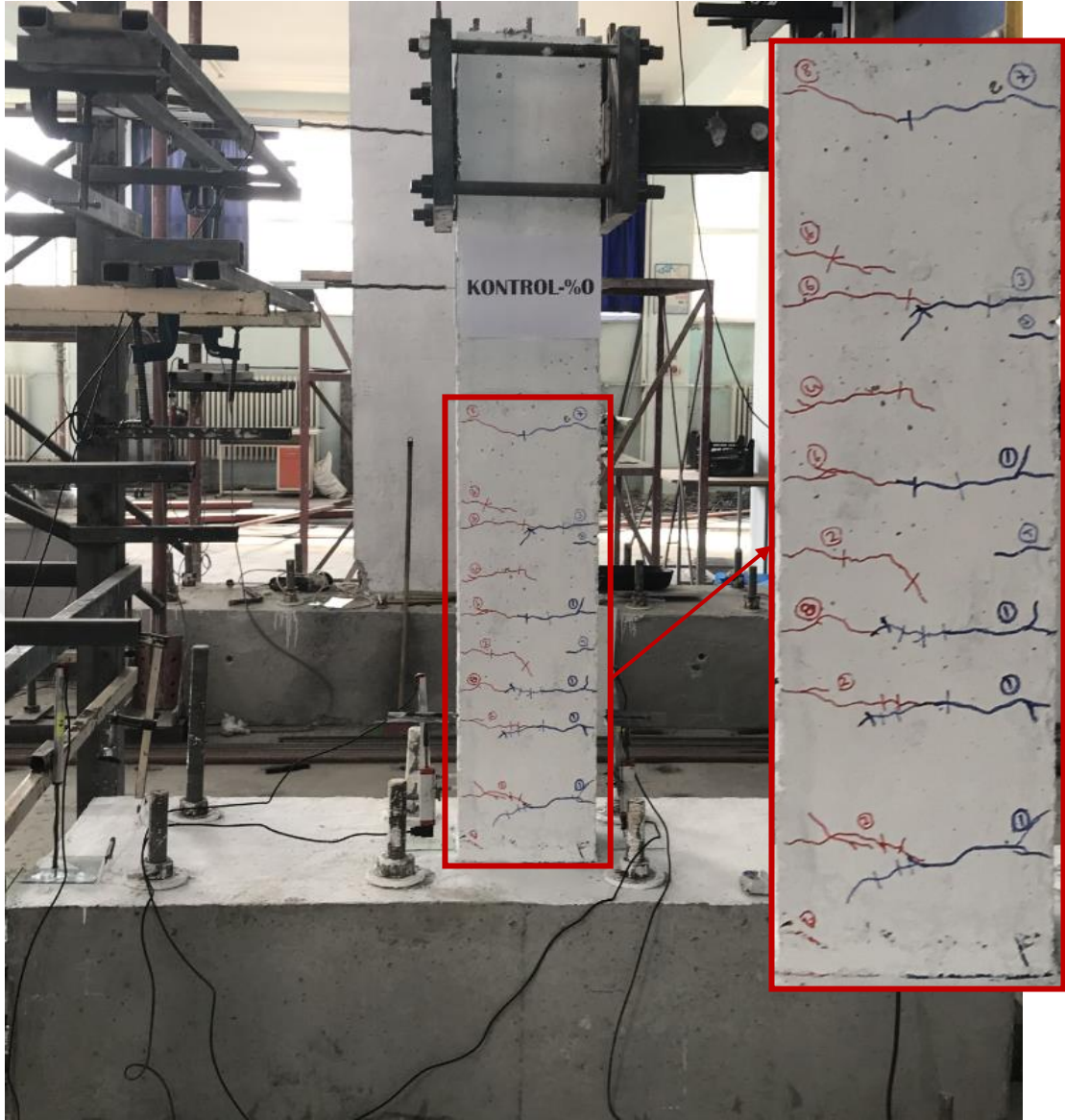
Çevrim No (+, itme) (-, çekme)	Maksimum Yatay Yük (kN)	Maksimum Tepe Deplasmanı (mm)	Numunede Gözlenen Çatlak ve Hasar Oluşumu
-12	-36.77	-50.24	Çatlakların boyları uzayarak itme ve çekme çatlakları birleşmiştir. Ayrıca meydana gelen çatlaklar çatallaşarak ilerlemektedir.
13	31.56	50.20	Kolon-temel birleşiminden itibaren 21 cm yüksekliğinde yeni çatlak meydana gelmiştir.
-13	-38.87	-59.81	Basınç bölgesinde ezilmeler başlamıştır.
14	32.35	60.16	Basınç bölgesinde ezilmeler başlamıştır.
-14	-40.42	-70.00	-----
15	33.00	70.24	-----
-15	-39.00	-80.25	-----
16	32.42	79.99	Basınç bölgesinde meydana gelen ezilmelerden dolayı beton dökülmeye başlamıştır.
-16	-38.76	-88.52	Basınç bölgesinde meydana gelen ezilmelerden dolayı beton dökülmeye başlamıştır.
17	31.31	90.86	-----
-17	-38.11	-100.67	-----
18	28.38	100.83	-----
-18	-15.8	-86	Basınç bölgesinde meydana gelen dökülmelerden dolayı, çekme donatısında kopma meydana gelmiştir ve numune göçme konumuna ulaşmıştır. *Deneyde yüklemeye son verilmiştir.
19	12.94	-0.37	Deplasman sıfırlanarak numune başlangıç konumuna alınmıştır.

Deneyel elamanda ilk eğilme çatlakları ± 3 . çevrimde yaklaşık 15 kN'luk yatay yükte meydana gelmiştir. Bu yük değerinde numune, 4.77 mm'lik bir tepe deplasmanına ve % 0.31'lik bir yanal ötelenme oranına sahiptir. Deneyel elemanda gözlemlenen ilk çatlaklar Şekil 4.4'de gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Kontrol-%0 deney numunesinde oluşan ilk çatlaklar

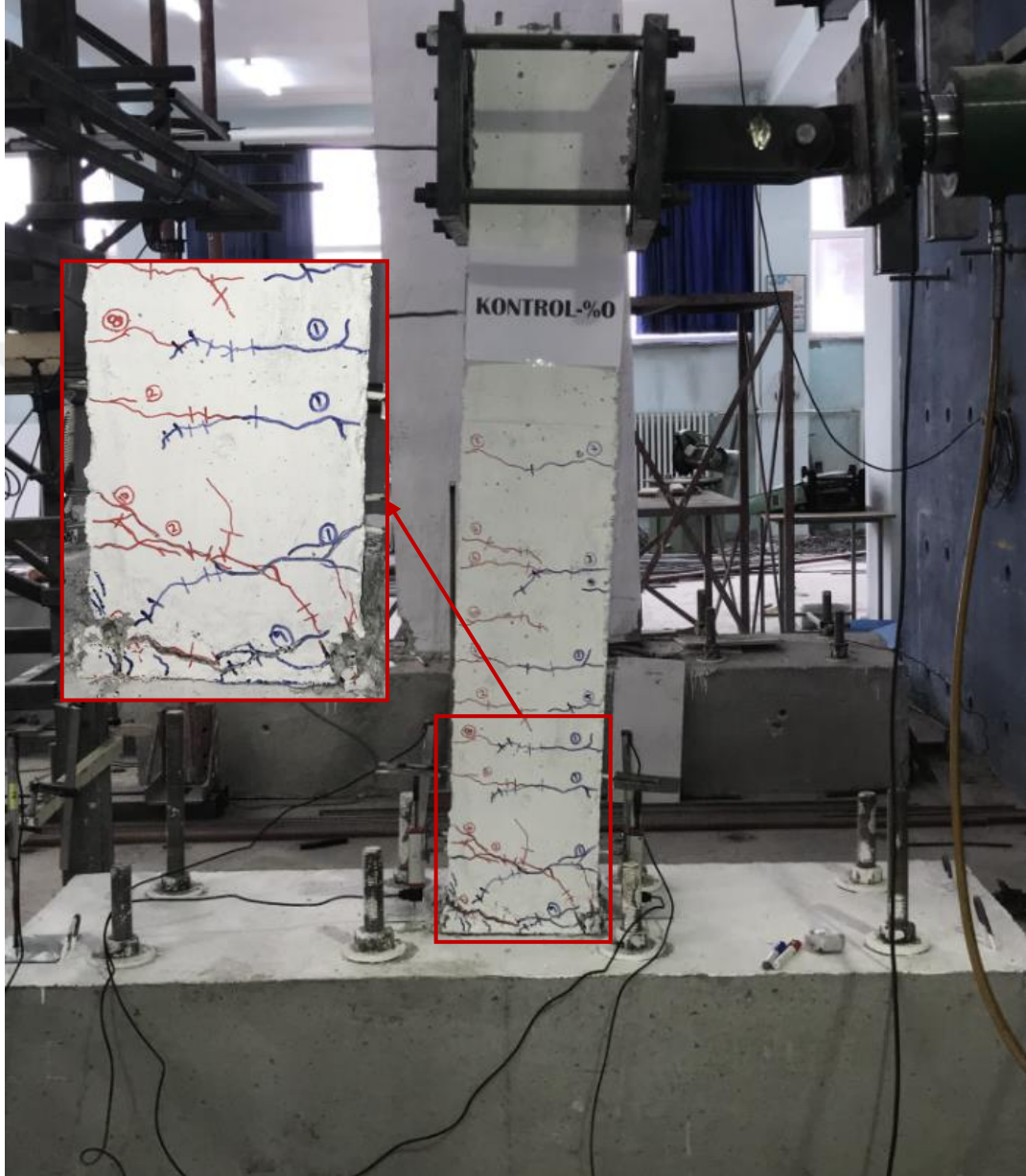
Kontrol-%0 deney elemanı akma konumuna, yaklaşık % 1.3 ötelenme oranında ve 31.41 kN yatay yük değerinde ulaşmıştır. Bu yükte deneysel numunenin tepe deplasmanı 20.50 mm'dir. Bu yükleme adımında temel-kolon birleşim bölgesinde çatlaklar oluşmuş, ayrıca itme ve çekme çevrimlerinde oluşan simetrik eğilme çatlakları çatallaşmaya başlamıştır. Şekil 4.5'de deneysel numunenin akma konumunda gözlenen çatlaklar gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Kontrol-%0 deney numunesinde akma konumunda gözlenen çatlaklar

Kontrol-%0 numunesi, -18. geri yükleme çevriminde çekme donatısında meydana gelen kopma ile yatay yük taşıma kapasitesine ulaşmıştır. Bu çevrimde numune, 15.8 kN yatay yük ve 86 mm tepe deplasmanına sahiptir. Deney elemanının bir önceki çevrimindeki tepe deplasmanı yaklaşık 100 mm civarındadır. Deneysel eleman göçme konumuna ulaştığında, numunenin basınç bölgesinde ki donatılar burkulmuş ve beton örtüsü dökülmüştür. Çekme bölgesindeki ilk donatının kopması sonucu yatay yükte ani bir düşüş meydana gelmiş, daha sonra numune kendini toplamaya çalışırken diğer donatının da kopması sonucu deney sonlandırılmıştır. Deneysel numunenin deney sonu görünüşleri Şekil 4.6'da gösterilmiştir. Numunede deney sonuna kadar eğilme davranışı gözlemlenmiş olup, plastik mafsallık bölgesindeki her iki yüzdeki çatlaklar birleştikten

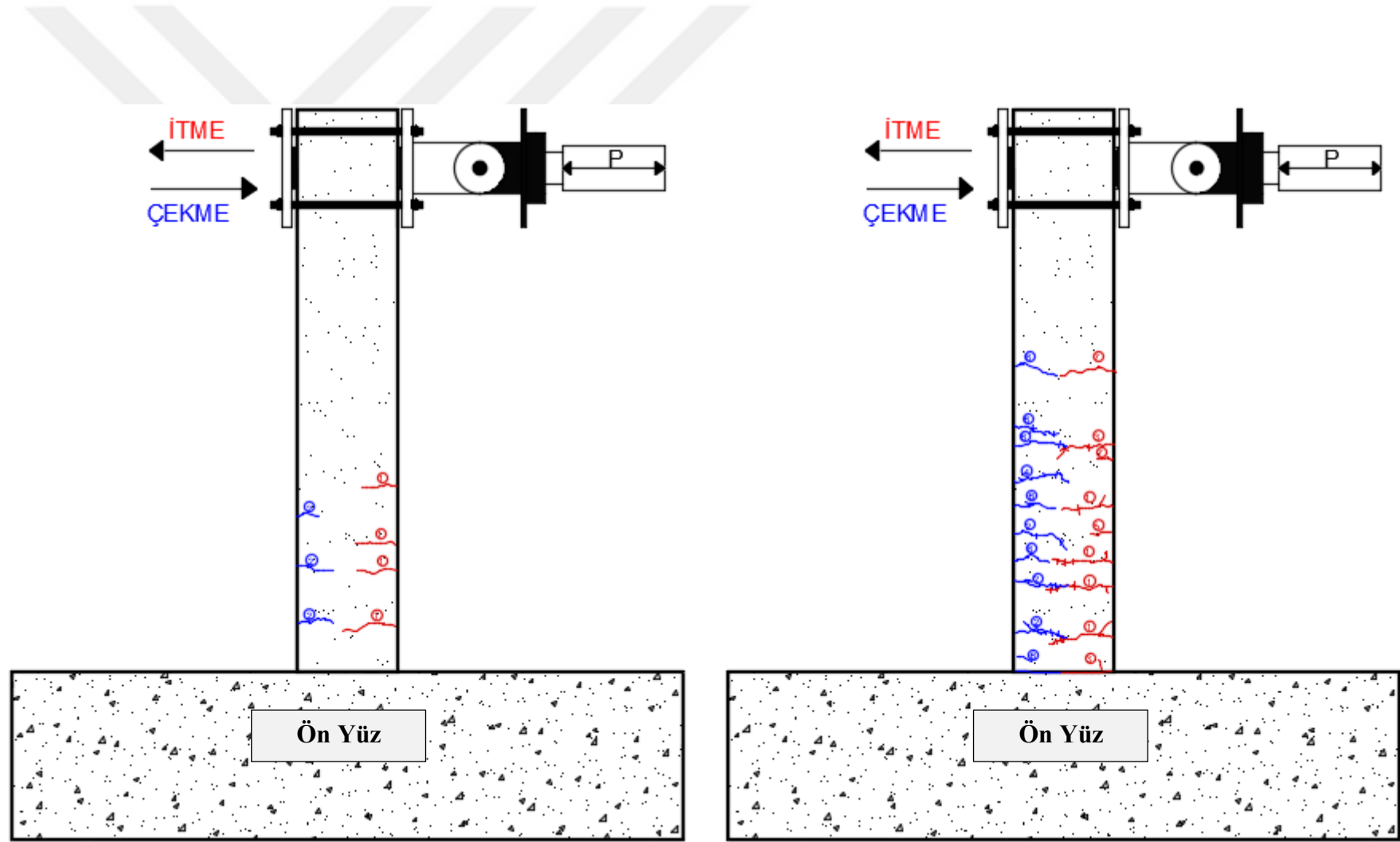
sonra 45° eğimle kolon-temel birleşimine doğru ilerlemişlerdir. Kontrol-%0 deney elemanının ilk çatlak, akma yükü, maksimum yük ve göçme durumunun çatlak krokisi bilgisayar programında işlenerek, hasar oluşumu incelenmiştir. Deneysel numunenin çatlak krokisi Şekil 4.7’de gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Kontrol-%0 numunesinin deney sonu görünümü



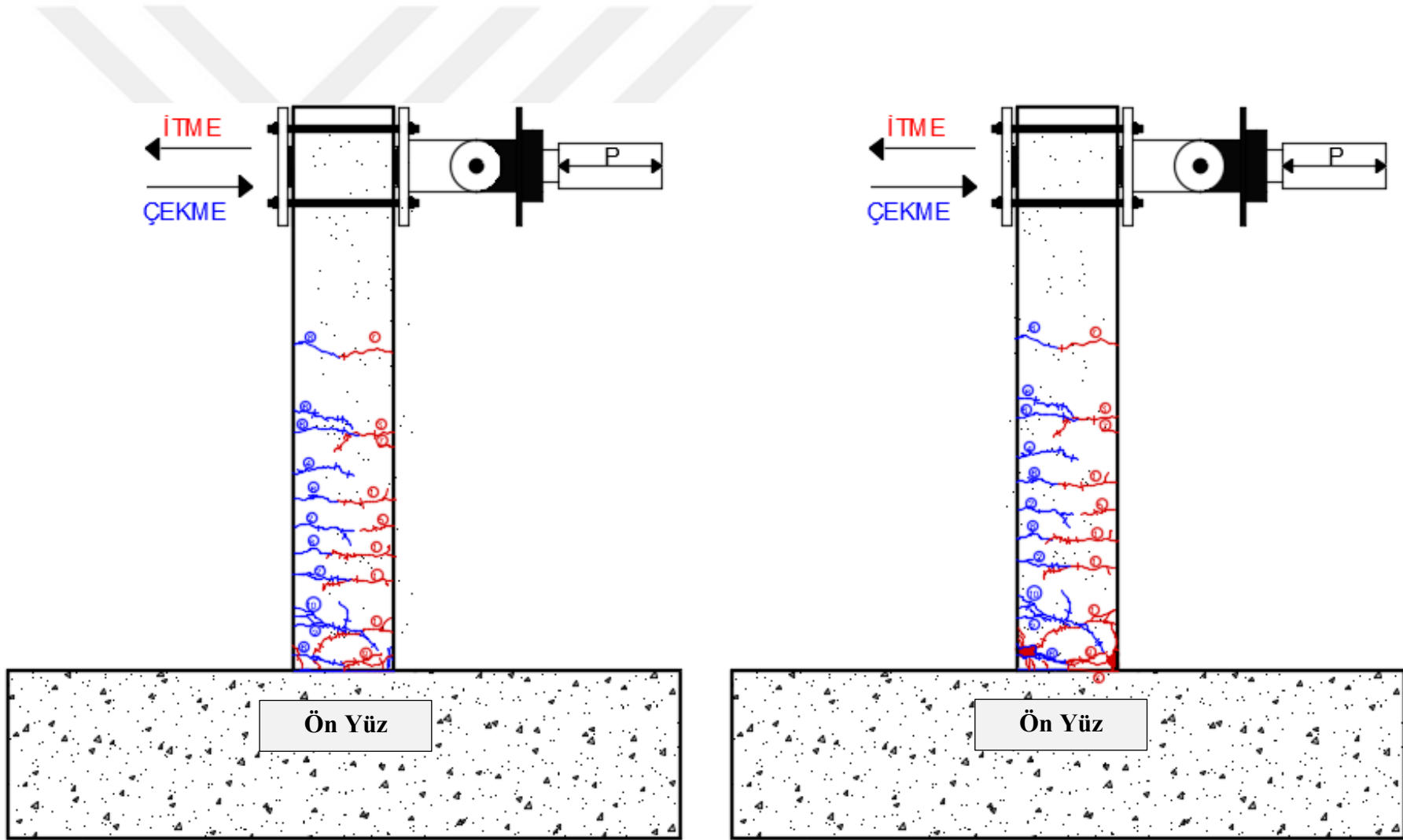
Şekil 4.6. Kontrol-%0 numunesinin deney sonu görünümü (devamı) (plastik mafsalsal bölgesi)



(a) İlk çatlak

(b) Akma Yüğü

Şekil 4.7. Kontrol-%0 numunesinin çatlak krokisi



(c) Maksimum yük

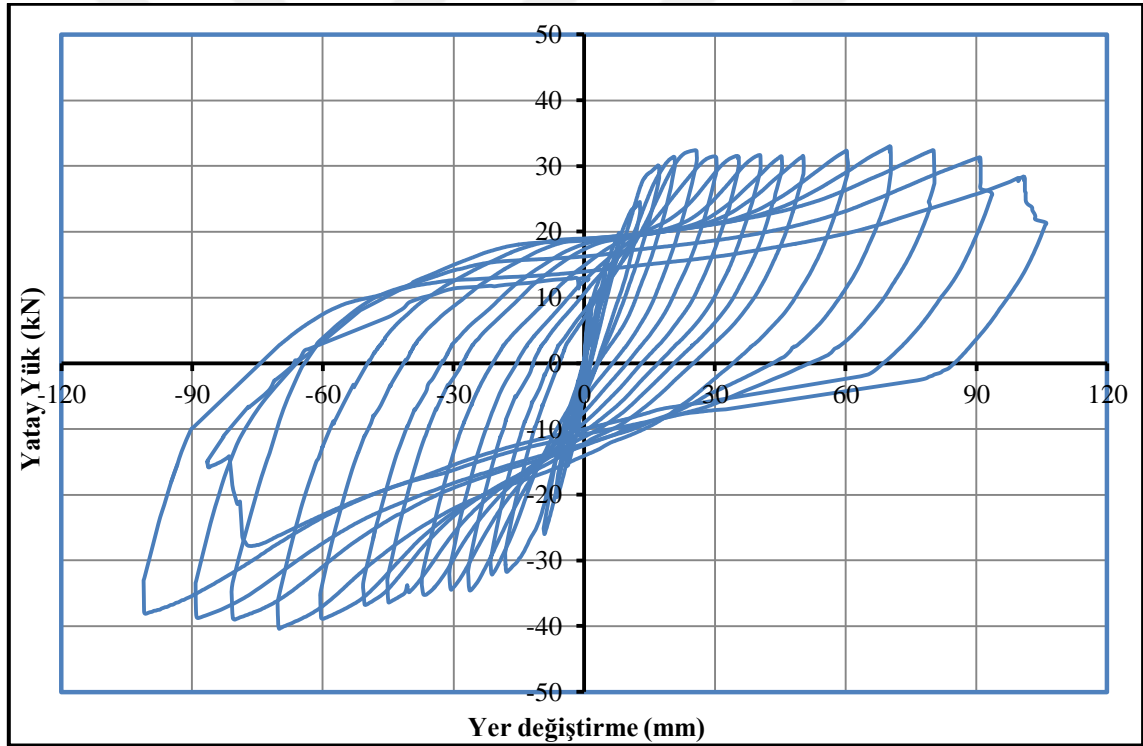
(d) Göçme durumu

Şekil 4.7. Kontrol-%0 numunesinin çatlak krokisi (devamı)

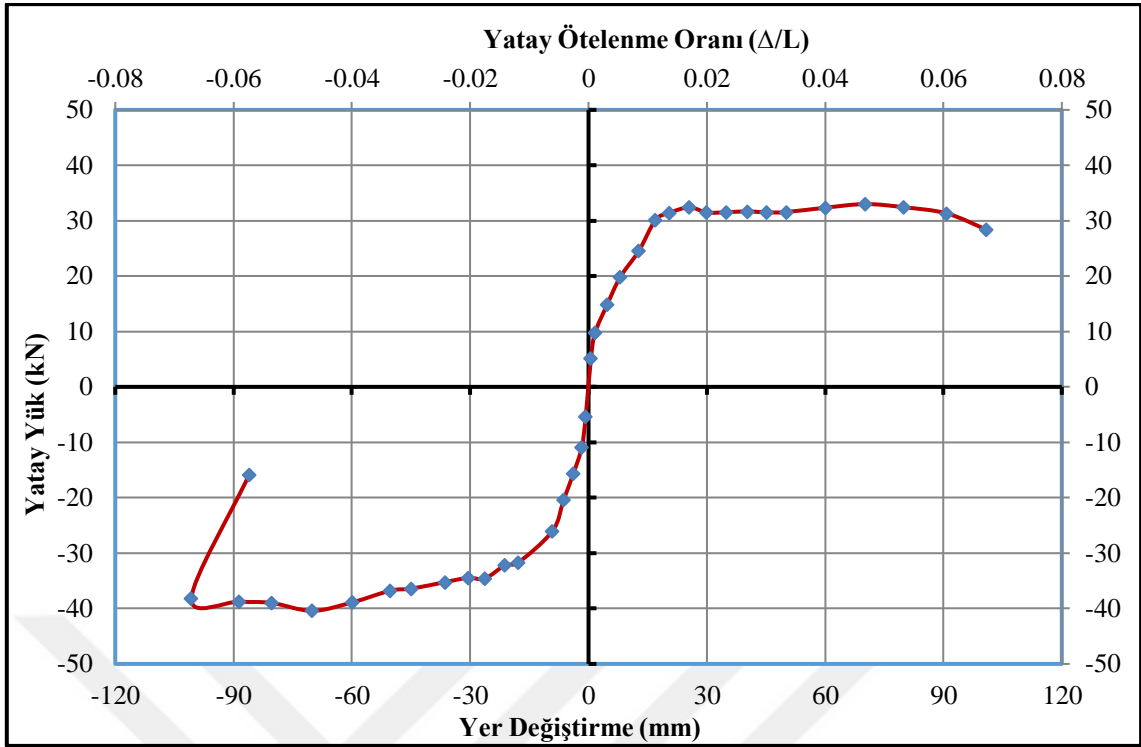
Deneyler sırasında yük hücresi ve yer değiştirme ölçerlerden alınan veriler yardımıyla, numunelerin davranışlarını incelemek için çeşitli grafikler çizilmiştir. Şekil 4.8’de Kontrol-%0 numunesine ait yatay yük- yer değiştirme çevrimsel histerezis ilişkisi, Şekil 4.9’da ise her bir çevrimdeki maksimum yatay yük ve bu yüke karşılık gelen yer değiştirmelerin işaretlenmesi ve birleştirilmesi ile elde edilen dayanım zarfı görölmektedir.

Kontrol-%0 numunesinin, yatay yük-yer değiştirme eğrisinin altında kalan alanların hesaplanması ve ardışık toplanması ile numunenin kümülatif toplam enerji tüketme kapasitesi-ötelenme oranı grafiği çizilmiş ve Şekil 4.10’da gösterilmiştir.

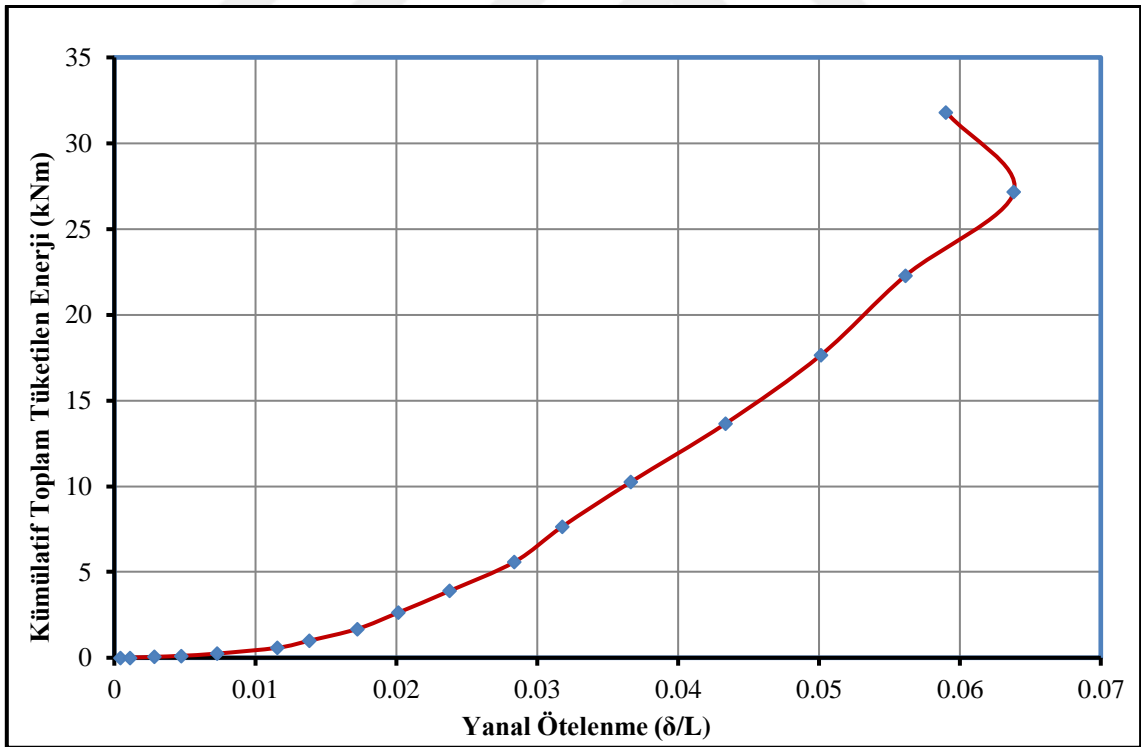
Kontrol-%0 numunesine ait rijitlik azalımı grafiği Şekil 4.11’de gösterilmiştir. Rijitlik grafiğinde, itme çevrimleri için elde edilen değerler grafiğin sağ tarafında, çekme çevrimleri için hesaplanan değerler grafiğin solunda yer almaktadır.



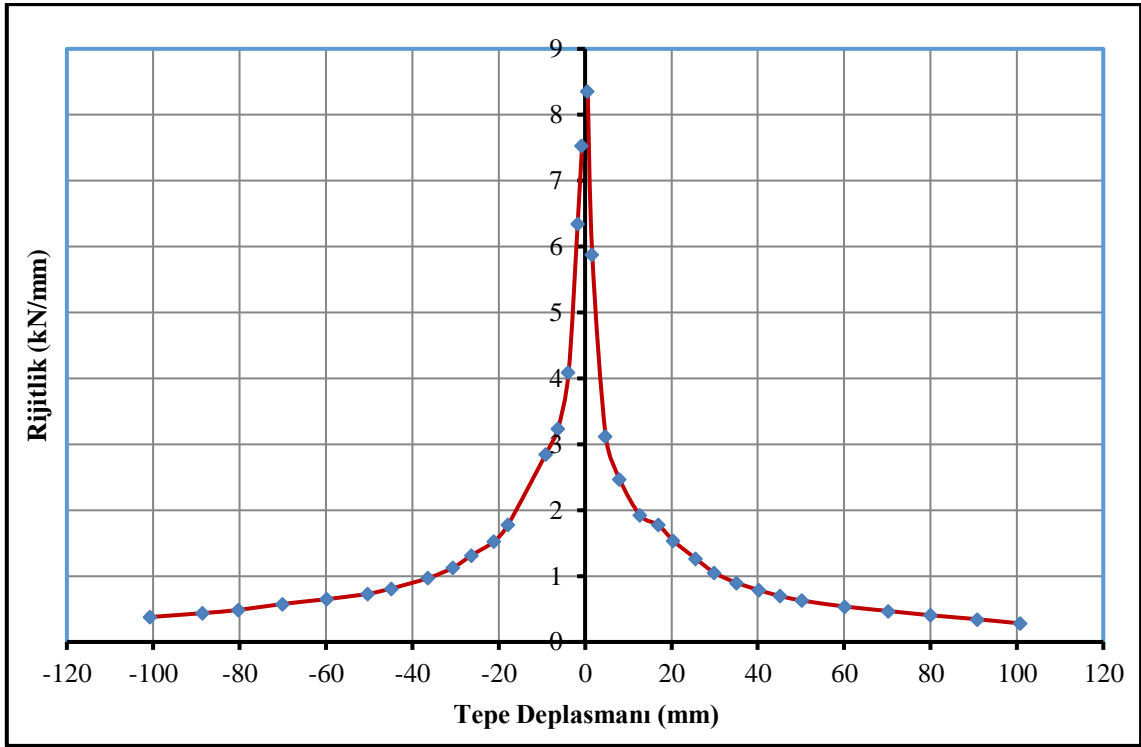
Şekil 4.8. Kontrol-%0 numunesinin yatay yük-tepe deplasmanı histerezis eğrisi



Şekil 4.9. Kontrol-%0 numunesine ait dayanım zarfı

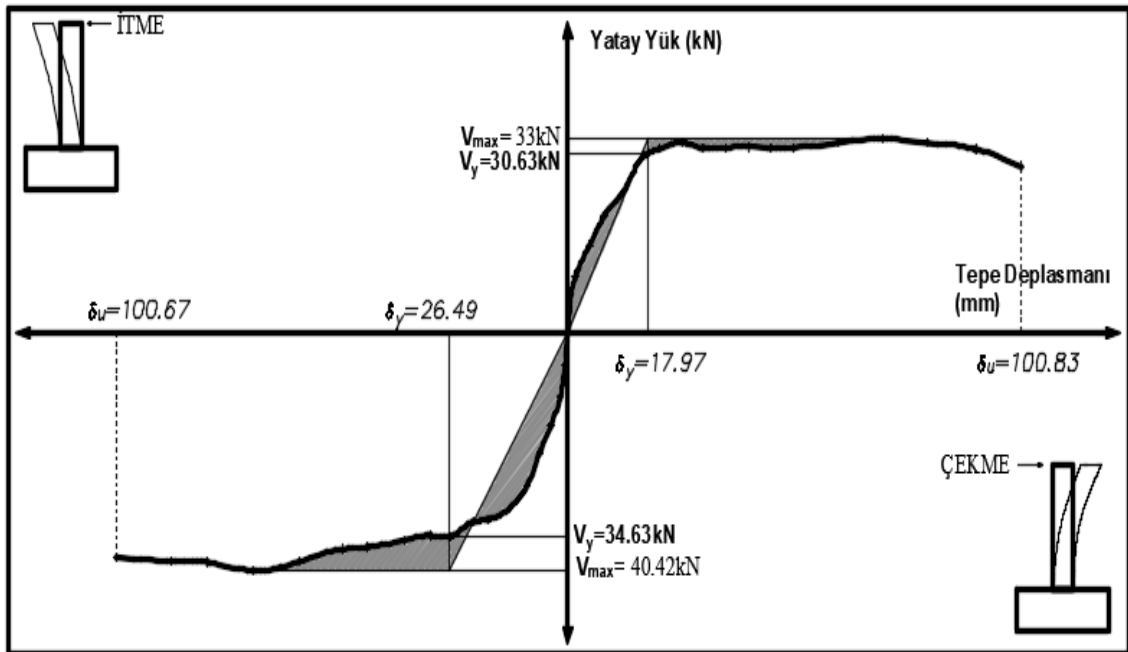


Şekil 4.10. Kontrol-%0 numunesine ait kümülatif toplam tüketilen enerji grafiği



Şekil 4.11. Kontrol-%0 numunesinin rijitlik azalımı grafiği

Kontrol-%0 numunesinin süneklik parametrelerinin gösterildiği grafik Şekil 4.12'de verilmiştir. Çizelge 4.3'de ise süneklik değerleri tablo halinde özetlenmiştir.



Şekil 4.12. Kontrol-%0 numunesinin süneklik grafiği

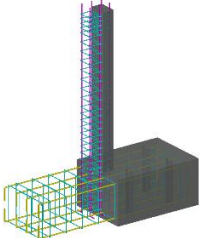
Çizelge 4.3. Kontrol-%0 numunesinin çatlak ve hasar oluşumu

Kontrol-%0	V_y (kN)	$0.8*V_{max}$ (kN)	V_{max} (kN)	Δ_y (mm)	Δ_u (mm)	μ (Δ_u/Δ_y)	$\mu_{ort.}$	Yatay Ötelenme Oranı (Δ/L) (%)
İtme	30.63	28.38	33.00	17.97	100.83	5.61	4.71	6.72
Çekme	-34.63	-38.11	-40.42	-26.49	-100.67	3.80		-6.71

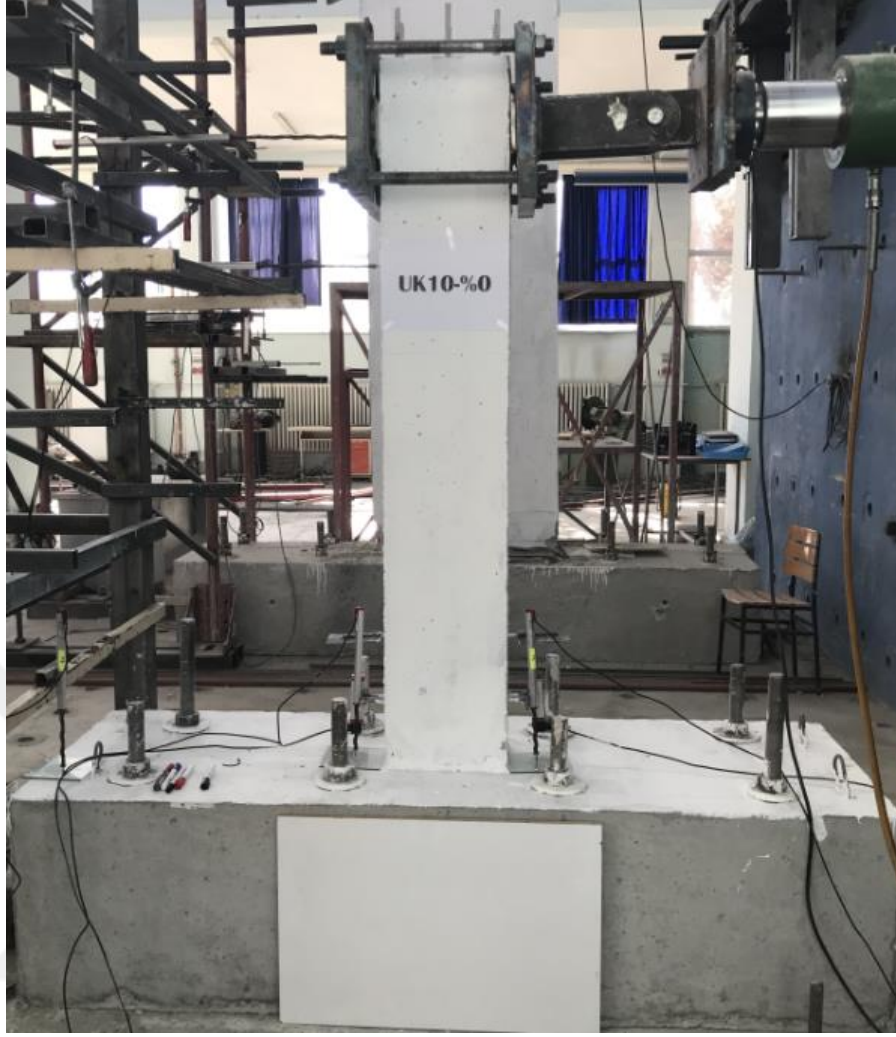
4.1.2. Deney Numunesi-2 (UK10-%0)

Çalışma kapsamında ikinci olarak test edilen numune, UK10-%0 isimli referans numunedir. UK10-%0 isimli numune, çimentonun yerine, çimento ağırlığının %10'u kadar uçucu kül (UK) ilave edilmiş, UK10 serisine ait 3 adet numuneden korozyon hasarına maruz bırakılmayan referans numunedir. UK10-%0 isimli numuneye ait parametrik değerler Çizelge 4.4'de özetlenmiştir.

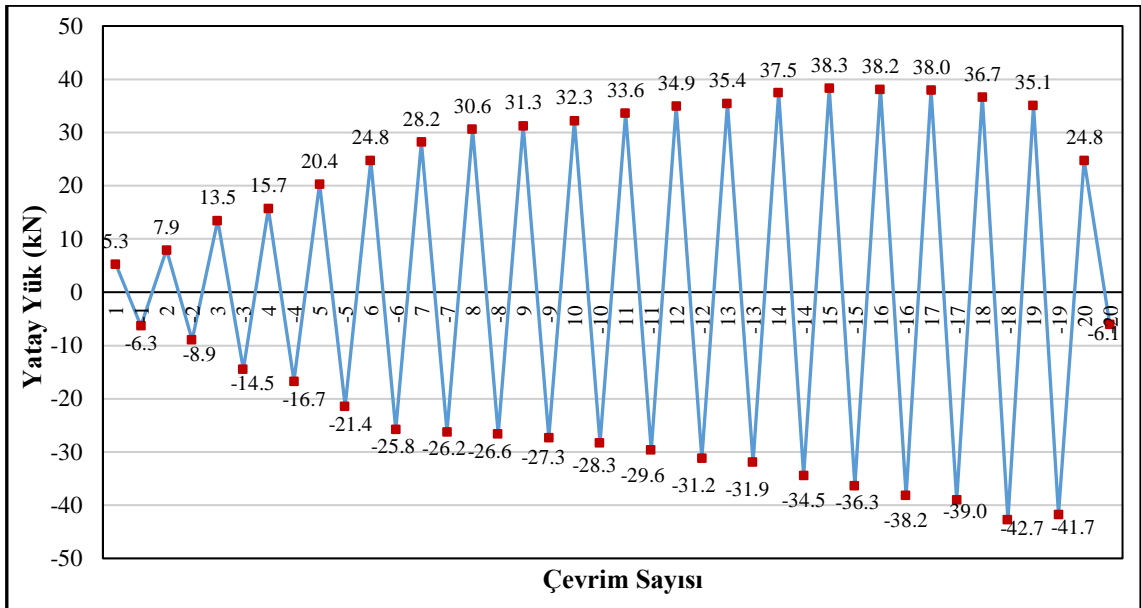
Çizelge 4.4. UK10-%0 numunesinin parametrik özellikleri

Deney Numunesi No	Numune görünümü	Mineral Katkı Türü (1 m ³ için) (kg)			Ortalama Silindirik Basınç Dayanımı (MPa)	Korozyon Seviyesi (%)
		CEM I 42.5R	UK	YFC		
Deney-2 UK10-%0 Uçucu Küllü Seri		252	28	-	32.05	0

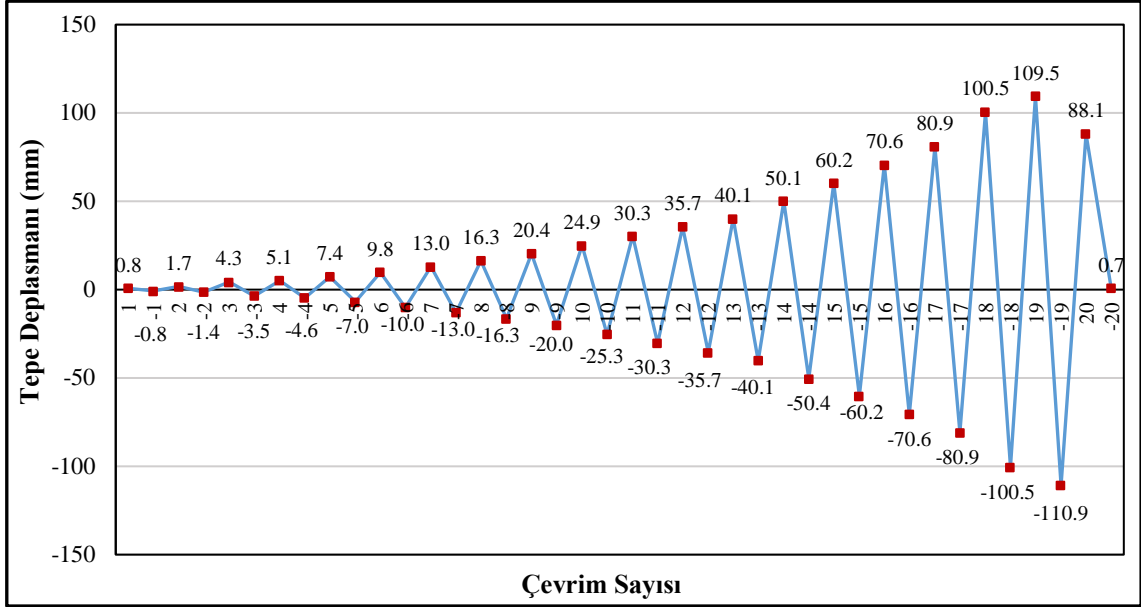
Deney elemanının tersinir-tekrarlanır yatay yükleme altında test edilmeden hemen önce ki, yatay yükleme deney düzeneğine yerleştirilmiş hali Şekil 4.13'de gösterilmiştir. Şekil 4.14'de deney elemanına ait yük geçmişi grafiği, Şekil 4.15'de deplasman geçmişi grafiği verilmiştir.



Şekil 4.13. UK10-%0 numunesinin deney öncesi görünümü



Şekil 4.14. UK10-%0 deney numunesinin yük geçmişi grafiği



Şekil 4.15. UK10-%0 deney numunesinin deplasman geçmişi grafiği

UK10-%10 isimli deney elemanı deplasman kontrollü şekilde göçme konumuna 88 mm’de çekme donatısında meydana gelen kopma sonucu göçme konumuna ulaşmıştır. Deney aşamasında her bir çevrimde gözlemlenen davranış Çizelge 4.5’de verilmiştir.

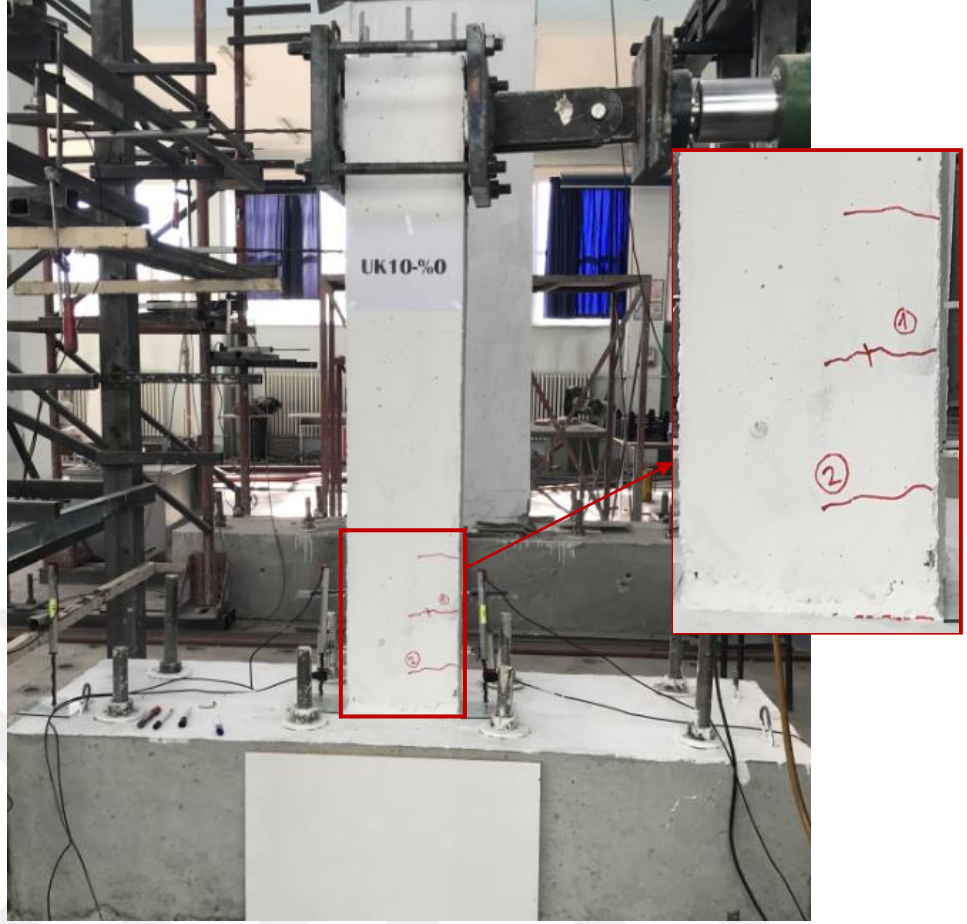
Çizelge 4.5. UK10-%0 numunesinde çatlak ve hasar oluşumları

Çevrim No (+, itme) (-, çekme)	Maksimum Yatay Yük (kN)	Maksimum Tepe Deplasmanı (mm)	Numunede Gözlenen Çatlak ve Hasar Oluşumu
1	5.28	0.78	Deneyin ilk çevriminde herhangi bir çatlak gözlemlenmemiştir.
-1	-6.28	-0.78	
2	7.94	1.66	*İlk çatlak meydana geldi. Kolon-temel birleşiminden itibaren 30 cm yüksekliğinde bir adet çatlak meydana gelmiştir.
-2	-8.94	-1.43	-----
3	13.50	4.28	Kolon-temel birleşiminde ve temelden itibaren 12 ve 47 cm yüksekliğinde ve 3 adet çatlak meydana gelmiştir.
-3	-14.50	-3.48	*Çekmede ilk çatlak meydana geldi. Kolon-temel birleşiminde ve temelden itibaren 11, 32 ve 55 cm yüksekliğinde 4 adet çatlak meydana gelmiştir.
4	15.71	5.13	Kolon-temel birleşiminden itibaren 60 cm yüksekliğinde yeni çatlak oluştu ve daha önce oluşan çatlakların boyları uzamıştır.
-4	-16.71	-4.62	Kolon-temel birleşiminden itibaren 50 ve 75 cm yüksekliğinde yeni çatlak oluştu ve daha önce oluşan çatlakların boyları uzamıştır.

Çevrim No (+, itme) (-, çekme)	Maksimum Yatay Yük (kN)	Maksimum Tepe Deplasmanı (mm)	Numunede Gözlenen Çatlak ve Hasar Oluşumu
5	20.36	7.41	Kolon-temel birleşiminden itibaren 72 cm yüksekliğinde yeni çatlak oluşmuştur. Daha önce oluşan çatlakların boyları uzamış ve çatlak genişlikleri artmıştır.
-5	-21.36	-7.02	Daha önce oluşan çatlakların boyları uzamış ve çatallaşmıştır. Ayrıca oluşan plastik mafsallardaki çatlaklar birleşmiştir.
6	24.76	9.82	Kolon-temel birleşiminden itibaren 96 cm yüksekliğinde yeni çatlak meydana gelmiştir ve daha önce oluşan çatlakların boyları uzamıştır.
-6	-25.76	-10.05	Kolon-temel birleşiminden itibaren 99 cm yüksekliğinde yeni çatlak meydana gelmiştir ve daha önce oluşan çatlakların boyları uzamıştır.
7	28.21	13.01	Daha önce meydana gelen çatlakların boyları uzamıştır. *Deney numunesi akma konumuna ulaşmıştır.
-7	-26.21	-13.01	Daha önce meydana gelen çatlakların boyları uzamıştır. *Deney numunesi akma konumuna ulaşmıştır.
Deplasman Kontrollü Yükleme Geçilmiştir.			
8	30.63	16.32	Kolon temel birleşiminde itmede ve çekmede meydana gelen çatlaklar birleşerek boyuna doğrultuda ilerlemeye başlamıştır.
-8	-26.63	-16.32	Daha önce meydana gelen çatlakların genişlikleri artmaktadır.
9	31.28	20.36	Kolon-temel birleşiminden itibaren 3 cm yüksekliğinde yeni çatlak meydana gelmiştir ve kolon-temel birleşimindeki çatlakların genişliği artmıştır. Çatlak genişlikleri artmaktadır.
-9	-27.29	-19.97	Önceki yüklemelerde meydana gelen çatlakların boyları uzamaktadır. Çatlak genişlikleri artmaktadır.
10	32.27	24.86	Önceki yüklemelerde meydana gelen çatlakların boyları uzamaktadır. Çatlak genişlikleri artmaktadır.
-10	-28.30	-25.26	Önceki yüklemelerde meydana gelen çatlakların boyları uzamaktadır. Çatlak genişlikleri artmaktadır.
11	33.65	30.29	Önceki yüklemelerde meydana gelen çatlakların boyları uzamaktadır. Çatlak genişlikleri artmakta ve çatallaşmaktadır.
-11	-29.65	-30.29	Önceki yüklemelerde meydana gelen çatlakların boyları uzamaktadır. Çatlak genişlikleri artmakta ve çatallaşmaktadır.
12	34.92	35.66	Çatlakların boyları uzayarak itme ve çekme çatlakları birleşmiştir. Ayrıca meydana gelen çatlaklar çatallaşarak ilerlemektedir.
-12	-31.17	-35.66	Çatlakların boyları uzayarak itme ve çekme çatlakları birleşmiştir. Ayrıca meydana gelen çatlaklar çatallaşarak ilerlemektedir.
13	35.41	40.06	Kolon-temel birleşiminden itibaren 21 cm yüksekliğinde yeni çatlak meydana gelmiştir.
-13	-31.91	-40.06	Basınç bölgesinde ezilmeler başlamıştır.
14	37.45	50.09	Basınç bölgesinde ezilmeler başlamıştır.
-14	-34.46	-50.39	-----

Çevrim No (+, itme) (-, çekme)	Maksimum Yatay Yük (kN)	Maksimum Tepe Deplasmanı (mm)	Numunede Gözlenen Çatlak ve Hasar Oluşumu
15	38.32	60.21	-----
-15	-36.32	-60.21	-----
16	38.16	70.63	Basınç bölgesinde boyuna çatlaklar oluşmuştur.
-16	-38.16	-70.63	Basınç bölgesinde oluşan boyuna çatlaklarla ilerlemiştir.
17	37.98	80.94	-----
-17	-38.98	-80.94	-----
18	36.70	100.52	Basınç bölgesinde meydana gelen ezilmelerden dolayı beton dökülmeye başlamıştır.
-18	-42.70	-100.52	Basınç bölgesinde meydana gelen ezilmelerden dolayı beton dökülmeye başlamıştır.
19	35.06	109.47	-----
-19	-41.69	-110.86	-----
20	24.80	88.13	Basınç bölgesinde meydana gelen dökülmelerden dolayı, çekme donatısında kopma meydana gelmiştir ve numune göçme konumuna ulaşmıştır. *Deneyde yüklemeye son verilmiştir.
-20	-6.08	0.73	Deplasman sıfırlanarak numune başlangıç konumuna alınmıştır.

Deneysel elamanda ilk eğilme çatlağı +2. itme çevriminde yaklaşık 7.94 kN'luk yatay yükte meydana gelmiştir. Bu yük değerinde numune, 1.66 mm'lik bir tepe deplasmanına ve % 0.11'lik bir yanal ötelenme oranına sahiptir. Deneysel elemanda gözlemlenen ilk çatlaklar Şekil 4.16'da gösterilmiştir.



Şekil 4.16. UK-%0 deney numunesinde oluşan ilk çatlaklar

UK10-%0 deney elemanı akma konumuna, yaklaşık % 1.08 ötelenme oranında ve 30.63 kN yatay yük değerinde ulaşmıştır. Bu yükte deneysel numunenin tepe deplasmanı 16.32 mm'dir. Bu yükleme adımında temel-kolon birleşim bölgesinde çatlaklar oluşmuş, ayrıca itme ve çekme çevrimlerinde oluşan eğilme çatlakları çatallaşmaya başlamıştır. Şekil 4.17'de deneysel numunenin akma konumunda gözlenen çatlaklar gösterilmiştir.



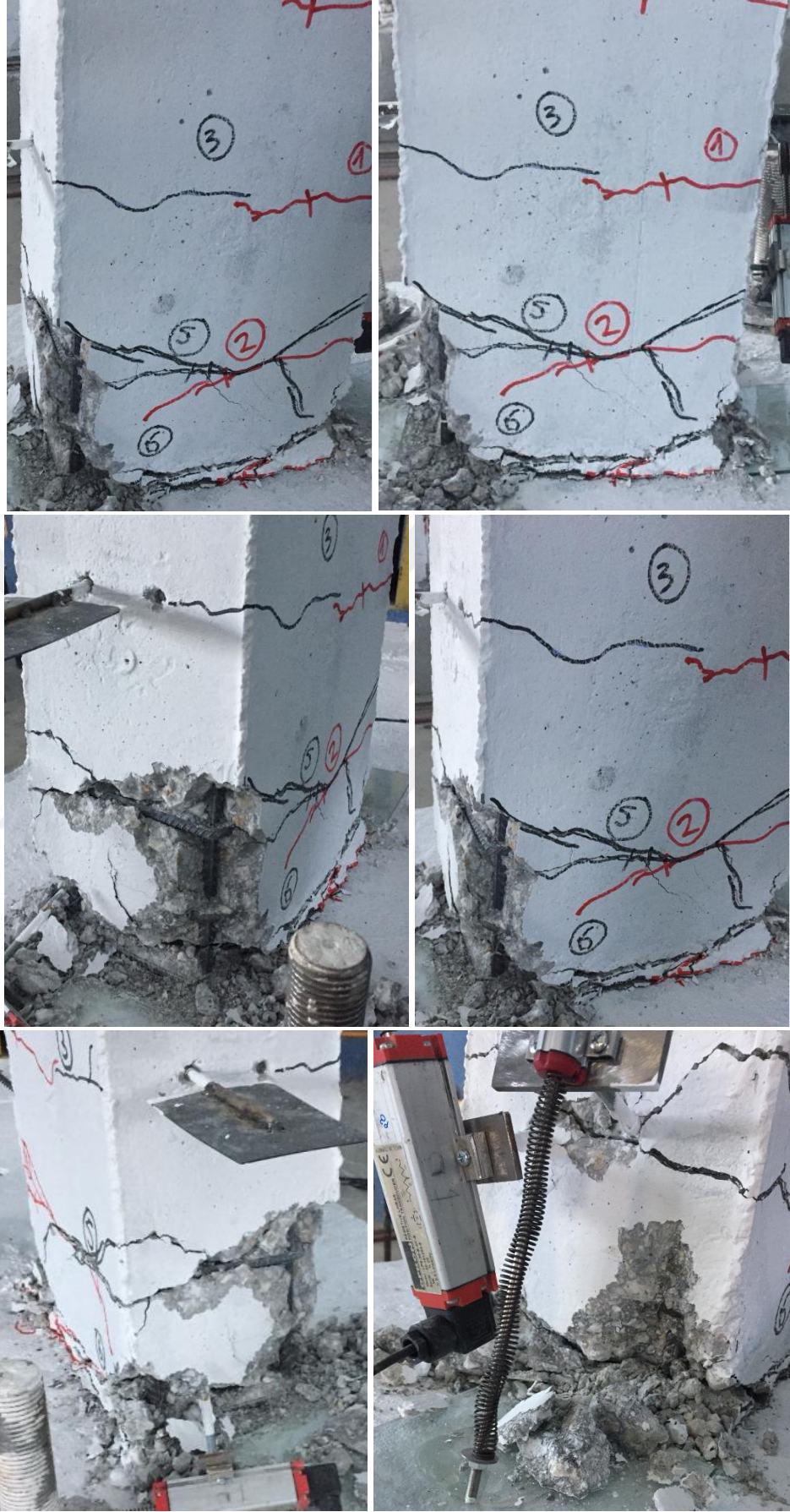
Şekil 4.17. UK10-%0 deney numunesinde akma konumunda gözlenen çatlaklar

UK10-%0 numunesi, 20. ileri yükleme çevriminde çekme donatısında meydana gelen kopma ile yatay yük taşıma kapasitesine ulaşmıştır. Bu çevrimde numune, 24.8 kN yatay yük ve 88.13 mm tepe deplasmanına sahiptir. Deney elemanının bir önceki çevrimindeki tepe deplasmanı yaklaşık 109.47mm civarındadır. Deneysel eleman göçme konumuna ulaştığında, numunenin basınç bölgesinde ki donatılar burkulmuş ve beton örtüsü dökülmüştür. Çekme bölgesindeki ilk donatının kopması sonucu yatay yükte ani bir düşüş meydana gelmiş, daha sonra numune kendini toplamaya çalışırken diğer donatının da kopması sonucu deney sonlandırılmıştır. Deneysel numunenin deney sonu görünümleri Şekil 4.18’de gösterilmiştir. Numunede deney sonuna kadar eğilme davranışı gözlemlenmiş olup, plastik mafsallık bölgesindeki her iki yüzdeki çatlaklar

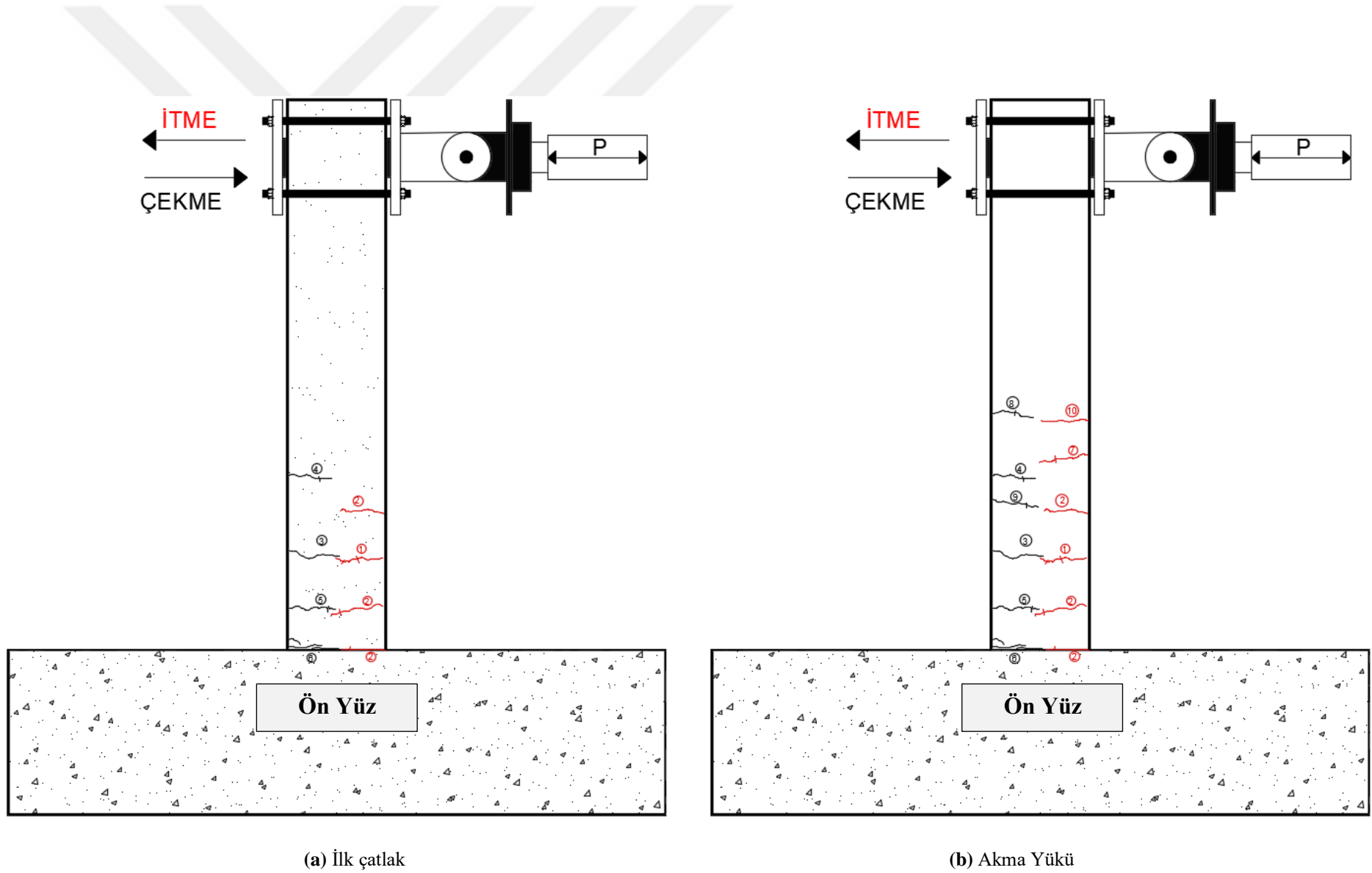
birleştikten sonra 45° eğimle kolon-temel birleşimine doğru ilerlemişlerdir. UK10-%0 deney elemanının ilk çatlak, akma yükü, maksimum yük ve göçme durumunun çatlak krokisi bilgisayar programında işlenerek, hasar oluşumu incelenmiştir. Deneysel numunenin çatlak krokisi Şekil 4.19'da gösterilmiştir.



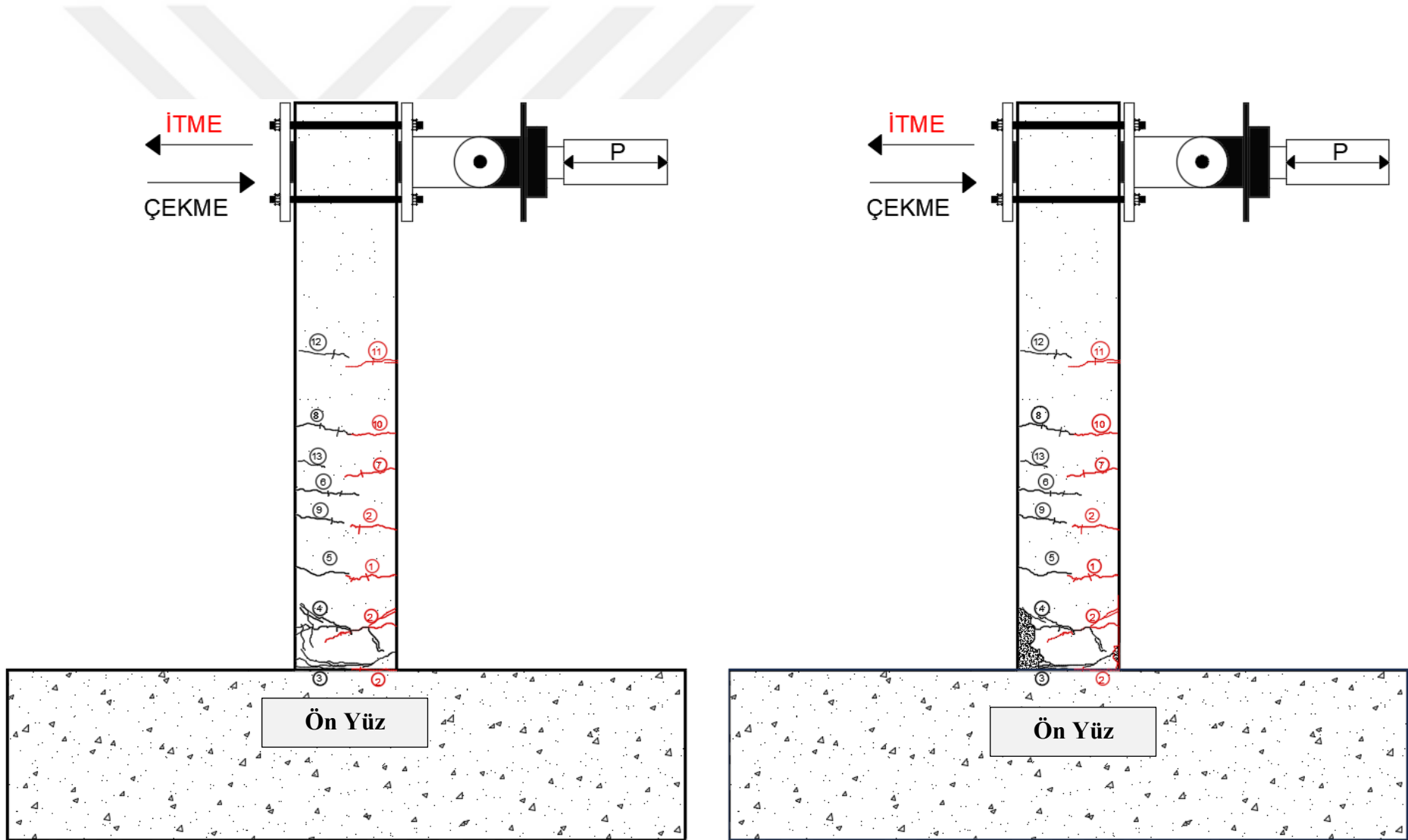
Şekil 4.18. UK10-%0 numunesinin deney sonu görünümü



Şekil 4.18. UK10-%0 numunesinin deney sonu görünümü (devamı) (plastik mafsal bölgesi)



Şekil 4.19. UK10-%0 numunesinin çatlak krokisi



(c) Maksimum yük

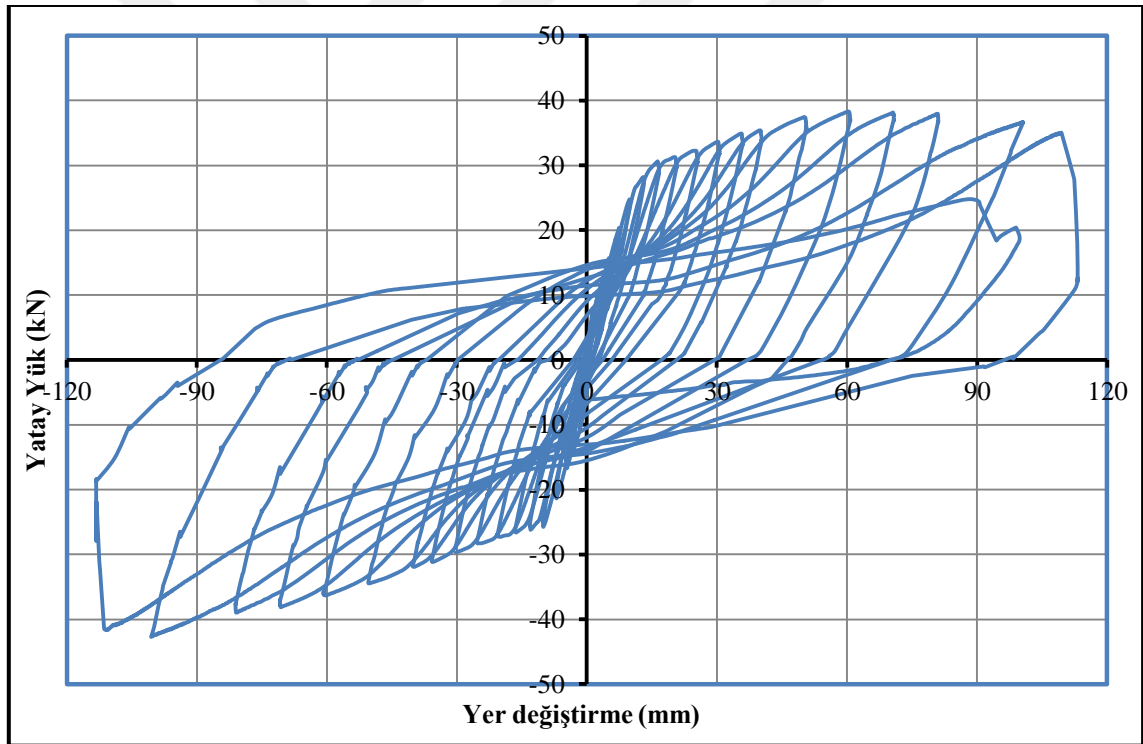
(d) Göçme durumu

Şekil 4.19. UK10-%0 numunesinin çatlak krokisi (devamı)

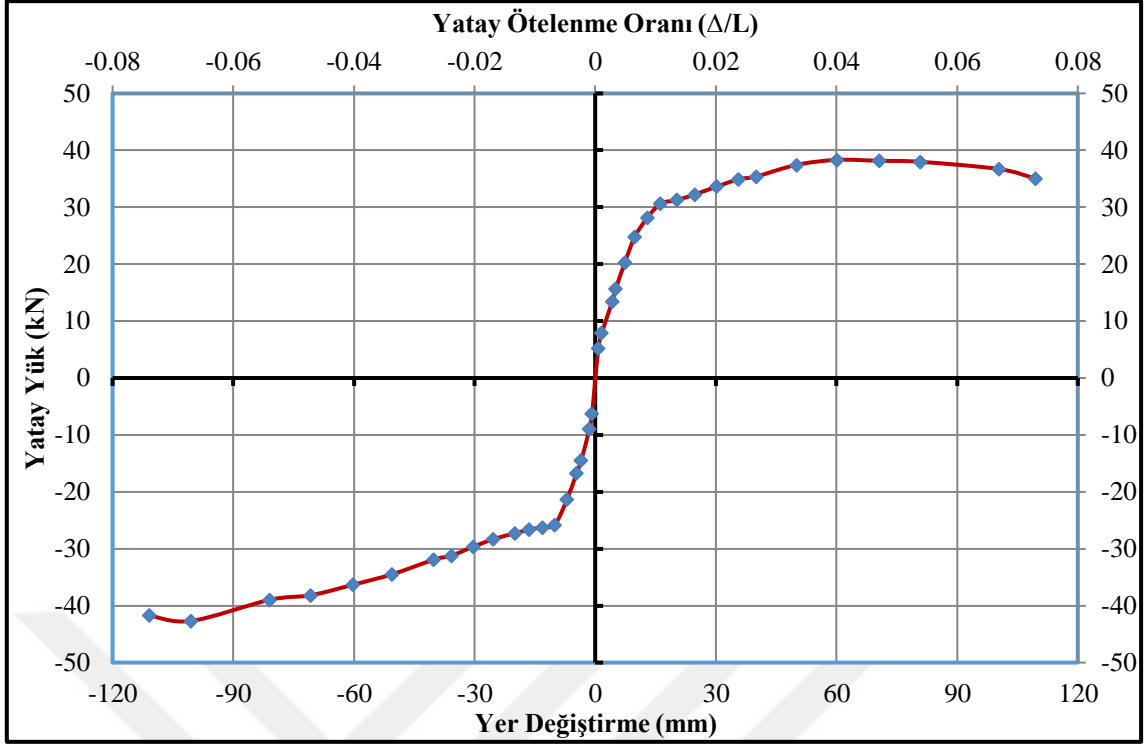
Deneyler sırasında yük hücresi ve yer değiştirme ölçerlerden alınan veriler yardımıyla, numunelerin davranışlarını incelemek için çeşitli grafikler çizilmiştir. Şekil 4.20’de UK10-%0 numunesine ait yatay yük- yer değiştirme çevrimsel histerezis ilişkisi, Şekil 4.21’de ise her bir çevrimdeki maksimum yatay yük ve bu yüke karşılık gelen yer değiştirmelerin işaretlenmesi ve birleştirilmesi ile elde edilen dayanım zarfi görölmektedir.

UK10-%0 numunesinin, yatay yük-yer değiştirme eğrisinin altında kalan alanların hesaplanması ve ardışık toplanması ile numunenin kümülatif toplam enerji tüketme kapasitesi ötelenme oranı grafiği çizilmiş ve Şekil 4.22’de gösterilmiştir.

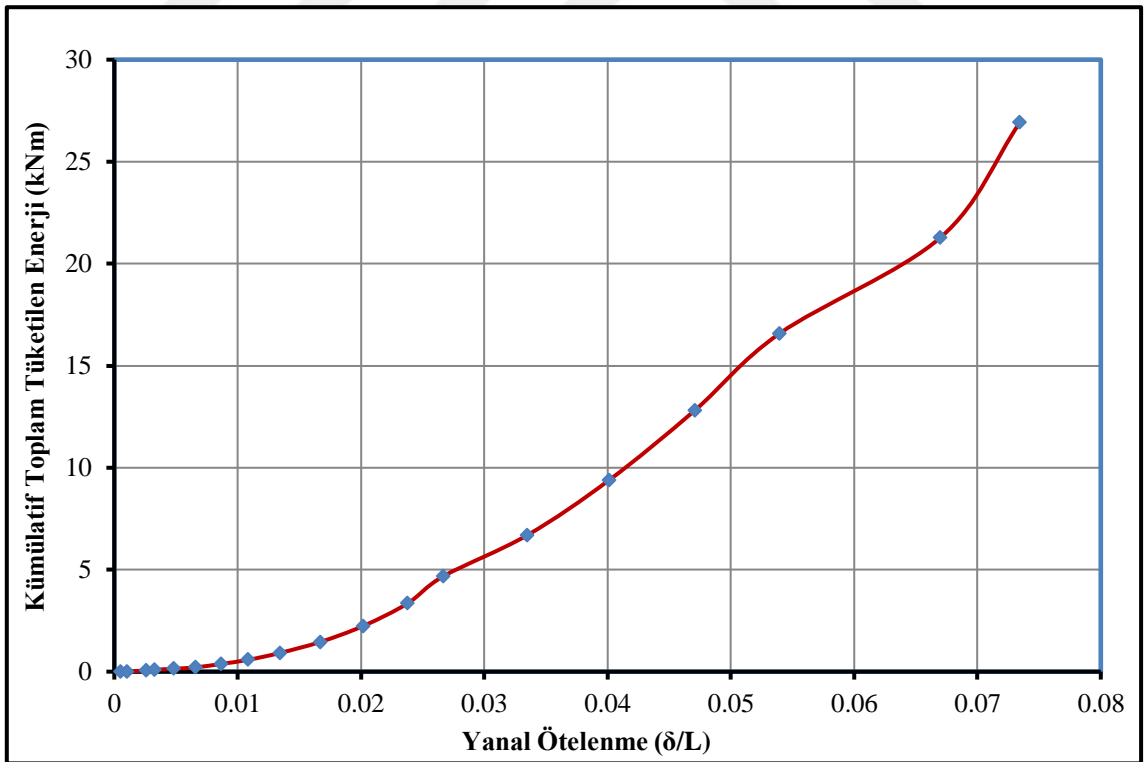
UK10-%0 numunesine ait rijitlik azalımı grafiği Şekil 4.23’de gösterilmiştir. Rijitlik grafiğinde, itme çevrimleri için elde edilen değerler grafiğin sağ tarafında, çekme çevrimleri için hesaplanan değerler grafiğin solunda yer almaktadır.



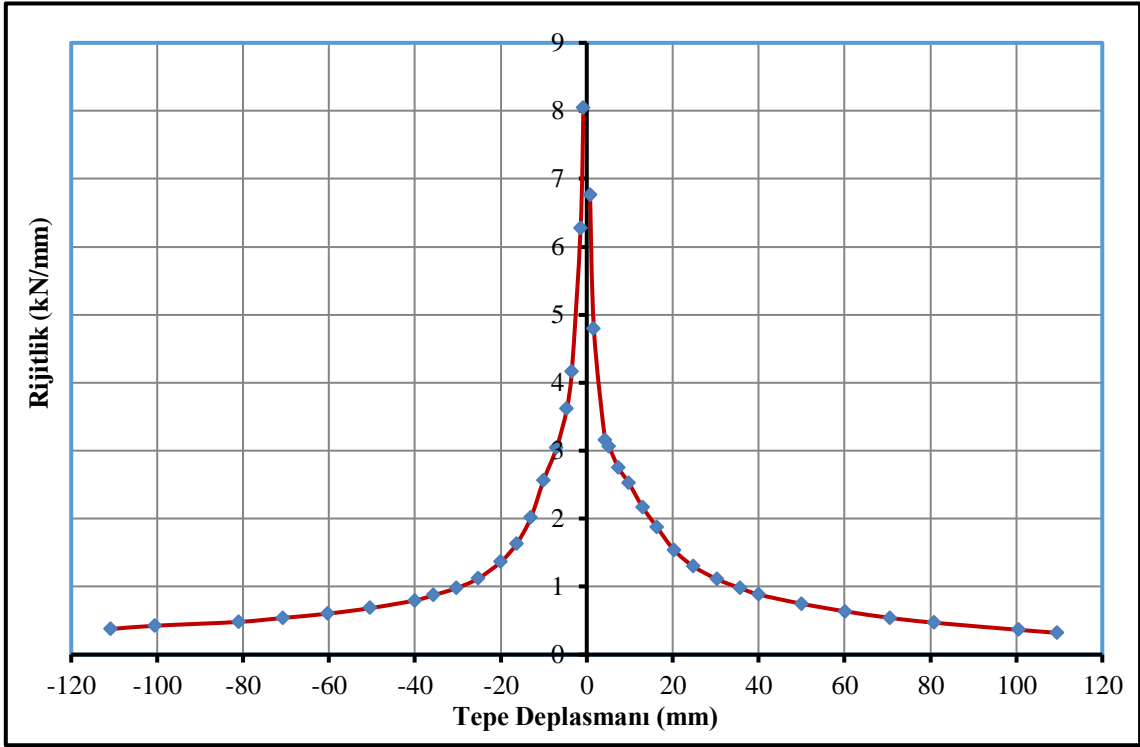
Şekil 4.20. UK10-%0 numunesinin yatay yük-tepe deplasmanı histerezis eğrisi



Şekil 4.21. UK10-%0 numunesine ait dayanım zarfı

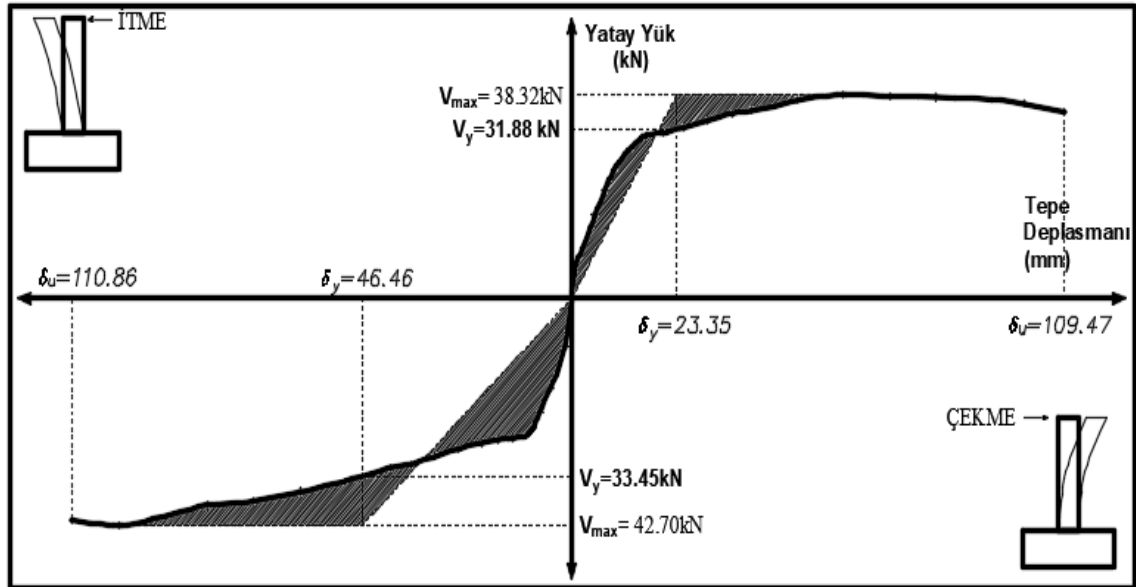


Şekil 4.22. UK10-%0 numunesine ait kümülatif toplam tüketilen enerji grafiği



Şekil 4.23. UK10-%0 numunesinin rijitlik azalımı grafiği

UK10-%0 numunesinin süneklik parametrelerinin gösterildiği grafik Şekil 4.24'de verilmiştir. Çizelge 4.6'da ise süneklik değerleri tablo halinde özetlenmiştir.



Şekil 4.24. UK10-%0 numunesinin süneklik grafiği

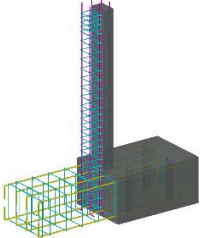
Çizelge 4.6. UK10-%0 numunesinin çatlak ve hasar oluşumu

UK10-%0	V_y (kN)	$0.8*V_{max}$ (kN)	V_{max} (kN)	Δ_y (mm)	Δ_u (mm)	μ (Δ_u / Δ_y)	$\mu_{ort.}$	Yatay Ötelenme Oranı (Δ/L) (%)
İtme	31.88	35.06	38.32	23.35	109.47	4.69	3.54	7.298
Çekme	-33.45	-41.69	-42.70	-46.48	-110.86	2.38		-7.391

4.1.3. Deney Numunesi-3 (UK20-%0)

Çalışma kapsamında üçüncü olarak test edilen numune, UK20-%0 isimli referans numunedir. UK20-%0 isimli numune, çimentonun yerine, çimento ağırlığının %20'si kadar uçucu kül (UK) ilave edilmiş, UK20 serisine ait 3 adet numuneden korozyon hasarına maruz bırakılmayan referans numunedir. UK20-%0 isimli numuneye ait parametrik değerler Çizelge 4.7'de özetlenmiştir.

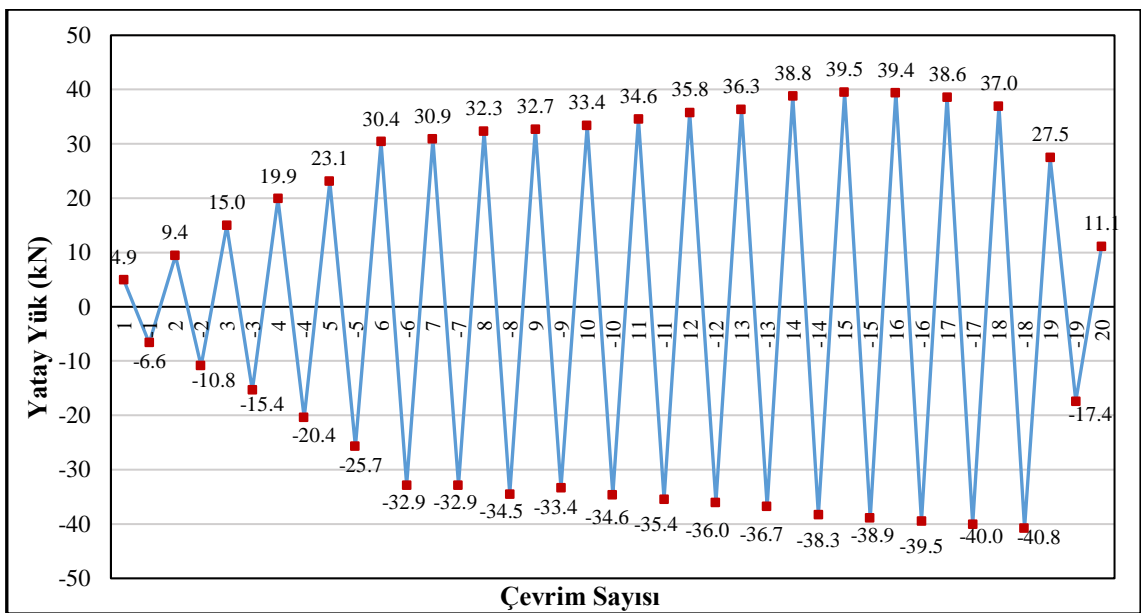
Çizelge 4.7. UK20-%0 numunesinin parametrik özellikleri

Deney Numunesi No	Numune görünümü	Mineral Katkı Türü (1 m ³ için) (kg)			Ortalama Silindir Basınç Dayanımı (MPa)	Korozyon Seviyesi (%)
		CEM I 42.5R	UK	YFC		
Deney-3 UK20-%0 Uçucu Küllü Seri		224	56	-	31.11	0

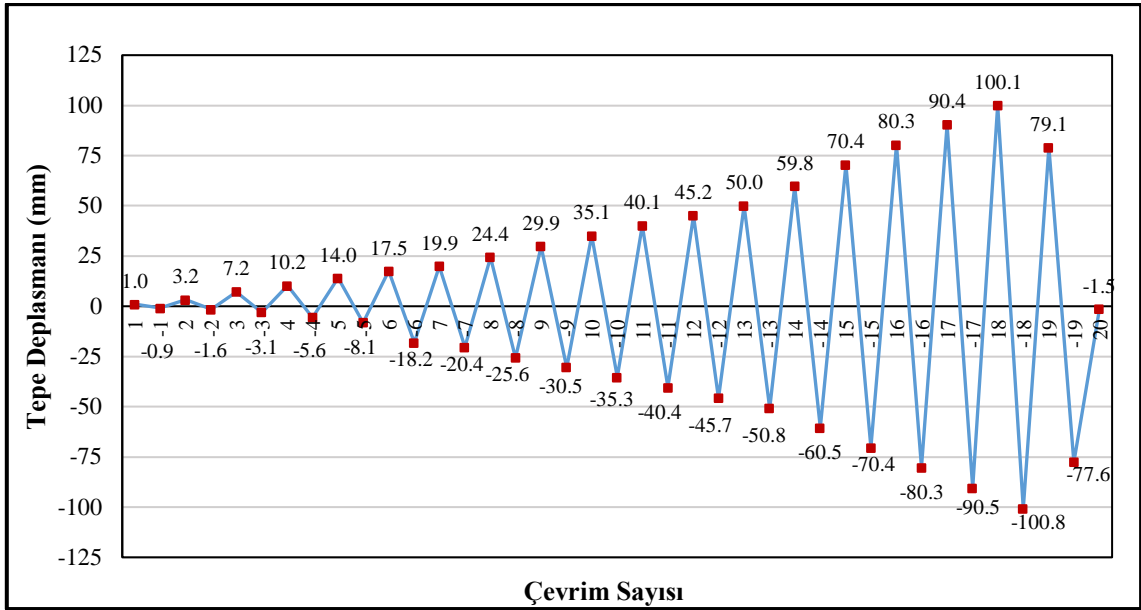
Deney elemanının tersinir-tekrarlanır yatay yükleme altında test edilmeden hemen önce ki, yatay yükleme deney düzeneğine yerleştirilmiş hali Şekil 4.25'de gösterilmiştir. Şekil 4.26'da deney elemanına ait yük geçmişi grafiği, Şekil 4.27'de deplasman geçmişi grafiği verilmiştir.



Şekil 4.25. UK20-%0 numunesinin deney öncesi görünümü



Şekil 4.26. UK20-%0 deney numunesinin yük geçmişi grafiği



Şekil 4.27. UK20-%0 deney numunesinin deplasman geçmişi grafiği

Şekil 4.26'daki yükleme geçmişi grafiğinden de görüldüğü gibi 7. çevrime kadar ± 5 kN yük artırımı uygulanmış ve sonraki çevrimlerde deplasman kontrollü yüklemeye geçilmiştir. Deplasman kontrollü yüklemeye ise 50 mm'ye kadar 5 mm deplasman artırımı uygulanmış ve 50 mm'den sonra 10 mm'lik deplasman artırımları ile deneye devam edilmiştir. Yük geçmişi grafiği incelendiğinde, 7. çevrimde deneysel numunenin ideal akma noktasına ulaştığı görülmektedir. İlerleyen çevrimlerde yatay yükte artış olmadığından deplasman kontrollü olarak göçme konumuna itmede ve çekmede donatıda meydana gelen kopma ile ulaşılmıştır. Deney aşamasında her bir çevrimde gözlemlenen davranış Çizelge 4.8'de verilmiştir.

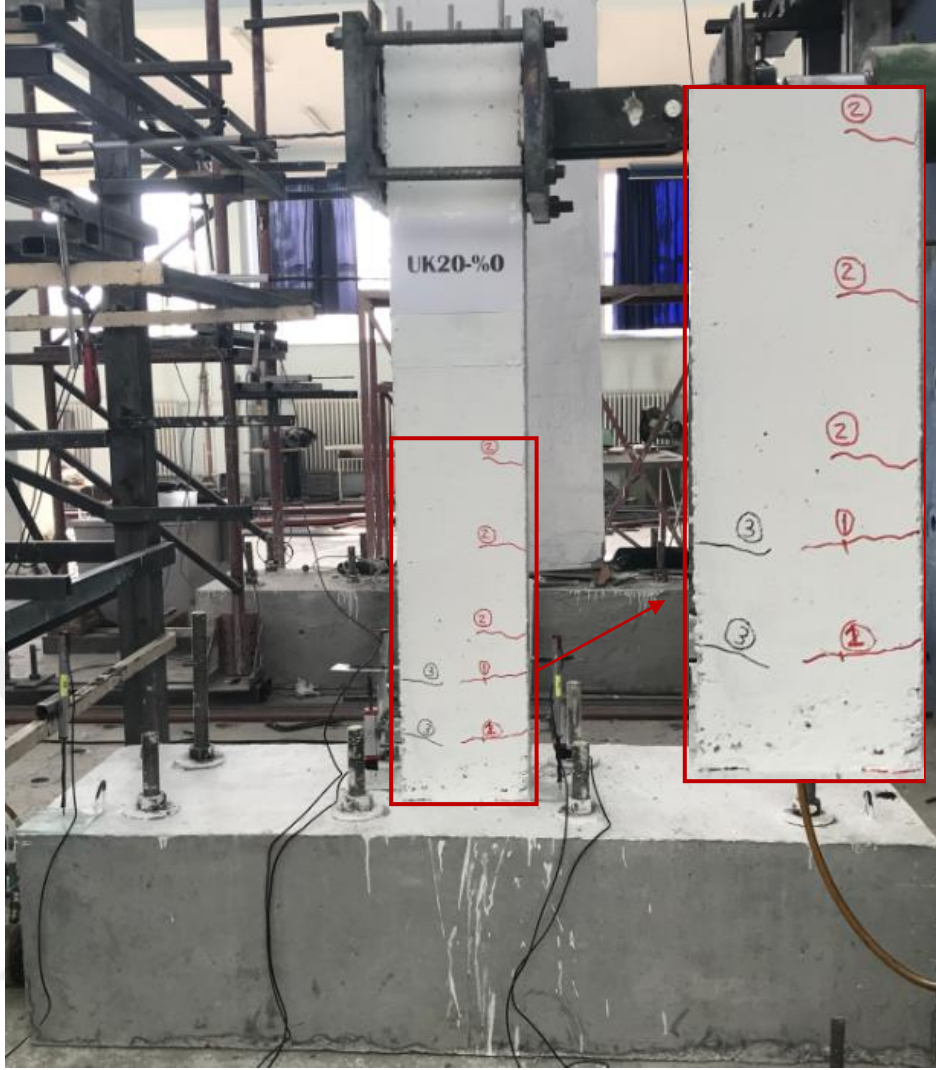
Çizelge 4.8. UK20-%0 numunesinde çatlak ve hasar oluşumları

Çevrim No (+, itme) (-, çekme)	Maksimum Yatay Yük (kN)	Maksimum Tepe Deplasmanı (mm)	Numunede Gözlenen Çatlak ve Hasar Oluşumu
1	4.94	1.02	Deneyin ilk iki çevriminde herhangi bir çatlak gözlemlenmemiştir.
-1	-6.62	-0.92	
2	9.42	3.20	*İlk çatlak meydana geldi. Kolon-temel birleşiminden itibaren 16 ve 30 cm yüksekliğinde iki adet çatlak meydana gelmiştir.
-2	-10.83	-1.62	-----
3	14.96	7.15	Kolon-temel birleşiminden itibaren 40, 60, 80 cm yüksekliğinde ve kolon temel birleşiminde dört adet yeni çatlak meydana gelmiştir.

Çevrim No (+, itme) (-, çekme)	Maksimum Yatay Yük (kN)	Maksimum Tepe Deplasmanı (mm)	Numunede Gözlenen Çatlak ve Hasar Oluşumu
-3	-15.36	-3.09	Kolon-temel birleşiminden itibaren 16, 29 cm yüksekliğinde ve kolon temel birleşiminde 3 adet yeni çatlak meydana gelmiştir.
4	19.90	10.24	Kolon-temel birleşiminden itibaren 108 cm yüksekliğinde yeni çatlak oluştu ve daha önce oluşan çatlakların boyları uzamıştır.
-4	-20.42	-5.59	Kolon-temel birleşiminden itibaren 44 cm yüksekliğinde yeni çatlak oluştu ve daha önce oluşan çatlakların boyları uzamıştır. Ayrıca itmede ve çekmede oluşan 1 ve 3 nolu çatlaklar birleşmiştir.
5	23.07	13.98	Daha önce oluşan çatlakların boyları uzadı ve 2 nolu çatlak çatallaşmıştır. *Deney numunesi akma konumuna ulaşmıştır.
-5	-25.69	-8.10	Kolon-temel birleşiminden itibaren 61 ve 84 cm yüksekliğinde yeni çatlak meydana gelmiştir. Daha önce oluşan çatlakların boyları uzamıştır. *Deney numunesi akma konumuna ulaşmıştır.
Deplasman Kontrollü Yükleme Geçilmiştir.			
6	30.38	17.51	Daha önce oluşan çatlakların boyları uzadı ve kolon temel birleşiminde oluşan çatlakların genişliği artmıştır.
-6	-32.86	-18.23	Kolon-temel birleşiminden itibaren 72 cm yüksekliğinde yeni çatlak meydana gelmiştir, 3 ve 5 nolu çatlaklar çatallaşmıştır. Daha önce oluşan çatlakların boyları uzamıştır.
7	30.86	19.92	Daha önce meydana gelen çatlakların boyları uzamıştır.
-7	-32.86	-20.42	Daha önce meydana gelen çatlakların boyları uzamıştır.
8	32.31	24.43	Kolon-temel birleşiminden itibaren 3 cm yüksekliğinde yeni çatlak meydana gelmiştir ve kolon-temel birleşimindeki çatlakların genişliği artmıştır. Önceki yüklemelerde meydana gelen çatlakların boyları uzadı ve çatlak genişlikleri artmıştır.
-8	-34.48	-25.64	Kolon-temel birleşiminden itibaren 4 cm yüksekliğinde yeni çatlak meydana gelmiştir ve kolon-temel birleşimindeki çatlakların genişliği artmıştır.
9	32.71	29.86	Kolon temel birleşiminde itmede ve çekmede meydana gelen çatlaklar birleşmiştir.
-9	-33.38	-30.45	Kolon-temel birleşiminden itibaren 107 cm yüksekliğinde yeni çatlak meydana gelmiştir. Daha önce oluşan çatlakların boyları uzamıştır.
10	33.39	35.11	Önceki yüklemelerde meydana gelen çatlakların boyları uzamaktadır. Çatlak genişlikleri artmaktadır.
-10	-34.59	-35.31	Önceki yüklemelerde meydana gelen çatlakların boyları uzamaktadır. Çatlak genişlikleri artmaktadır.
11	34.61	40.12	Çatlakların boyları uzayarak itme ve çekme çatlakları birleşmiştir. Ayrıca meydana gelen çatlaklar çatallaşarak ilerlemektedir.

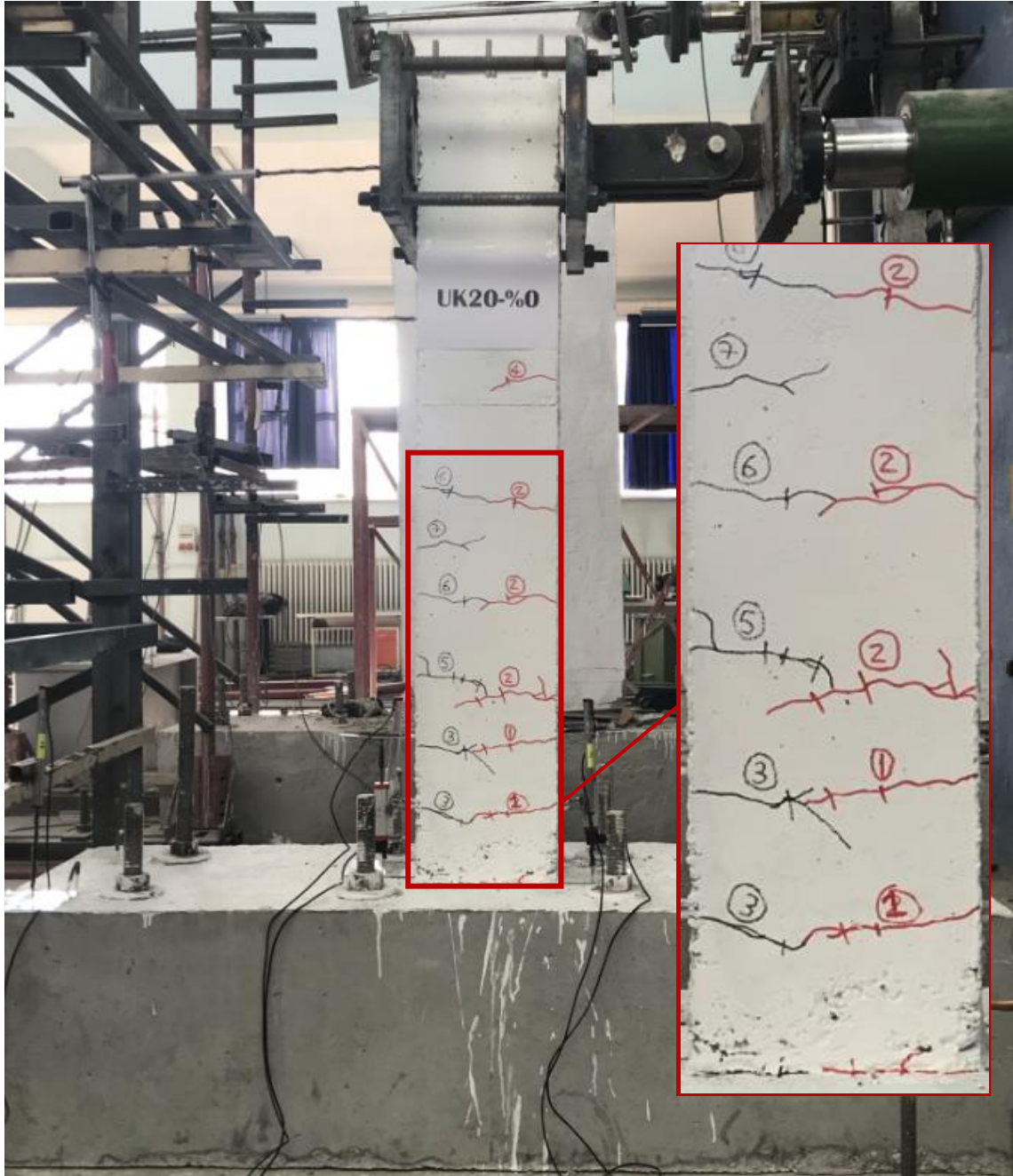
Çevrim No (+, itme) (-, çekme)	Maksimum Yatay Yük (kN)	Maksimum Tepe Deplasmanı (mm)	Numunede Gözlenen Çatlak ve Hasar Oluşumu
-11	-35.42	-40.39	Çatlakların boyları uzayarak itme ve çekme çatlakları birleşmiştir. Ayrıca meydana gelen çatlaklar çatallaşarak ilerlemektedir.
12	35.75	45.18	Önceki yüklemelerde meydana gelen çatlakların boyları uzamaktadır. Çatlak genişlikleri artmaktadır.
-12	-36.03	-45.70	Önceki yüklemelerde meydana gelen çatlakların boyları uzamaktadır. Çatlak genişlikleri artmaktadır.
13	36.31	50.02	Önceki yüklemelerde meydana gelen çatlakların boyları uzamaktadır. Çatlak genişlikleri artmaktadır.
-13	-36.73	-50.78	Basınç bölgesinde ezilmeler başlamıştır.
14	38.78	59.83	Basınç bölgesinde ezilmeler başlamıştır.
-14	-38.35	-60.48	Plastik mafsal bölgesinde oluşan yatay çatlaklar temel doğru ilerlemektedir.
15	39.45	70.42	Plastik mafsal bölgesinde oluşan yatay çatlaklar temel doğru ilerlemektedir.
-15	-38.90	-70.43	-----
16	39.40	80.31	Basınç bölgesinde meydana gelen ezilmelerden dolayı beton dökülmeye başlamıştır.
-16	-39.54	-80.27	Basınç bölgesinde meydana gelen ezilmelerden dolayı beton dökülmeye başlamıştır.
17	38.61	90.37	-----
-17	-40.05	-90.53	-----
18	36.97	100.07	-----
-18	-40.76	-100.79	-----
19	27.46	79.13	Basınç bölgesinde meydana gelen dökülmelerden dolayı, çekme donatısında kopma meydana gelmiştir ve numune göçme konumuna ulaşmıştır. *Deneyde yüklemeye son verilmiştir.
-19	-17.38	-77.61	Basınç bölgesinde meydana gelen dökülmelerden dolayı, çekme donatısında kopma meydana gelmiştir ve numune göçme konumuna ulaşmıştır. *Deneyde yüklemeye son verilmiştir.
20	11.14	-1.49	Deplasman sıfırlanarak numune başlangıç konumuna alınmıştır

Deneyel elamanda ilk eğilme çatlağı +2. itme çevriminde yaklaşık 9.42 kN'luk yatay yükte meydana gelmiştir. Bu yük değerinde numune, 3.20 mm'lik bir tepe deplasmanına ve % 0.21'lik bir yanal ötelenme oranına sahiptir. Deneyel elemanda itmede ve çekmede gözlemlenen ilk çatlaklar Şekil 4.28'de gösterilmiştir.



Şekil 4.28. UK20-%0 deney numunesinde oluşan ilk çatlaklar

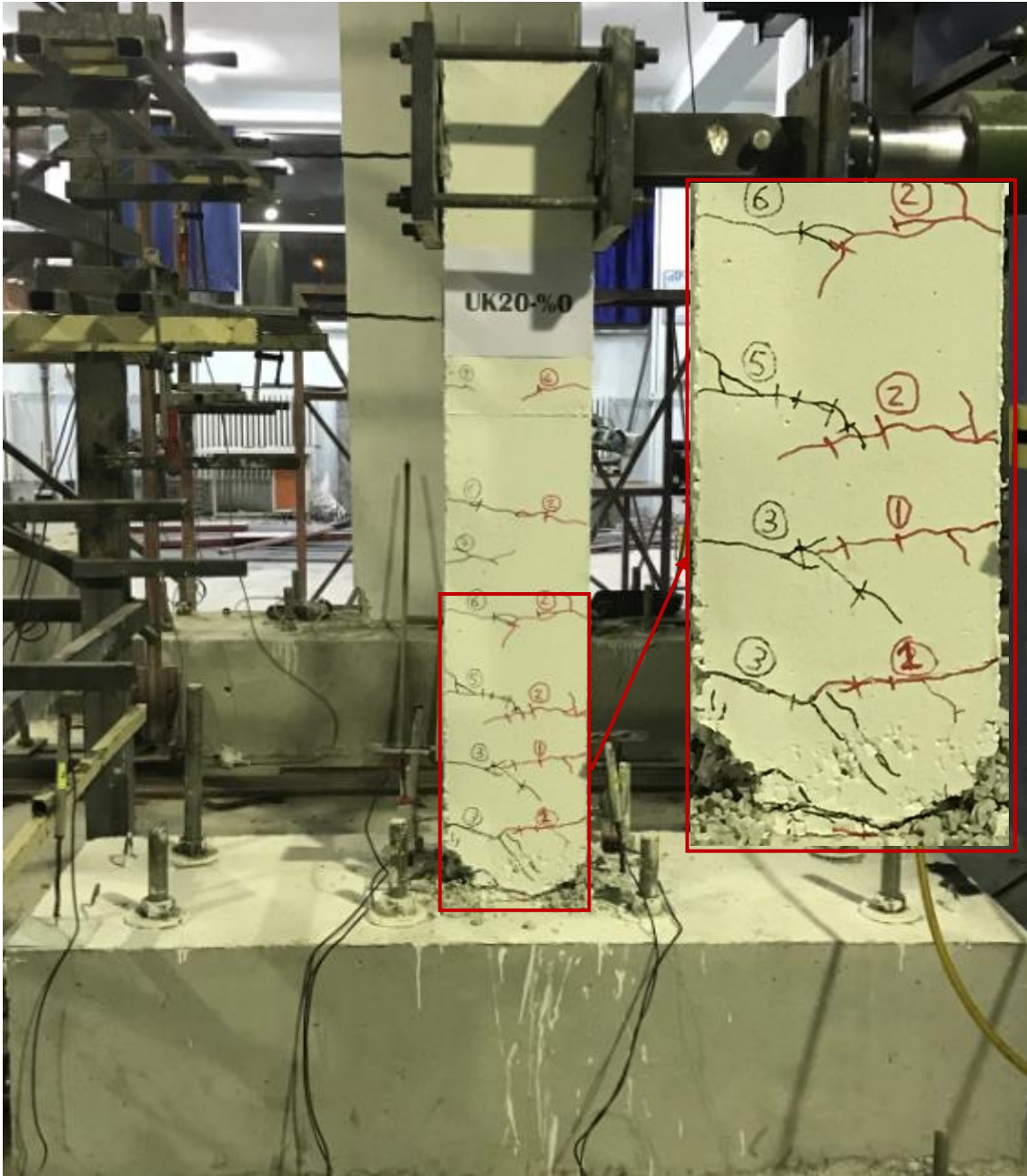
UK20-%0 deney elemanı akma konumuna yaklaşık % 0.94 ötelenme oranında ve 23.07 kN yatay yük değerinde ulaşmıştır. Bu yükte deneysel numunenin tepe deplasmanı 13.98 mm'dir. Bu yükleme adımında temel-kolon birleşim bölgesinde çatlaklar oluşmuş, ayrıca plastik mafsal bölgesinde itme ve çekme çevrimlerinde oluşan simetrik eğilme çatlakları çatallaşmaya başlamıştır. Şekil 4.29'da deneysel numunenin akma konumunda gözlenen çatlaklar gösterilmiştir.



Şekil 4.29. UK20-%0 deney numunesinde akma konumunda gözlenen çatlaklar

UK20-%0 numunesi, ± 19 . ileri ve geri yükleme çevriminde, çekme donatısında meydana gelen kopma ile yatay yük taşıma kapasitesine ulaşmıştır. Bu çevrimlerde sırasıyla, 27.46 kN ve -17.38 kN yatay yük, 79.13 ve -77.61 mm tepe deplasmanına sahiptir. Deney elemanının bir önceki çevriminde tepe deplasmanı yaklaşık 100 mm civarındadır. Deneysel eleman göçme konumuna ulaştığında, numunenin basınç bölgesinde ki donatılar burkulmuş ve beton örtüsü dökülmüştür. İtmede ve çekme yüklemelerinde, çekme bölgesindeki ilk donatının kopması sonucu yatay yükte ani bir düşüş meydana gelmiş, daha sonra numune kendini toplamaya çalışırken diğer donatının

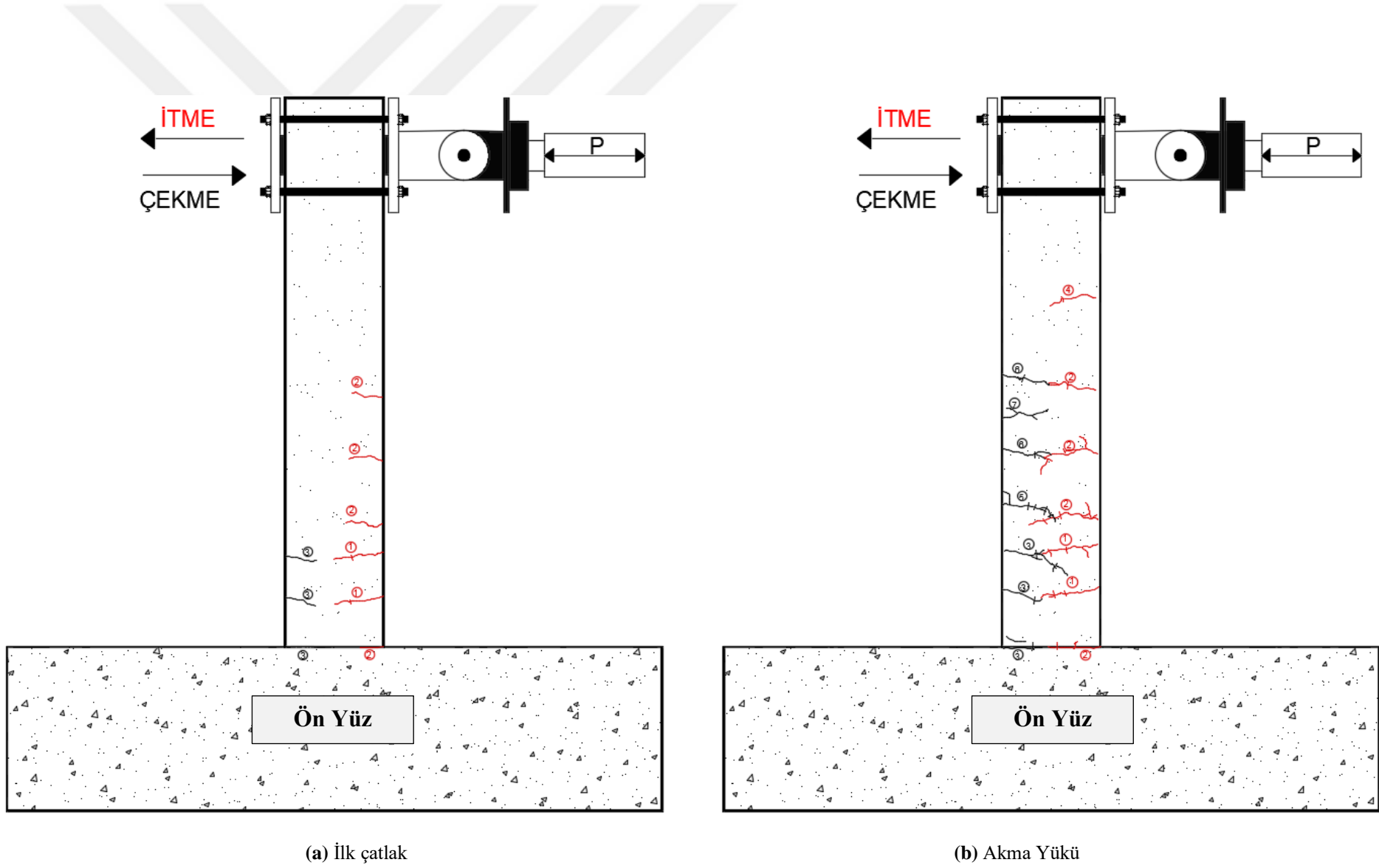
da kopması sonucu deney sonlandırılmıştır. Deneysel numunenin deney sonu görünümleri Şekil 4.30'da gösterilmiştir. Numunede deney sonuna kadar eğilme davranışı gözlemlenmiş olup, plastik mafsal bölgesindeki her iki yüzdeki çatlaklar birleştikten sonra 45° eğimle kolon-temel birleşimine doğru ilerlemişlerdir. UK20-%0 deney elemanının ilk çatlak, akma yükü, maksimum yük ve göçme durumunun çatlak krokisi bilgisayar programında işlenerek, hasar oluşumu incelenmiştir. Deneysel numunenin çatlak krokisi Şekil 4.31'de gösterilmiştir.



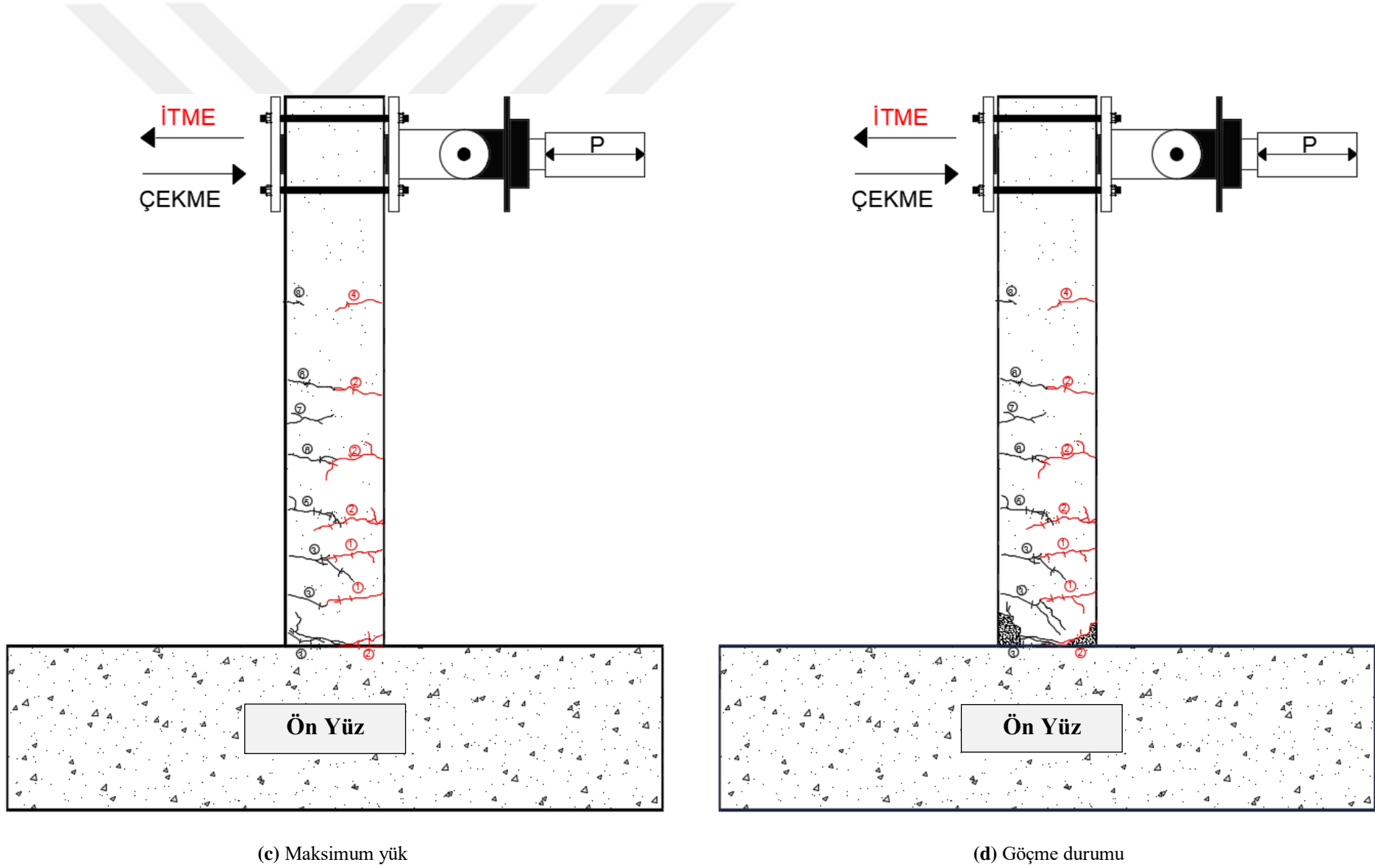
Şekil 4.30. UK20-%0 numunesinin deney sonu görünümü



Şekil 4.30. UK20-%0 numunesinin deney sonu görünümü (devamı) (plastik mafsal bölgesi)



Şekil 4.31. UK20-%0 numunesinin çatlak krokisi

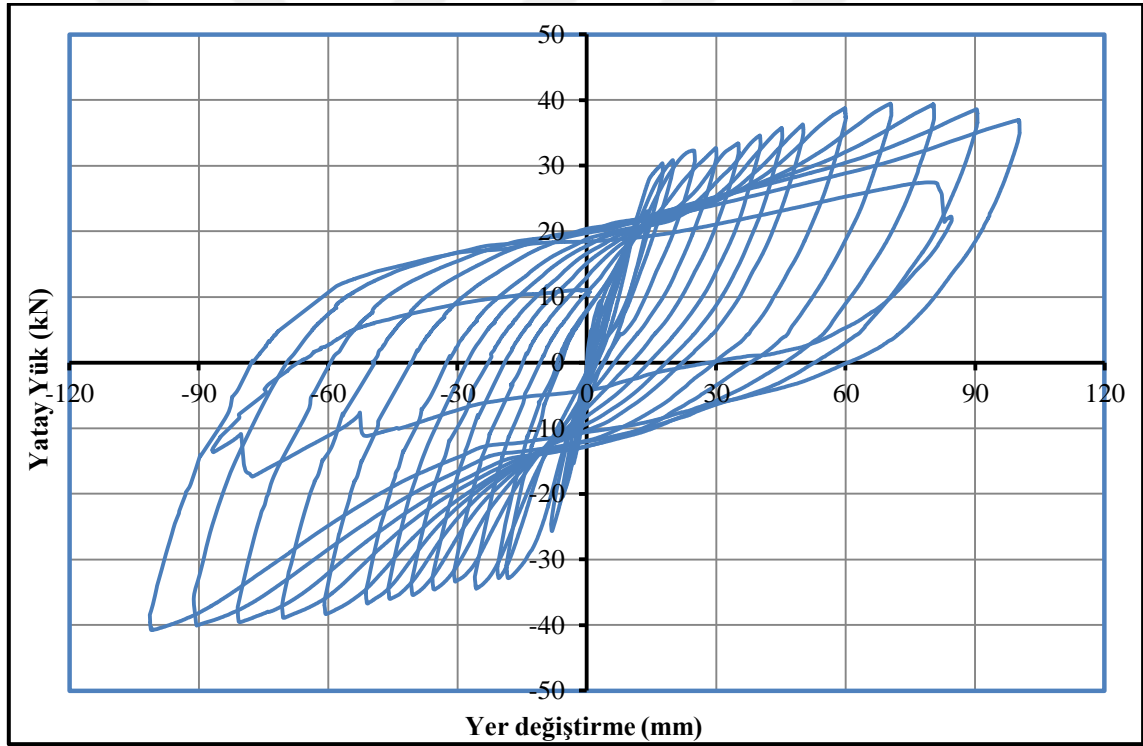


Şekil 4.31. UK20-%0 numunesinin çatlak krokisi (devamı)

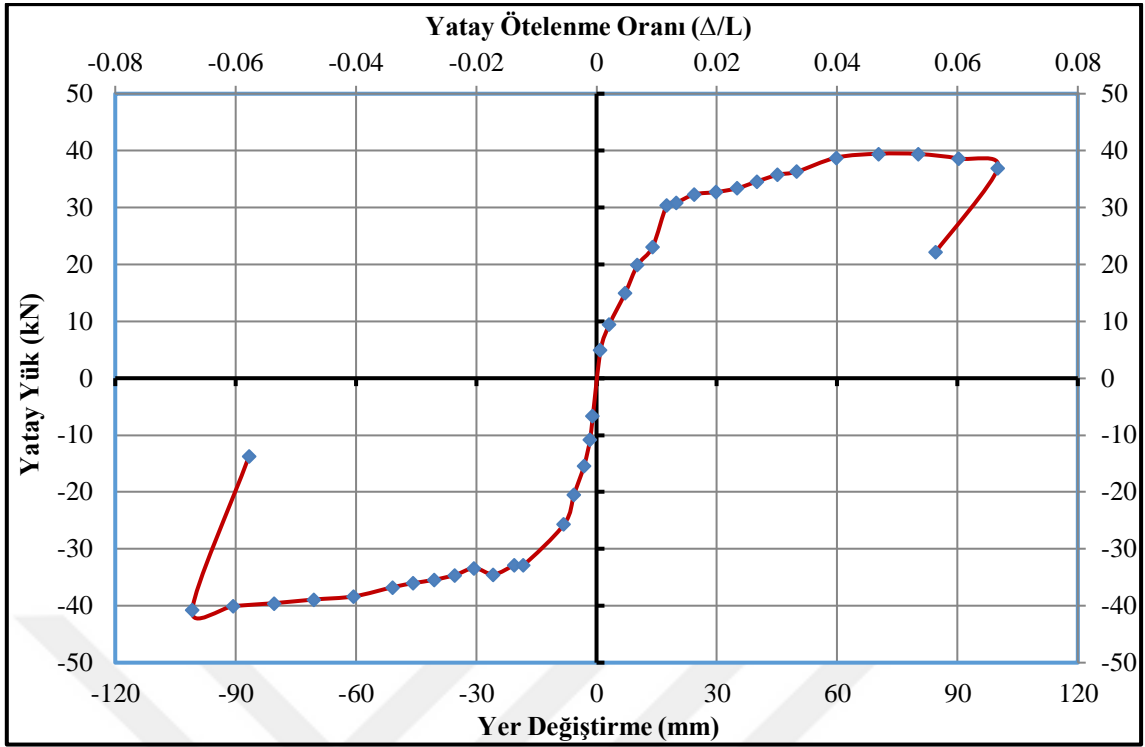
Deneyler sırasında yük hücresi ve yer değiştirme ölçerlerden alınan veriler yardımıyla, numunelerin davranışlarını incelemek için çeşitli grafikler çizilmiştir. Şekil 4.32’de UK20-%0 numunesine ait yatay yük- yer değiştirme çevrimsel histerezis ilişkisi, Şekil 4.33’de ise her bir çevrimdeki maksimum yatay yük ve bu yüke karşılık gelen yer değiştirmelerin işaretlenmesi ve birleştirilmesi ile elde edilen dayanım zarfı görölmektedir.

UK20-%0 numunesinin, yatay yük-yer değiştirme eğrisinin altında kalan alanların hesaplanması ve ardışık toplanması ile numunenin kümülatif toplam enerji tüketme kapasitesi-ötelenme oranı grafiği çizilmiş ve Şekil 4.34’de verilmiştir.

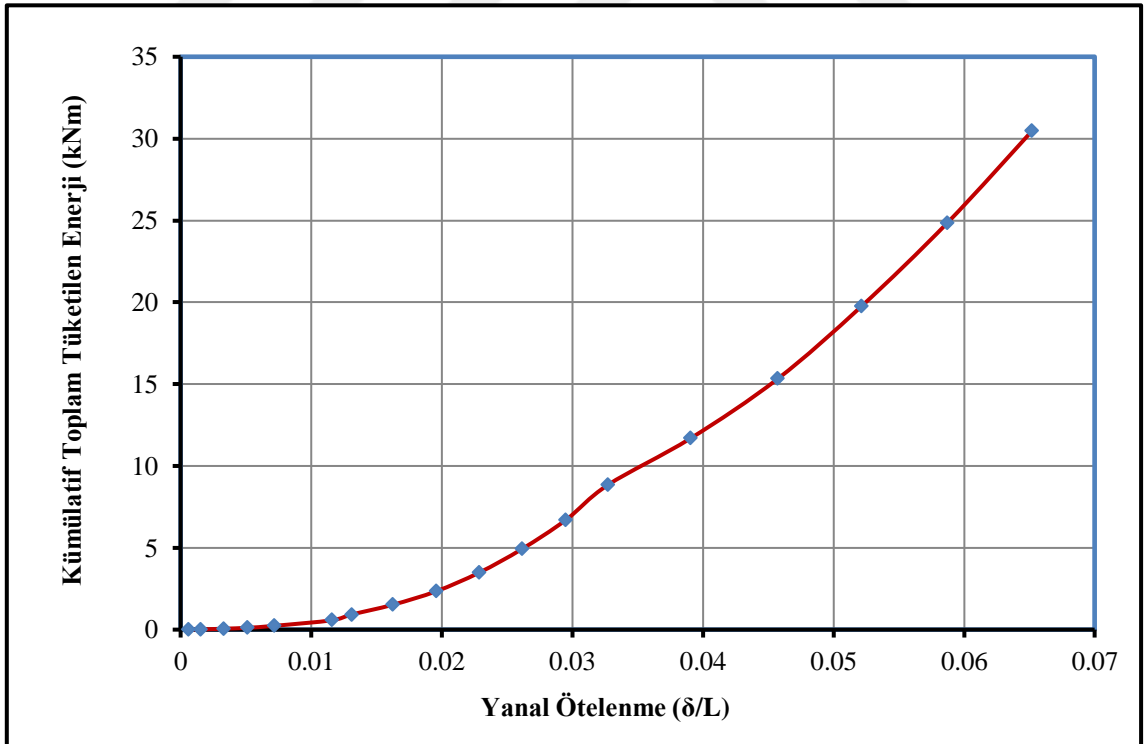
UK20-%0 numunesine ait rijitlik azalımı grafiği Şekil 4.35’de gösterilmiştir. Rijitlik grafiğinde, itme çevrimleri için elde edilen değerler grafiğin sağ tarafında, çekme çevrimleri için hesaplanan değerler grafiğin solunda yer almaktadır.



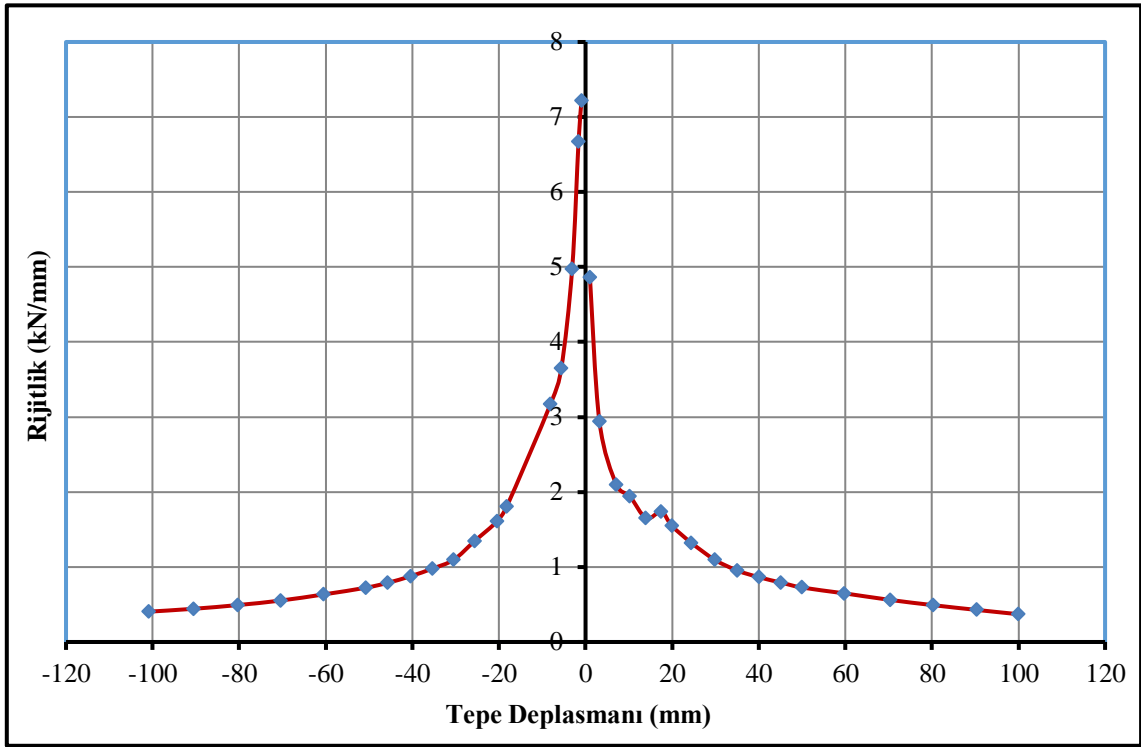
Şekil 4.32. UK20-%0 numunesinin yatay yük-tepe deplasmanı histerezis eğrisi



Şekil 4.33. UK20-%0 numunesine ait dayanım zarfı

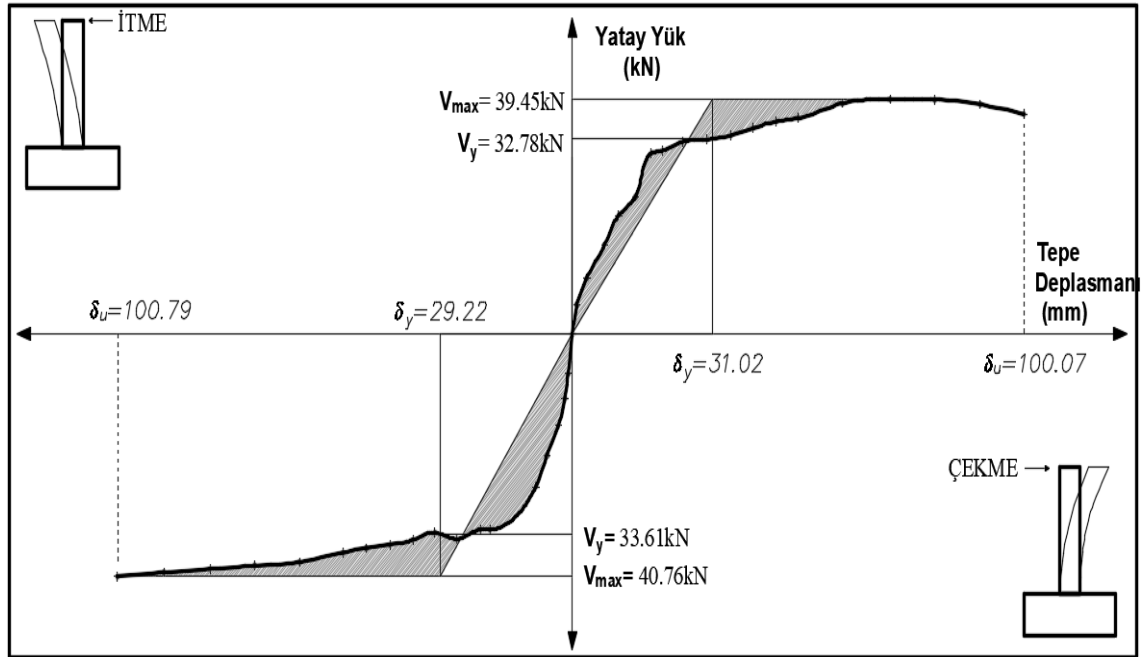


Şekil 4.34. UK20-%0 numunesine ait kümülatif toplam tüketilen enerji grafiği



Şekil 4.35. UK20-%0 numunesinin rijitlik azalımı grafiği

UK20-%0 numunesinin süneklik parametrelerinin gösterildiği grafik Şekil 4.36'de verilmiştir. Çizelge 4.9'da ise süneklik değerleri tablo halinde özetlenmiştir.



Şekil 4.36. UK20-%0 numunesinin süneklik grafiği

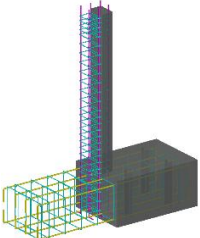
Çizelge 4.9. UK20-%0 numunesinin çatlak ve hasar oluşumu

UK20-%0	V_y (kN)	$0.8*V_{max}$ (kN)	V_{max} (kN)	Δ_y (mm)	Δ_u (mm)	μ (Δ_u / Δ_y)	$\mu_{ort.}$	Yatay Ötelenme Oranı (Δ/L) (%)
İtme	32.78	36.94	39.45	31.02	100.07	3.23	3.34	6.67
Çekme	-33.61	-40.76	-40.76	-29.22	-100.79	3.45		-6.72

4.1.4. Deney Numunesi-4 (YFC20-%0)

Çalışma kapsamında dördüncü olarak test edilen numune, YFC20-%0 isimli referans numunedir. YFC 20-%0 isimli numune, çimentonun yerine, çimento ağırlığının %20'si kadar yüksek fırın cürufu (YFC) ilave edilmiş, YFC20 serisine ait 3 adet numuneden korozyon hasarına maruz bırakılmayan referans numunedir. YFC20-%0 isimli numuneye ait parametrik değerler Çizelge 4.10'da özetlenmiştir.

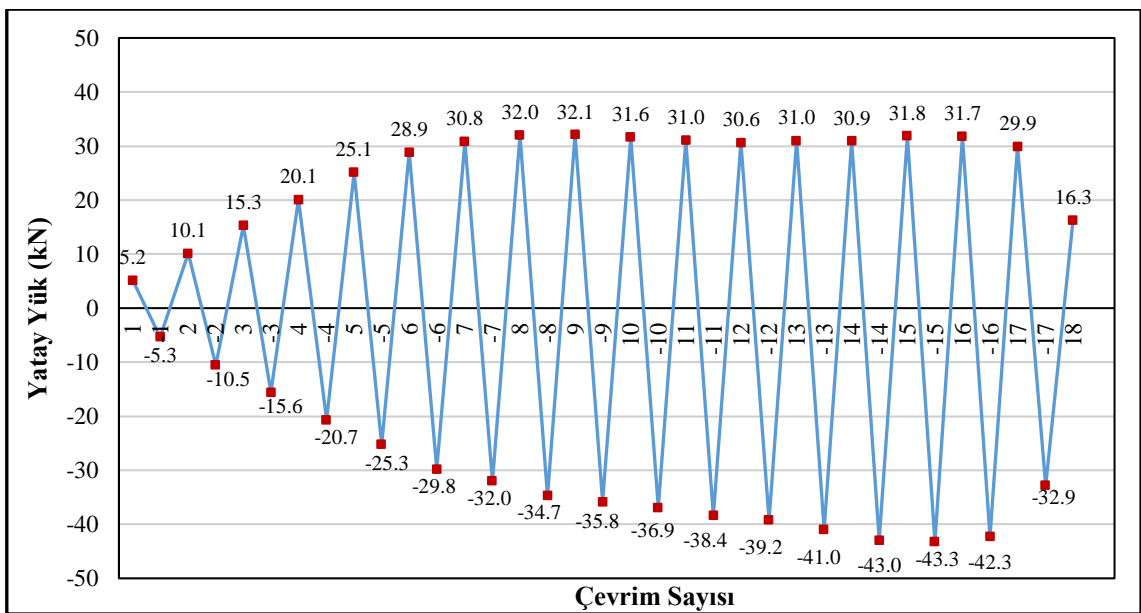
Çizelge 4.10. YFC20-%0 numunesinin parametrik özellikleri

Deney Numunesi No	Numune görünümü	Mineral Katkı Türü (1 m ³ için) (kg)			Ortalama Silindir Basınç Dayanımı (MPa)	Korozyon Seviyesi (%)
		CEM I 42.5R	UK	YFC		
Deney-4 YFC20-%0 Yüksek Fırın Cürufu Seri		224	-	56	31.43	0

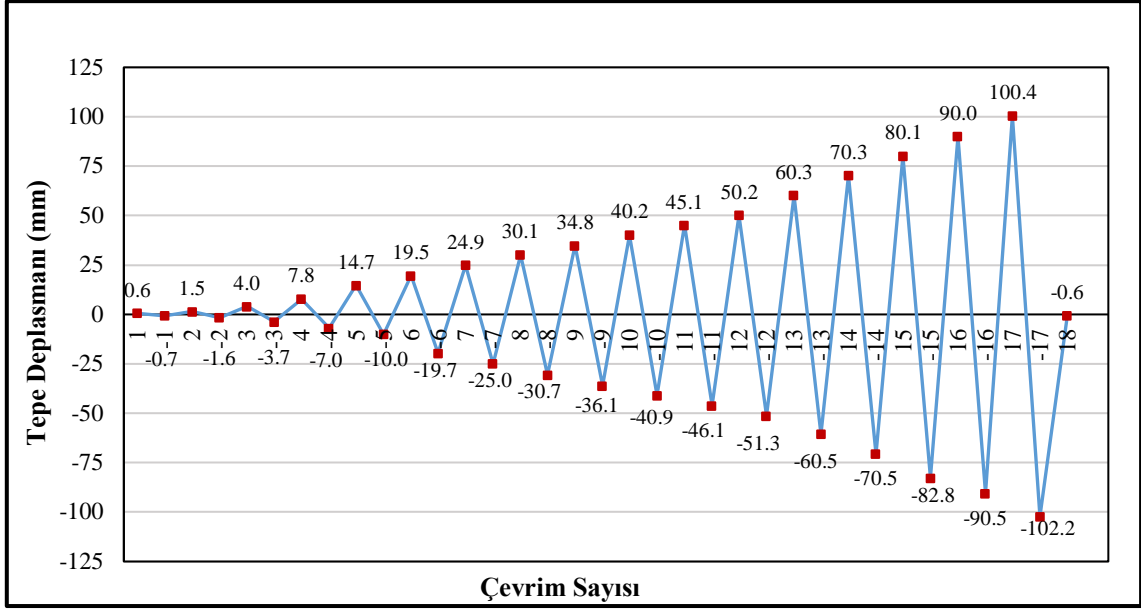
Deney elemanının tersinir-tekrarlanır yatay yükleme altında test edilmeden hemen önce ki, yatay yükleme deney düzeneğine yerleştirilmiş hali Şekil 4.37'de gösterilmiştir. Şekil 4.38'da deney elemanına ait yük geçmişi grafiği, Şekil 4.39'da deplasman geçmişi grafiği verilmiştir.



Şekil 4.37. YFC20-%0 numunesinin deney öncesi görünümü



Şekil 4.38. YFC20-%0 deney numunesinin yük geçmişi grafiği



Şekil 4.39. YFC20-%0 deney numunesinin deplasman geçmişi grafiği

Şekil 4.38'deki yükleme geçmişi grafiğinden de görüldüğü gibi 5. çevrime kadar ± 5 kN yük artırımı uygulanmış ve sonraki çevrimlerde deplasman kontrollü yüklemeye geçilmiştir. Deplasman kontrollü yüklemeye ise 50 mm'ye kadar 5 mm deplasman artırımı uygulanmış ve 50 mm'den sonra 10 mm'lik deplasman artırımları ile deneye devam edilmiştir. Yük geçmişi grafiği incelendiğinde, 5. çevrimde deneysel numunenin ideal akma noktasına ulaştığı görülmektedir. İlerleyen çevrimlerde yatay yükte artış olmadığından deplasman kontrollü olarak göçme konumuna çekme donatısında meydana gelen kopma ile ulaşılmıştır. Deney aşamasında her bir çevrimde gözlemlenen davranış Çizelge 4.11'de verilmiştir.

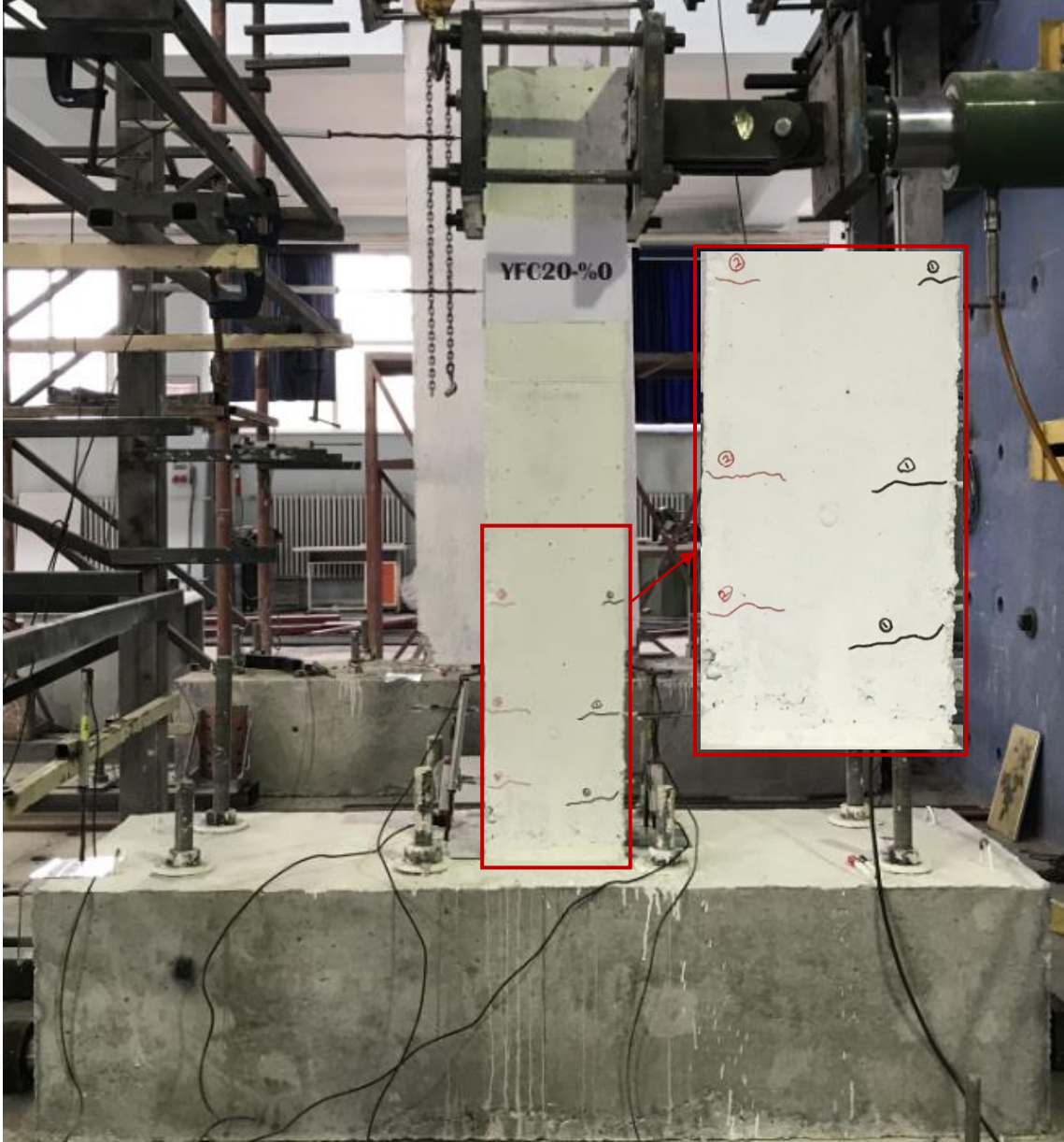
Çizelge 4.11. YFC20-%0 numunesinde çatlak ve hasar oluşumları

Çevrim No (+, itme) (-, çekme)	Maksimum Yatay Yük (kN)	Maksimum Tepe Deplasmanı (mm)	Numunede Gözlenen Çatlak ve Hasar Oluşumu
1	5.17	0.62	Deneyin ilk iki çevriminde herhangi bir çatlak gözlemlenmemiştir.
-1	-5.32	-0.71	
2	10.11	1.51	
-2	-10.53	-1.60	*İtmede ilk çatlak meydana geldi. Kolon-temel birleşiminden itibaren 14, 31 ve 55 cm yüksekliğinde üç adet çatlak meydana gelmiştir.
3	15.30	3.97	*Çekmede ilk çatlak meydana geldi. Kolon-temel birleşiminden itibaren 16, 31 ve 54 cm yüksekliğinde 3 adet yeni çatlak meydana gelmiştir.

Çevrim No (+, itme) (-, çekme)	Maksimum Yatay Yük (kN)	Maksimum Tepe Deplasmanı (mm)	Numunede Gözlenen Çatlak ve Hasar Oluşumu
4	20.11	7.83	Kolon-temel birleşiminden itibaren 17, 44, 70 cm yüksekliğinde ve kolon temel birleşiminde dört adet yeni çatlak meydana gelmiştir. Daha önceki yüklemelerde meydana gelen çatlaklar ilerlemiştir.
-4	-20.69	-6.97	Kolon-temel birleşiminden itibaren 40, 71 cm yüksekliğinde ve kolon temel birleşiminde 3 adet yeni çatlak meydana gelmiştir.
5	25.11	14.71	Kolon-temel birleşiminden itibaren 3 ve 90 cm yüksekliğinde iki adet yeni çatlak oluştu ve daha önce oluşan çatlakların boyları uzamıştır.
-5	-25.25	-10.04	Kolon-temel birleşiminden itibaren 11 ve 93 cm yüksekliğinde iki adet yeni çatlak oluştu ve daha önce oluşan çatlakların boyları uzamıştır.
6	28.85	19.52	Daha önce oluşan çatlakların boyları uzadı ve 1 nolu çatlak çatallaşmıştır. *Deney numunesi akma konumuna ulaşmıştır.
-6	-29.77	-19.66	Kolon-temel birleşiminden itibaren 82 cm yüksekliğinde yeni çatlak oluştu ve daha önce oluşan çatlakların boyları uzamıştır. Ayrıca 1 ve 2 nolu çatlaklar birleşmiştir. *Deney numunesi akma konumuna ulaşmıştır.
Deplasman Kontrollü Yükleme Geçilmiştir.			
7	30.83	24.89	Kolon-temel birleşiminden itibaren 35 ve 62 cm yüksekliğinde iki adet yeni çatlak meydana gelmiştir. Daha önce oluşan çatlakların boyları uzamıştır.
-7	-32.02	-25.00	Daha önce oluşan çatlakların boyları uzadı ve kolon temel birleşiminde oluşan çatlaklar birleşmiştir.
8	31.96	30.15	Daha önce meydana gelen çatlakların boyları uzamıştır ve çatlaklar çatallaşmıştır.
-8	-34.70	-30.66	Daha önce meydana gelen çatlakların boyları uzamıştır ve çatlaklar çatallaşmıştır.
9	32.08	34.85	Daha önce meydana gelen çatlakların boyları uzamıştır.
-9	-35.81	-36.09	Kolon-temel birleşiminden itibaren 4 cm yüksekliğinde yeni çatlak meydana gelmiştir ve kolon-temel birleşimindeki çatlağın genişliği artmıştır. Önceki yüklemelerde meydana gelen çatlaklar çatallaşarak boyları uzamıştır.
10	31.61	40.24	Kolon temel birleşiminde itmede ve çekmede meydana gelen çatlaklar birleşmiştir.
-10	-36.89	-40.93	Kolon temel birleşiminde itmede ve çekmede meydana gelen çatlaklar birleşmiştir.
11	31.03	45.12	Önceki yüklemelerde meydana gelen çatlakların boyları uzamaktadır. Çatlak genişlikleri artmaktadır.
-11	-38.38	-46.10	Önceki yüklemelerde meydana gelen çatlakların boyları uzamaktadır. Çatlak genişlikleri artmaktadır.

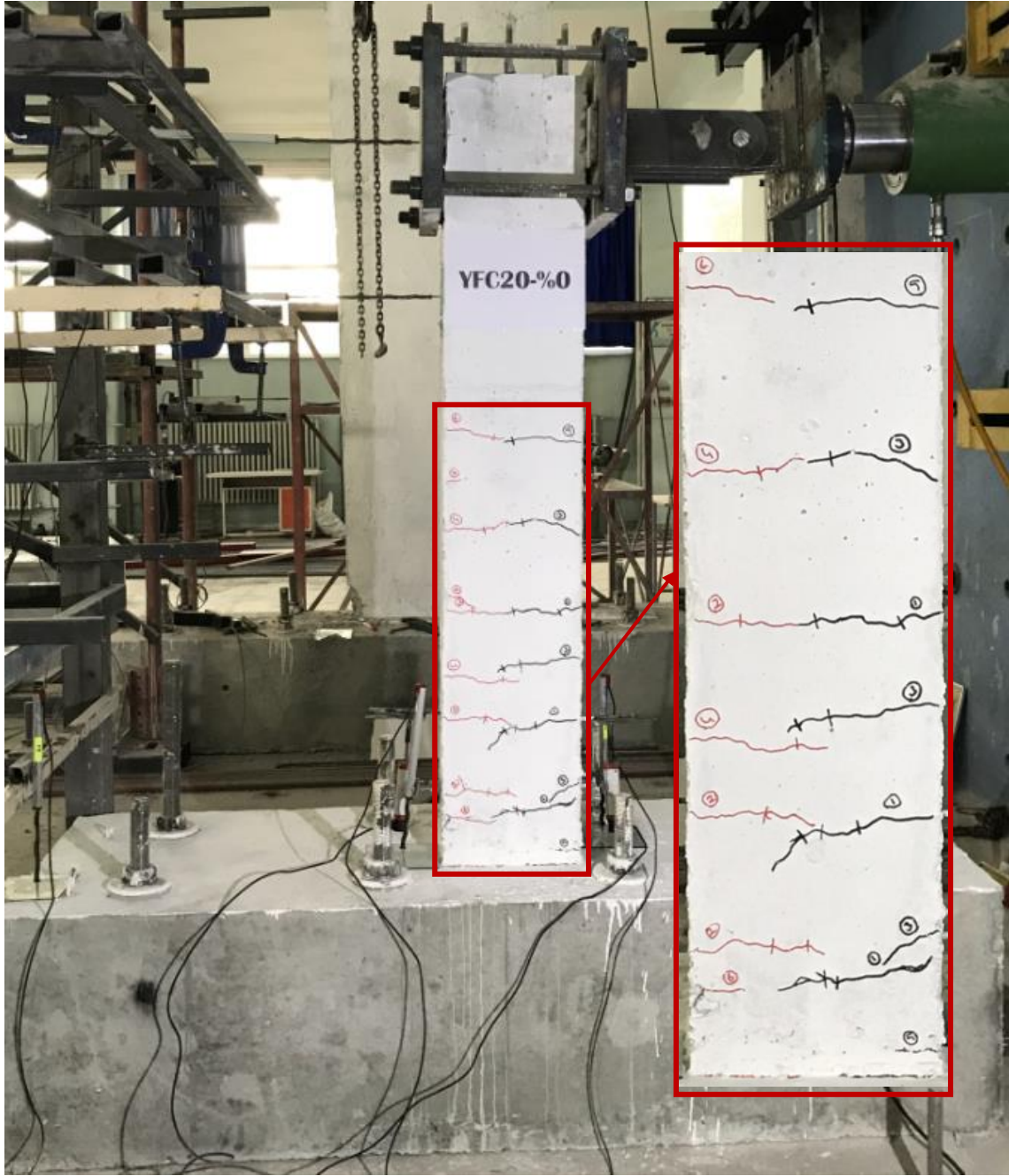
Çevrim No (+, itme) (-, çekme)	Maksimum Yatay Yük (kN)	Maksimum Tepe Deplasmanı (mm)	Numunede Gözlenen Çatlak ve Hasar Oluşumu
12	30.65	50.15	Çatlakların boyları uzayarak itme ve çekme çatlakları birleşmiştir. Ayrıca meydana gelen çatlaklar çatallaşarak ilerlemektedir.
-12	-39.21	-51.30	Çatlakların boyları uzayarak itme ve çekme çatlakları birleşmiştir. Ayrıca meydana gelen çatlaklar çatallaşarak ilerlemektedir.
13	30.98	60.28	Basınç bölgesinde ezilmeler başlamıştır.
-13	-40.98	-60.51	Basınç bölgesinde ezilmeler başlamıştır.
14	30.92	70.25	Plastik mafsal bölgesinde oluşan yatay çatlaklar temel doğru ilerlemektedir.
-14	-42.97	-70.54	Plastik mafsal bölgesinde oluşan yatay çatlaklar temel doğru ilerlemektedir.
15	31.84	80.10	Basınç bölgesinde meydana gelen ezilmelerden dolayı beton dökülmeye başlamıştır.
-15	-43.27	-82.81	Basınç bölgesinde meydana gelen ezilmelerden dolayı beton dökülmeye başlamıştır.
16	31.74	90.01	Basınç bölgesinde meydana gelen ezilmelerden dolayı beton dökülmeye başlamıştır.
-16	-42.32	-90.47	Basınç bölgesinde meydana gelen ezilmelerden dolayı beton dökülmeye başlamıştır.
17	29.92	100.38	Basınç bölgesinde meydana gelen dökülmelerden dolayı, basınç donatısında burkulma oluşmuştur.
-17	-32.85	-102.24	Basınç bölgesinde meydana gelen dökülmelerden dolayı, çekme donatısında kopma meydana gelmiştir ve numune göçme konumuna ulaşmıştır. *Deneyde yüklemeye son verilmiştir.
18	16.29	-0.62	Deplasman sıfırlanarak numune başlangıç konumuna alınmıştır.

Deneyel elamanda ilk eğilme çatlağı ± 3 . itme ve çekme çevriminde yaklaşık 15 kN'luk yatay yükte meydana gelmiştir. Bu yük değerinde numune, yaklaşık 3.97 mm'lik bir tepe deplasmanına ve % 0.26'lık bir yanal ötelenme oranına sahiptir. Deneyel elemamda itmede ve çekmede gözlemlenen ilk çatlaklar Şekil 4.40'da gösterilmiştir.



Şekil 4.40. YFC20-%0 deney numunesinde oluşan ilk çatlaklar

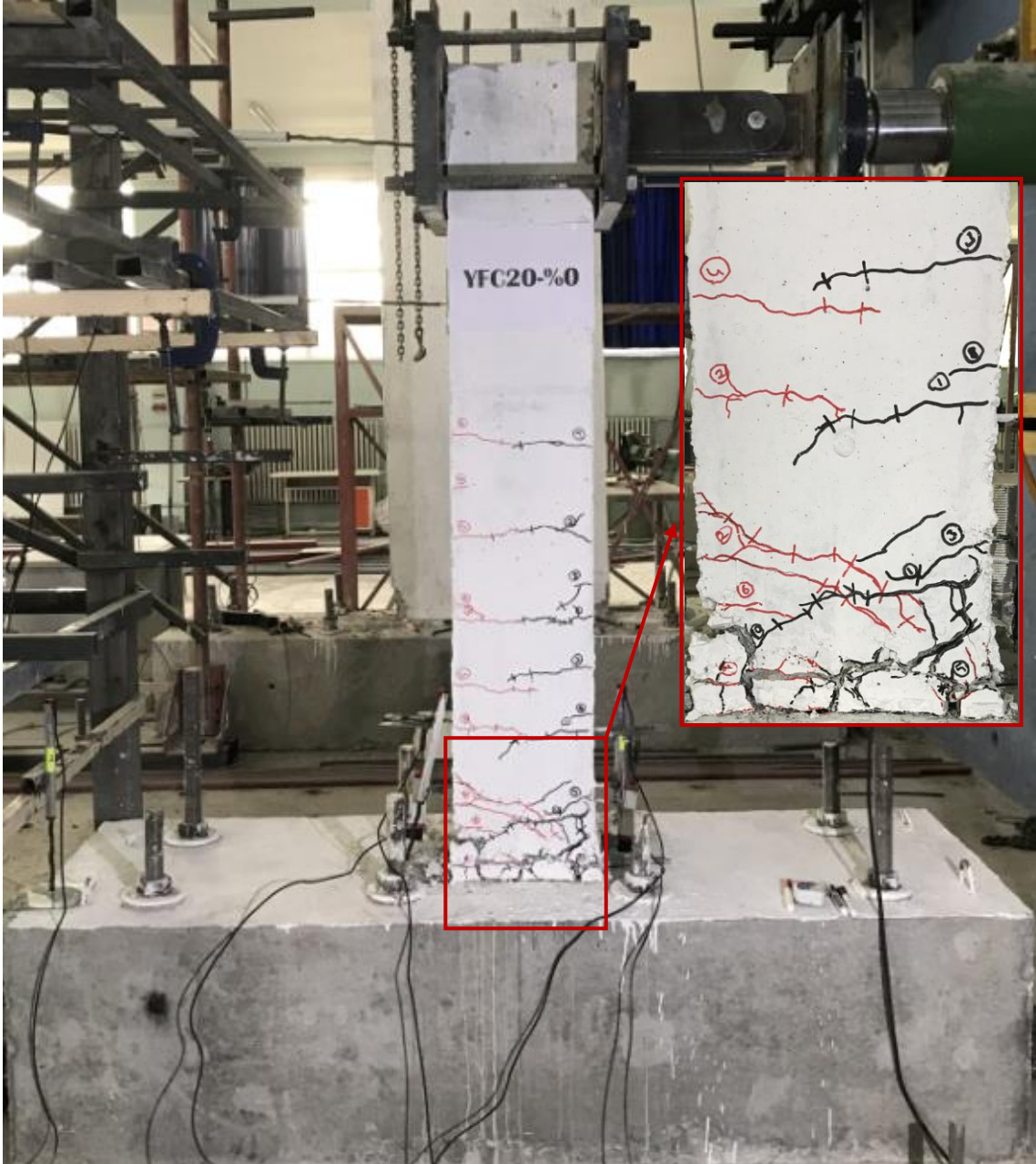
YFC20-%0 deney elemanı akma konumuna yaklaşık % 1.31 ötelenme oranında ve 25.85 kN yatay yük değerinde ulaşmıştır. Bu yükte deneysel numunenin tepe deplasmanı 19.66 mm'dir. Bu yükleme adımında temel-kolon birleşim bölgesinde çatlaklar oluşmuş, ayrıca plastik mafsalsal bölgesinde itme ve çekme çevrimlerinde oluşan simetrik eğilme çatlakları çatallaşmaya başlamıştır. Şekil 4.41'de deneysel numunenin akma konumunda gözlenen çatlaklar gösterilmiştir.



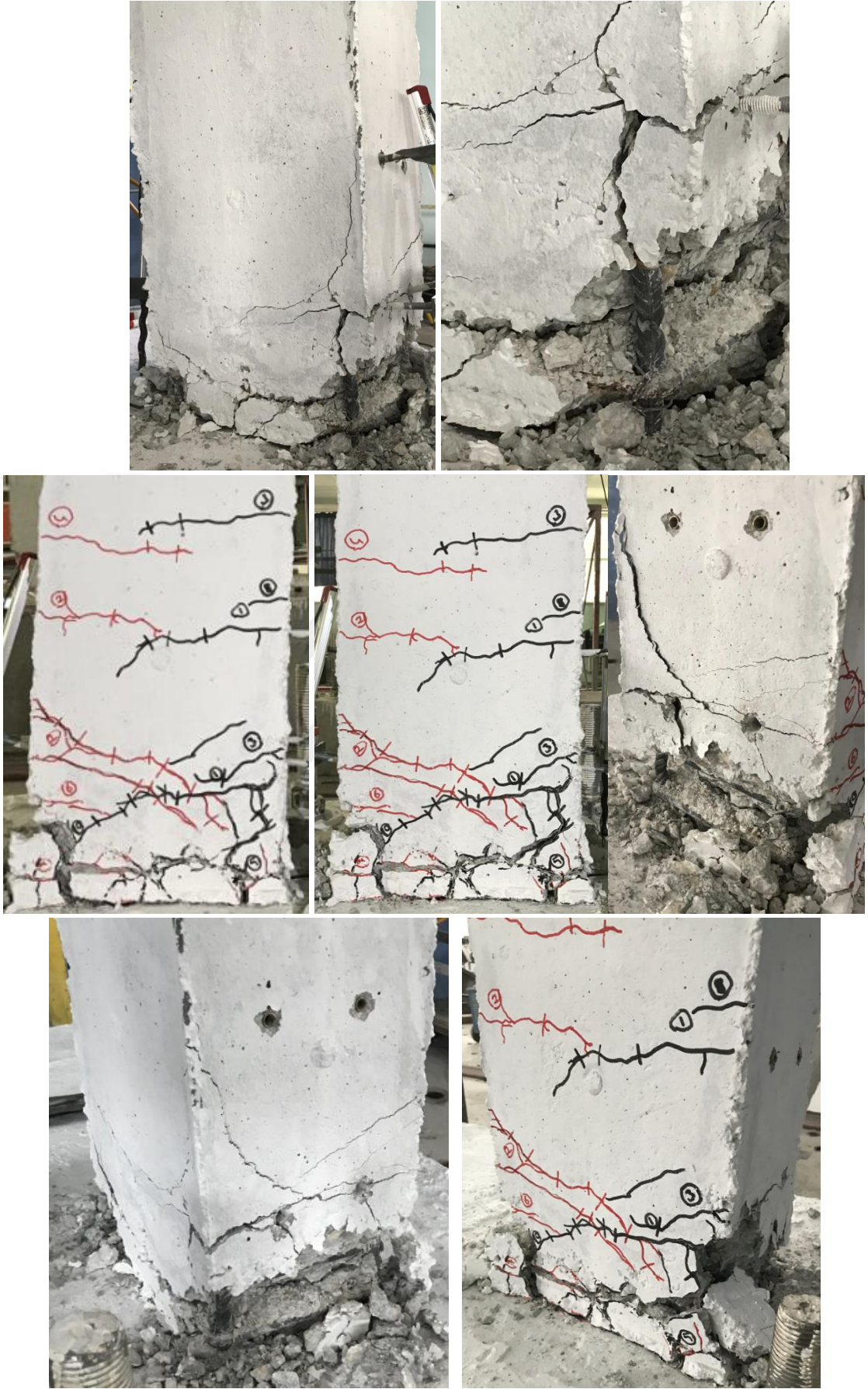
Şekil 4.41. YFC20-%0 deney numunesinde akma konumunda gözlenen çatlaklar

YFC20-%0 numunesi, -19. geri yükleme çevriminde, çekme donatısında meydana gelen kopma ile yatay yük taşıma kapasitesine ulaşmıştır. Bu çevrimde numune, -32.85 kN yatay yük, -102.24 mm tepe deplasmanına sahiptir. Deneysel eleman göçme konumuna ulaştığında, numunenin basınç bölgesinde ki donatılar burkulmuş ve beton örtüsü dökülmüştür. Çekme çevriminde, çekme bölgesindeki ilk donatının kopması sonucu yatay yükte ani bir düşüş meydana gelmiş, daha sonra numune kendini toplamaya çalışırken diğer donatının da kopması sonucu deney sonlandırılmıştır. Deneysel

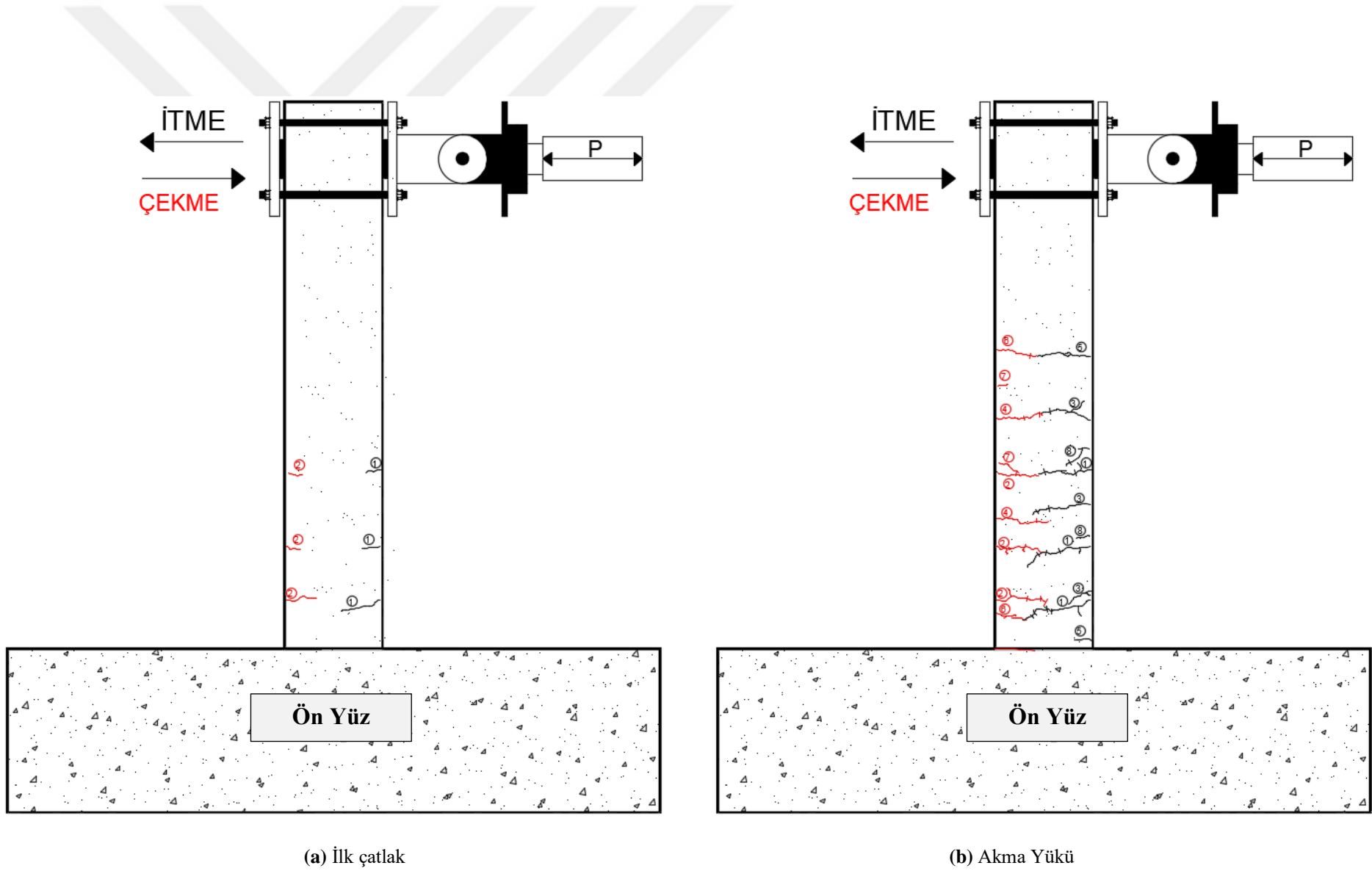
numunenin deney sonu görünümleri Şekil 4.42’de gösterilmiştir. Numunede deney sonuna kadar eğilme davranışı gözlemlenmiş olup, plastik mafsal bölgesindeki her iki yüzdeki çatlaklar birleştikten sonra 45° eğimle kolon-temel birleşimine doğru ilerlemişlerdir. YFC20-%0 deney elemanının ilk çatlak, akma yükü, maksimum yük ve göçme durumunun çatlak krokisi bilgisayar programında işlenerek, hasar oluşumu incelenmiştir. Deneysel numunenin çatlak krokisi Şekil 4.43’de gösterilmiştir.



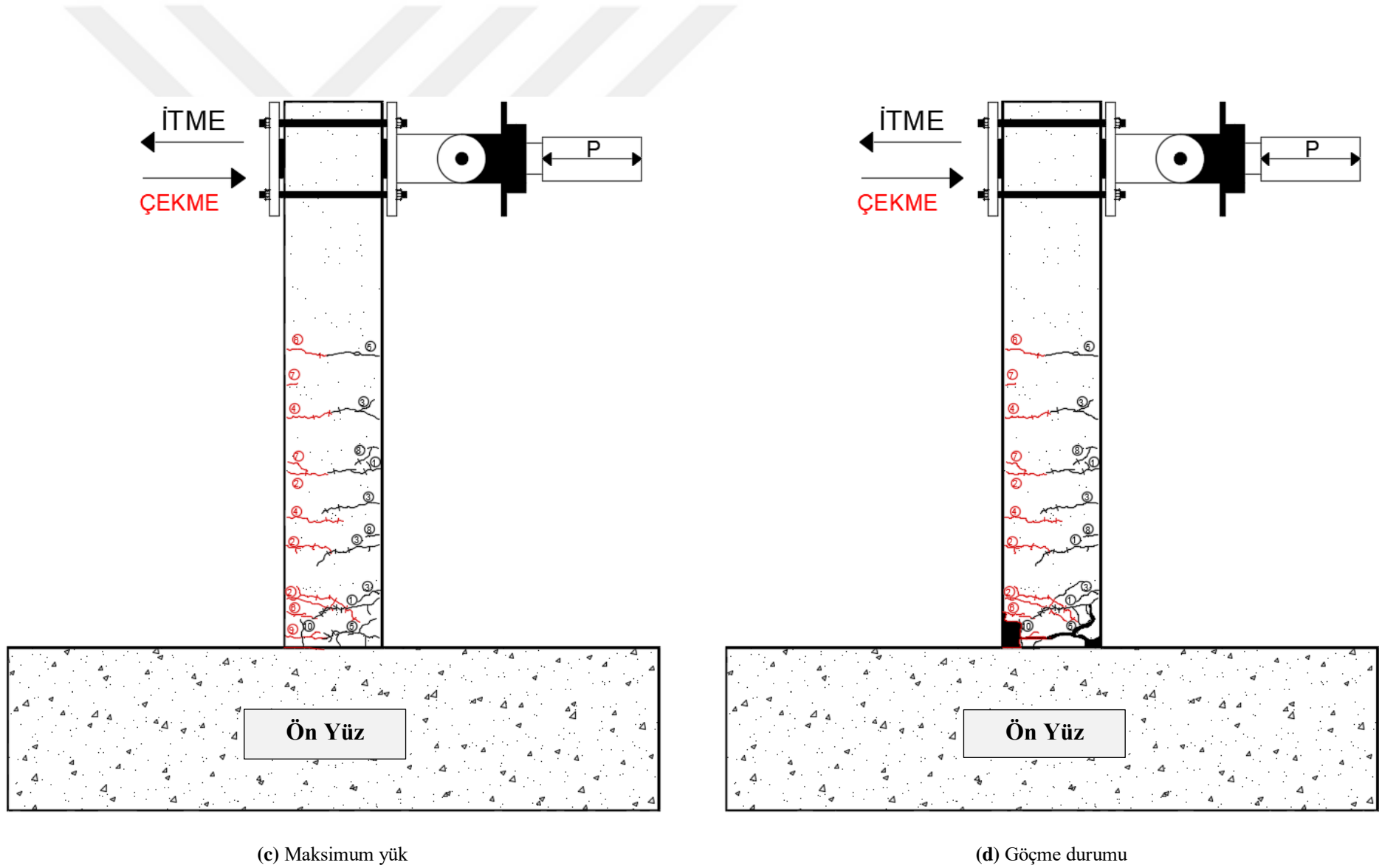
Şekil 4.42. YFC20-%0 numunesinin deney sonu görünümü



Şekil 4.42. YFC20-0% numunesinin deney sonu görünümü (devamı) (plastik mafsalsal bölgesi)



Şekil 4.43. YFC20-0% numunesinin çatlak krokisi

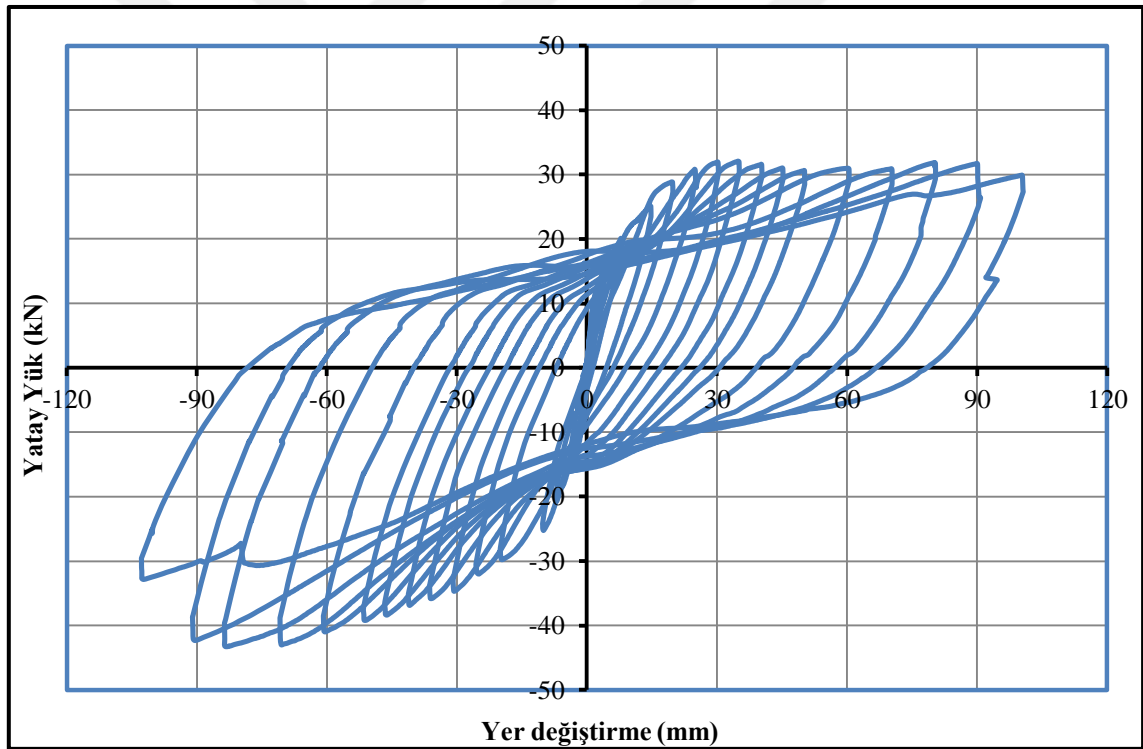


Şekil 4.43. YFC20-%0 numunesinin çatlak krokisi (devamı)

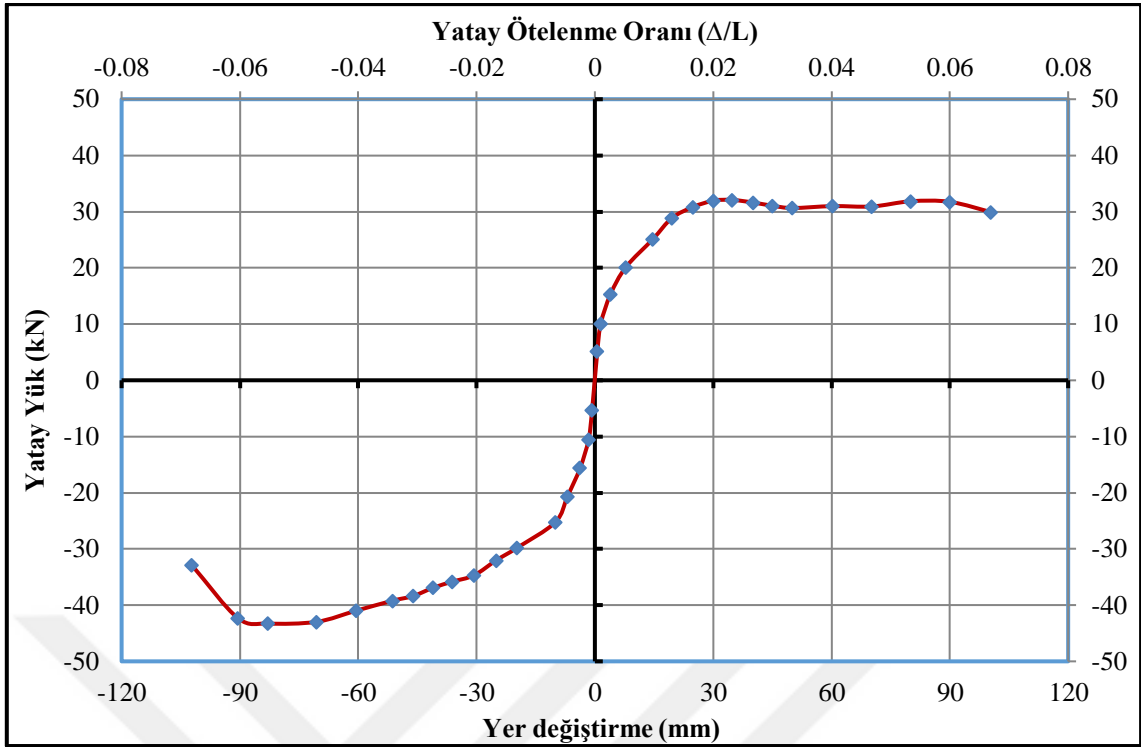
Deneyler sırasında yük hücresi ve yer değiştirme ölçerlerden alınan veriler yardımıyla, numunelerin davranışlarını incelemek için çeşitli grafikler çizilmiştir. Şekil 4.44’de YFC20-%0 numunesine ait yatay yük- yer değiştirme çevrimsel histerezis ilişkisi, Şekil 4.45’de ise her bir çevrimdeki maksimum yatay yük ve bu yüke karşılık gelen yer değiştirmelerin işaretlenmesi ve birleştirilmesi ile elde edilen dayanım zarfı görölmektedir.

YFC20-%0 numunesinin, yatay yük-yer değiştirme eğrisinin altında kalan alanların hesaplanması ve ardışık toplanması ile numunenin kümülatif toplam enerji tüketme kapasitesi-ötelenme oranı grafiği çizilmiştir ve Şekil 4.46’da verilmiştir.

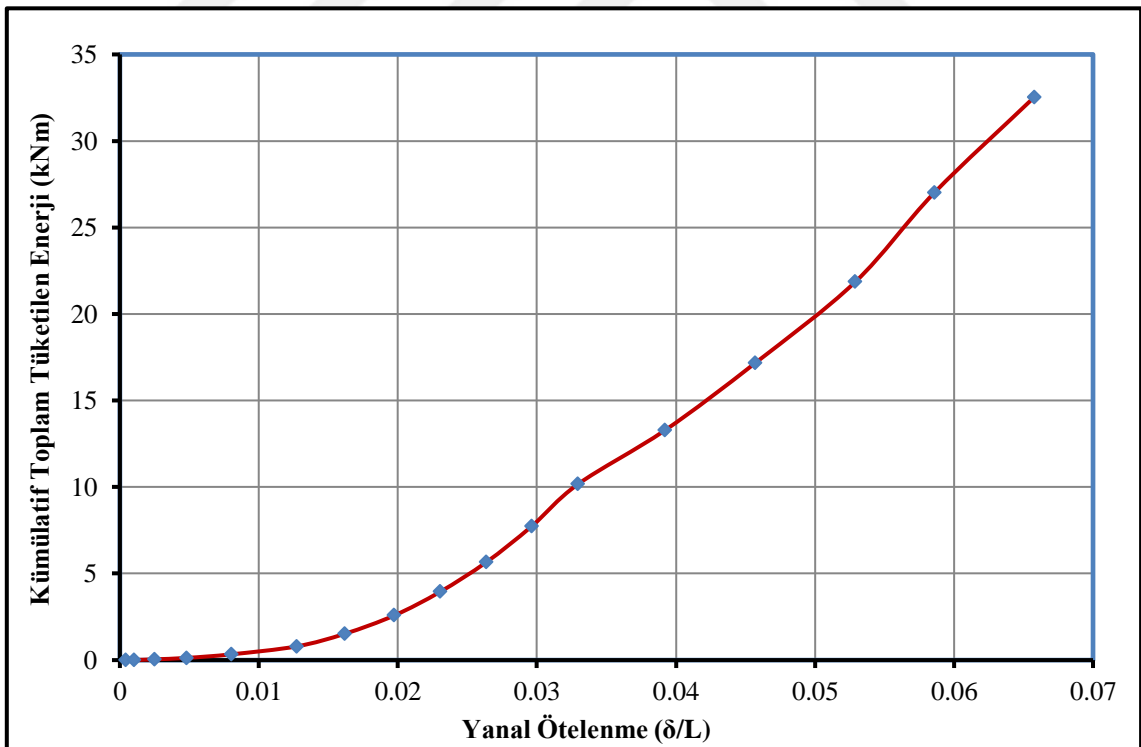
YFC20-%0 numunesine ait rijitlik azalımı grafiği Şekil 4.47’de gösterilmiştir. Rijitlik grafiğinde, itme çevrimleri için elde edilen değerler grafiğin sağ tarafında, çekme çevrimleri için hesaplanan değerler grafiğin solunda yer almaktadır.



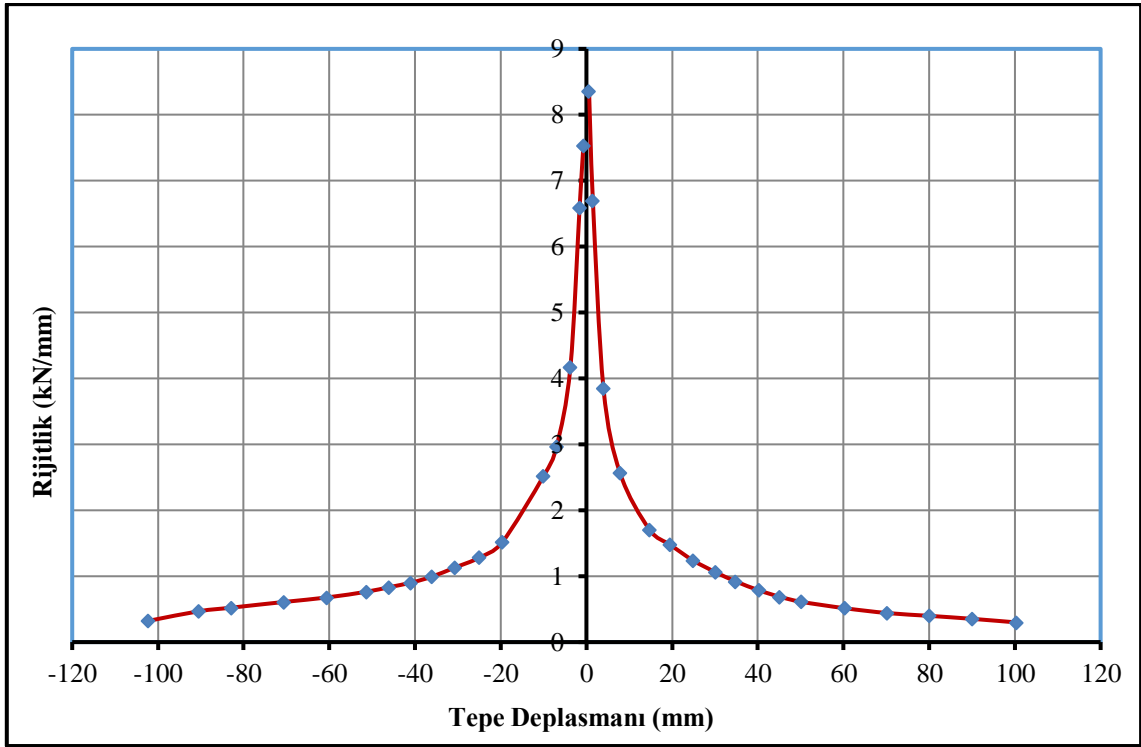
Şekil 4.44. YFC20-%0 numunesinin histerezis eğrisi



Şekil 4.45. YFC20-%0 numunesine ait dayanım zarfı

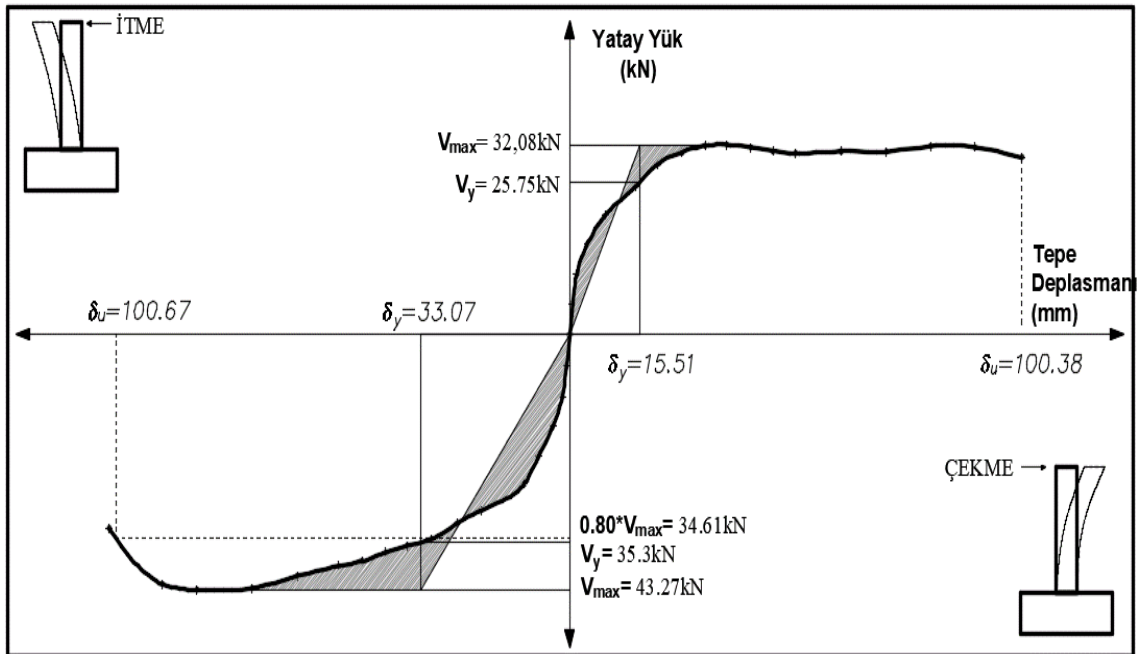


Şekil 4.46. YFC20-%0 numunesine ait kümülatif toplam tüketilen enerji grafiği



Şekil 4.47. YFC20-%0 numunesinin rijitlik azalımı grafiği

YFC20-%0 numunesinin süneklik parametrelerinin gösterildiği grafik Şekil 4.48'de verilmiştir. Çizelge 4.12'de ise süneklik değerleri tablo halinde özetlenmiştir.



Şekil 4.48. YFC20-%0 numunesinin süneklik grafiği

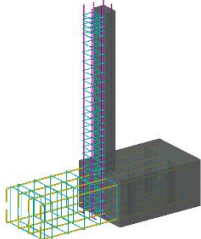
Çizelge 4.12. YFC20-%0 numunesinin çatlak ve hasar oluşumu

YFC20-%0	V_y (kN)	$0.8*V_{max}$ (kN)	V_{max} (kN)	Δ_y (mm)	Δ_u (mm)	μ (Δ_u/Δ_y)	$\mu_{ort.}$	Yatay Ötelenme Oranı (Δ/L) (%)
İtme	25.75	29.92	32.08	15.51	100.38	6.47	4.76	6.69
Çekme	-35.30	-34.61	-43.27	-33.07	-100.67	3.04		-6.71

4.1.5. Deney Numunesi-5 (YFC40-%0)

Çalışma kapsamında beşinci olarak test edilen numune, YFC40-%0 isimli referans numunedir. YFC40-%0 isimli numune, çimentonun yerine, çimento ağırlığının %40'si kadar yüksek fırın cürufu (YFC) ilave edilmiş, YFC40 serisine ait 3 adet numuneden korozyon hasarına maruz bırakılmayan referans numunedir. YFC40-%0 isimli numuneye ait parametrik değerler Çizelge 4.13'de özetlenmiştir.

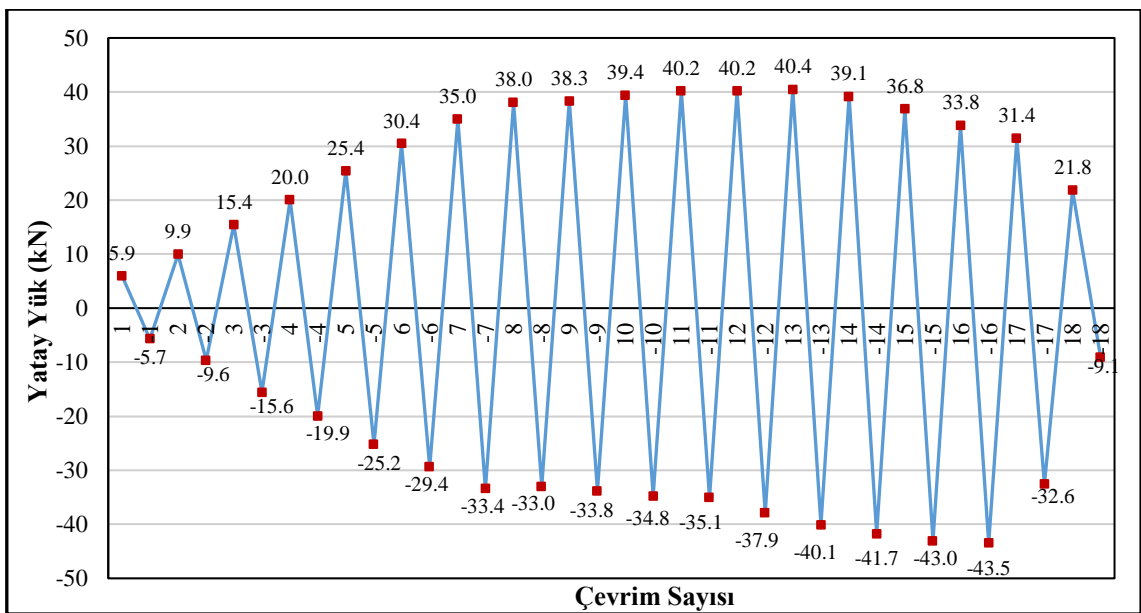
Çizelge 4.13. YFC40-%0 numunesinin parametrik özellikleri

Deney Numunesi No	Numune görünümü	Mineral Katkı Türü (1 m ³ için) (kg)			Ortalama Silindir Basınç Dayanımı (MPa)	Korozyon Seviyesi (%)
		CEM I 42.5R	UK	YFC		
Deney-5 YFC40-%0 Yüksek Fırın Cürufu Seri		168	-	112	34.95	0

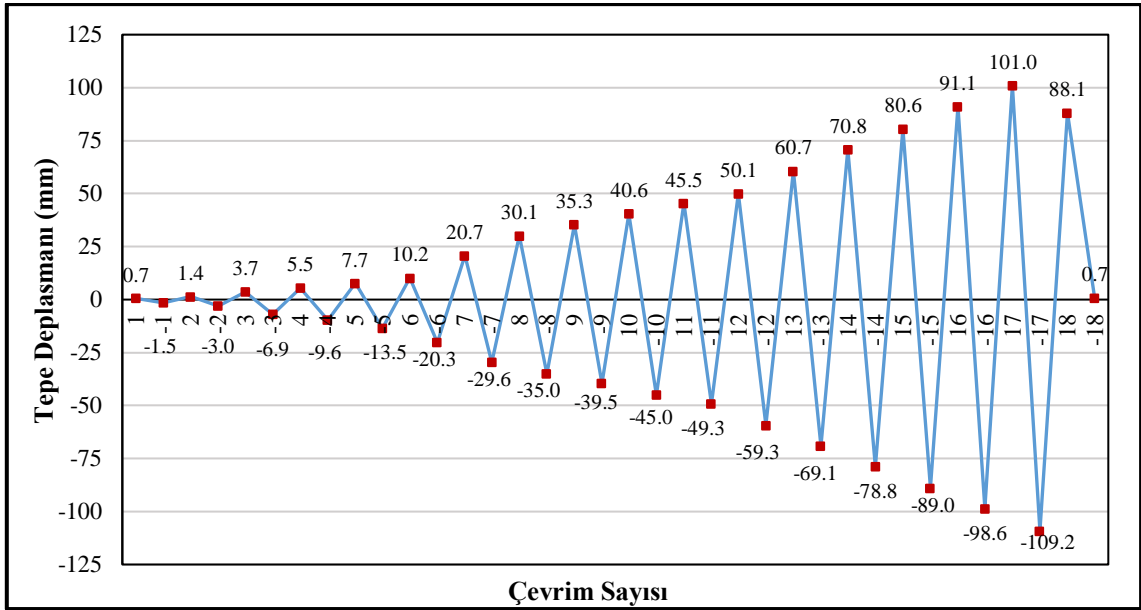
Deney elemanının tersinir-tekrarlanır yatay yükleme altında test edilmeden hemen önce ki, yatay yükleme deney düzeneğine yerleştirilmiş hali Şekil 4.49'da gösterilmiştir. Şekil 4.50'de deney elemanına ait yük geçmişi grafiği, Şekil 4.51'de deplasman geçmişi grafiği verilmiştir.



Şekil 4.49. YFC40-%0 numunesinin deney öncesi görünümü



Şekil 4.50. YFC40-%0 deney numunesinin yük geçmişi grafiği



Şekil 4.51. YFC40-%0 deney numunesinin deplasman geçmişi grafiği

Şekil 4.50'deki yükleme geçmişi grafiğinden de görüldüğü gibi ± 8 . çevrime kadar ± 5 kN yük artırımını uygulanmış ve sonraki çevrimlerde deplasman kontrollü yüklemeye geçilmiştir. Deplasman kontrollü yüklemeye ise 50 mm'ye kadar 5 mm deplasman artırımını uygulanmış ve 50 mm'den sonra 10 mm'lik deplasman artırımları ile deney devam edilmiştir. Yük geçmişi grafiği incelendiğinde, 8. çevrimde deneysel numunenin ideal akma noktasına ulaştığı görülmektedir. İlerleyen çevrimlerde yatay yükte artış olmadığından deplasman kontrollü olarak göçme konumuna kadar yüklenmiştir. Deney aşamasında her bir çevrimde gözlemlenen davranış Çizelge 4.14'de verilmiştir.

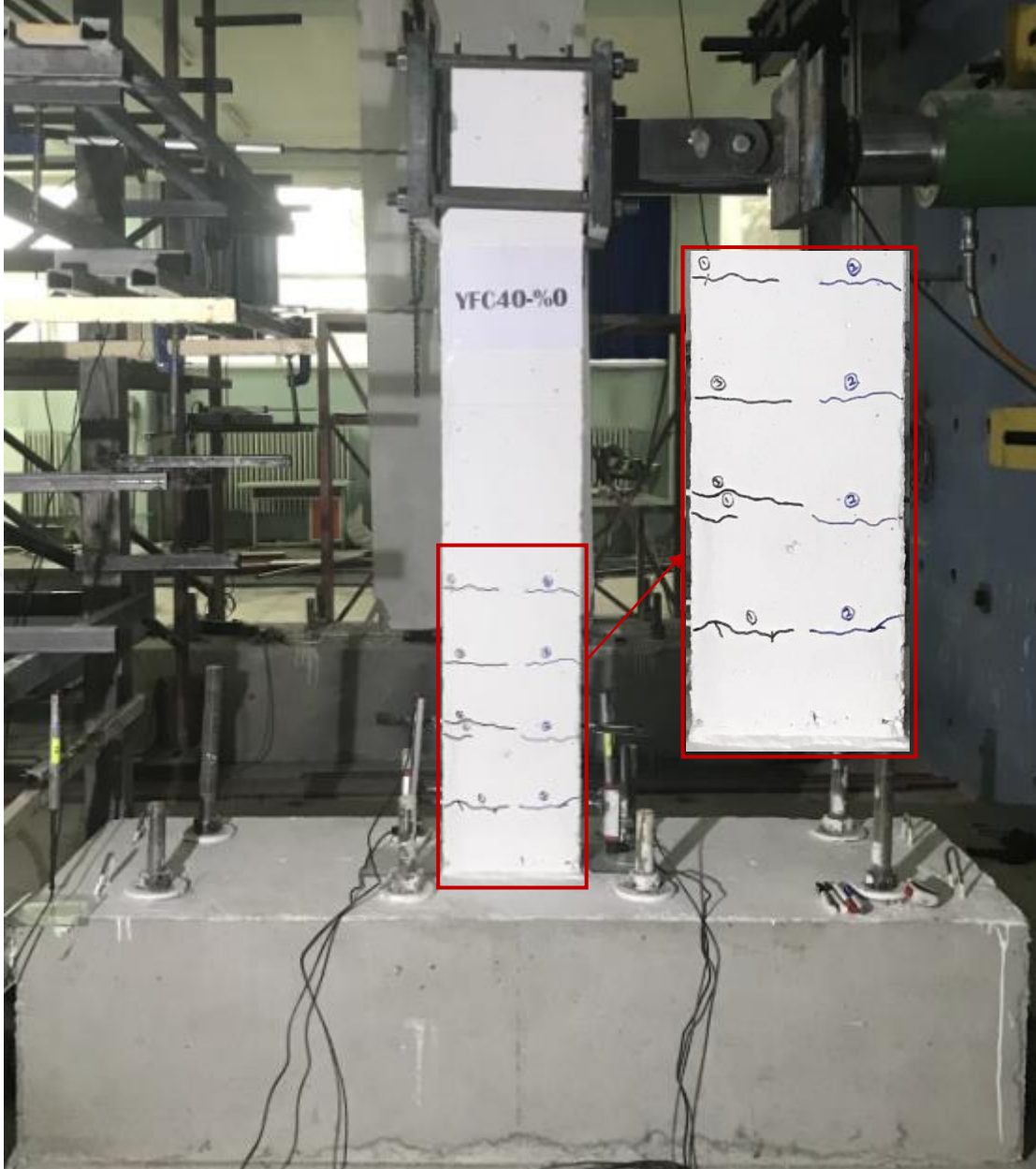
Çizelge 4.14. YFC40-%0 numunesinde çatlak ve hasar oluşumları

Çevrim No (+, itme) (-, çekme)	Maksimum Yatay Yük (kN)	Maksimum Tepe Deplasmanı (mm)	Numunede Gözlenen Çatlak ve Hasar Oluşumu
1	5.95	0.69	Deneyin ilk iki çevriminde herhangi bir çatlak gözlemlenmemiştir.
-1	-5.68	-1.49	
2	9.95	1.39	
-2	-9.64	-2.96	*İtmede ilk çatlak meydana geldi. Kolon-temel birleşiminden itibaren 15, 31 ve 62 cm yüksekliğinde üç adet çatlak meydana gelmiştir.
3	15.42	3.67	*Çekmede ilk çatlak meydana geldi. Kolon-temel birleşiminden itibaren 17, 30, 46 ve 61cm yüksekliğinde dört adet çatlak meydana gelmiştir.
-3	-15.61	-6.93	Kolon-temel birleşiminden itibaren 33 ve 45 cm yüksekliğinde 2 adet yeni çatlak meydana gelmiştir.

Çevrim No (+, itme) (-, çekme)	Maksimum Yatay Yük (kN)	Maksimum Tepe Deplasmanı (mm)	Numunede Gözlenen Çatlak ve Hasar Oluşumu
4	20.04	5.48	Kolon-temel birleşiminden itibaren 13 ve 23 cm yüksekliğinde iki adet yeni çatlak meydana gelmiştir. Daha önceki yüklemelerde meydana gelen çatlaklar ilerlemiştir.
-4	-19.95	-9.58	Kolon-temel birleşiminden itibaren 3, 82 cm yüksekliğinde ve kolon temel birleşiminde 3 adet yeni çatlak meydana gelmiştir.
5	25.42	7.73	Kolon-temel birleşiminden itibaren 82 cm yüksekliğinde ve kolon temel birleşiminde iki adet yeni çatlak meydana gelmiştir. Daha önceki yüklemelerde meydana gelen çatlaklar ilerlemiştir.
-5	-25.23	-13.48	Kolon-temel birleşiminden itibaren 93, 65 ve 22 cm yüksekliğinde üç adet yeni çatlak oluştu ve ayrıca itme ve çekmede oluşan çatlaklar birleşmiştir.
6	30.42	10.22	Kolon-temel birleşiminden itibaren 3cm yüksekliğinde yeni çatlak meydana gelmiştir.
-6	-29.40	-20.26	Kolon-temel birleşiminden itibaren 40, 97 ve 105 cm yüksekliğinde üç adet yeni çatlak meydana gelmiştir. Daha önce oluşan çatlakların boyları uzadı ve 1 nolu çatlak çatallaşmıştır.
7	34.95	20.73	Kolon-temel birleşiminden itibaren 9, 66 ve 93 cm yüksekliğinde üç adet yeni çatlak meydana gelmiştir. Daha önce oluşan çatlakların boyları uzamıştır. *Deney numunesi akma konumuna ulaşmıştır.
-7	-33.44	-29.58	Kolon-temel birleşiminden itibaren 53 cm yüksekliğinde yeni çatlak meydana gelmiştir. Daha önce oluşan çatlakların boyları uzamıştır. *Deney numunesi akma konumuna ulaşmıştır.
Deplasman Kontrollü Yükleme Geçilmiştir.			
8	38.04	30.13	Daha önce meydana gelen çatlakların boyları uzamıştır ve çatlaklar çatallaşmıştır.
-8	-32.99	-35.03	Daha önce meydana gelen çatlakların boyları uzamıştır ve çatlaklar çatallaşmıştır.
9	38.33	35.34	Kolon temel birleşiminde itmede ve çekmede meydana gelen çatlaklar birleşmiştir.
-9	-33.82	-39.49	Daha önceki yüklemelerde meydana gelen çatlaklar düşey yönde ilerlemeye başlamıştır.
10	39.40	40.58	Daha önceki yüklemelerde meydana gelen çatlaklar düşey yönde ilerlemeye başlamıştır.
-10	-34.78	-45.03	Kolon temel birleşiminde itmede ve çekmede meydana gelen çatlaklar birleşmiştir.
11	40.16	45.45	Basınç bölgesinde ezilmeler başlamıştır. Ayrıca meydana gelen çatlaklar çatallaşarak ilerlemektedir.
-11	-35.09	-49.26	Basınç bölgesinde ezilmeler başlamıştır. Ayrıca meydana gelen çatlaklar çatallaşarak ilerlemektedir.

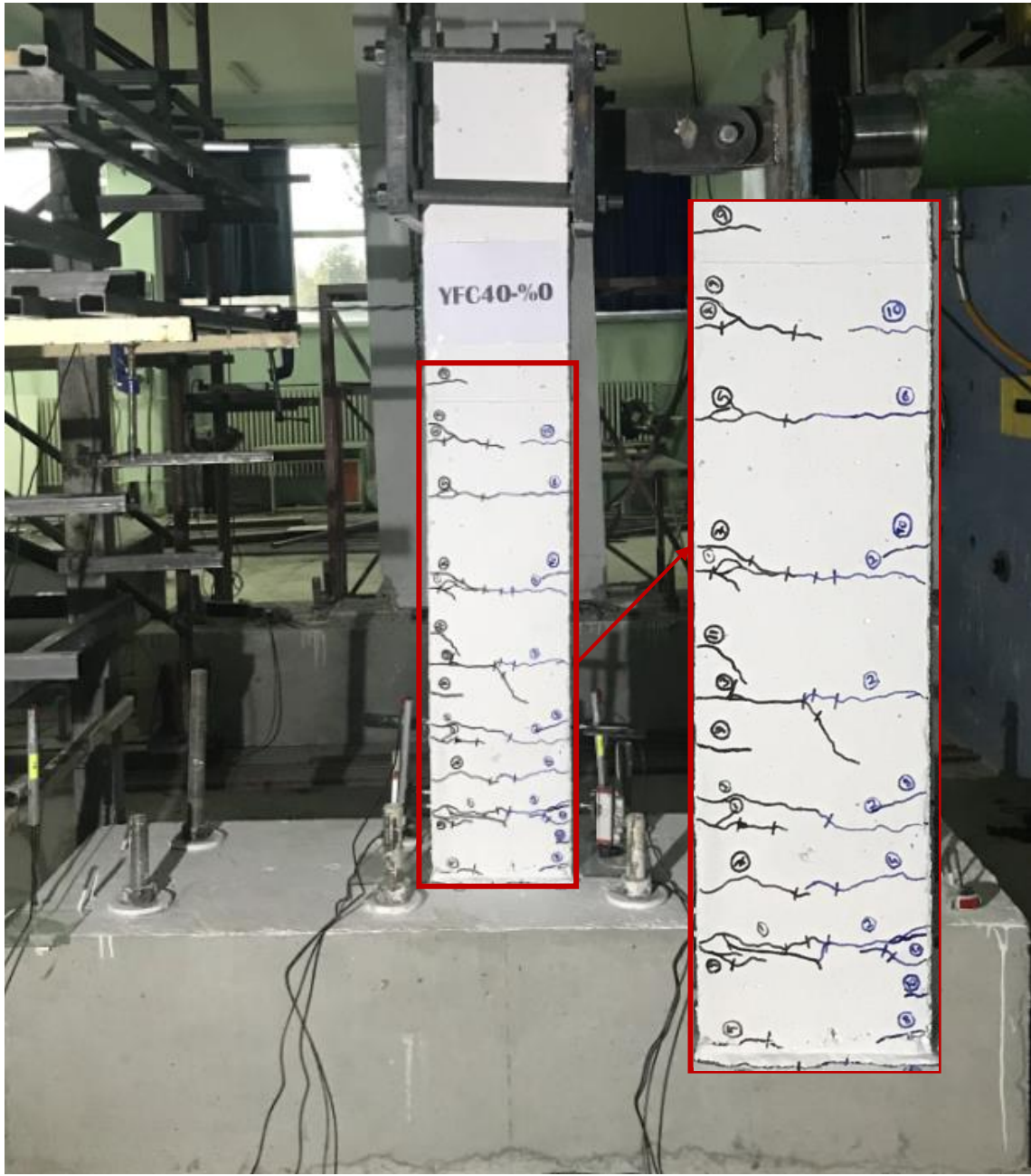
Çevrim No (+, itme) (-, çekme)	Maksimum Yatay Yük (kN)	Maksimum Tepe Deplasmanı (mm)	Numunede Gözlenen Çatlak ve Hasar Oluşumu
12	40.16	50.09	Önceki yüklemelerde meydana gelen çatlaklar çatallaşarak ilerlemektedir.
-12	-37.90	-59.27	Kolon-temel birleşiminden itibaren 20 cm yüksekliğinde yeni çatlak meydana gelmiştir. Daha önce oluşan çatlaklar çatallaşarak ilerlemektedir.
13	40.43	60.68	Plastik mafsal bölgesinde oluşan yatay çatlaklar temel doğru ilerlemektedir.
-13	-40.11	-69.09	Plastik mafsal bölgesinde oluşan yatay çatlaklar temel doğru ilerlemektedir.
14	39.14	70.85	Basınç bölgesinde ezilmelerden dolayı boyuna çatlaklar meydana gelmiştir.
-14	-41.75	-78.84	Basınç bölgesinde ezilmelerden dolayı boyuna çatlaklar meydana gelmiştir.
15	36.83	80.62	-----
-15	-43.05	-89.00	Basınç bölgesinde meydana gelen ezilmelerden dolayı beton dökülmeye başlamıştır.
16	33.75	91.09	Basınç bölgesinde meydana gelen ezilmelerden dolayı beton dökülmeye başlamıştır.
-16	-43.50	-98.56	Basınç bölgesinde meydana gelen ezilmelerden dolayı beton dökülmeye başlamıştır.
17	31.37	101.03	-----
-17	-32.57	-109.18	-----
18	21.78	88.13	Basınç bölgesinde meydana gelen dökülmelerden dolayı, çekme donatısında kopma meydana gelmiştir ve numune göçme konumuna ulaşmıştır. *Deneyde yüklemeye son verilmiştir.
-18	-9.10	0.73	Deplasman sıfırlanarak numune başlangıç konumuna alınmıştır.

Deneyel elamanda ilk eğilme çatlağı -3. çekme çevriminde yaklaşık -9.64 kN'luk yatay yükte meydana gelmiştir. Bu yük değerinde numune, yaklaşık 2.96 mm'lik bir tepe deplasmanına ve % 0.19'luk bir yanal ötelenme oranına sahiptir. Deneyel elemanda itmede ve çekmede gözlemlenen ilk çatlaklar Şekil 4.52'de gösterilmiştir.



Şekil 4.52. YFC40-%0 deney numunesinde oluşan ilk çatlaklar

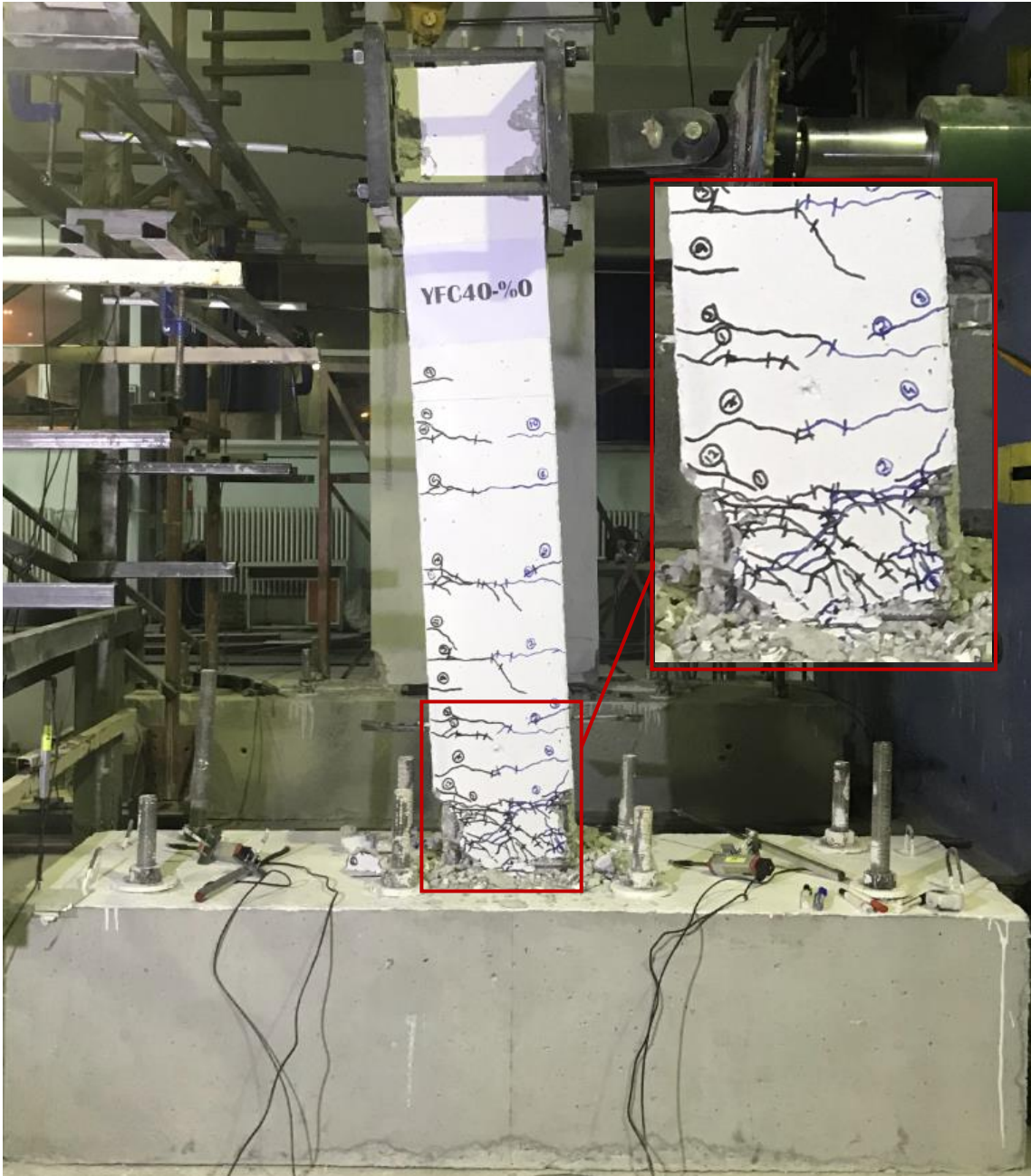
YFC40-%0 deney elemanı akma konumuna, yaklaşık % 1.38 ötelenme oranında ve 34.95 kN yatay yük değerinde ulaşmıştır. Bu yükte deneysel numunenin tepe deplasmanı 20.73 mm'dir. Bu yükleme adımında temel-kolon birleşim bölgesinde çatlaklar oluşmuş, ayrıca plastik mafsal bölgesinde itme ve çekme çevrimlerinde oluşan simetrik eğilme çatlakları çatallaşmaya başlamıştır. Şekil 4.53'de deneysel numunenin akma konumunda gözlenen çatlaklar gösterilmiştir.



Şekil 4.53. YFC40-%0 deney numunesinde akma konumunda gözlenen çatlaklar

YFC40-%0 numunesi, 18. ileri yükleme çevriminde, çekme donatısında meydana gelen kopma ile yatay yük taşıma kapasitesine ulaşmıştır. Deney elemanı bir önceki çevrimde numune, -32.57 kN yatay yük, -109.18 mm tepe deplasmanına sahiptir. Deneysel eleman göçme konumuna ulaştığında, numunenin basınç bölgesinde ki donatılar burkulmuş ve beton örtüsü dökülmüştür. İtme çevriminde, çekme bölgesindeki ilk donatının kopması sonucu yatay yükte ani bir düşüş meydana gelmiş, daha sonra numune kendini toplamaya çalışırken diğer donatının da kopması sonucu deney

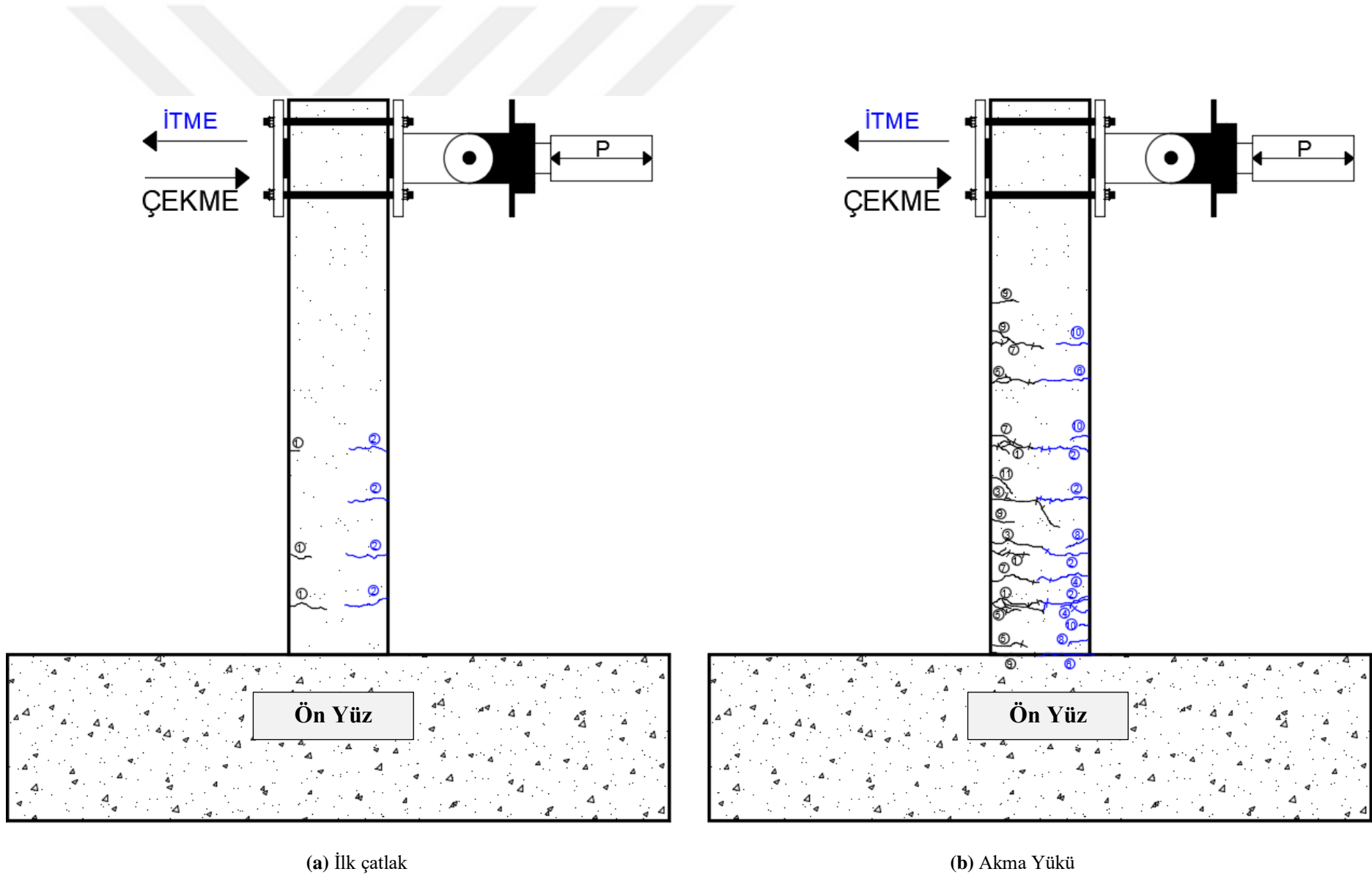
sonlandırılmıştır. Deneysel numunenin deney sonu görünümü Şekil 4.54'de gösterilmiştir. Numunede deney sonuna kadar eğilme davranışı gözlemlenmiş olup, plastik mafsal bölgesindeki her iki yüzdeki çatlaklar birleştikten sonra 45° eğimle kolon-temel birleşimine doğru ilerlemişlerdir. YFC40-%0 deney elemanının ilk çatlak, akma yükü, maksimum yük ve göçme durumunun çatlak krokisi bilgisayar programında işlenerek, hasar oluşumu incelenmiştir. Deneysel numunenin çatlak krokisi Şekil 4.55'de gösterilmiştir.



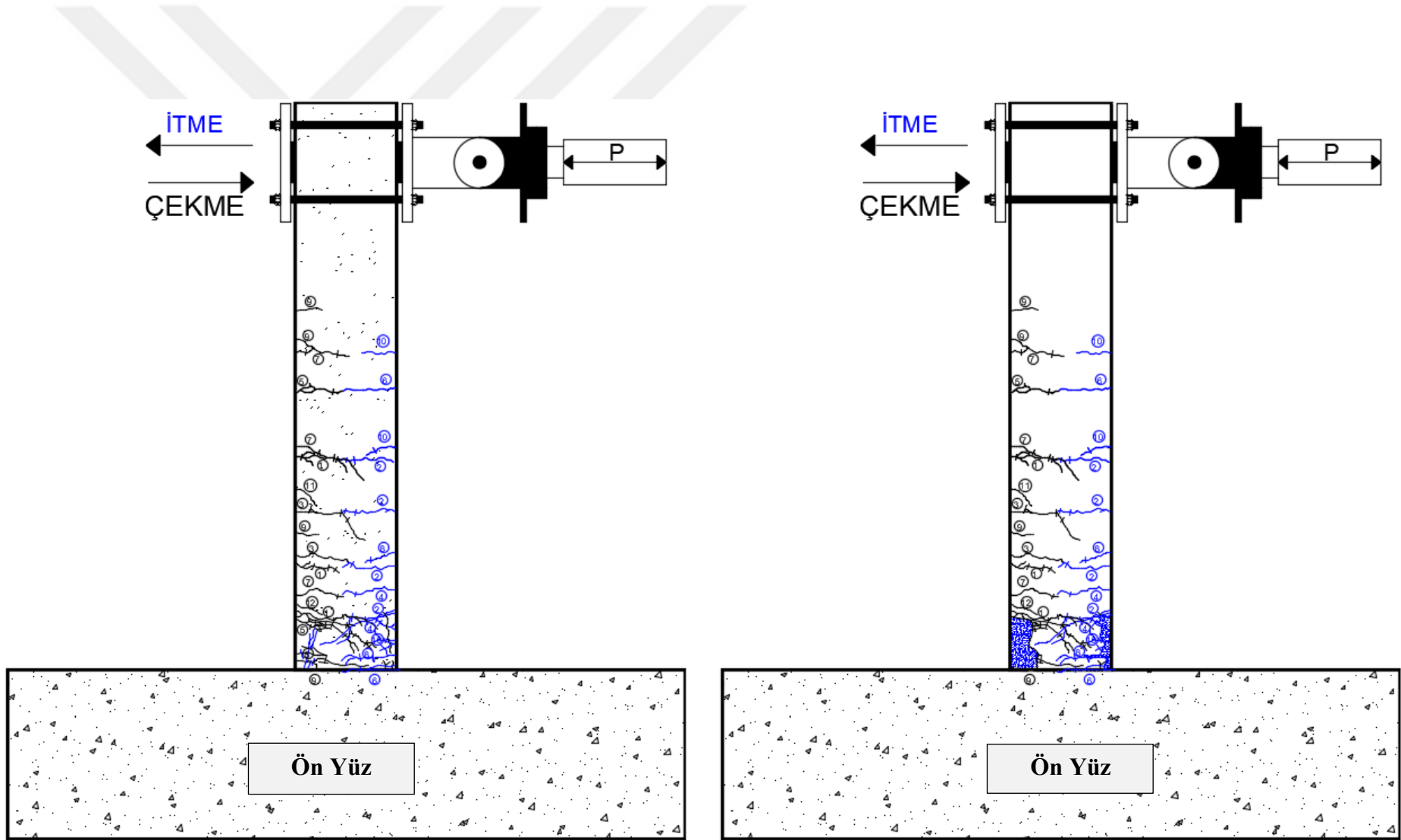
Şekil 4.54. YFC40-%0 numunesinin deney sonu görünümü



Şekil 4.54. YFC40-%0 numunesinin deney sonu görünümü (devamı) (plastik mafsal bölgesi)



Şekil 4.55. YFC40-0% numunesinin çatlak krokisi



(c) Maksimum yük

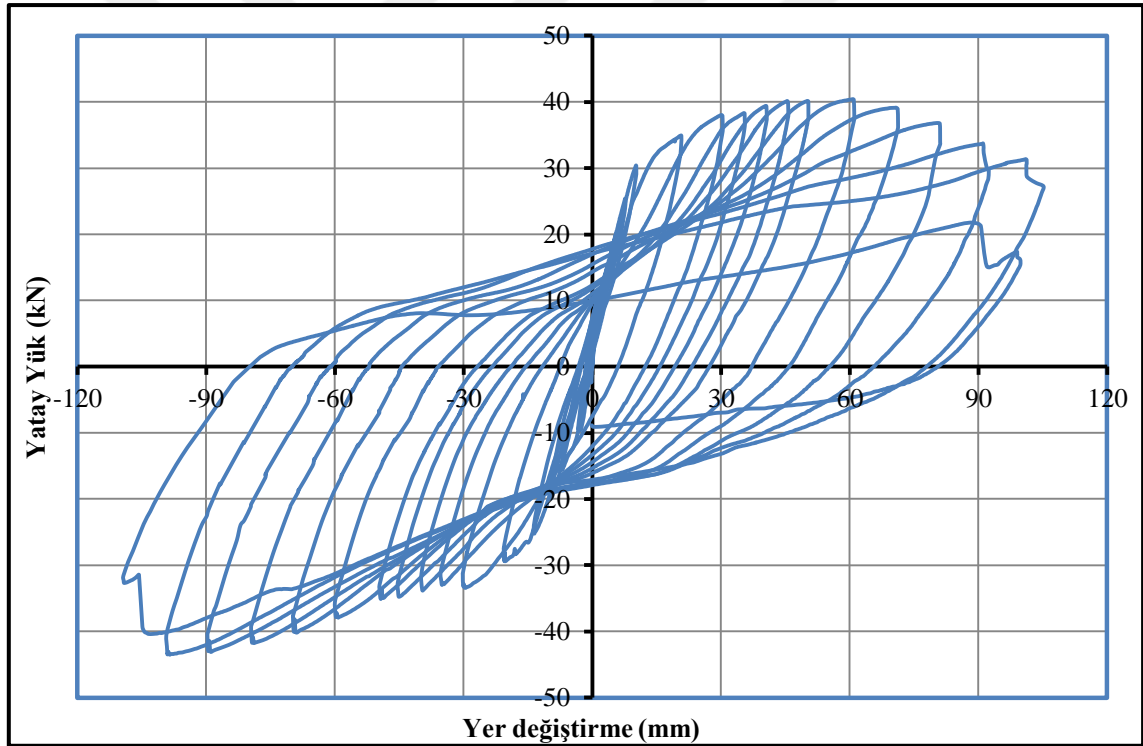
(d) Göçme durumu

Şekil 4.55. YFC40-%0 numunesinin çatlak krokisi (devamı)

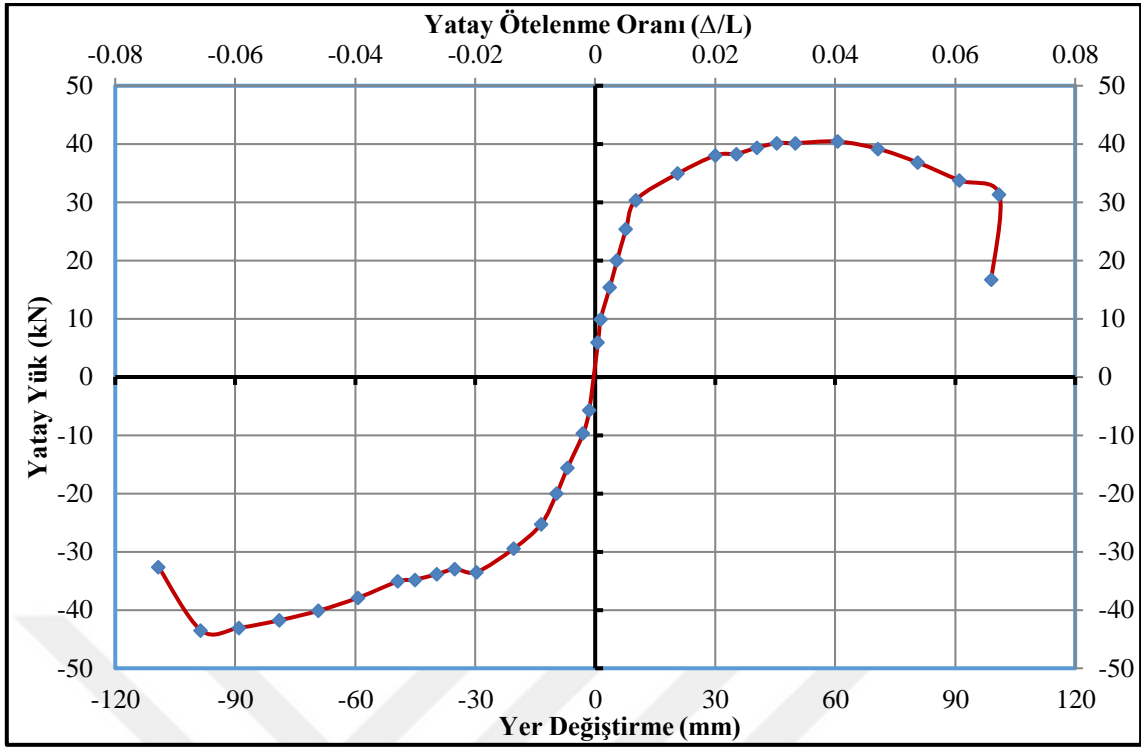
Deneyler sırasında yük hücresi ve yer değiştirme ölçerlerden alınan veriler yardımıyla, numunelerin davranışlarını incelemek için çeşitli grafikler çizilmiştir. Şekil 4.56'da YFC40-%0 numunesine ait yatay yük- yer değiştirme çevrimsel histerezis ilişkisi, Şekil 4.57'de ise her bir çevrimdeki maksimum yatay yük ve bu yüke karşılık gelen yer değiştirmelerin işaretlenmesi ve birleştirilmesi ile elde edilen dayanım zarfı görölmektedir.

YFC40-%0 numunesinin, yatay yük-yer değiştirme eğrisinin altında kalan alanların hesaplanması ve ardışık toplanması ile numunenin kümülatif toplam enerji tüketme kapasitesi-ötelenme oranı grafiği çizilmiştir ve Şekil 4.58'de gösterilmiştir.

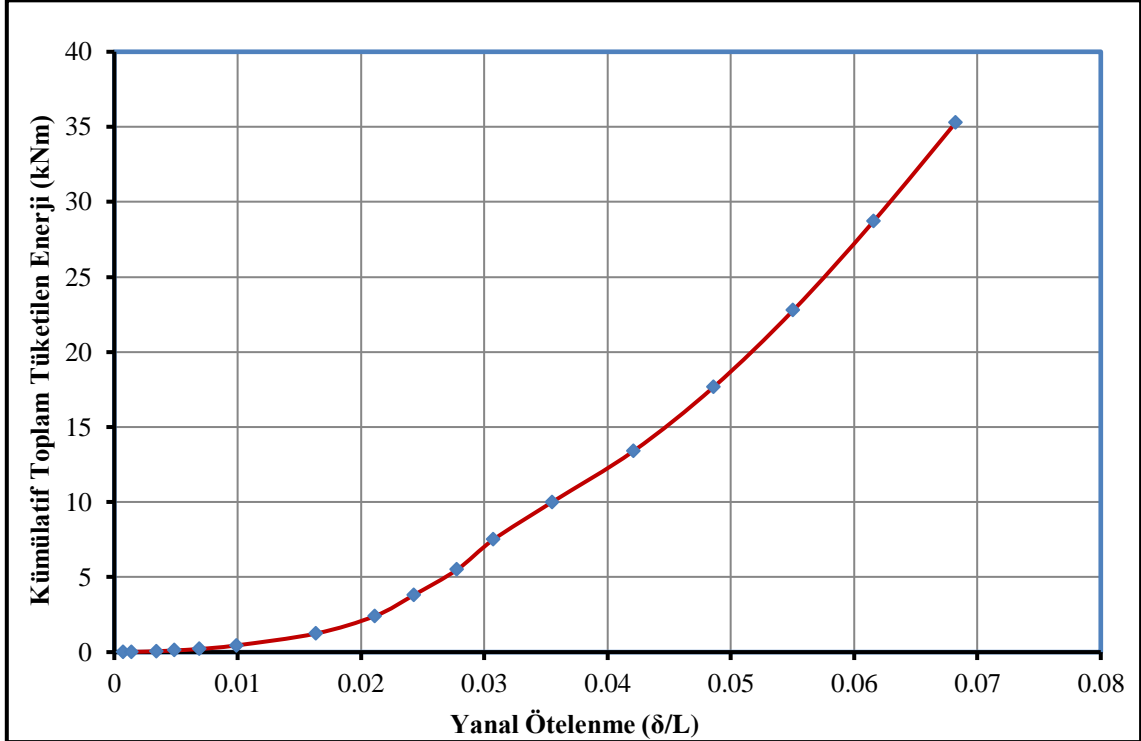
YFC40-%0 numunesine ait rijitlik azalımı grafiği Şekil 4.59'de gösterilmiştir. Rijitlik grafiğinde, itme çevrimleri için elde edilen değerler grafiğin sağ tarafında, çekme çevrimleri için hesaplanan değerler grafiğin solunda yer almaktadır.



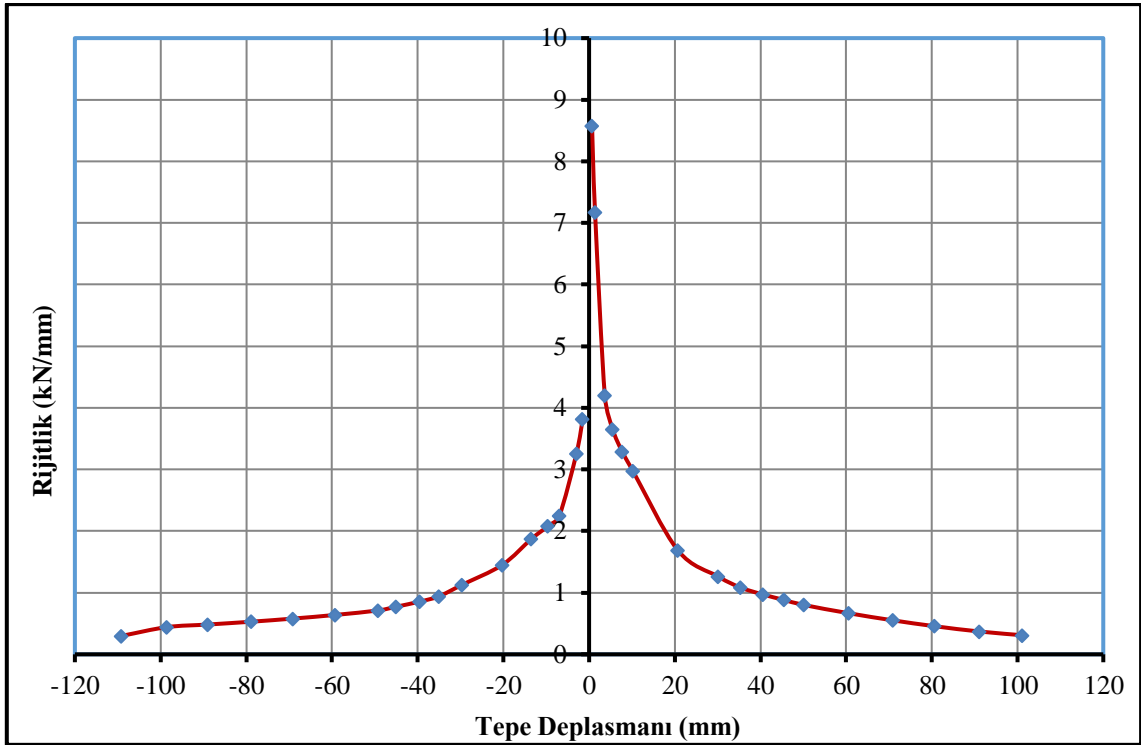
Şekil 4.56. YFC40-%0 numunesinin histerezis eğrisi



Şekil 4.57. YFC40-%0 numunesine ait dayanım zarfı

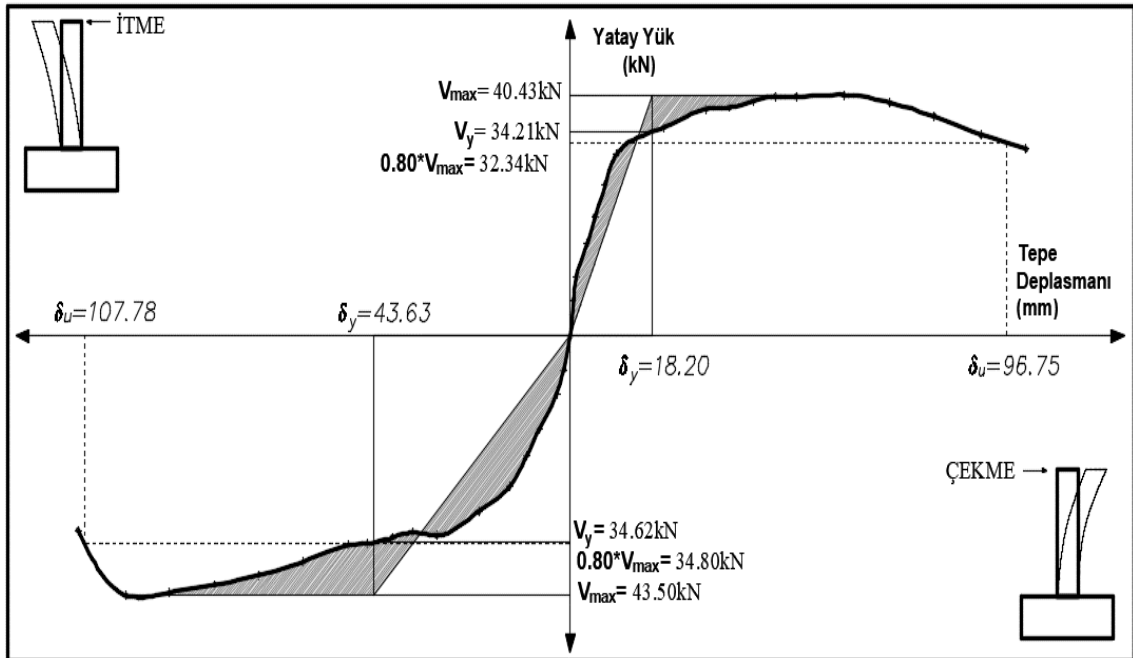


Şekil 4.58. YFC40-%0 numunesine ait kümülatif toplam tüketilen enerji grafiği



Şekil 4.59. YFC40-%0 numunesinin rijitlik azalımı grafiği

YFC40-%0 numunesinin süneklik parametrelerinin gösterildiği grafik Şekil 4.60'de verilmiştir. Çizelge 4.15'de ise süneklik değerleri tablo halinde özetlenmiştir.



Şekil 4.60. YFC40-%0 numunesinin süneklik grafiği

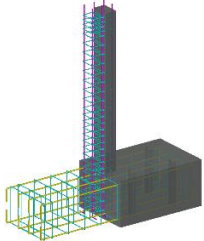
Çizelge 4.15. YFC40-%0 numunesinin çatlak ve hasar oluşumu

YFC40-%0	V_y (kN)	$0.8*V_{max}$ (kN)	V_{max} (kN)	Δ_y (mm)	Δ_u (mm)	μ (Δ_u / Δ_y)	$\mu_{ort.}$	Yatay Ötelenme Oranı (Δ/L) (%)
İtme	34.21	32.34	40.43	18.20	96.75	5.32	3.89	6.45
Çekme	-34.62	-34.80	-43.50	-43.63	-107.78	2.47		-7.19

4.1.6. Deney Numunesi-6 (KONTROL-%10)

Çalışma kapsamında altıncı test edilen numune, Kontrol-%10 isimli numunedir. Kontrol-%10 isimli numune, mineral katkısız seriye ait 3 adet numuneden, donatılarında ağırlık kaybı %10 olan korozyon hasarlı numunedir. Kontrol-%10 isimli numuneye ait parametrik değerler Çizelge 4.16’da özetlenmiştir.

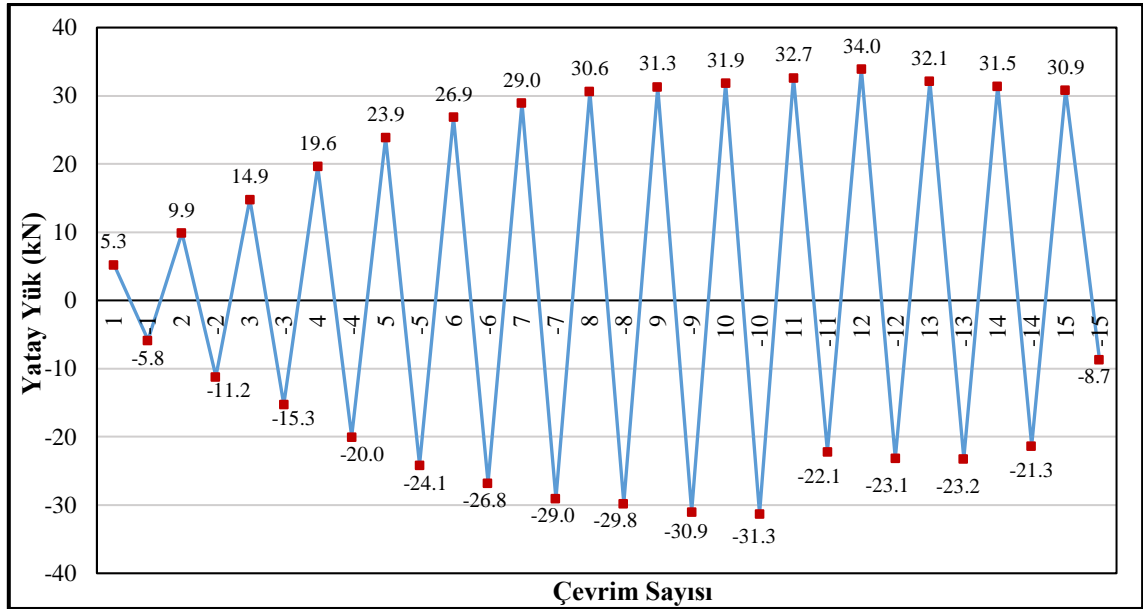
Çizelge 4.16. Kontrol-%10 numunesinin parametrik özellikleri

Deney Numunesi No	Numune görünümü	Mineral Katkı Türü (1 m ³ için) (kg)			Ortalama Silindir Basınç Dayanımı (MPa)	Korozyon Seviyesi (%)
		CEM I 42.5R	UK	YFC		
Deney-6 KONTROL- %10 Çimentolu Seri		280	-	-	29.17	10

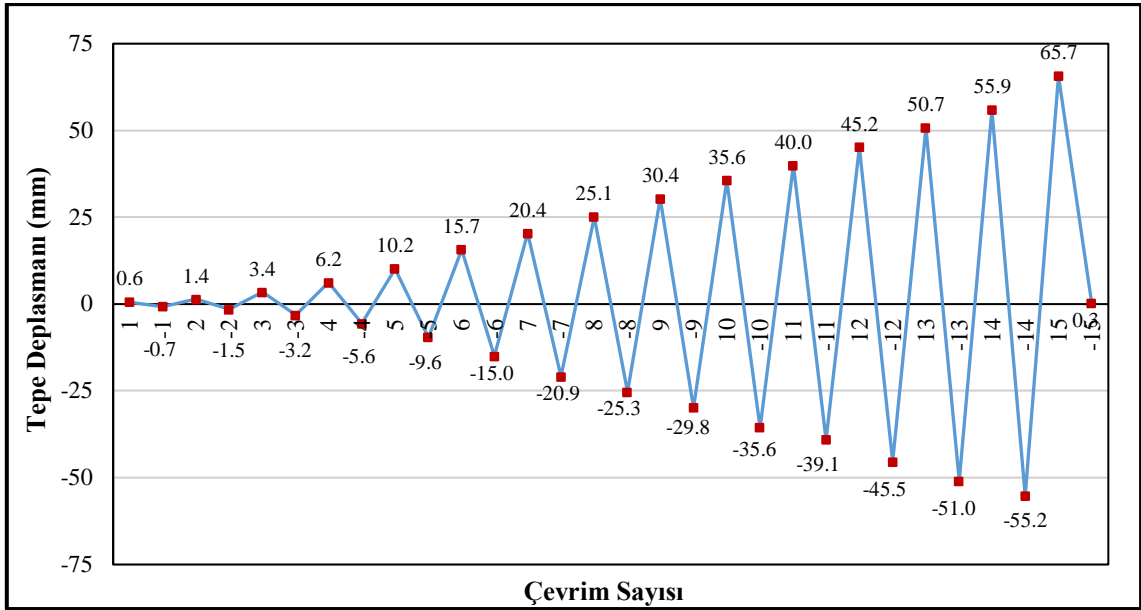
Deney elemanının tersinir-tekrarlanır yatay yükleme altında test edilmeden hemen önce ki, yatay yükleme deney düzeneğine yerleştirilmiş hali Şekil 4.61’de gösterilmiştir. Şekil 4.62’de deney elemanına ait yük geçmişi grafiği, Şekil 4.63’de deplasman geçmişi grafiği verilmiştir.



Şekil 4.61. Kontrol-%10 numunesinin deney öncesi görünümü



Şekil 4.62. Kontrol-%10 deney numunesinin yük geçmişi grafiği



Şekil 4.63. Kontrol-%10 deney numunesinin deplasman geçmişi grafiği

Şekil 4.62'deki yükleme geçmişi grafiğinden de görüldüğü gibi 6. çevrime kadar ± 5 kN yük artırımı uygulanmış ve sonraki çevrimlerde deplasman kontrollü yüklemeye geçilmiştir. Deplasman kontrollü yüklemeye ise 55 mm'ye kadar 5 mm deplasman artırımı uygulanmış ve 55 mm'den sonra 10 mm'lik deplasman artırımları ile deney devam edilmiştir. Yük geçmişi grafiği incelendiğinde, 7. çevrimden sonraki yüklemelerde deneysel numunenin ideal akma noktasına ulaştığı görülmektedir. İlerleyen çevrimlerde yatay yükte artış olmadığından deplasman kontrollü olarak göçme konumuna 65.7 mm'de donatıda meydana gelen kopma ile ulaşılmıştır. Deney aşamasında her bir çevrimde gözlemlenen davranış Çizelge 4.17'de verilmiştir.

Çizelge 4.17. Kontrol-%10 numunesinde çatlak ve hasar oluşumları

Çevrim No (+, itme) (-, çekme)	Maksimum Yatay Yük (kN)	Maksimum Tepe Deplasmanı (mm)	Numunede Gözlenen Çatlak ve Hasar Oluşumu
1	5.27	0.62	Deneyin ilk iki çevriminde herhangi bir çatlak gözlemlenmemiştir.
-1	-5.79	-0.69	
2	9.90	1.40	
-2	-11.15	-1.51	
3	14.85	3.44	*İlk çatlak meydana geldi. Kolon-temel birleşiminden itibaren 14, 30, 46 ve 71 cm yüksekliğinde dört adet çatlak meydana gelmiştir. 14cm yüksekliğinde oluşan çatlak çift kollu olup, 46cm yüksekliğindeki çatlak düşey aderans çatlağıdır.

Çevrim No (+, itme) (-, çekme)	Maksimum Yatay Yük (kN)	Maksimum Tepe Deplasmanı (mm)	Numunede Gözlenen Çatlak ve Hasar Oluşumu
-3	-15.27	-3.24	Kolon-temel birleşiminden itibaren 3, 16, 31, 47 ve 74 cm yüksekliğinde 4 adet çatlak meydana gelmiştir.
4	19.65	6.25	Kolon-temel birleşiminden itibaren 5, 23, 38 ve 97 cm yüksekliğinde dört adet yeni çatlak oluştu ve daha önceki çevrimde oluşan çatlakların boyları düşey yönde uzamıştır.
-4	-19.99	-5.63	Kolon-temel birleşiminden itibaren 63 cm yüksekliğinde ve kolon-temel birleşiminde yeni çatlak oluşmuştur. Daha önce oluşan çatlakların boyları uzamış ve çatlak genişlikleri artmıştır.
5	23.89	10.20	Kolon-temel birleşiminden itibaren 24, 39, 65 ve 87 cm yüksekliğinde dört adet yeni çatlak oluşmuştur. Daha önce oluşan çatlakların boyları uzamış ve çatlak genişlikleri artmıştır.
-5	-24.14	-9.56	Kolon-temel birleşiminden itibaren 9 ve 97 cm yüksekliğinde ve kolon temel birleşiminde yeni çatlaklar meydana gelmiştir. Daha önce oluşan çatlakların boyları uzamış, itme ve çekmede oluşan çatlaklar birleşmiştir.
6	26.89	15.67	Kolon-temel birleşiminden itibaren 3 ve 54 cm yüksekliğinde yeni çatlaklar meydana gelmiştir ve çatlaklar düşey yönde de ilerlemiştir. *Deney numunesi akma konumuna ulaşmıştır.
-6	-26.76	-15.01	Kolon-temel birleşiminden itibaren 106 cm yüksekliğinde yeni çatlak meydana gelmiştir ve daha önce oluşan çatlakların boyları uzamıştır. *Deney numunesi akma konumuna ulaşmıştır.
Deplasman Kontrollü Yükleme Geçilmiştir.			
7	28.95	20.42	Kolon-temel birleşiminden itibaren 85 cm yüksekliğinde yeni çatlaklar meydana gelmiştir
-7	-29.03	-20.86	Daha önce meydana gelen çatlakların boyları uzamıştır ve düşey yönde oluşan aderans çatlakları 54cm kadar ilerlemiştir.
8	30.64	25.14	Kolon temel birleşiminde itmede ve çekmede meydana gelen çatlaklar birleşmiştir.
-8	-29.76	-25.31	Daha önce meydana gelen çatlakların genişlikleri artmaktadır ve boyları uzamıştır.
9	31.33	30.37	Önceki yüklemelerde meydana gelen çatlakların boyları uzamaktadır. Çatlak genişlikleri artmaktadır.
-9	-30.95	-29.84	Önceki yüklemelerde meydana gelen çatlakların boyları uzamaktadır. Çatlak genişlikleri artmaktadır.
10	31.89	35.59	-----
-10	-31.28	-35.56	-----
11	32.67	39.96	Basınç bölgesinde ezilmeler başlamıştır.
-11	-22.13	-39.11	Basınç bölgesinde ezilmeler başlamıştır.
12	33.95	45.20	-----

Çevrim No (+, itme) (-, çekme)	Maksimum Yatay Yük (kN)	Maksimum Tepe Deplasmanı (mm)	Numunede Gözlenen Çatlak ve Hasar Oluşumu
-12	-23.13	-45.46	-----
13	32.13	50.72	Basınç bölgesinde meydana gelen ezilmelerden dolayı beton dökülmeye başlamıştır.
-13	-23.19	-50.97	Basınç bölgesinde meydana gelen ezilmelerden dolayı beton dökülmeye başlamıştır.
14	31.45	55.88	-----
-14	-21.28	-55.18	-----
15	30.86	65.69	Basınç bölgesinde meydana gelen dökülmelerden dolayı, çekme donatısında kopma meydana gelmiştir ve numune göçme konumuna ulaşmıştır. *Deneyde yüklemeye son verilmiştir.
-15	-8.69	0.26	Deplasman sıfırlanarak numune başlangıç konumuna alınmıştır.

Deneysel elamanda ilk eğilme çatlakları ± 3 . çevrimde yaklaşık 15 kN'luk yatay yükte meydana gelmiştir. Bu yük değerinde numune, 3.44 mm'lik bir tepe deplasmanına ve % 0.23'lük bir yanal ötelenme oranına sahiptir. Deneysel elemanda gözlemlenen ilk çatlaklar Şekil 4.64'de gösterilmiştir.



Şekil 4.64. Kontrol-%10 deney numunesinde oluşan ilk çatlaklar

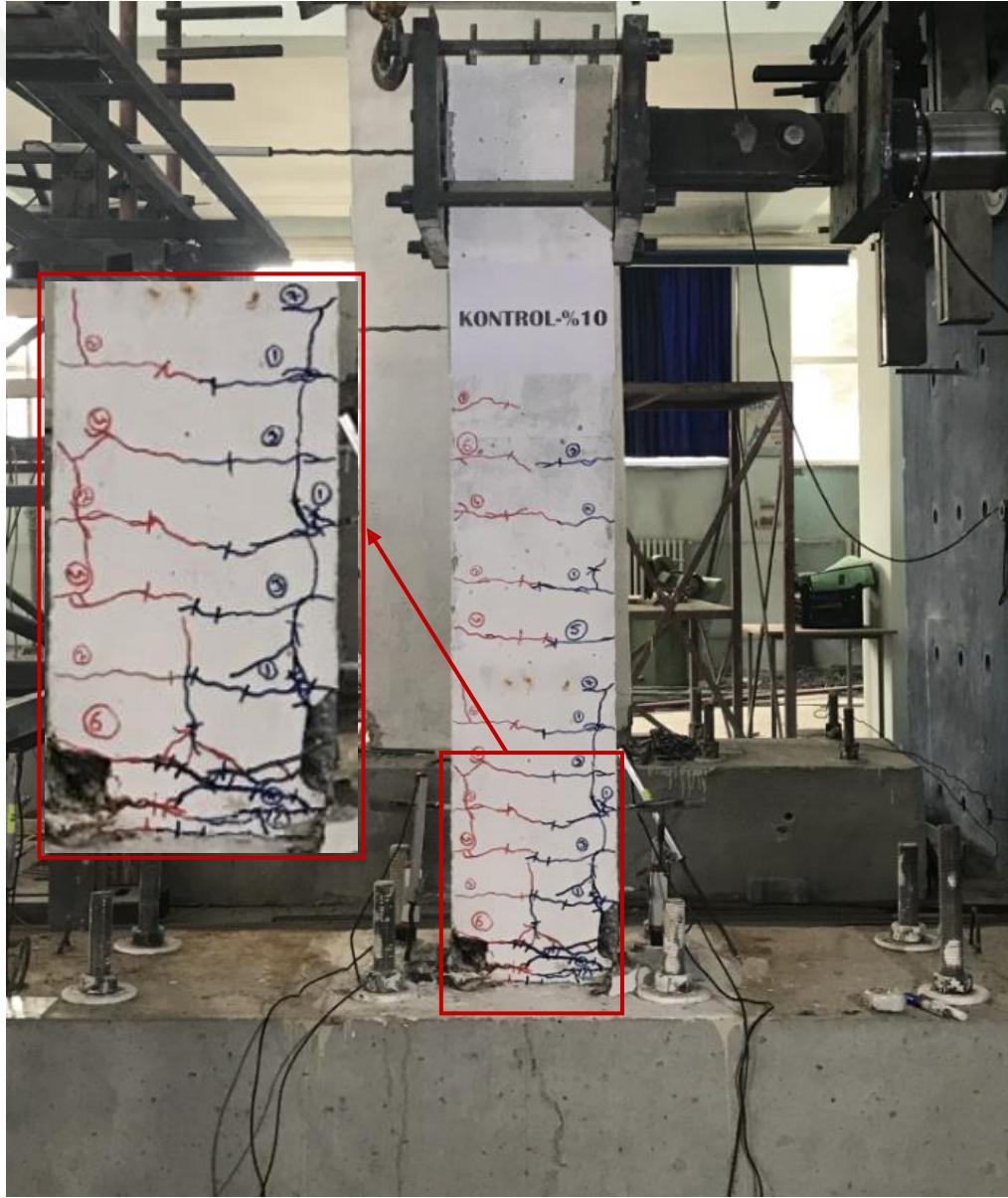
Kontrol-% 10 deney elemanı akma konumuna, yaklaşık % 1.04 ötelenme oranında ve 26.89 kN yatay yük değerinde ulaşmıştır. Bu yükte deneysel numunenin tepe deplasmanı 15.67 mm'dir. Bu yükleme adımında temel-kolon birleşim bölgesinde çatlaklar oluşmuş, ayrıca itme ve çekme çevrimlerinde oluşan yatay simetrik eğilme çatlakları çatallaşmaya başlamıştır. Korozyon hasarından dolayı düşey yönde aderans çatlakları meydana gelmiştir. Şekil 4.65'de deneysel numunenin akma konumunda gözlenen çatlaklar gösterilmiştir.



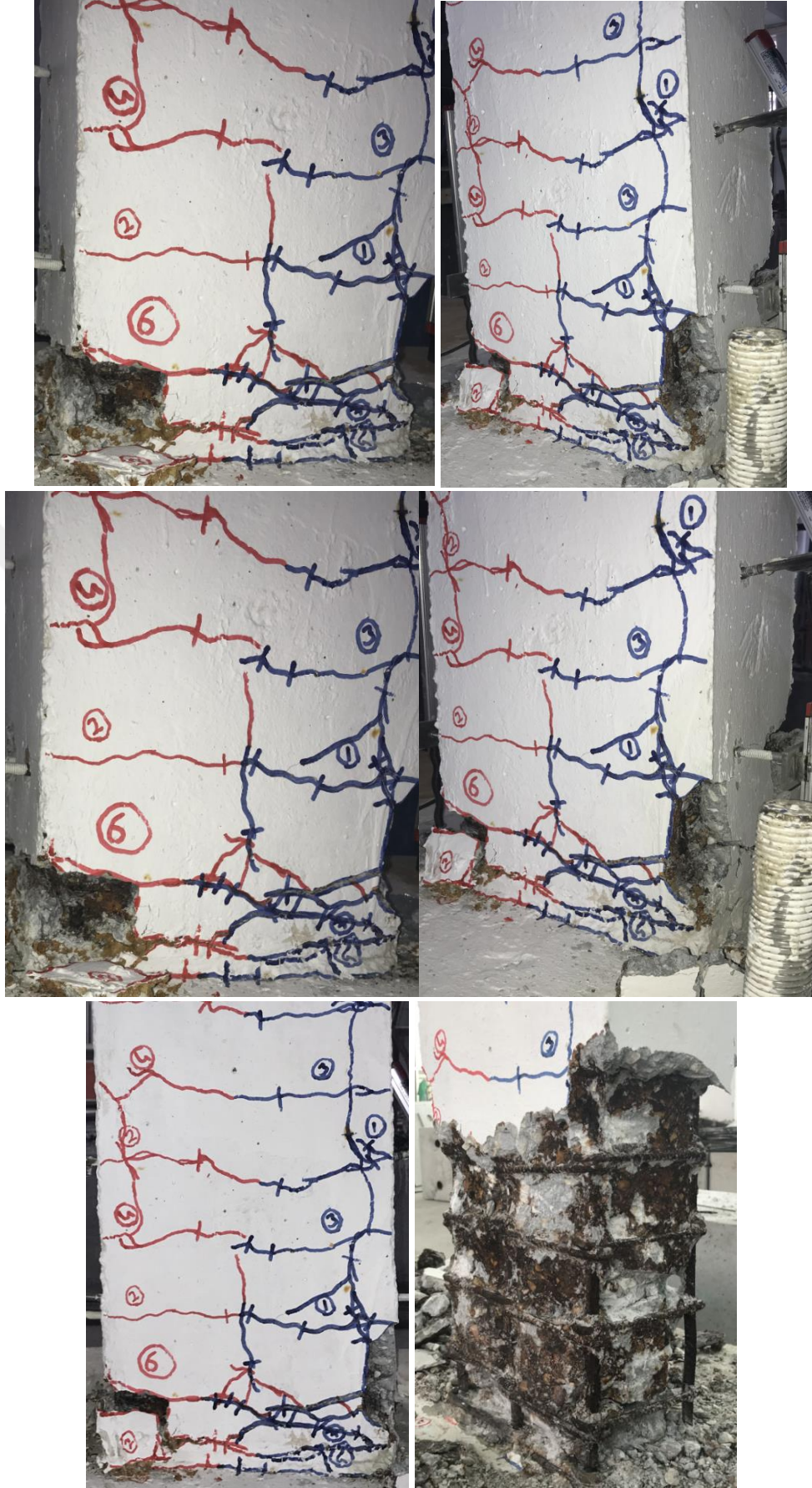
Şekil 4.65. Kontrol-% 10 deney numunesinde akma konumunda gözlenen çatlaklar

Kontrol-% 10 numunesi, -14. geri yükleme çevriminde her iki çekme donatısında meydana gelen kopma ile yatay yük taşıma kapasitesine ulaşmıştır. Bir önceki çevrimde numune 30.86 kN yatay yük ve 65.69 mm tepe deplasmanına sahiptir. Deneysel eleman

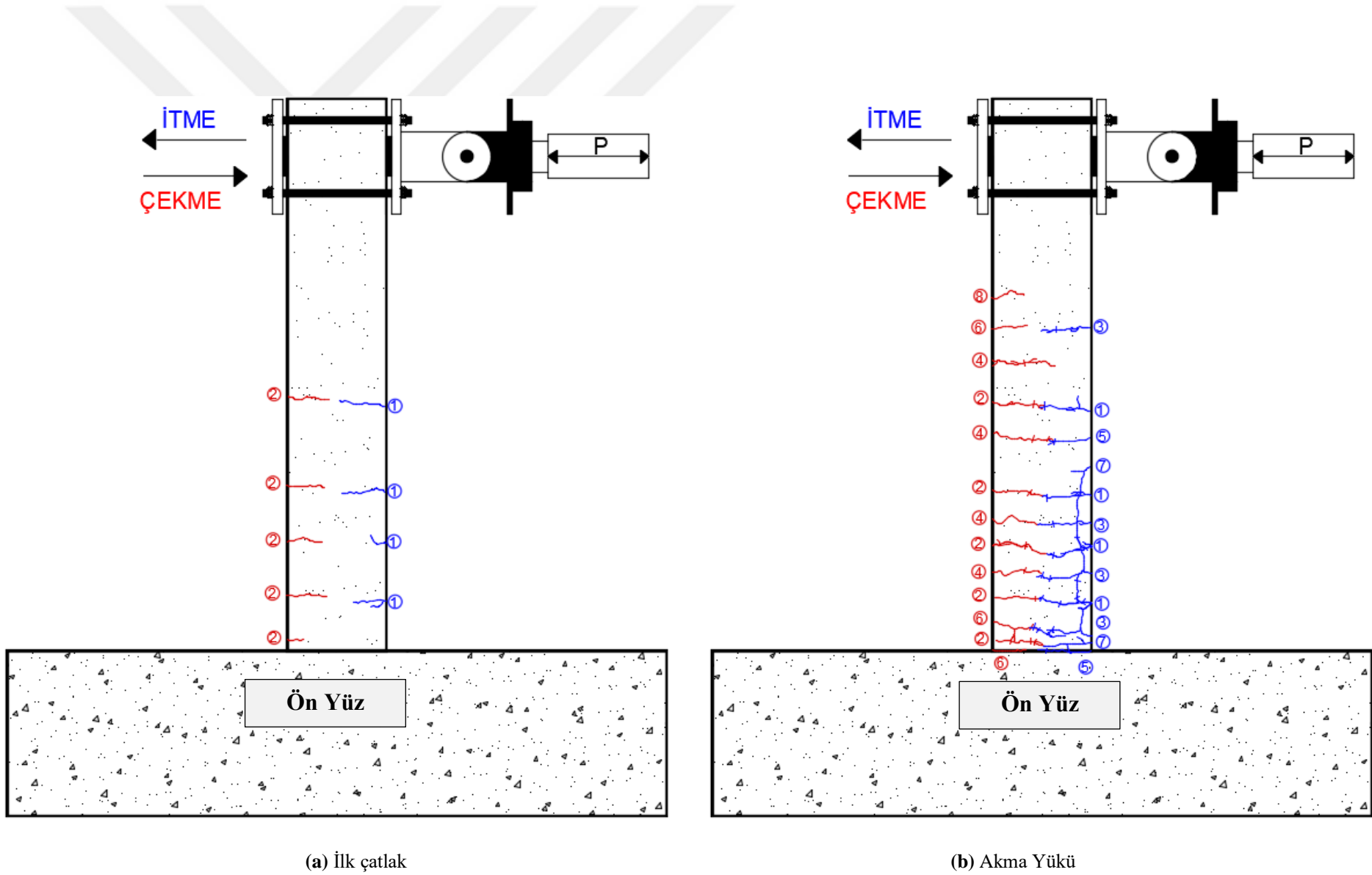
göçme konumuna ulaştığında, numunenin basınç bölgesinde ki donatılar burkulmuş ve beton örtüsü dökülmüştür. Çekme bölgesindeki ilk donatının -10. çevrimde kopması sonucu yatay yükte ani bir düşüş meydana gelmiş, daha sonra numune kendini toparlamıştır. -14. çevrimde ikinci donatının da kopması ile son bir kez ileri yükleme çevrimi uygulanarak deney sonlandırılmıştır. Deneysel numunenin deney sonu görünümleri Şekil 4.66'da gösterilmiştir. Numunede deney sonuna kadar eğilme davranışı gözlemlenmiştir ve aderans çatlağından dolayı basınç bölgesindeki kabuk beton dökülmüştür. Kontrol-%10 deney elemanının ilk çatlak, akma yükü, maksimum yük ve göçme durumunun çatlak krokisi bilgisayar programında işlenerek, hasar oluşumu incelenmiştir. Deneysel numunenin çatlak krokisi Şekil 4.67'de gösterilmiştir.



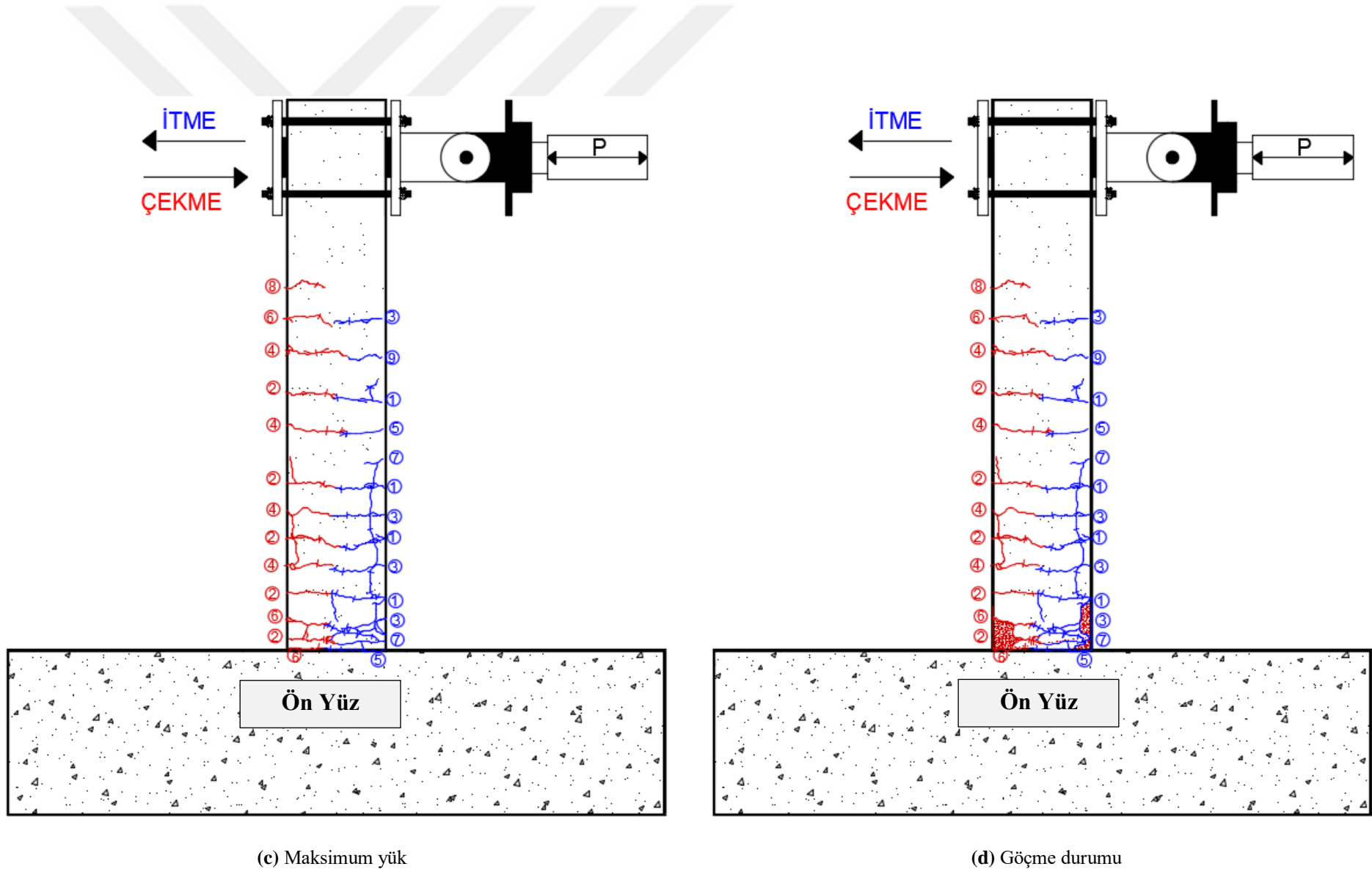
Şekil 4.66. Kontrol-%10 numunesinin deney sonu görünümü



Şekil 4.66. Kontrol-%10 numunesinin deney sonu görünümü (devamı) (plastik mafsallık bölgesi)



Şekil 4.67. Kontrol-%10 numunesinin çatlak krokisi

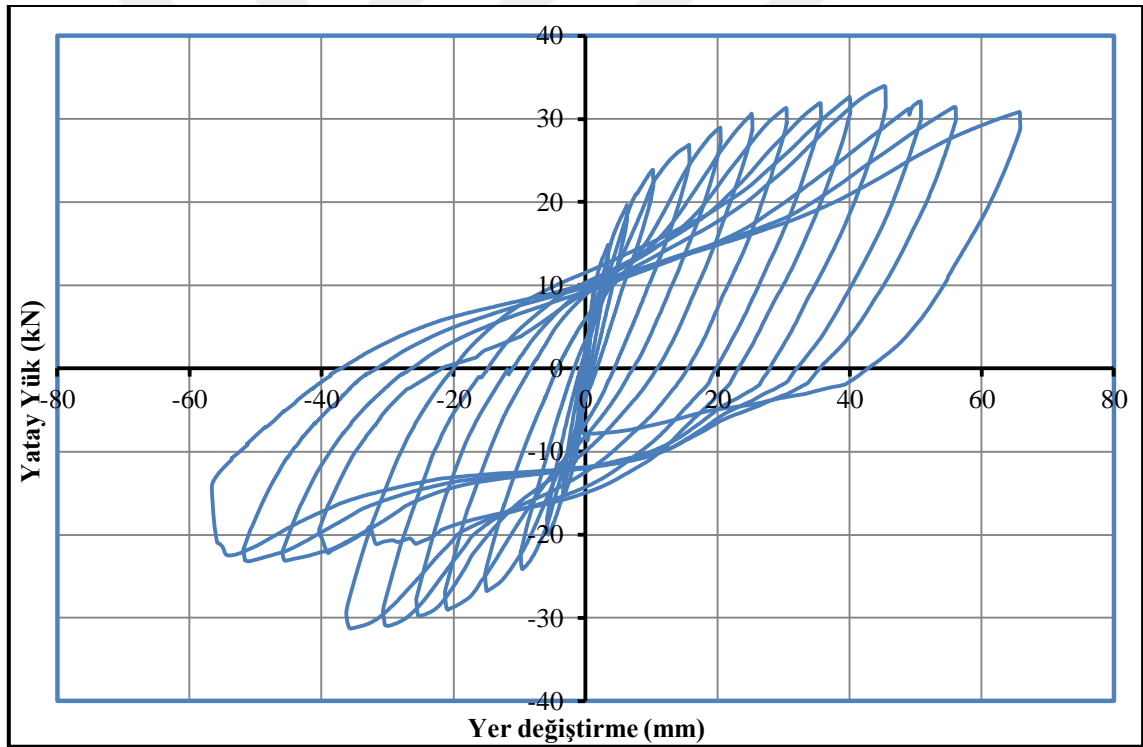


Şekil 4.67. Kontrol-%10 numunesinin çatlak krokisi (devamı)

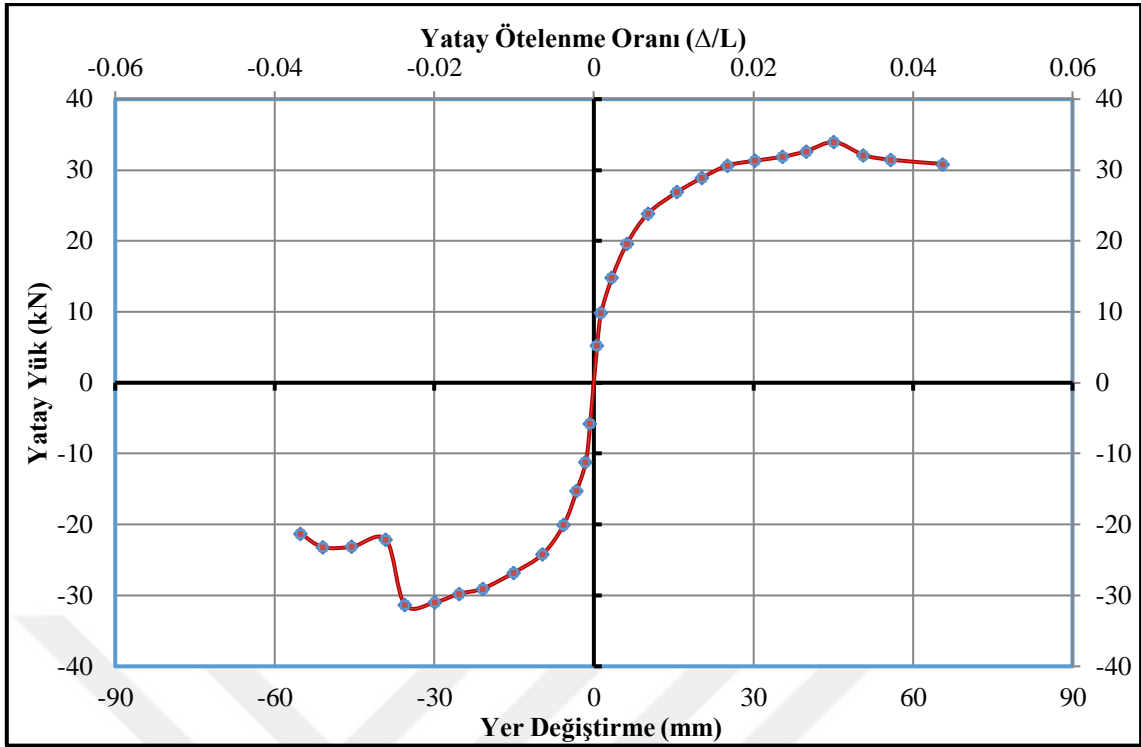
Deneyler sırasında yük hücresi ve yer değiştirme ölçerlerden alınan veriler yardımıyla, numunelerin davranışlarını incelemek için çeşitli grafikler çizilmiştir. Şekil 4.68'de Kontrol-%10 numunesine ait yatay yük- yer değiştirme çevrimsel histerezis ilişkisi, Şekil 4.69'da ise her bir çevrimdeki maksimum yatay yük ve bu yüke karşılık gelen yer değiştirmelerin işaretlenmesi ve birleştirilmesi ile elde edilen dayanım zarfı görölmektedir.

Kontrol-%10 numunesinin, yatay yük-yer değiştirme eğrisinin altında kalan alanların hesaplanması ve ardışık toplanması ile numunenin kümülatif toplam enerji tüketme kapasitesi-ötelenme oranı grafiği çizilmiş ve Şekil 4.70'de gösterilmiştir.

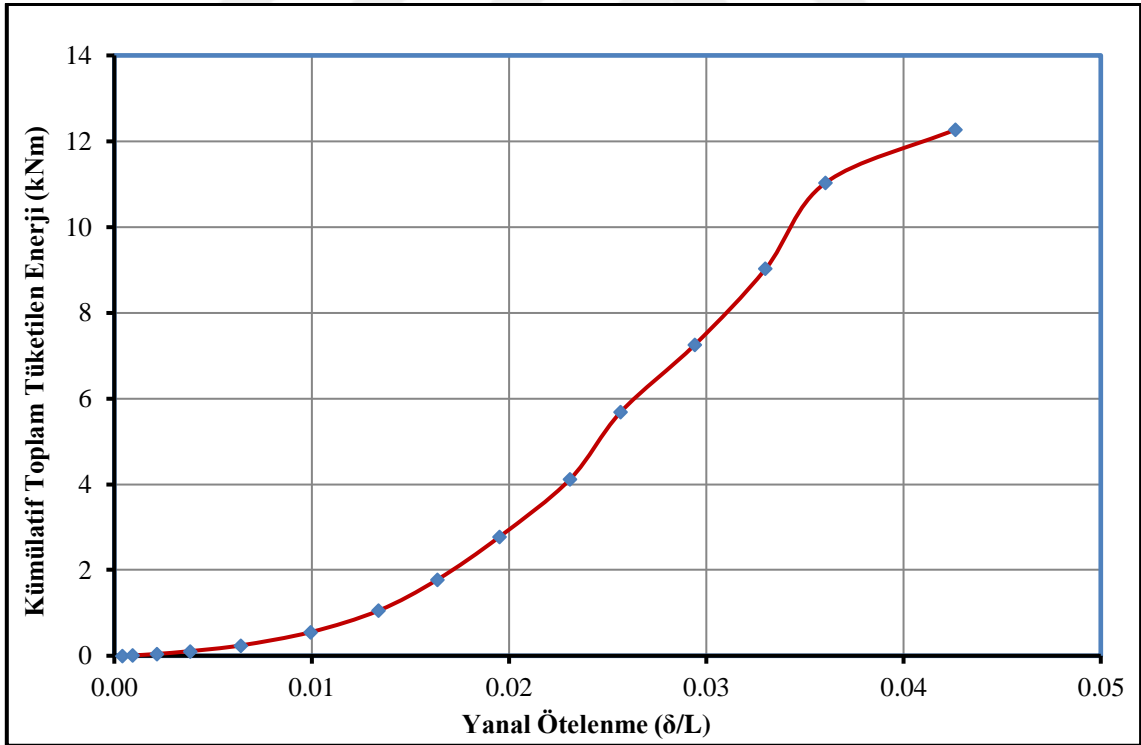
Kontrol-%10 numunesine ait rijitlik azalımı grafiği Şekil 4.71'de gösterilmiştir. Rijitlik grafiğinde, itme çevrimleri için elde edilen değerler grafiğin sağ tarafında, çekme çevrimleri için hesaplanan değerler grafiğin solunda yer almaktadır.



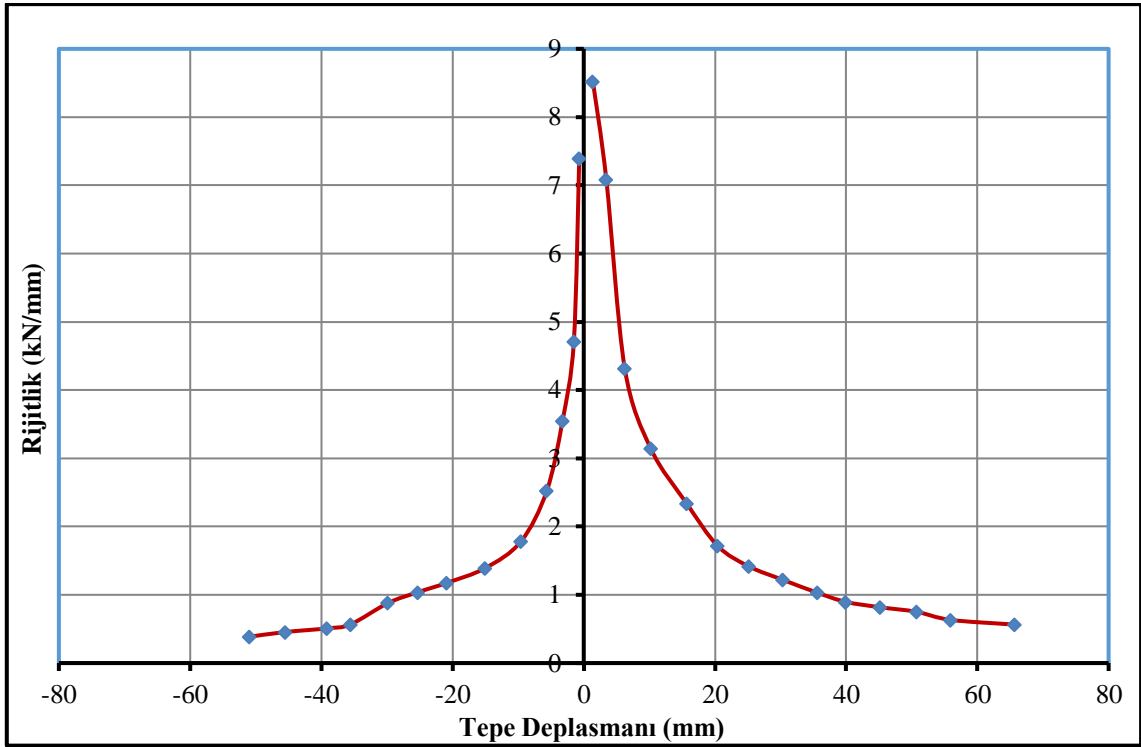
Şekil 4.68. Kontrol-%10 numunesinin yatay yük-tepe deplasmanı histerezis eğrisi



Şekil 4.69. Kontrol-%10 numunesine ait dayanım zarfı

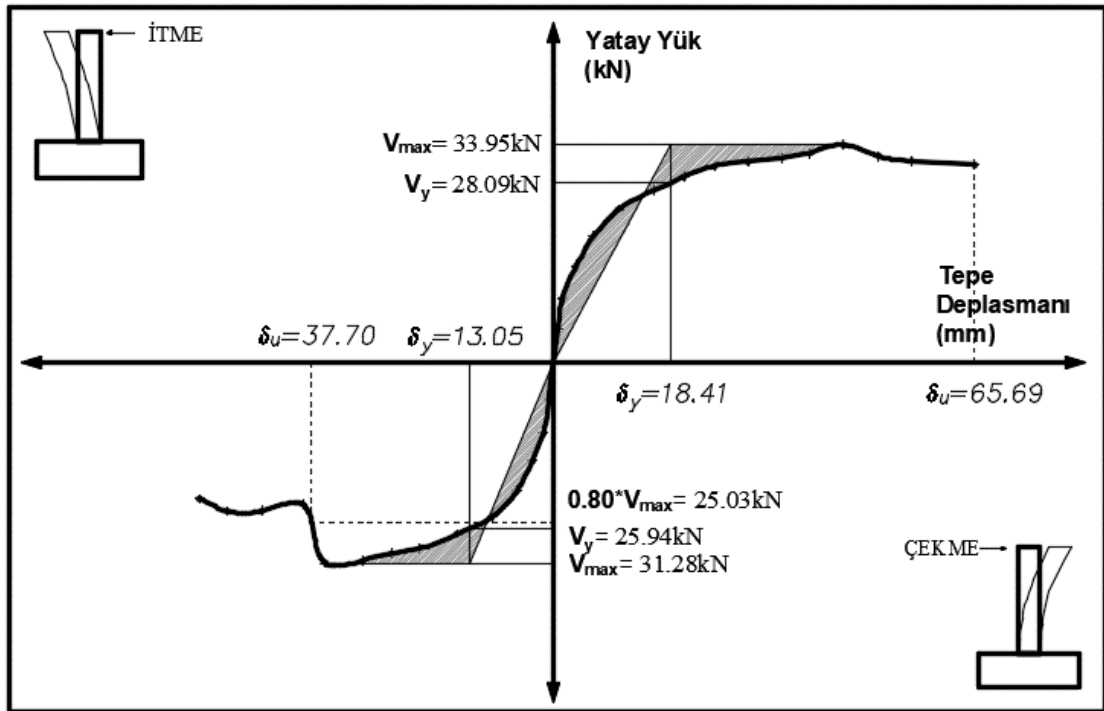


Şekil 4.70. Kontrol-%10 numunesine ait kümülatif toplam tüketilen enerji grafiği



Şekil 4.71. Kontrol-%10 numunesinin rijitlik azalımı grafiği

Kontrol-%10 numunesinin süneklik parametrelerinin gösterildiği grafik Şekil 4.72'de verilmiştir. Çizelge 4.18'de ise süneklik değerleri tablo halinde özetlenmiştir.



Şekil 4.72. Kontrol-%10 numunesinin süneklik grafiği

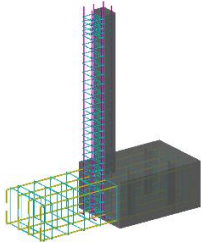
Çizelge 4.18. Kontrol-%10 numunesinin çatlak ve hasar oluşumu

Kontrol-%10	V_y (kN)	$0.8*V_{max}$ (kN)	V_{max} (kN)	Δ_y (mm)	Δ_u (mm)	μ (Δ_u / Δ_y)	$\mu_{ort.}$	Yatay Ötelenme Oranı (Δ/L) (%)
İtme	28.09	30.86	33.95	18.41	65.69	3.57	3.23	4.38
Çekme	-25.94	-25.03	-31.28	-13.05	-37.70	2.89		-2.51

4.1.7. Deney Numunesi-7 (UK10-%10)

Çalışma kapsamında yedinci olarak test edilen numune, UK10-%10 isimli numunedir. UK10-%10 isimli numune, çimentonun yerine, çimento ağırlığının %10'u kadar uçucu kül (UK) ilave edilmiş, UK10 serisine ait 3 adet numuneden ağırlıkça %10 seviyesinde korozyon hasarına maruz bırakılan numunedir. UK10-%10 isimli numuneye ait parametrik değerler Çizelge 4.19'da özetlenmiştir.

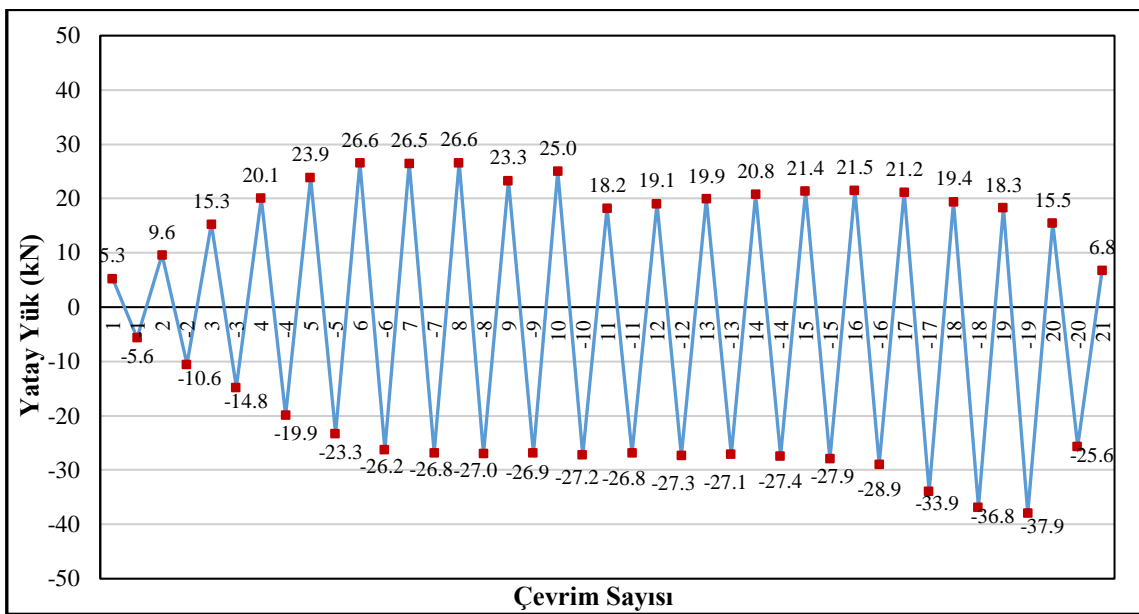
Çizelge 4.19. UK10-%10 numunesinin parametrik özellikleri

Deney Numunesi No	Numune görünümü	Mineral Katkı Türü (1 m ³ için) (kg)			Ortalama Silindir Basınç Dayanımı (MPa)	Korozyon Seviyesi (%)
		CEM I 42.5R	UK	YFC		
Deney-7 UK10-%10 Uçucu Küllü Seri		252	28	-	32.05	10

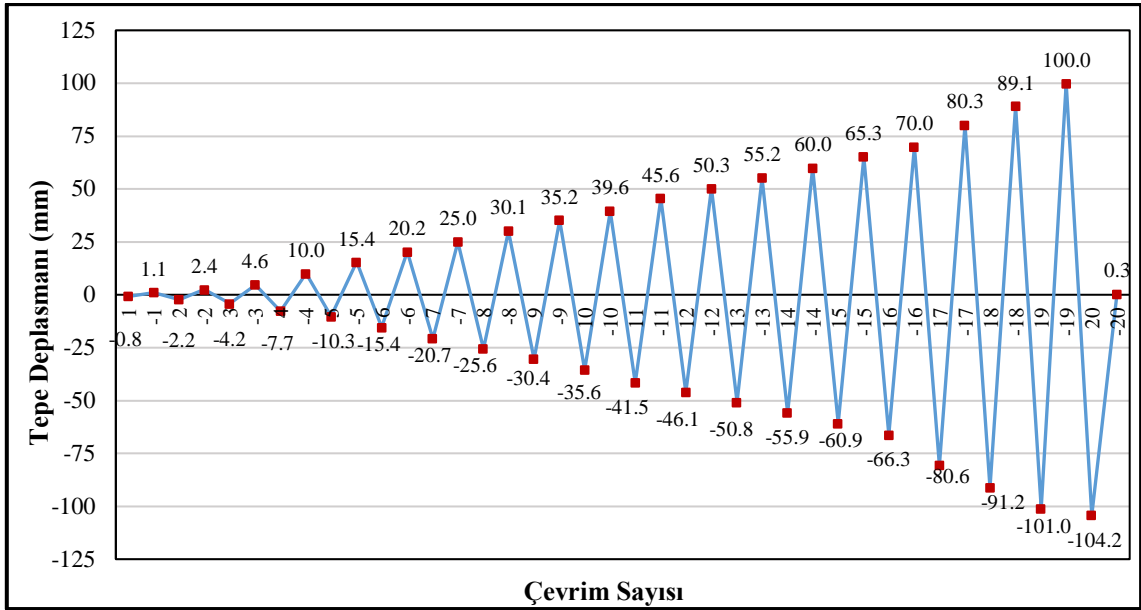
Deney elemanının tersinir-tekrarlanır yatay yükleme altında test edilmeden hemen önce ki, yatay yükleme deney düzeneğine yerleştirilmiş hali Şekil 4.73'de gösterilmiştir. Şekil 4.74'de deney elemanına ait yük geçmişi grafiği, Şekil 4.75'de deplasman geçmişi grafiği verilmiştir.



Şekil 4.73. UK10-%10 numunesinin deney öncesi görünümü



Şekil 4.74. UK10-%10 deney numunesinin yük geçmişi grafiği



Şekil 4.75. UK10-%10 deney numunesinin deplasman geçmişi grafiği

Şekil 4.74'deki yükleme geçmişi grafiğinden de görüldüğü üzere, 6. çevrime kadar ± 5 kN yük artırımı uygulanmış ve sonraki çevrimlerde deplasman kontrollü yüklemeye geçilmiştir. Deplasman kontrollü yüklemeye ise 50 mm'ye kadar 5 mm deplasman artırımı uygulanmış ve 50 mm'den sonra 10 mm'lik deplasman artırımları ile deneye devam edilmiştir. Yük geçmişi grafiği incelendiğinde, 5. çevrimde deneysel numunenin ideal akma noktasına ulaştığı görülmektedir. İlerleyen çevrimlerde yatay yükte artış olmadığından deplasman kontrollü olarak göçme konumuna itmede ve çekmede donatıda meydana gelen kopma ile ulaşılmıştır. Deney aşamasında her bir çevrimde gözlemlenen davranış Çizelge 4.20'de verilmiştir.

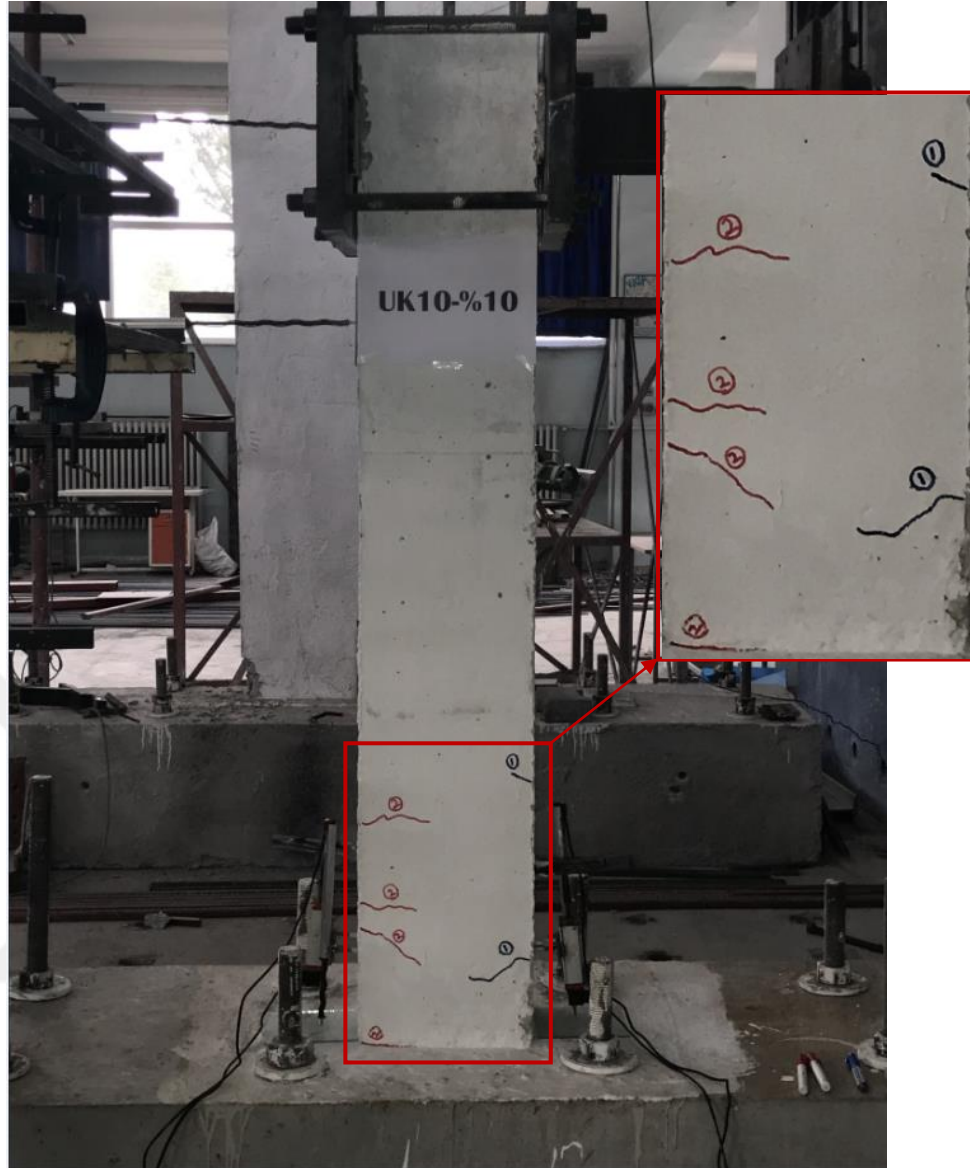
Çizelge 4.20. UK10-%10 numunesinde çatlak ve hasar oluşumları

Çevrim No (+, itme) (-, çekme)	Maksimum Yatay Yük (kN)	Maksimum Tepe Deplasmanı (mm)	Numunede Gözlenen Çatlak ve Hasar Oluşumu
1	5.27	0.58	Deneyin ilk iki çevriminde herhangi bir çatlak gözlemlenmemiştir.
-1	-5.62	-0.79	
2	9.61	1.13	*İtmede ilk çatlak meydana geldi. Kolon-temel birleşiminden itibaren 15 ve 45 cm yüksekliğinde iki adet çatlak meydana gelmiştir.
-2	-10.55	-2.17	*Çekmede ilk çatlak meydana geldi. Kolon-temel birleşiminden itibaren 20, 24, 38 cm yüksekliğinde ve kolon-temel birleşiminde dört adet çatlak meydana gelmiştir.
3	15.30	2.41	Kolon-temel birleşiminden itibaren 22, 30, 37 ve 73 cm yüksekliğinde dört adet yeni çatlak meydana gelmiştir.

Çevrim No (+, itme) (-, çekme)	Maksimum Yatay Yük (kN)	Maksimum Tepe Deplasmanı (mm)	Numunede Gözlenen Çatlak ve Hasar Oluşumu
-3	-14.80	-4.22	Kolon-temel birleşiminden itibaren 6, 57, 75 ve 87 cm yüksekliğinde 3 adet yeni çatlak meydana gelmiştir ve 2 nolu çatlak çatallaşmıştır.
4	20.07	4.64	Kolon-temel birleşiminde yeni çatlak meydana gelmiştir önceki yüklemelerde oluşan çatlakların boyları uzamıştır.
-4	-19.91	-7.75	Kolon-temel birleşiminden itibaren 55 cm yüksekliğinde yeni çatlak oluştu ve daha önce oluşan çatlakların boyları uzamıştır. Ayrıca düşey yönde çatlaklar oluşmuştur.
5	23.86	9.95	Kolon-temel birleşiminden itibaren 3, 53 ve 84 cm yüksekliğinde üç adet yeni çatlak oluştu ve daha önce oluşan çatlakların boyları uzamıştır. Daha önce oluşan çatlakların boyları uzadı ve 1 nolu çatlak çatallaşmıştır. *Deney numunesi akma konumuna ulaşmıştır.
-5	-23.25	-10.27	Kolon-temel birleşiminden itibaren 46 cm yüksekliğinde yeni çatlak meydana gelmiştir. Daha önce oluşan çatlakların boyları uzamıştır. *Deney numunesi akma konumuna ulaşmıştır.
Deplasman Kontrollü Yüklemeye Geçilmiştir.			
6	26.57	15.39	Kolon-temel birleşiminden itibaren 62 ve 107 cm yüksekliğinde iki adet yeni çatlak meydana gelmiştir.
-6	-26.20	-15.40	Kolon-temel birleşiminden itibaren 72 ve 106,5 cm yüksekliğinde yeni çatlak meydana gelmiştir ve temel çatlakları birleşmiştir. Daha önce oluşan çatlakların boyları uzamıştır.
7	26.50	20.23	Kolon-temel birleşiminden itibaren 64 cm yüksekliğinde yeni çatlak meydana gelmiştir. Daha önce oluşan çatlakların boyları uzadı ve kolon temel birleşiminde oluşan çatlakların genişliği artmıştır.
-7	-26.78	-20.66	Daha önce meydana gelen çatlakların boyları uzamıştır.
8	26.63	24.97	Önceki yüklemelerde meydana gelen çatlakların boyları uzamaktadır. Çatlak genişlikleri artmaktadır.
-8	-26.95	-25.58	Önceki yüklemelerde meydana gelen çatlakların boyları uzamaktadır. Çatlak genişlikleri artmaktadır.
9	23.32	30.12	-----
-9	-26.86	-30.38	-----
10	25.01	35.25	-----
-10	-27.18	-35.61	-----
11	18.23	39.58	Çatlakların boyları uzayarak itme ve çekme çatlakları birleşmiştir. Ayrıca meydana gelen çatlaklar çatallaşarak ilerlemektedir.
-11	-26.84	-41.52	Çatlakların boyları uzayarak itme ve çekme çatlakları birleşmiştir. Ayrıca meydana gelen çatlaklar çatallaşarak ilerlemektedir.

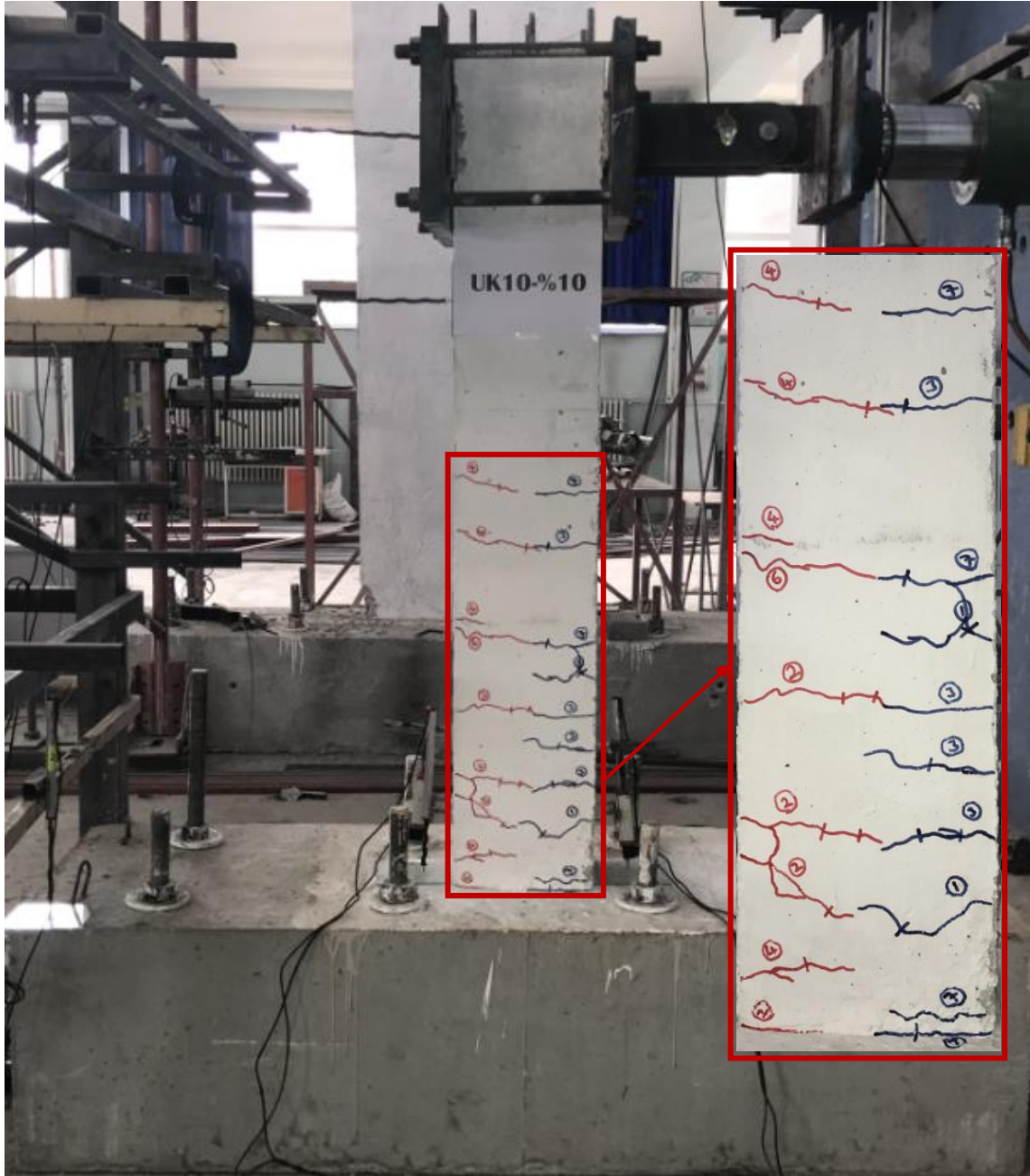
Çevrim No (+, itme) (-, çekme)	Maksimum Yatay Yük (kN)	Maksimum Tepe Deplasmanı (mm)	Numunede Gözlenen Çatlak ve Hasar Oluşumu
12	19.06	45.55	Önceki yüklemelerde meydana gelen çatlakların boyları uzamaktadır. Çatlak genişlikleri artmaktadır.
-12	-27.33	-46.15	Önceki yüklemelerde meydana gelen çatlakların boyları uzamaktadır. Çatlak genişlikleri artmaktadır.
13	19.93	50.33	Basınç bölgesinde ezilmeler başlamıştır.
-13	-27.09	-50.76	Basınç bölgesinde ezilmeler başlamıştır.
14	20.79	55.24	-----
-14	-27.39	-55.88	Plastik mafsal bölgesinde oluşan yatay çatlaklar temel doğru ilerlemektedir.
15	21.36	59.98	Plastik mafsal bölgesinde oluşan yatay çatlaklar temel doğru ilerlemektedir.
-15	-27.93	-60.85	-----
16	21.52	65.27	Basınç bölgesinde meydana gelen ezilmelerden dolayı beton dökülmeye başlamıştır.
-16	-28.92	-66.33	Basınç bölgesinde meydana gelen ezilmelerden dolayı beton dökülmeye başlamıştır.
17	21.16	70.00	-----
-17	-33.94	-80.62	-----
18	19.43	80.26	-----
-18	-36.82	-91.21	-----
19	18.29	89.10	-----
-19	-37.94	-101.05	-----
20	15.54	99.97	Basınç bölgesinde meydana gelen dökülmelerden dolayı, çekme donatısında kopma meydana gelmiştir ve numune göçme konumuna ulaşmıştır. *Deneyde yüklemeye son verilmiştir.
-20	-25.64	-104.22	Basınç bölgesinde meydana gelen dökülmelerden dolayı, çekme donatısında kopma meydana gelmiştir ve numune göçme konumuna ulaşmıştır. *Deneyde yüklemeye son verilmiştir.
21	6.79	0.35	Deplasman sıfırlanarak numune başlangıç konumuna alınmıştır

Deneysel elamanda ilk eğilme çatlakları +2. itme çevriminde yaklaşık 9.61 kN'luk yatay yükte meydana gelmiştir. Bu yük değerinde numune, 1.13 mm'lik bir tepe deplasmanına ve % 0.07'lik bir yanal ötelenme oranına sahiptir. Deneysel elemanda itmede ve çekmede gözlemlenen ilk çatlaklar Şekil 4.76'da gösterilmiştir.



Şekil 4.76. UK10-%10 deney numunesinde oluşan ilk çatlaklar

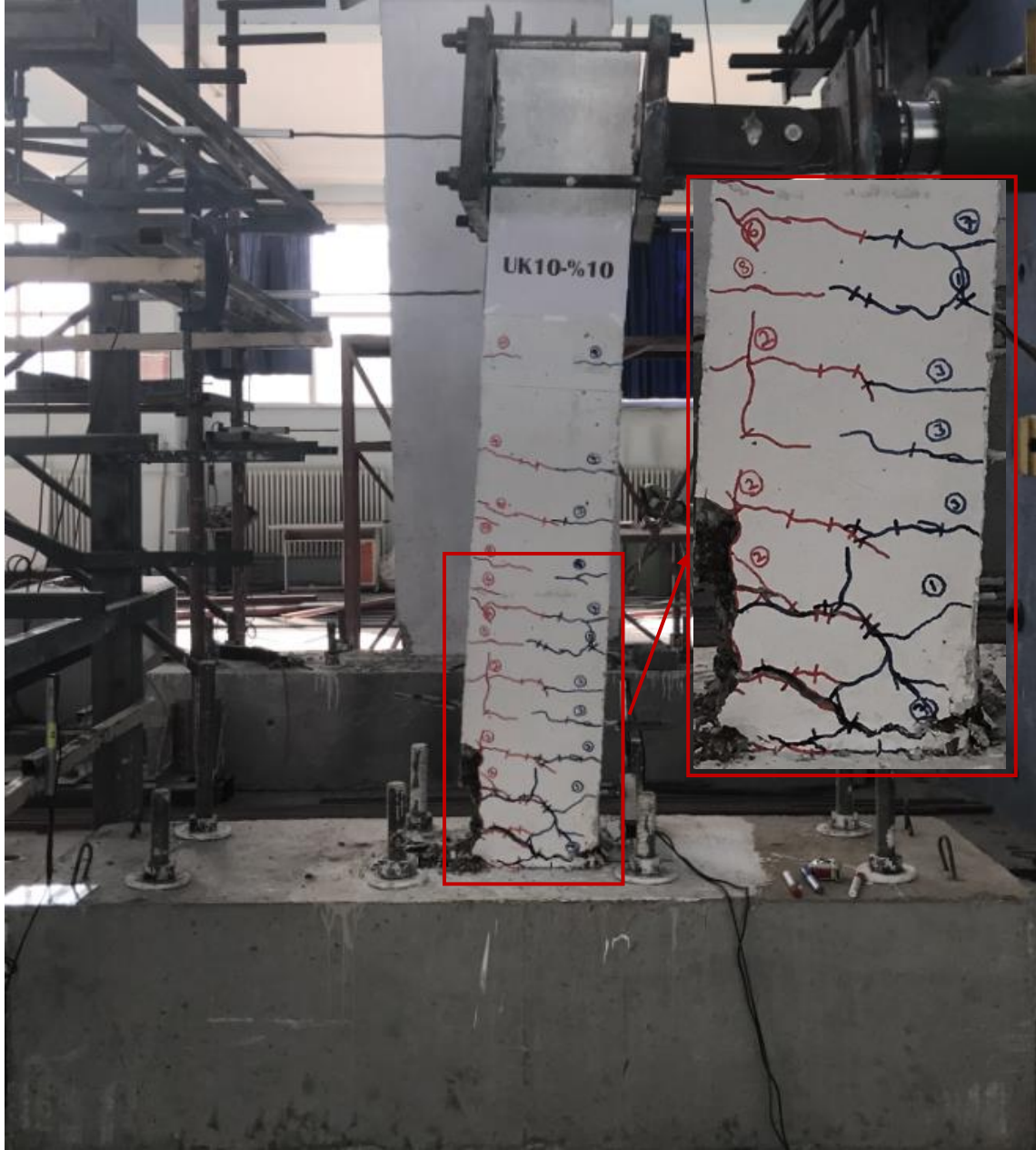
UK10-%10 deney elemanı akma konumuna, yaklaşık % 0.66 ötelenme oranında ve 23.86 kN yatay yük değerinde ulaşmıştır. Bu yükte deneysel numunenin tepe deplasmanı 9.99 mm'dir. Bu yükleme adımında temel-kolon birleşim bölgesinde çatlaklar oluşmuş, ayrıca plastik mafsallarda itme ve çekme çevrimlerinde oluşan simetrik yatay eğilme çatlakları çatallaşmaya başlamıştır. Şekil 4.77'de deneysel numunenin akma konumunda gözlenen çatlaklar gösterilmiştir.



Şekil 4.77. UK10-%10 deney numunesinde akma konumunda gözlenen çatlaklar

UK10-%10 numunesi, -20. geri yükleme çevriminde çekme donatısında meydana gelen kopma ile yatay yük taşıma kapasitesine ulaşmıştır. Bu çevrimlerde numunede, 25.64 kN yatay yük, -104.22 mm tepe deplasmanına sahiptir. Deney elemanının bir önceki çevriminde tepe deplasmanı yaklaşık 100 mm civarındadır. Deneysel eleman göçme konumuna ulaştığında, numunenin basınç bölgesinde ki donatılar burkulmuş ve beton örtüsü dökülmüştür. Geri yükleme çevriminde, çekme bölgesindeki donatıların kopması sonucu deney sonlandırılmıştır. Deneysel numunenin deney sonu görünümü Şekil 4.78’de gösterilmiştir. Numunede deney sonuna kadar eğilme davranışı

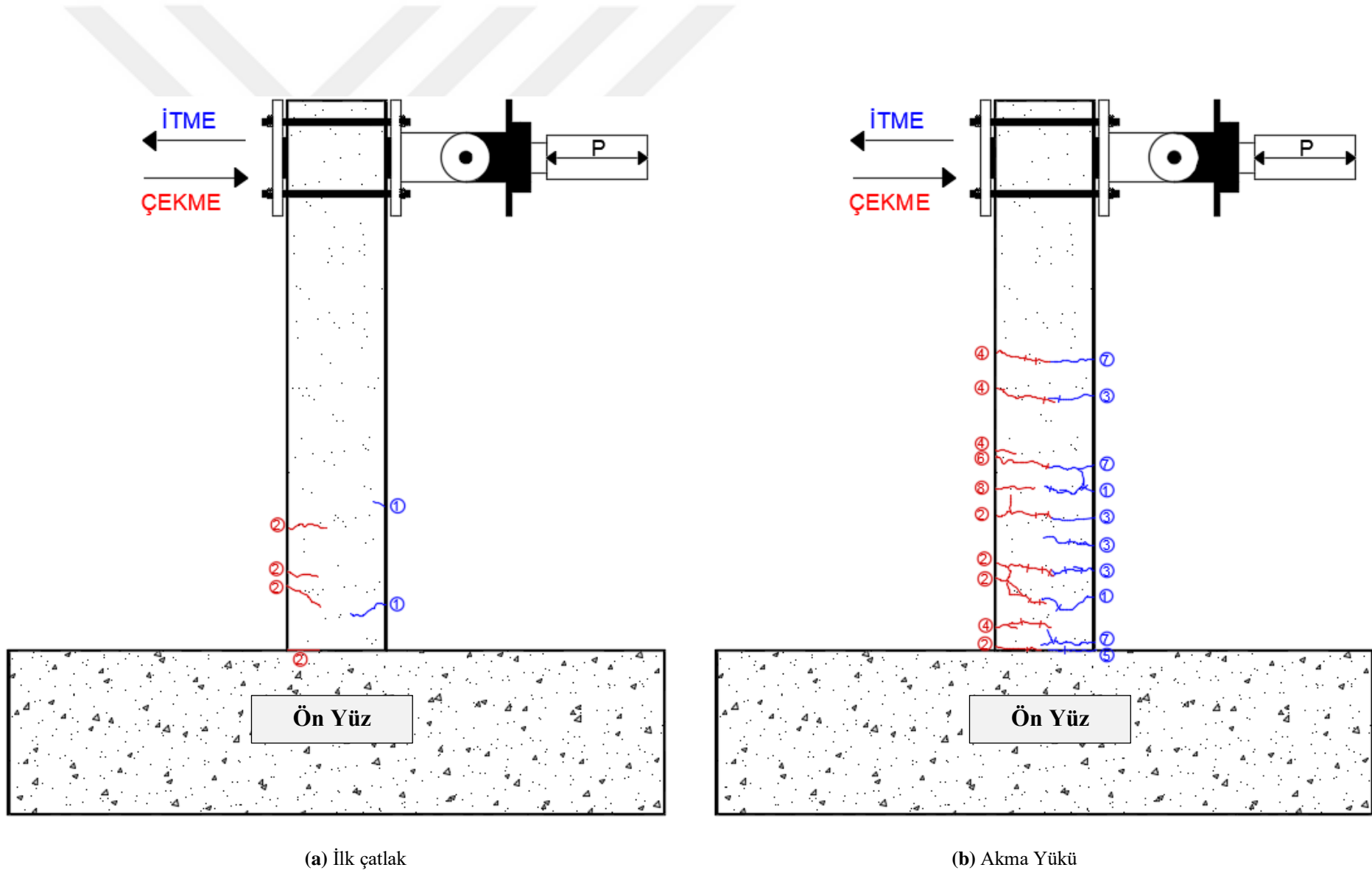
gözlemlenmiş olup, plastik mafsal bölgesindeki her iki yüzdeki çatlaklar birleştikten sonra 45° eğimle kolon-temel birleşimine doğru ilerlemişlerdir. UK10-%10 deney elemanının ilk çatlak, akma yükü, maksimum yük ve göçme durumunun çatlak krokisi bilgisayar programında işlenerek, hasar oluşumu incelenmiştir. Deneysel numunenin çatlak krokisi Şekil 4.79’da gösterilmiştir.



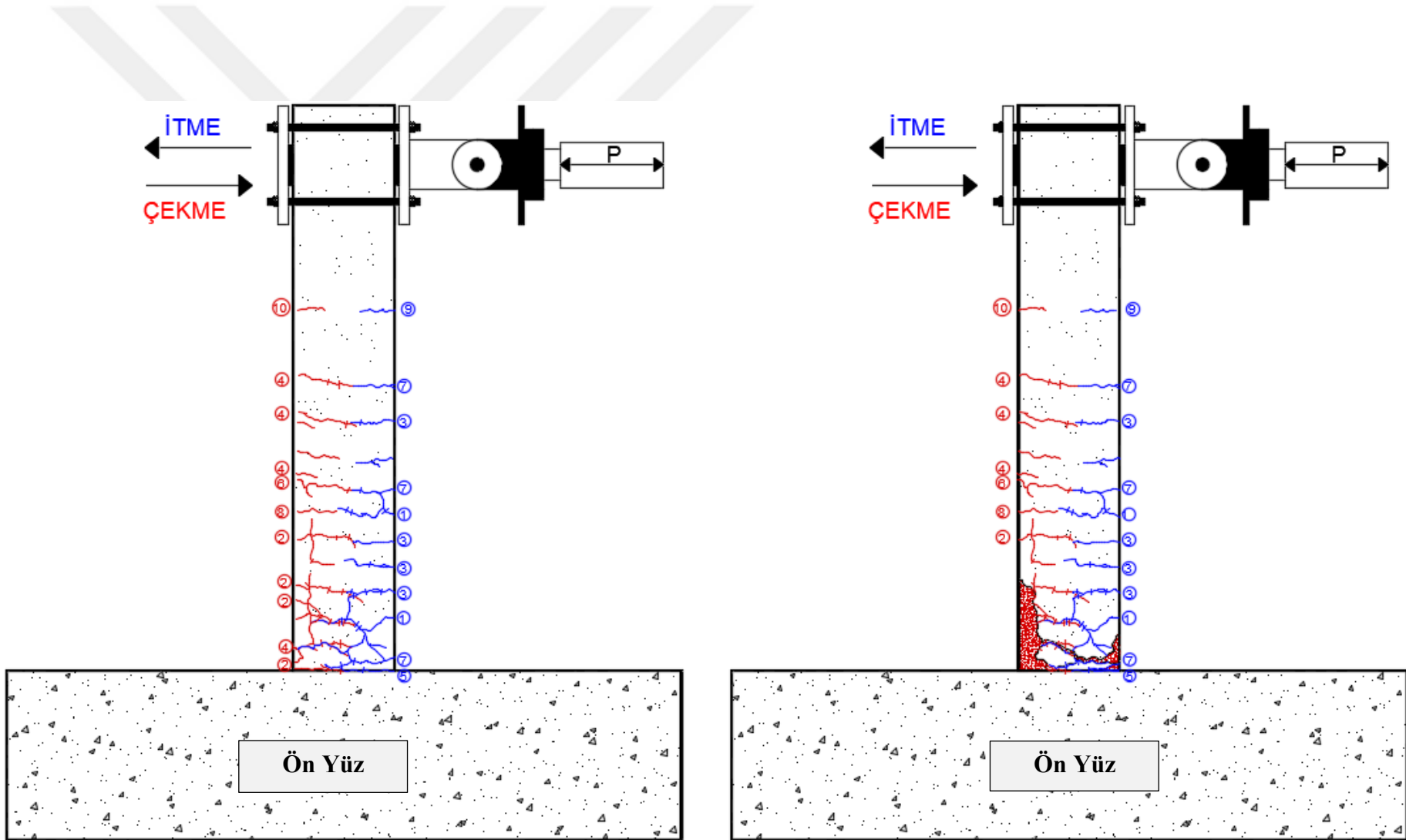
Şekil 4.78. UK10-%10 numunesinin deney sonu görünümü



Şekil 4.78. UK10-%10 numunesinin deney sonu görünümü (devamı) (plastik mafsalsal bölgesi)



Şekil 4.79. UK10-%10 numunesinin çatlak kroki



(c) Maksimum yük

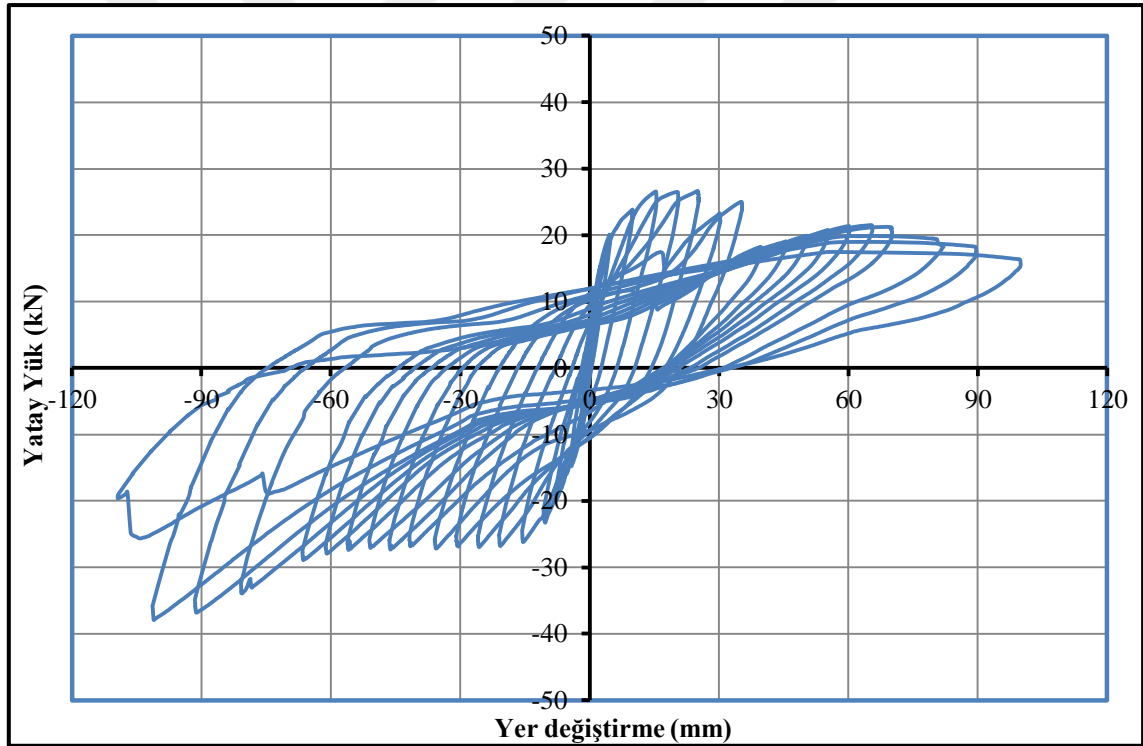
(d) Göçme durumu

Şekil 4.79. UK10-%10 numunesinin çatlak krokisi (devamı)

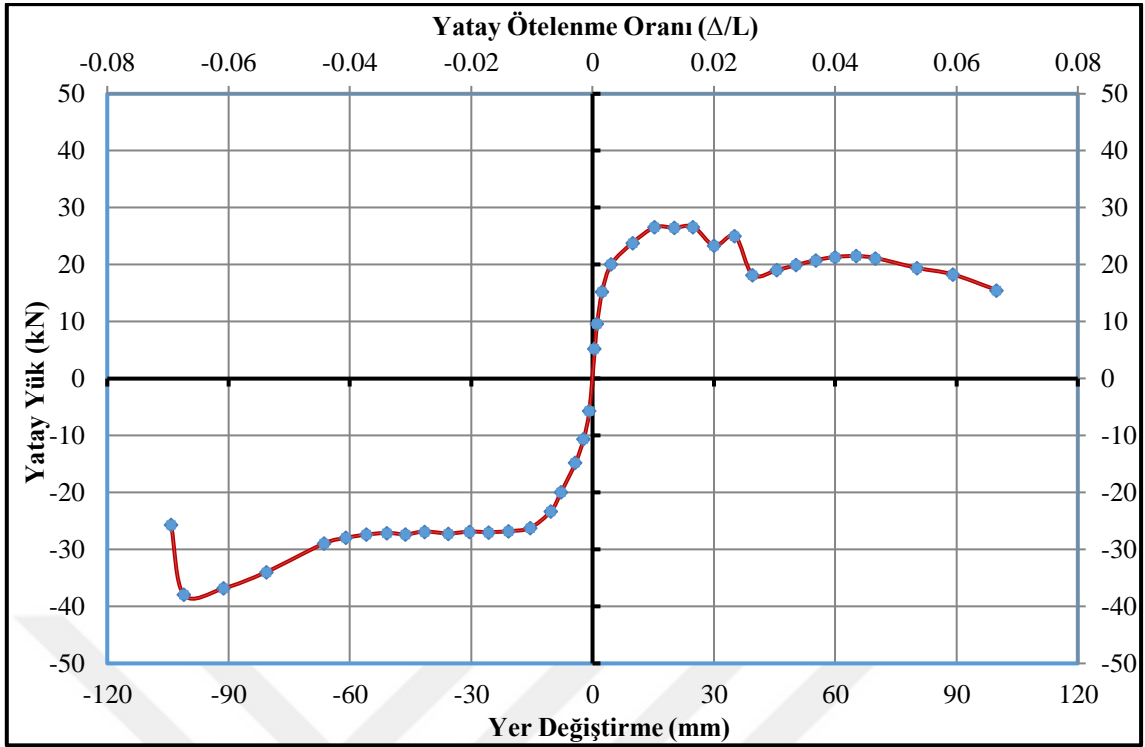
Deneyler sırasında yük hücresi ve yer değiştirme ölçerlerden alınan veriler yardımıyla, numunelerin davranışlarını incelemek için çeşitli grafikler çizilmiştir. Şekil 4.80’de UK10-%10 numunesine ait yatay yük- yer değiştirme çevrimsel histerezis ilişkisi, Şekil 4.81’de ise her bir çevrimdeki maksimum yatay yük ve bu yüke karşılık gelen yer değiştirmelerin işaretlenmesi ve birleştirilmesi ile elde edilen dayanım zarfı görölmektedir.

UK10-%10 numunesinin, yatay yük-yer değiştirme eğrisinin altında kalan alanların hesaplanması ve ardışık toplanması ile numunenin kümülatif toplam enerji tüketme kapasitesi-ötelenme oranı grafiği çizilmiştir ve Şekil 4.82’de gösterilmiştir.

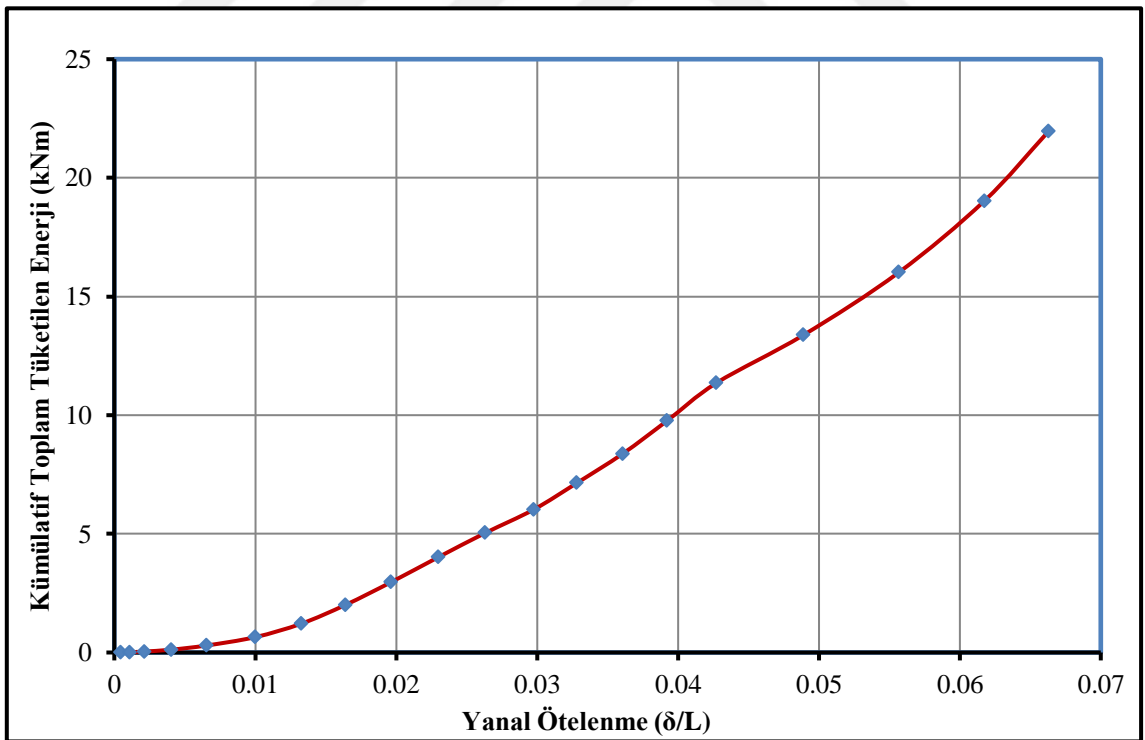
UK10-%10 numunesine ait rijitlik azalımı grafiği Şekil 4.83’de gösterilmiştir. Rijitlik grafiğinde, itme çevrimleri için elde edilen değerler grafiğin sağ tarafında, çekme çevrimleri için hesaplanan değerler grafiğin solunda yer almaktadır.



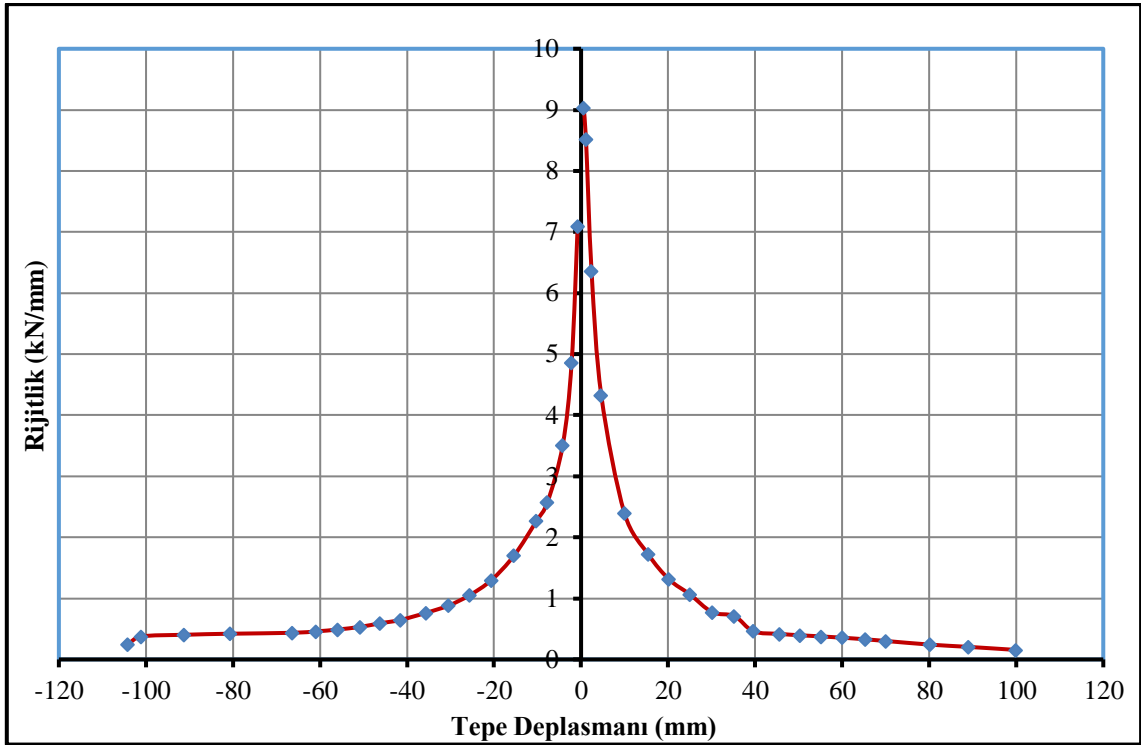
Şekil 4.80. UK10-%10 numunesinin yatay yük-tepe deplasmanı histerezis eğrisi



Şekil 4.81. UK10-%10 numunesine ait dayanım zarfı

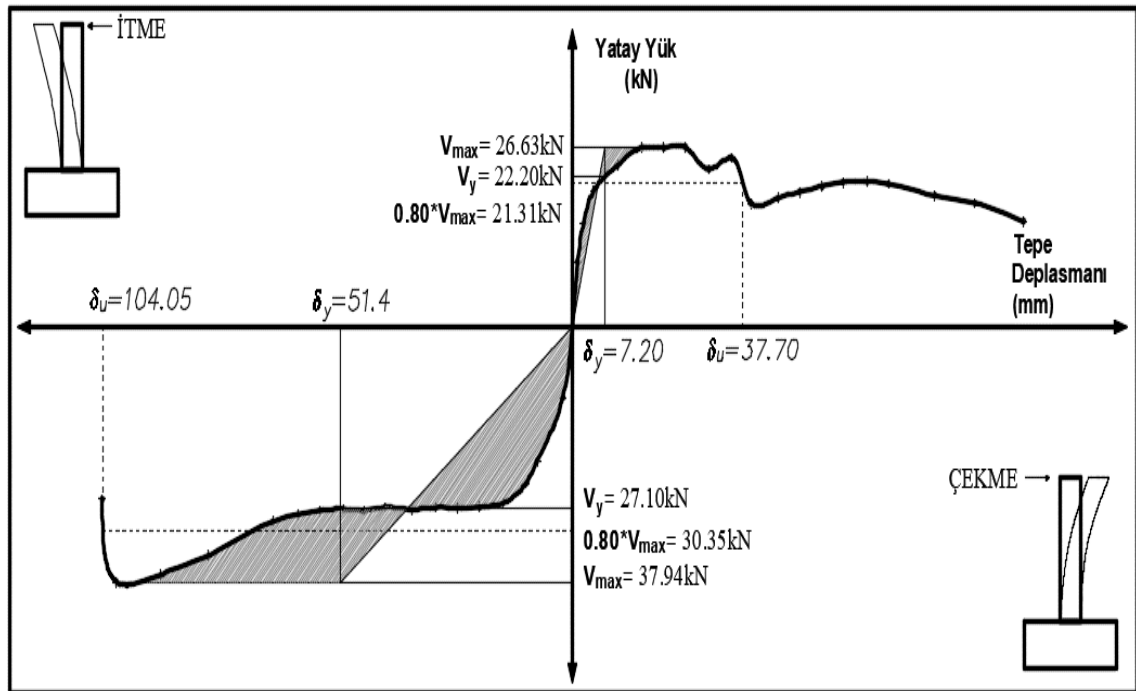


Şekil 4.82. UK10-%10 numunesine ait kümülatif toplam tüketilen enerji grafiği



Şekil 4.83. UK10-%10 numunesinin rijitlik azalımı grafiği

UK10-%10 numunesinin süneklik parametrelerinin gösterildiği grafik Şekil 4.84'de verilmiştir. Çizelge 4.21'de ise süneklik değerleri tablo halinde özetlenmiştir.



Şekil 4.84. UK10-%10 numunesinin süneklik grafiği

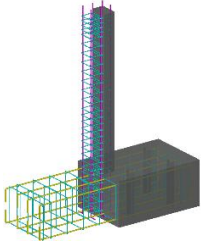
Çizelge 4.21. UK10-%10 numunesinin çatlak ve hasar oluşumu

UK10-%10	V_y (kN)	$0.8*V_{max}$ (kN)	V_{max} (kN)	Δ_y (mm)	Δ_u (mm)	μ (Δ_u/Δ_y)	$\mu_{ort.}$	Yatay Ötelenme Oranı (Δ/L) (%)
İtme	22.20	21.31	26.63	7.20	37.70	5.23	3.63	2.51
Çekme	-27.10	-30.35	-37.94	-51.40	-104.05	2.02		-6.94

4.1.8. Deney Numunesi-8 (UK20-%10)

Çalışma kapsamında sekizinci olarak test edilen numune, UK20-%10 isimli numunedir. UK20-%10 isimli numune, çimentonun yerine, çimento ağırlığının %20'si kadar uçucu kül (UK) ilave edilmiş, UK20 serisine ait 3 adet numuneden ağırlıkça %10 seviyesinde korozyon hasarına maruz bırakılan numunedir. UK20-%10 isimli numuneye ait parametrik değerler Çizelge 4.22'de özetlenmiştir.

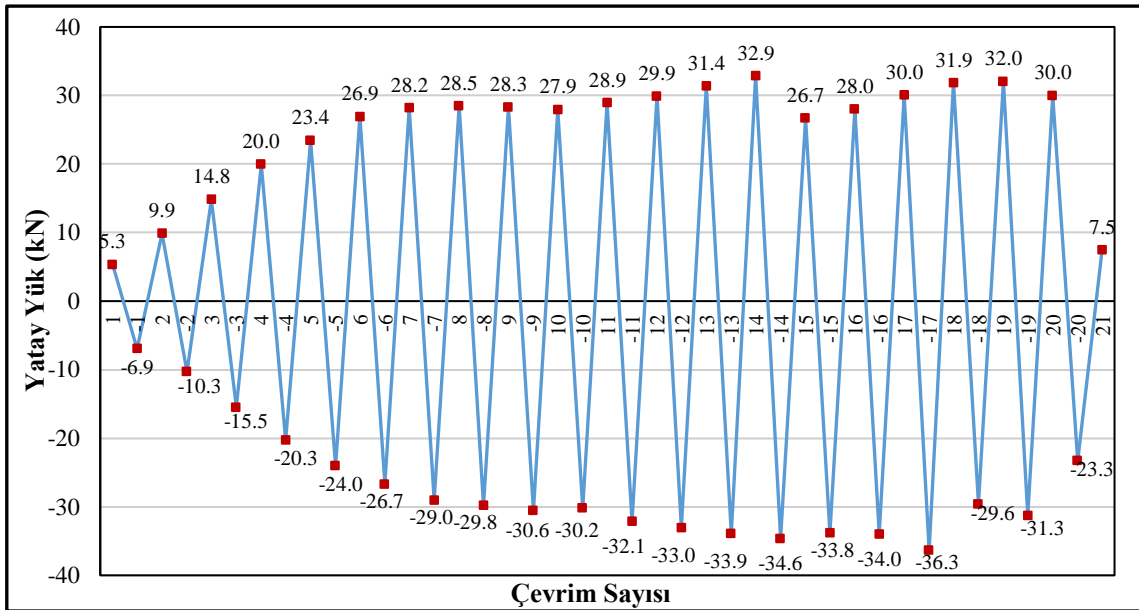
Çizelge 4.22. UK20-%10 numunesinin parametrik özellikleri

Deney Numunesi No	Numune görünümü	Mineral Katkı Türü (1 m ³ için) (kg)			Ortalama Silindir Basınç Dayanımı (MPa)	Korozyon Seviyesi (%)
		CEM I 42.5R	UK	YFC		
Deney-8 UK20-%10 Uçucu Küllü Seri		224	56	-	31.11	10

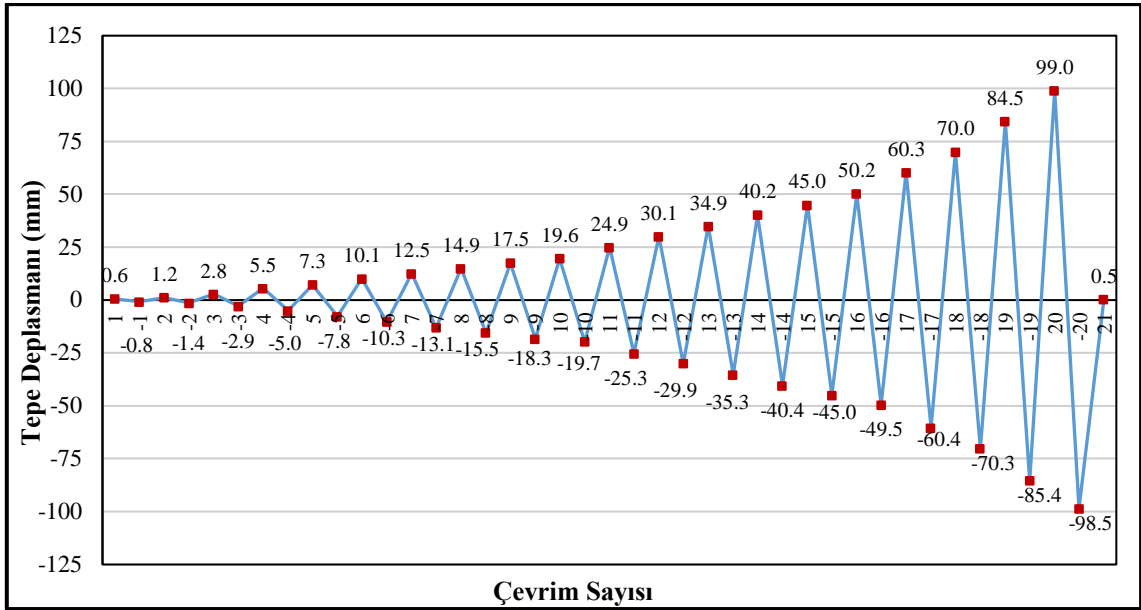
Deney elemanının tersinir-tekrarlanır yatay yükleme altında test edilmeden hemen önce ki, yatay yükleme deney düzeneğine yerleştirilmiş hali Şekil 4.85'de gösterilmiştir. Şekil 4.86'da deney elemanına ait yük geçmişi grafiği, Şekil 4.87'de deplasman geçmişi grafiği verilmiştir.



Şekil 4.85. UK20-%10 numunesinin deney öncesi görünümü



Şekil 4.86. UK20-%10 deney numunesinin yük geçmişi grafiği



Şekil 4.87. UK20-%10 deney numunesinin deplasman geçmişi grafiği

Şekil 4.86'daki yükleme geçmişi grafiğinden de görüldüğü gibi 5. çevrime kadar ± 5 kN yük artırımını uygulanmış ve sonraki çevrimlerde deplasman kontrollü yüklemeye geçilmiştir. Deplasman kontrollü yüklemeye ise 50 mm'ye kadar 5 mm deplasman artırımını uygulanmış ve 50 mm'den sonra 10 mm'lik deplasman artırımları ile deneye devam edilmiştir. Yük geçmişi grafiği incelendiğinde, 6. çevrimde deneysel numunenin ideal akma noktasına ulaştığı görülmektedir. ilerleyen çevrimlerde yatay yükte artış olmadığından deplasman kontrollü olarak göçme konumuna itmede ve çekmede donatıda meydana gelen kopma ile ulaşılmıştır. Deney aşamasında her bir çevrimde gözlemlenen davranış Çizelge 4.23'de verilmiştir.

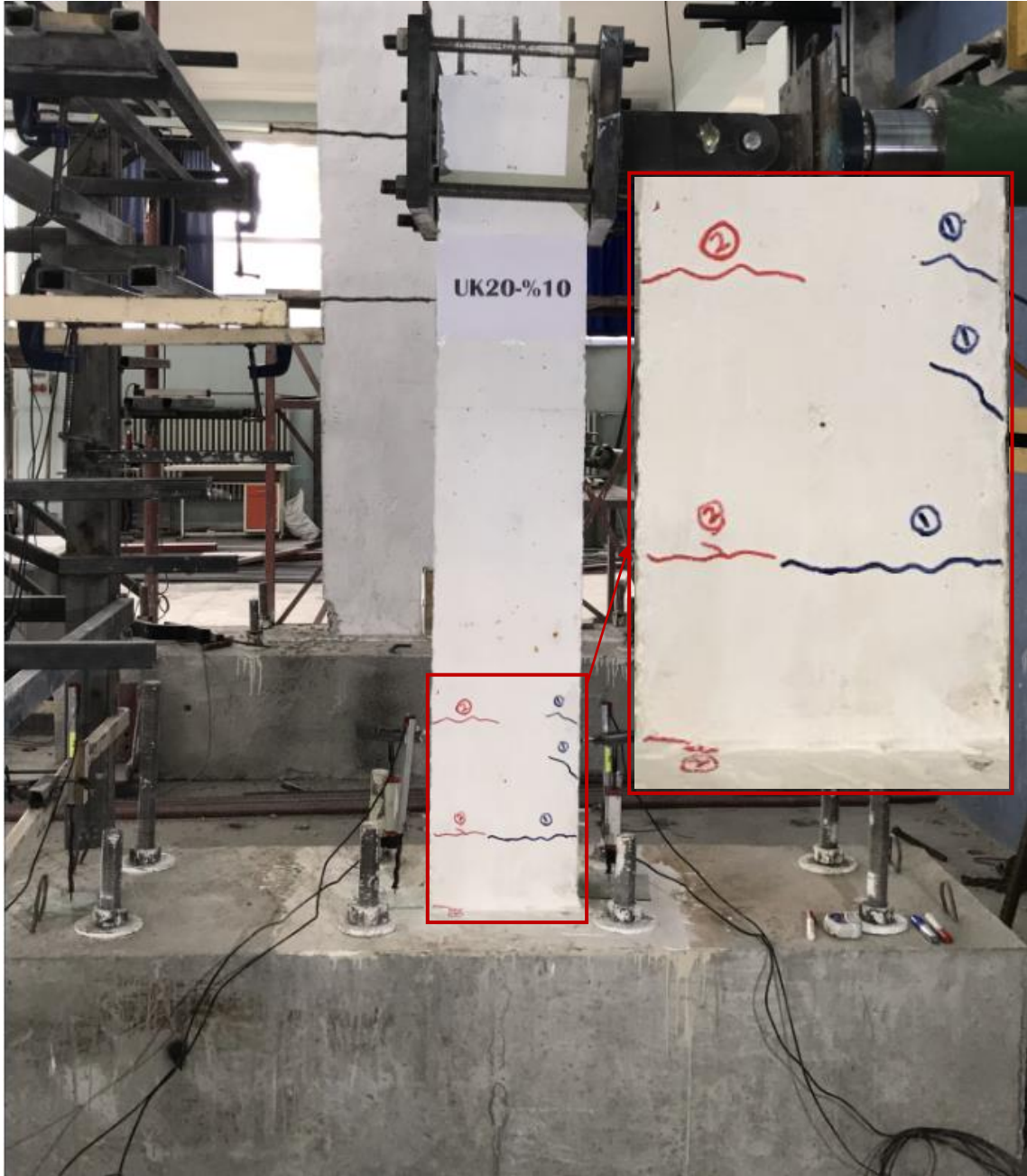
Çizelge 4.23. UK20-%10 numunesinde çatlak ve hasar oluşumları

Çevrim No (+, itme) (-, çekme)	Maksimum Yatay Yük (kN)	Maksimum Tepe Deplasmanı (mm)	Numunede Gözlenen Çatlak ve Hasar Oluşumu
1	5.32	0.57	Deneyin ilk iki çevriminde herhangi bir çatlak gözlemlenmemiştir.
-1	-6.95	-0.84	
2	9.89	1.18	*İtmede ilk çatlak meydana geldi. Kolon-temel birleşiminden itibaren 15, 26 ve 37 cm yüksekliğinde iki adet çatlak meydana gelmiştir.
-2	-10.29	-1.41	*Çekmede ilk çatlak meydana geldi. Kolon-temel birleşiminden itibaren 15, 37 cm yüksekliğinde ve kolon temel birleşiminde üç adet çatlak meydana gelmiştir.
3	14.83	2.78	Kolon-temel birleşiminden itibaren 46 cm yüksekliğinde ve kolon temel birleşiminde iki adet yeni çatlak meydana gelmiştir.

Çevrim No (+, itme) (-, çekme)	Maksimum Yatay Yük (kN)	Maksimum Tepe Deplasmanı (mm)	Numunede Gözlenen Çatlak ve Hasar Oluşumu
-3	-15.48	-2.88	Kolon-temel birleşiminden itibaren 30, 46 ve 81 cm yüksekliğinde 3 adet yeni çatlak meydana gelmiştir.
4	19.98	5.53	Kolon-temel birleşiminden itibaren 50, 60, 68, 80 ve 92 cm yüksekliğinde yeni çatlak oluştu ve daha önce oluşan çatlakların boyları uzamıştır. *Deney numunesi akma konumuna ulaşmıştır.
-4	-20.31	-4.96	Kolon-temel birleşiminden itibaren 52 ve 71 cm yüksekliğinde yeni çatlak oluştu ve daha önce oluşan çatlakların boyları uzamıştır. Ayrıca 2 ve 4 nolu çatlaklar çatallaşarak temele doğru ilerlemiştir. *Deney numunesi akma konumuna ulaşmıştır.
Deplasman Kontrollü Yükleme Geçilmiştir.			
5	23.43	7.27	Kolon-temel birleşiminden itibaren 4 ve 71 cm yüksekliğinde yeni çatlak meydana gelmiştir.
-5	-24.04	-7.77	Kolon-temel birleşiminden itibaren 61 ve 84 cm yüksekliğinde yeni çatlak meydana gelmiştir. Daha önce oluşan çatlakların boyları uzamıştır.
6	26.94	10.12	Daha önce oluşan çatlakların boyları uzadı ve kolon temel birleşiminde oluşan çatlağın genişliği artmıştır.
-6	-26.68	-10.29	Kolon-temel birleşiminden itibaren 5, 58 ve 61 cm yüksekliğinde yeni çatlak meydana gelmiştir, 2 ve 4 nolu çatlaklar arasında boyuna aderans çatlağı meydana gelmiştir. Daha önce oluşan çatlakların boyları uzamıştır.
7	28.17	12.52	Daha önce meydana gelen çatlakların boyları uzamıştır.
-7	-29.04	-13.09	Daha önce meydana gelen çatlakların boyları uzamıştır.
8	28.49	14.91	Kolon-temel birleşiminden itibaren 20 cm yüksekliğinde yeni çatlak meydana gelmiştir ve kolon-temel birleşimindeki çatlağın genişliği artmıştır. Önceki yüklemelerde meydana gelen çatlakların boyları uzadı ve çatlak genişlikleri artmıştır.
-8	-29.80	-15.47	4 ve 2 nolu çatlak arasında boyuna çatlak meydana gelmiştir.
9	28.29	17.54	Kolon temel birleşiminde itmede ve çekmede meydana gelen çatlaklar birleşmiştir.
-9	-30.59	-18.26	Önceki yüklemelerde meydana gelen çatlakların boyları uzamaktadır. Çatlak genişlikleri artmaktadır.
10	27.92	19.61	Önceki yüklemelerde meydana gelen çatlakların boyları uzamaktadır. Çatlak genişlikleri artmaktadır.
-10	-30.18	-19.74	Çatlakların boyları uzayarak itme ve çekme çatlakları birleşmiştir. Ayrıca meydana gelen çatlaklar çatallaşarak ilerlemektedir.
11	28.93	24.94	-----
-11	-32.15	-25.26	-----

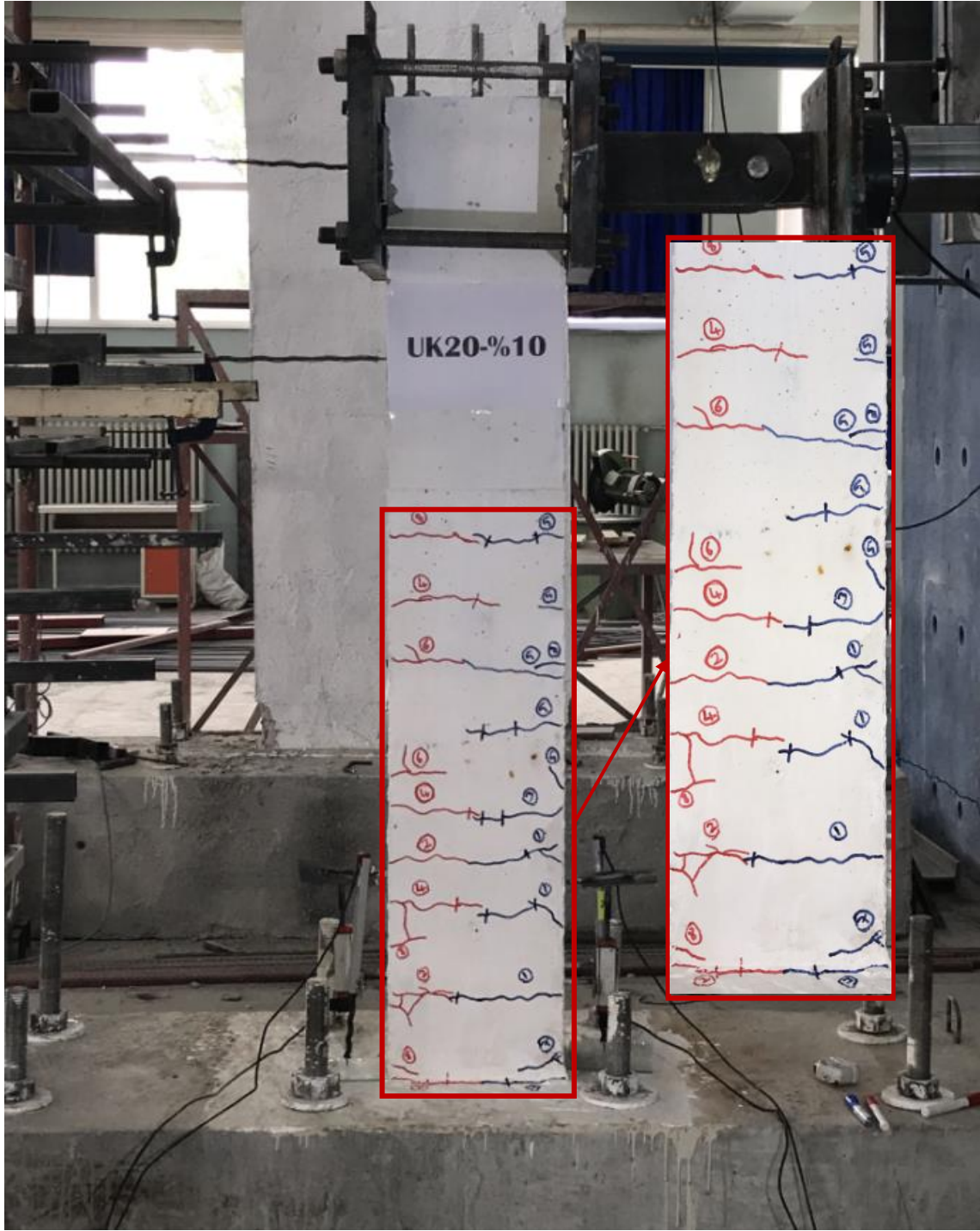
Çevrim No (+, itme) (-, çekme)	Maksimum Yatay Yük (kN)	Maksimum Tepe Deplasmanı (mm)	Numunede Gözlenen Çatlak ve Hasar Oluşumu
12	29.93	30.09	Önceki yüklemelerde meydana gelen çatlakların boyları uzamaktadır. Çatlak genişlikleri artmaktadır.
-12	-33.04	-29.92	Önceki yüklemelerde meydana gelen çatlakların boyları uzamaktadır. Çatlak genişlikleri artmaktadır.
13	31.38	34.86	Önceki yüklemelerde meydana gelen çatlakların boyları uzamaktadır. Çatlak genişlikleri artmaktadır.
-13	-33.91	-35.32	Basınç bölgesinde ezilmeler başlamıştır.
14	32.87	40.24	Basınç bölgesinde ezilmeler başlamıştır.
-14	-34.65	-40.41	Plastik mafsal bölgesinde oluşan yatay çatlaklar temel doğru ilerlemektedir.
15	26.70	44.96	Plastik mafsal bölgesinde oluşan yatay çatlaklar temel doğru ilerlemektedir.
-15	-33.84	-45.04	-----
16	27.97	50.20	-----
-16	-33.97	-49.46	-----
17	30.05	60.32	Basınç bölgesinde meydana gelen ezilmelerden dolayı beton dökülmeye başlamıştır.
-17	-36.33	-60.36	Çekme çevriminde, çekme bölgesinde ki ilk donatı kopmuştur.
18	31.86	69.96	Basınç bölgesinde meydana gelen dökülmelerden dolayı basınç donatılarında burkulmalar gözlemlendi.
-18	-29.61	-70.28	-----
19	32.01	84.46	-----
-19	-31.29	-85.40	-----
20	29.96	99.03	-----
-20	-23.27	-98.48	Çekme donatısında kopma meydana gelmiştir ve numune göçme konumuna ulaşmıştır. *Deneyde yüklemeye son verilmiştir.
21	7.50	0.50	Deplasman sıfırlanarak numune başlangıç konumuna alınmıştır.

Deneyel elamanda ilk eğilme çatlağı +2. itme çevriminde yaklaşık 9.89 kN'luk yatay yükte meydana gelmiştir. Bu yük değerinde numune, 1.18 mm'lik bir tepe deplasmanına ve % 0.07'lik bir yanal ötelenme oranına sahiptir. Deneyel elemanda itmede ve çekmede gözlemlenen ilk çatlaklar Şekil 4.88'de gösterilmiştir.



Şekil 4.88. UK20-%10 deney numunesinde oluşan ilk çatlaklar

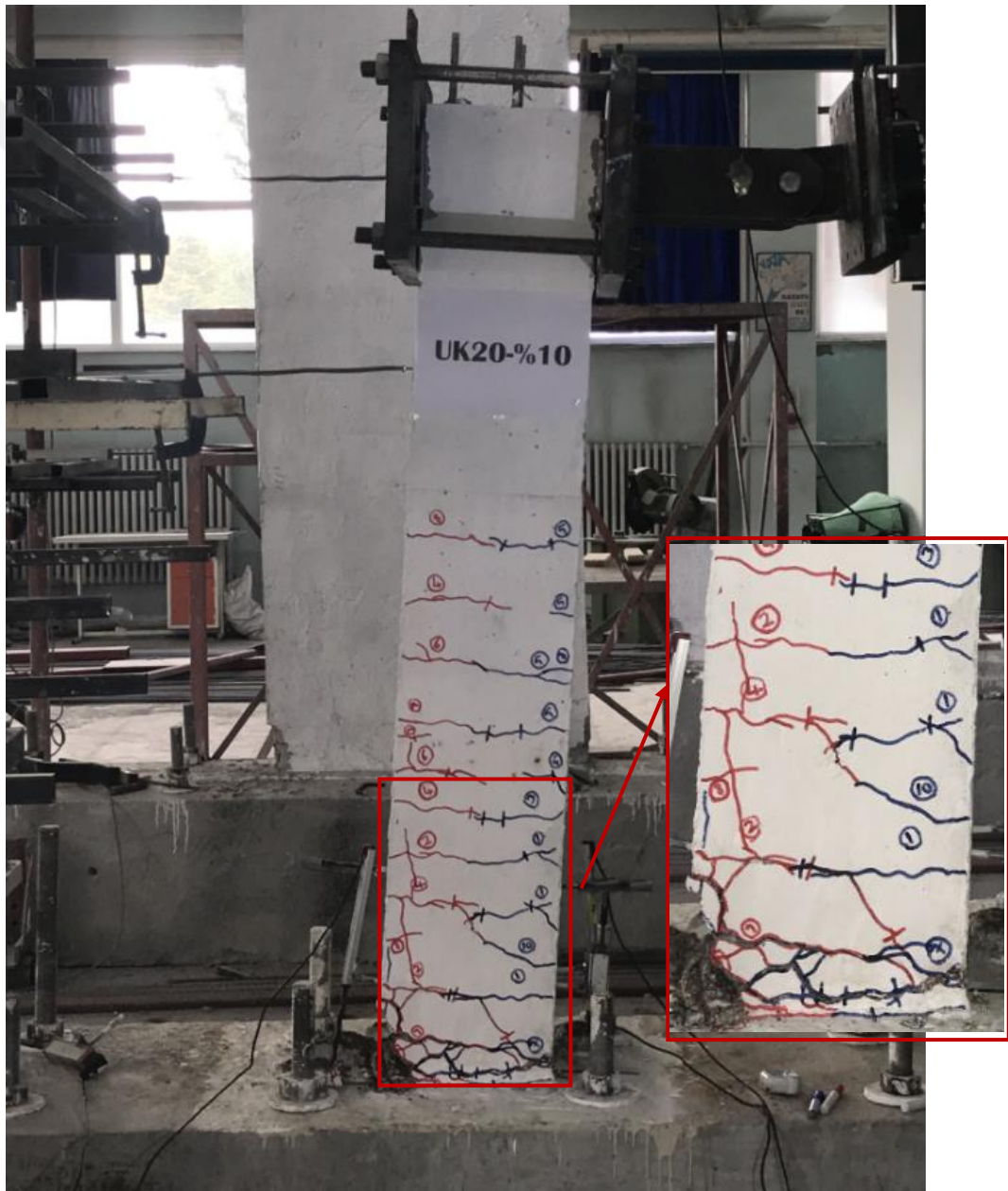
UK20-%10 deney elemanı akma konumuna, yaklaşık % 0.36 ötelenme oranında ve 19.98 kN yatay yük değerinde ulaşmıştır. Bu yükte deneysel numunenin tepe deplasmanı 5.53 mm'dir. Bu yükleme adımında temel-kolon birleşim bölgesinde çatlaklar oluşmuş, ayrıca plastik mafsal bölgesinde itme ve çekme çevrimlerinde oluşan simetrik eğilme çatlakları çatallaşmaya başlamıştır. Şekil 4.89'da deneysel numunenin akma konumunda gözlenen çatlaklar gösterilmiştir.



Şekil 4.89. UK20-%10 deney numunesinde akma konumunda gözlenen çatlaklar

UK20-%10 numunesi, -20. geri yükleme çevriminde, çekme donatısında meydana gelen kopma ile yatay yük taşıma kapasitesine ulaşmıştır. Bu çevrimde numune, -23.27 kN yatay yük, -98.48 mm tepe deplasmanına sahiptir. Deney elemanının bir önceki çevriminde tepe deplasmanı yaklaşık 99 mm civarındadır. Deneysel eleman göçme konumuna ulaştığında, numunenin basınç bölgesinde ki donatılar burkulmuş ve beton örtüsü dökülmüştür. Çekme yüklemesinde, çekme bölgesindeki ilk donatının kopması

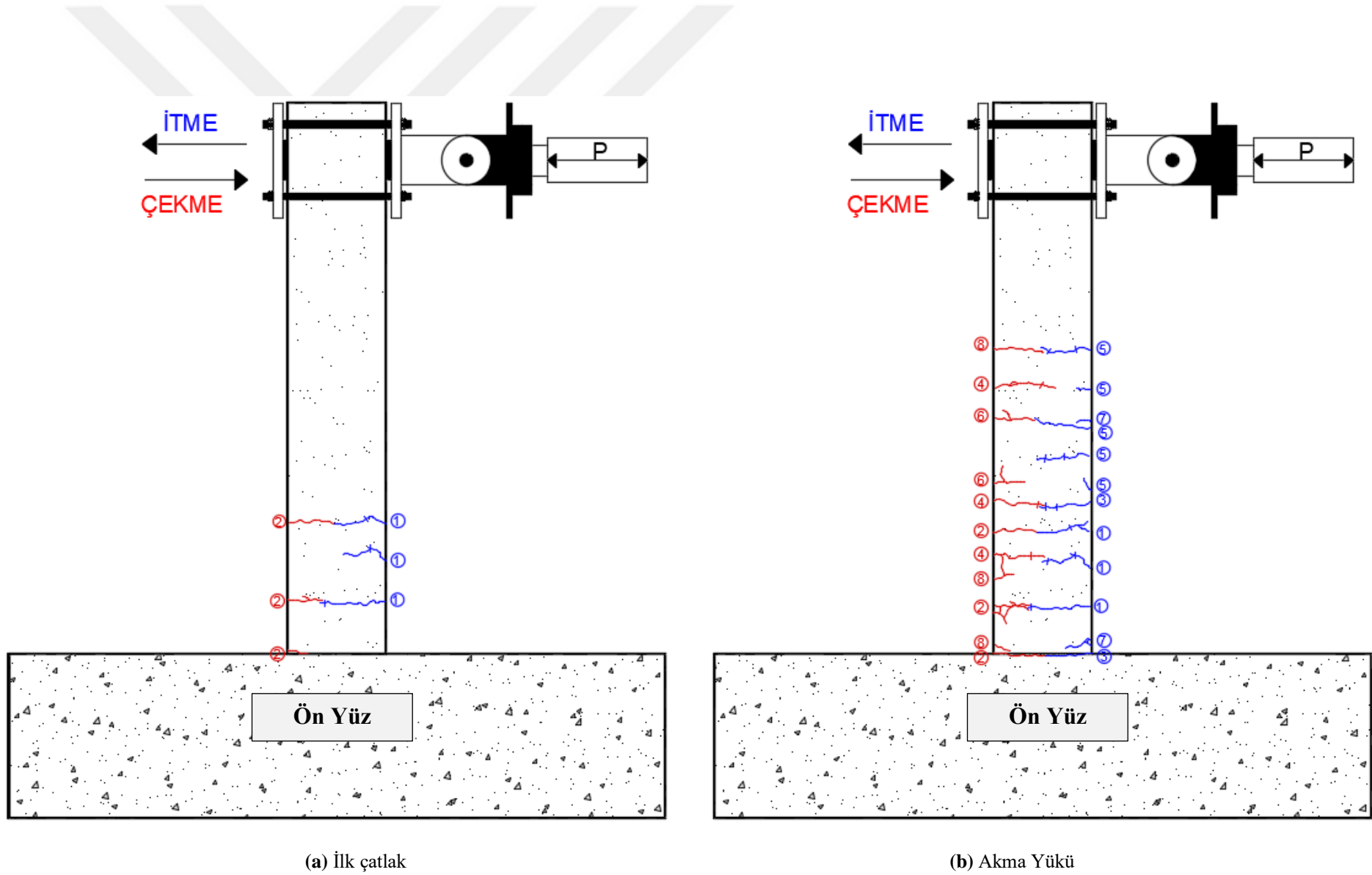
sonucu yatay yükte ani bir düşüş meydana gelmiş, daha sonra numune kendini toparlamıştır. -20. Çevrimde diğer çekme donatısının da kopması sonucu deney sonlandırılmıştır. Deneysel numunenin deney sonu görünümü Şekil 4.90'da gösterilmiştir. Numunede deney sonuna kadar eğilme davranışı gözlemlenmiş olup, plastik mafsal bölgesindeki her iki yüzdeki çatlaklar birleştikten sonra 45° eğimle kolon-temel birleşimine doğru ilerlemişlerdir. UK20-%10 deney elemanının ilk çatlak, akma yükü, maksimum yük ve göçme durumunun çatlak krokisi bilgisayar programında işlenerek, hasar oluşumu incelenmiştir. Deneysel numunenin çatlak krokisi Şekil 4.91'de gösterilmiştir.



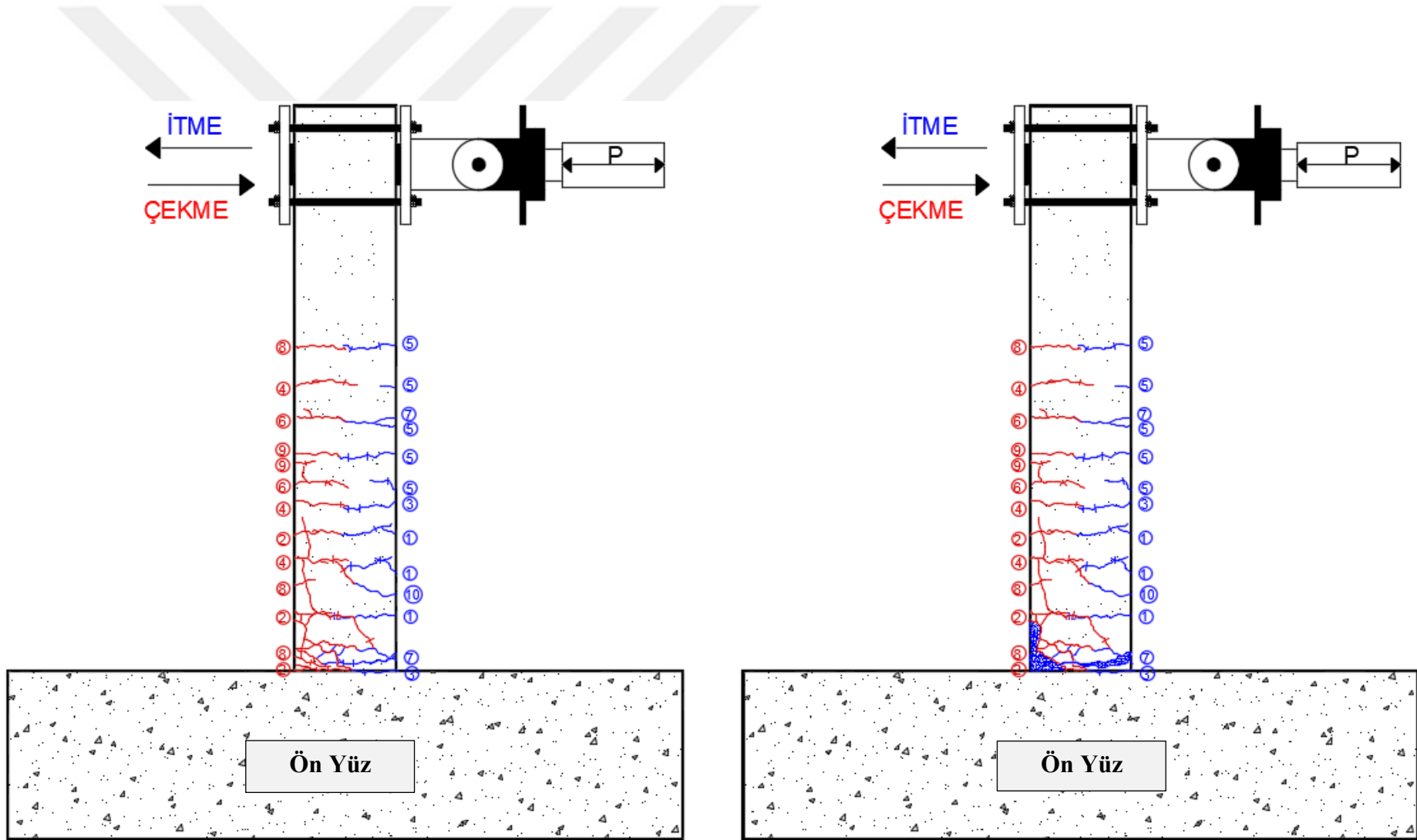
Şekil 4.90. UK20-%10 numunesinin deney sonu görünümü



Şekil 4.90. UK20-%10 numunesinin deney sonu görünümü (devamı)(plastik mafsalsal bölgesi)



Şekil 4.91. UK20-%10 numunesinin çatlak krokisi



(c) Maksimum yük

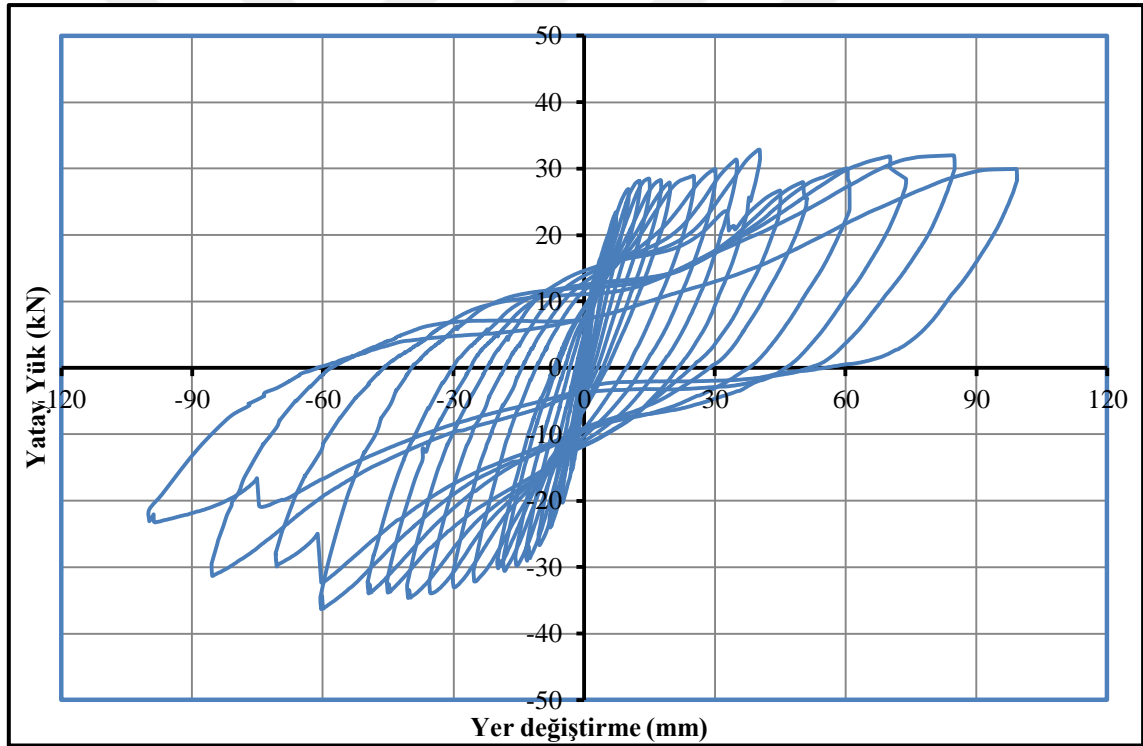
(d) Göçme durumu

Şekil 4.91. UK20-%10 numunesinin çatlak krokisi (devamı)

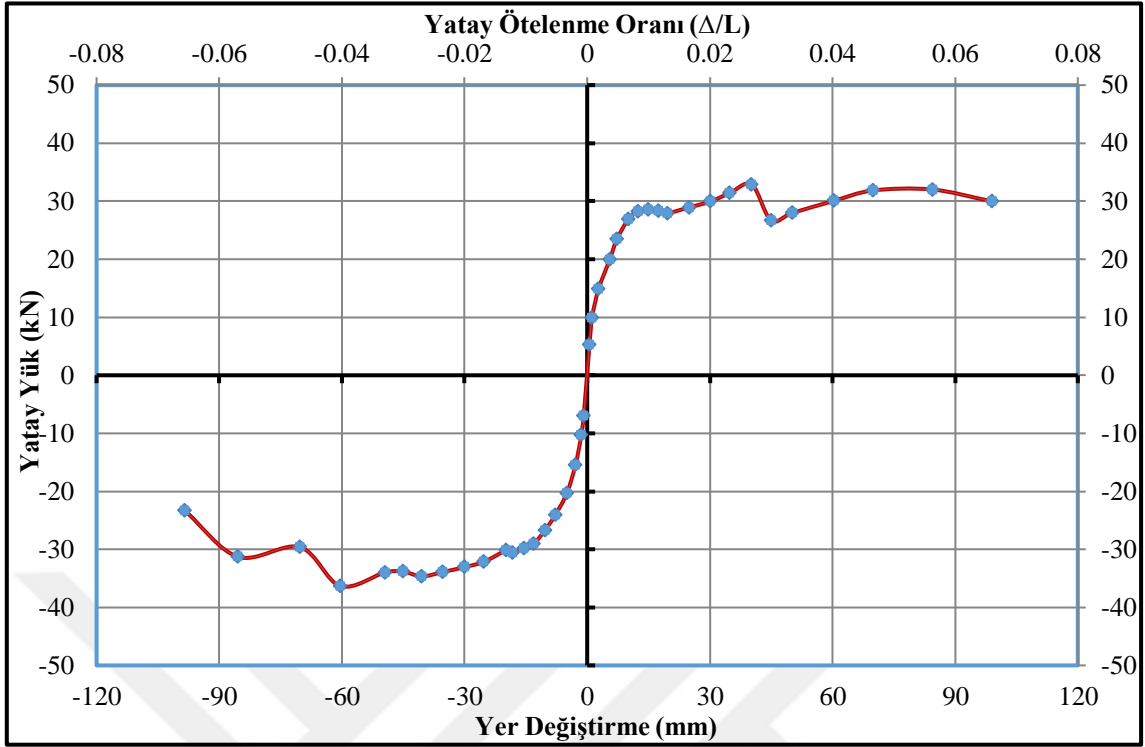
Deneyler sırasında yük hücresi ve yer değiştirme ölçerlerden alınan veriler yardımıyla, numunelerin davranışlarını incelemek için çeşitli grafikler çizilmiştir. Şekil 4.92’de UK20-%10 numunesine ait yatay yük- yer değiştirme çevrimsel histerezis ilişkisi, Şekil 4.93’de ise her bir çevrimdeki maksimum yatay yük ve bu yüke karşılık gelen yer değiştirmelerin işaretlenmesi ve birleştirilmesi ile elde edilen dayanım zarfı görölmektedir.

UK20-%10 numunesinin, yatay yük-yer değiştirme eğrisinin altında kalan alanların hesaplanması ve ardışık toplanması ile numunenin kümülatif toplam enerji tüketme kapasitesi-ötelenme oranı grafiği çizilmiş ve Şekil 4.94’de gösterilmiştir.

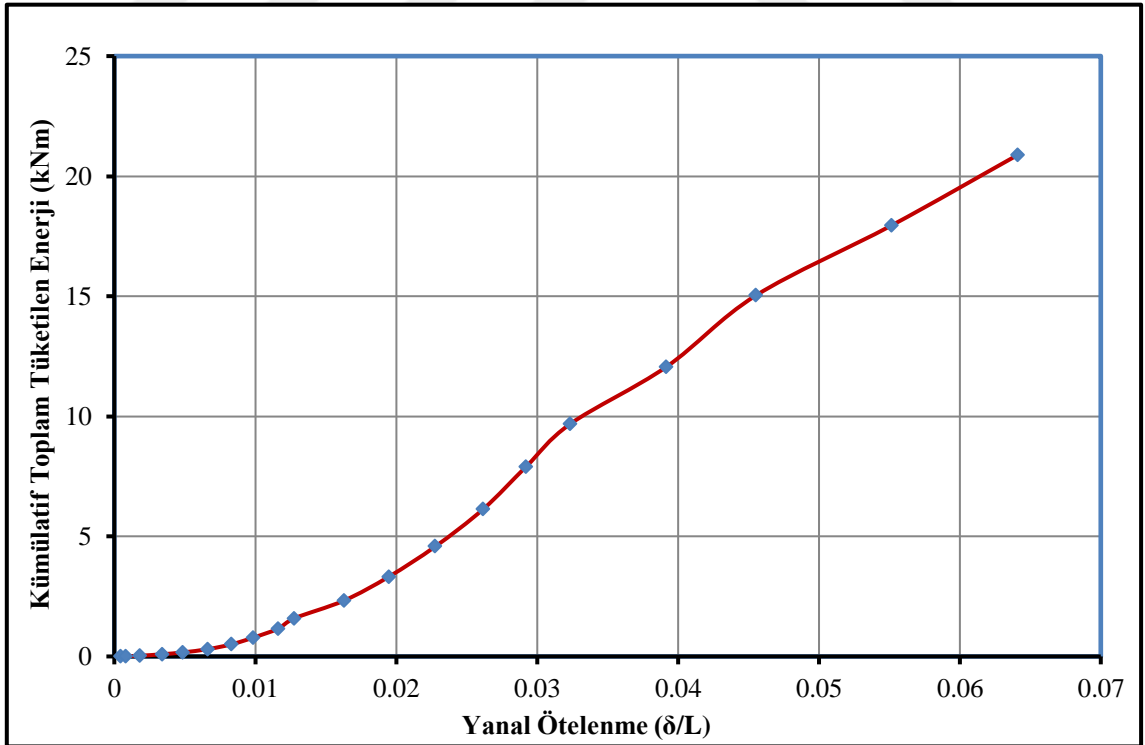
UK20-%10 numunesine ait rijitlik azalımı grafiği Şekil 4.95’de gösterilmiştir. Rijitlik grafiğinde, itme çevrimleri için elde edilen değerler grafiğin sağ tarafında, çekme çevrimleri için hesaplanan değerler grafiğin solunda yer almaktadır.



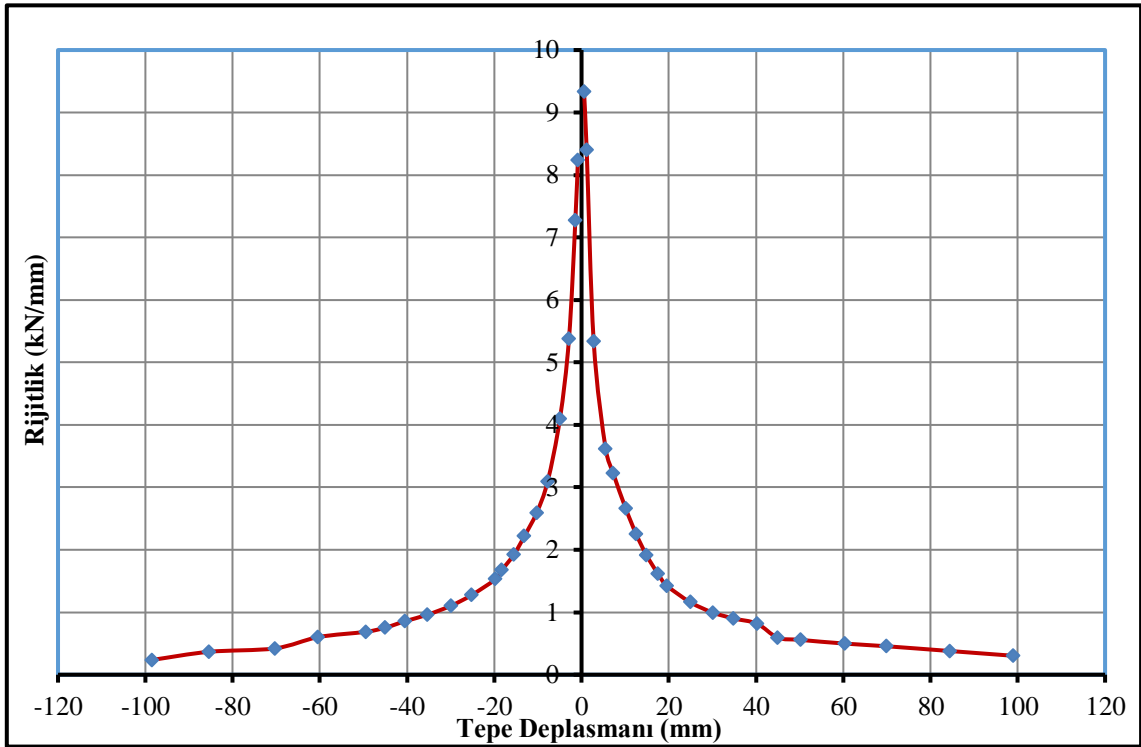
Şekil 4.92. UK20-%10 numunesinin yatay yük-tepe deplasmanı histerezis eğrisi



Şekil 4.93. UK20-%10 numunesine ait dayanım zarfı

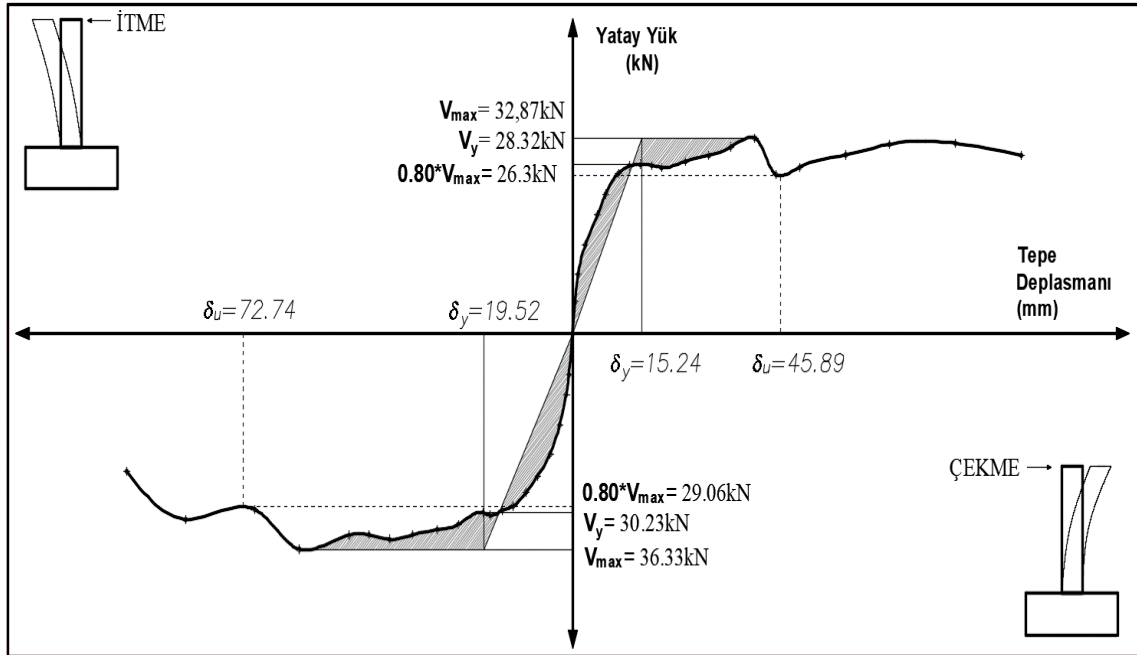


Şekil 4.94. UK20-%10 numunesine ait kümülatif toplam tüketilen enerji grafiği



Şekil 4.95. UK20-%10 numunesinin rijitlik azalımı grafiği

UK20-%10 numunesinin süneklik parametrelerinin gösterildiği grafik Şekil 4.96'de verilmiştir. Çizelge 4.24'de ise süneklik değerleri tablo halinde özetlenmiştir.



Şekil 4.96. UK20-%10 numunesinin süneklik grafiği

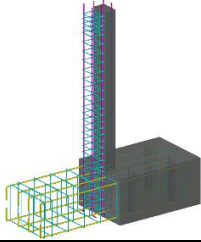
Çizelge 4.24. UK20-%10 numunesinin çatlak ve hasar oluşumu

UK20-%10	V_y (kN)	$0.8*V_{max}$ (kN)	V_{max} (kN)	Δ_y (mm)	Δ_u (mm)	μ (Δ_u/Δ_y)	$\mu_{ort.}$	Yatay Ötelenme Oranı (Δ/L) (%)
İtme	28.32	26.30	32.87	15.24	45.89	3.01	3.37	3.06
Çekme	-30.23	-29.06	-36.33	-19.52	-72.74	3.73		-4.85

4.1.9. Deney Numunesi-9 (YFC20-%10)

Çalışma kapsamında dokuzuncu olarak test edilen numune, YFC20-%10 isimli numunedir. YFC 20-%10 isimli numune, çimentonun yerine, çimento ağırlığının %20'si kadar yüksek fırın cürufu (YFC) ilave edilmiş, YFC20 serisine ait 3 adet numuneden ağırlıkça %10 seviyesinde korozyon hasarına maruz bırakılan numunedir. YFC20-%10 isimli numuneye ait parametrik değerler Çizelge 4.25'de özetlenmiştir.

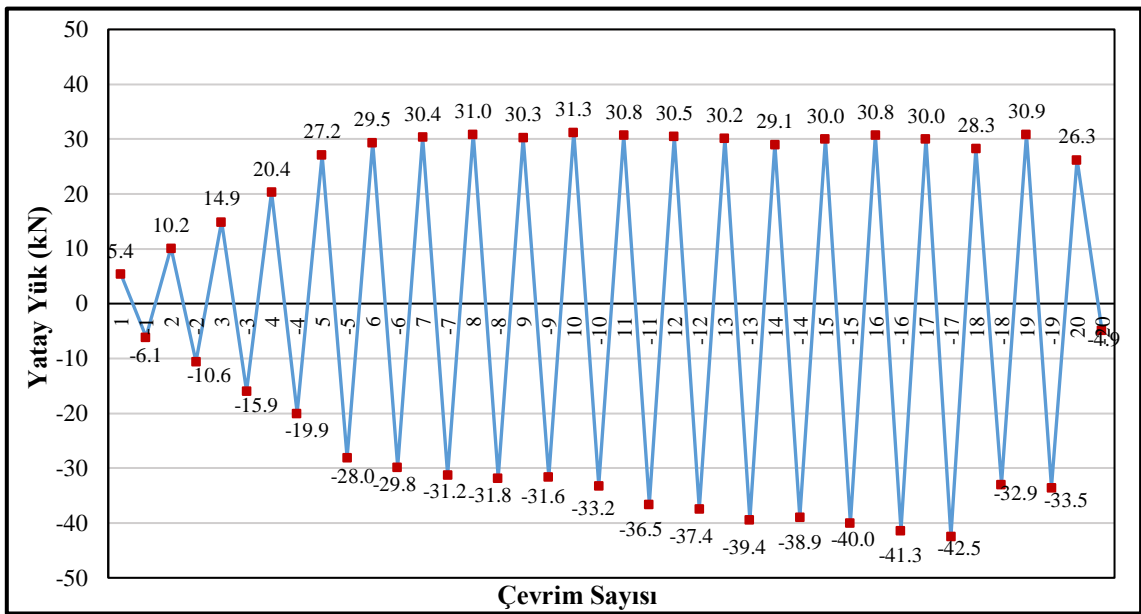
Çizelge 4.25. YFC20-%10 numunesinin parametrik özellikleri

Deney Numunesi No	Numune görünümü	Mineral Katkı Türü (1 m ³ için) (kg)			Ortalama Silindir Basınç Dayanımı (MPa)	Korozyon Seviyesi (%)
		CEM I 42.5R	UK	YFC		
Deney-9 YFC20-%10 Yüksek Fırın Cürufu Seri		224	-	56	31.43	10

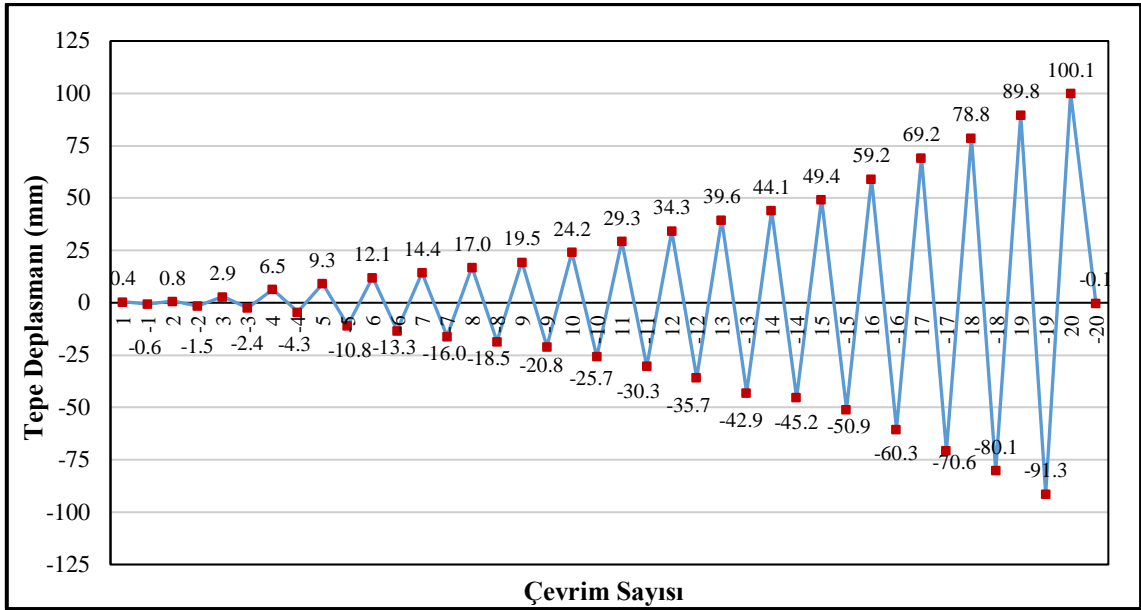
Deney elemanının tersinir-tekrarlanır yatay yükleme altında test edilmeden hemen önce ki, yatay yükleme deney düzeneğine yerleştirilmiş hali Şekil 4.97'de gösterilmiştir. Şekil 4.98'da deney elemanına ait yük geçmişi grafiği, Şekil 4.99'da deplasman geçmişi grafiği verilmiştir.



Şekil 4.97. YFC20-%10 numunesinin deney öncesi görünümü



Şekil 4.98. YFC20-%10 deney numunesinin yük geçmişi grafiği



Şekil 4.99. YFC20-%10 deney numunesinin deplasman geçmişi grafiği

Şekil 4.98'deki yükleme geçmişi grafiğinden de görüldüğü gibi 6. çevrime kadar ± 5 kN yük artırımını uygulanmış ve sonraki çevrimlerde deplasman kontrollü yüklemeye geçilmiştir. Deplasman kontrollü yüklemeye ise 20 mm kadar 2.5 mm, 50 mm'ye kadar 5 mm deplasman artırımını uygulanmış ve 50 mm'den sonra 10 mm'lik deplasman artırımları ile deneye devam edilmiştir. Yük geçmişi grafiği incelendiğinde, 6. çevrimde deneysel numunenin ideal akma noktasına ulaştığı görülmektedir. İlerleyen çevrimlerde yatay yükte artış olmadığından deplasman kontrollü olarak göçme konumuna çekme donatısında meydana gelen kopma ile ulaşılmıştır. Deney aşamasında her bir çevrimde gözlemlenen davranış Çizelge 4.26'da verilmiştir.

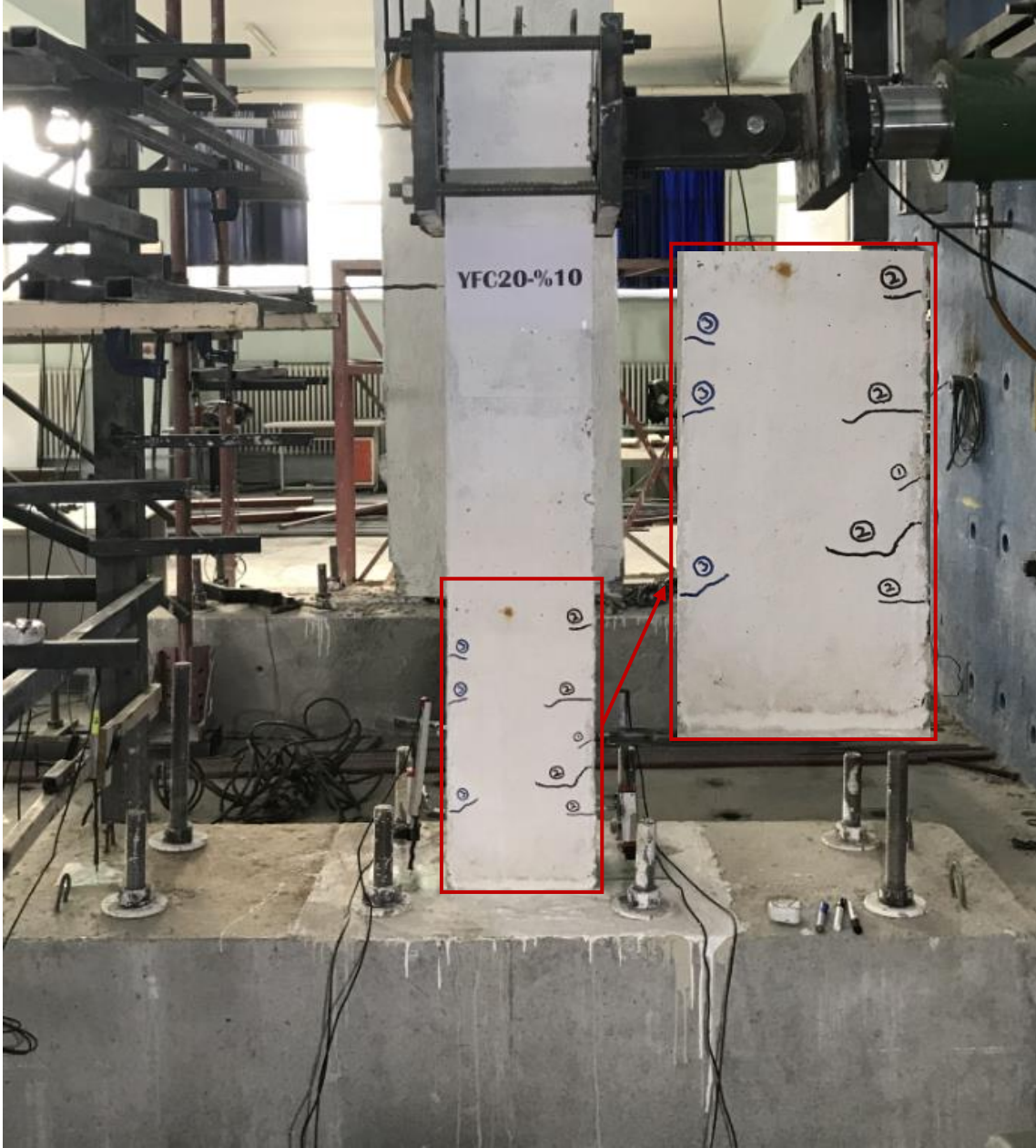
Çizelge 4.26. YFC20-%10 numunesinde çatlak ve hasar oluşumları

Çevrim No (+, itme) (-, çekme)	Maksimum Yatay Yük (kN)	Maksimum Tepe Deplasmanı (mm)	Numunede Gözlenen Çatlak ve Hasar Oluşumu
1	5.42	0.45	Deneyin ilk iki çevriminde herhangi bir çatlak gözlemlenmemiştir.
-1	-6.10	-0.57	
2	10.17	0.76	*İtmede ilk çatlak meydana geldi. Kolon-temel birleşiminden itibaren 30 cm yüksekliğinde bir adet çatlak meydana gelmiştir.
-2	-10.55	-1.50	-----
3	14.93	2.92	Kolon-temel birleşiminden itibaren 16, 25, 39 ve 54 cm yüksekliğinde dört adet çatlak meydana gelmiştir.

Çevrim No (+, itme) (-, çekme)	Maksimum Yatay Yük (kN)	Maksimum Tepe Deplasmanı (mm)	Numunede Gözlenen Çatlak ve Hasar Oluşumu
-3	-15.93	-2.42	*Çekmede ilk çatlak meydana geldi. Kolon-temel birleşiminden itibaren 16, 38 ve 48 cm yüksekliğinde 3 adet yeni çatlak meydana gelmiştir.
4	20.37	6.49	Kolon-temel birleşiminden itibaren 84 cm yüksekliğinde yeni çatlak meydana gelmiştir. Daha önceki yüklemelerde meydana gelen çatlaklar ilerlemiştir.
-4	-19.95	-4.34	Kolon-temel birleşiminden itibaren 21, 32 cm yüksekliğinde ve kolon temel birleşiminde 3 adet yeni çatlak meydana gelmiştir. 8 ve 16 cm 2 nolu çatlaklar arasında aderans çatlağı oluşmuştur.
5	27.17	9.27	Kolon-temel birleşiminden itibaren 8 ve 74 cm yüksekliğinde iki adet yeni çatlak oluştu ve daha önce oluşan çatlakların boyları uzamıştır. *Deney numunesi akma konumuna ulaşmıştır.
-5	-28.05	-10.79	Kolon-temel birleşiminden itibaren 8, 56, 74 ve 86 cm yüksekliğinde dört adet yeni çatlak oluştu ve daha önce oluşan çatlakların boyları uzamıştır. *Deney numunesi akma konumuna ulaşmıştır.
Deplasman Kontrollü Yüklemeye Geçilmiştir.			
6	29.45	12.11	Kolon-temel birleşiminden itibaren 65 cm yüksekliğinde yeni çatlak oluştu.
-6	-29.77	-13.26	3 ve 7 nolu çatlaklar arasındaki boyuna çatlak birleşmiştir.
7	30.41	14.40	Daha önce oluşan çatlakların boyları uzadı ve kolon temel birleşiminde oluşan çatlaklar birleşmiştir.
-7	-31.20	-15.96	Daha önce oluşan çatlakların boyları uzadı ve kolon temel birleşiminde oluşan çatlaklar birleşmiştir.
8	30.95	17.03	Kolon-temel birleşiminden itibaren 48 ve 49 cm yüksekliğinde yeni çatlak meydana gelmiştir.
-8	-31.77	-18.53	Daha önce meydana gelen çatlakların boyları uzamıştır ve çatlaklar çatallaşmıştır.
9	30.31	19.49	Daha önce meydana gelen çatlakların boyları uzamıştır.
-9	-31.56	-20.85	-----
10	31.31	24.15	Kolon temel birleşiminde itmede ve çekmede meydana gelen çatlaklar birleşmiştir.
-10	-33.18	-25.70	-----
11	30.78	29.31	Önceki yüklemelerde meydana gelen çatlakların boyları uzamaktadır. Çatlak genişlikleri artmaktadır.
-11	-36.52	-30.32	Önceki yüklemelerde meydana gelen çatlakların boyları uzamaktadır. Çatlak genişlikleri artmaktadır.
12	30.51	34.30	Çatlakların boyları uzayarak itme ve çekme çatlakları birleşmiştir. Ayrıca meydana gelen çatlaklar çatallaşarak ilerlemektedir.

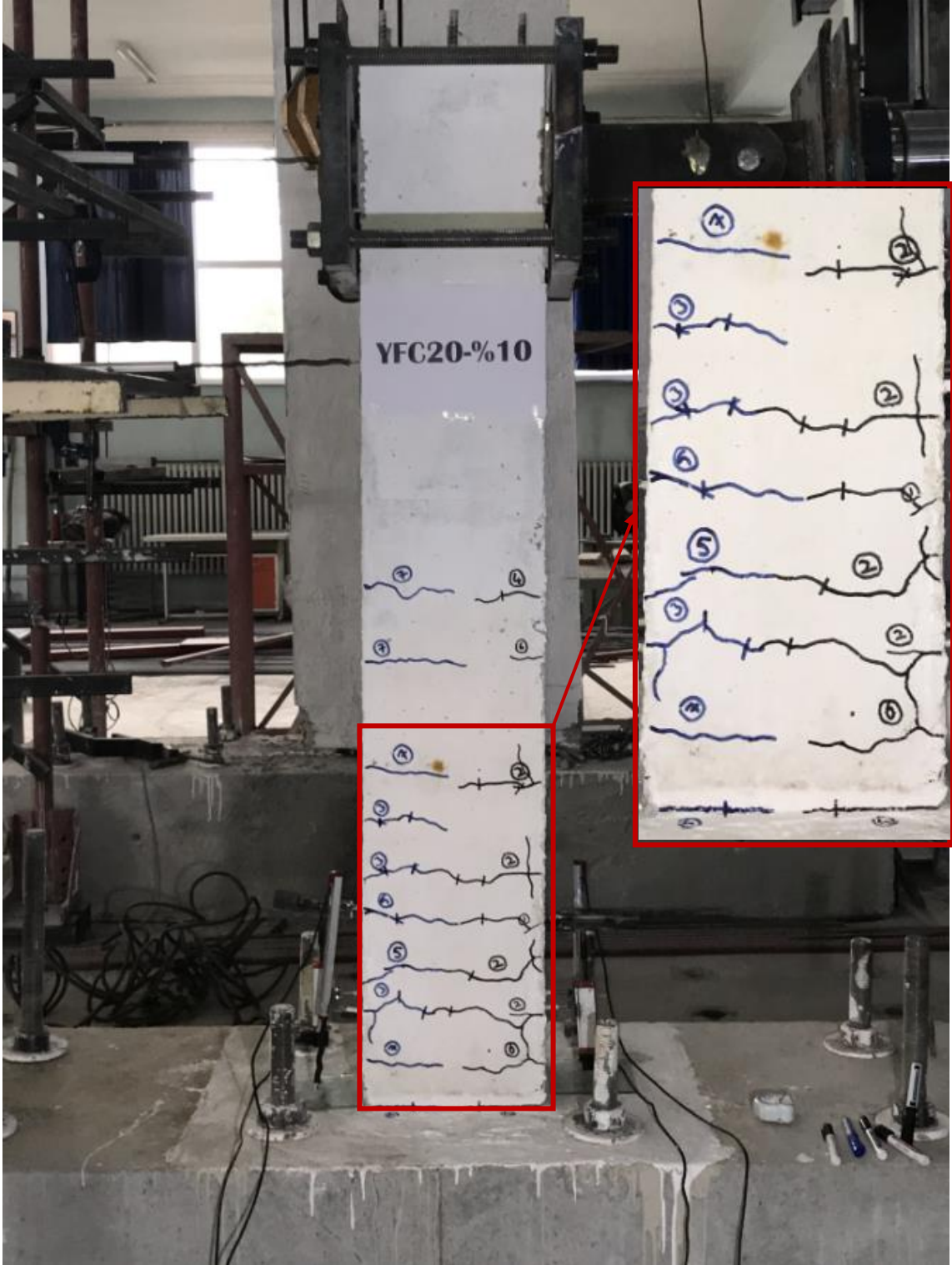
Çevrim No (+, itme) (-, çekme)	Maksimum Yatay Yük (kN)	Maksimum Tepe Deplasmanı (mm)	Numunede Gözlenen Çatlak ve Hasar Oluşumu
-12	-37.41	-35.74	Çatlakların boyları uzayarak itme ve çekme çatlakları birleşmiştir. Ayrıca meydana gelen çatlaklar çatallaşarak ilerlemektedir.
13	30.16	39.57	Basınç bölgesinde ezilmeler başlamıştır.
-13	-39.37	-42.91	Basınç bölgesinde ezilmeler başlamıştır.
14	29.10	44.10	Plastik mafsal bölgesinde oluşan yatay çatlaklar temel doğru ilerlemektedir.
-14	-38.94	-45.16	Plastik mafsal bölgesinde oluşan yatay çatlaklar temel doğru ilerlemektedir.
15	30.04	49.43	Basınç bölgesinde meydana gelen ezilmelerden dolayı beton dökülmeye başlamıştır.
-15	-39.96	-50.86	Basınç bölgesinde meydana gelen ezilmelerden dolayı beton dökülmeye başlamıştır.
16	30.77	59.21	Basınç bölgesinde meydana gelen ezilmelerden dolayı beton dökülmeye başlamıştır.
-16	-41.32	-60.34	Basınç bölgesinde meydana gelen ezilmelerden dolayı beton dökülmeye başlamıştır.
17	30.04	69.23	Basınç bölgesinde meydana gelen dökülmelerden dolayı, basınç donatısında burkulma oluşmuştur.
-17	-42.45	-70.58	-----
18	28.34	78.76	Çekme çevriminde çekme donatısından bir tanesinde kopma meydana gelmiştir.
-18	-32.94	-80.11	-----
19	30.85	89.77	Basınç bölgesinde meydana gelen ezilmelerden dolayı beton dökülmüştür.
-19	-33.52	-91.25	Basınç bölgesinde meydana gelen ezilmelerden dolayı beton dökülmüştür.
20	26.29	100.10	İkinci çekme donatısında da kopma meydana geldiği için numune göçme konumuna ulaşmıştır. *Deneyde yüklemeye son verilmiştir.
-20	-4.85	-0.08	Deplasman sıfırlanarak numune başlangıç konumuna alınmıştır.

DeneySEL elamanda ilk eğilme çatlağı +2. itme çevriminde yaklaşık 10.17 kN'luk yatay yükte meydana gelmiştir. Bu yük değerinde numune, yaklaşık 0.76 mm'lik bir tepe deplasmanına ve % 0.05'lik bir yanal ötelenme oranına sahiptir. DeneySEL elemanda itmede ve çekmede gözlemlenen ilk çatlaklar Şekil 4.100'de gösterilmiştir.



Şekil 4.100. YFC20-%10 deney numunesinde oluşan ilk çatlaklar

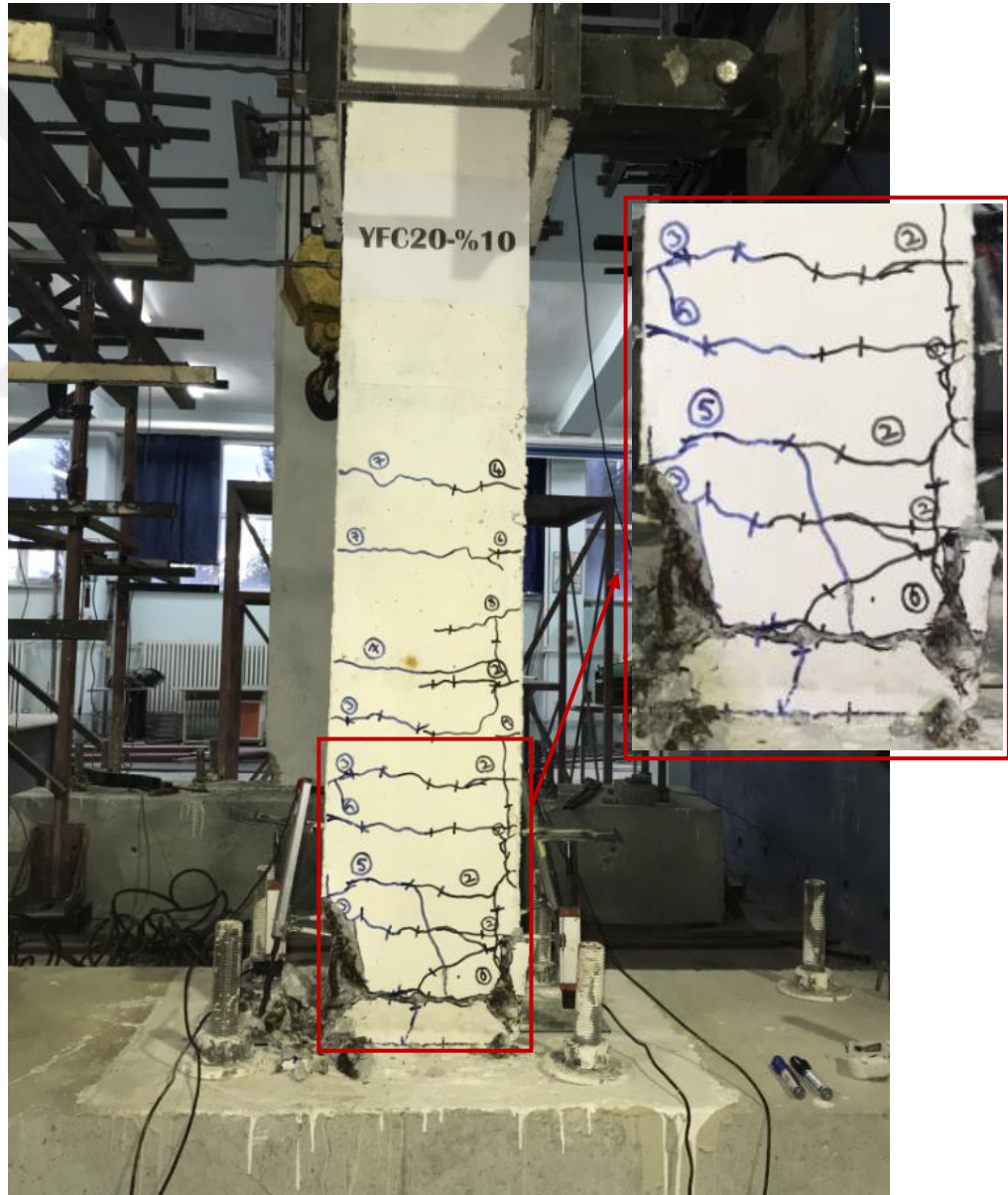
YFC20-%10 deney elemanı akma konumuna yaklaşık % 0.80 ötelenme oranında ve 29.45 kN yatay yük değerinde ulaşmıştır. Bu yükte deneysel numunenin tepe deplasmanı 12.11 mm'dir. Bu yükleme adımında temel-kolon birleşim bölgesinde çatlaklar oluşmuş, ayrıca plastik mafsallarda itme ve çekme çevrimlerinde oluşan simetrik yatay eğilme çatlakları çatallaşmaya başlamıştır. Şekil 4.101'de deneysel numunenin akma konumunda gözlenen çatlaklar gösterilmiştir.



Şekil 4.101. YFC20-%10 deney numunesinde akma konumunda gözlenen çatlaklar

YFC20-%10 numunesi, 20. geri yükleme çevriminde, ikinci çekme donatısında meydana gelen kopma ile yatay yük taşıma kapasitesine ulaşmıştır. Bu çevrimde numune, -26.29 kN yatay yük, -100.10 mm tepe deplasmanına sahiptir. Deneysel eleman göçme

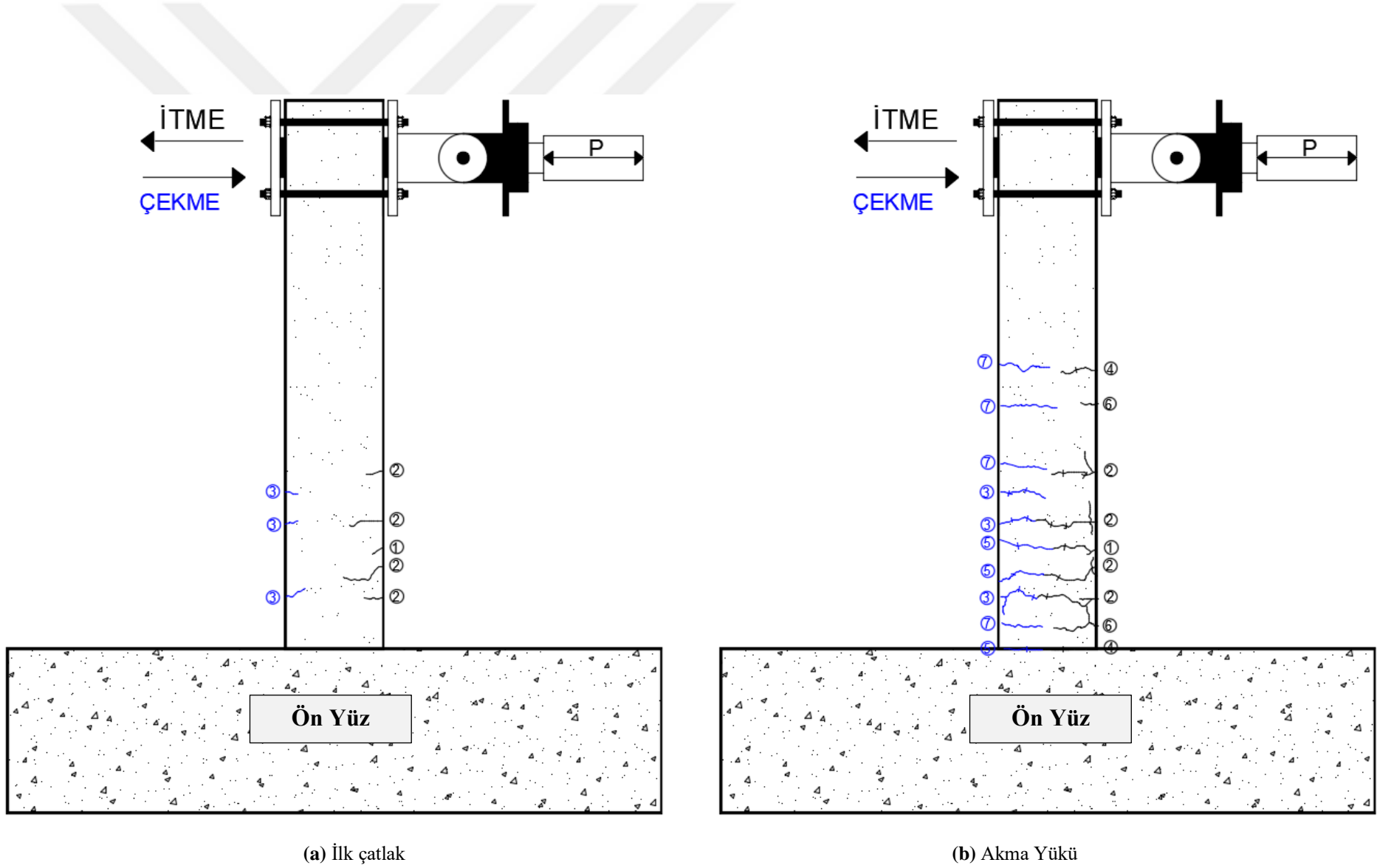
konumuna ulaştığında, numunenin basınç bölgesinde ki donatılar burkulmuş ve beton örtüsü dökülmüştür. Çekme çevriminde, çekme bölgesindeki ilk donatının kopması sonucu yatay yükte ani bir düşüş meydana gelmiştir. Daha sonra numunenin kendini toplamıştır ve diğer donatının da kopması sonucu deney sonlandırılmıştır. Deneysel numunenin deney sonu görünümü Şekil 4.102’de gösterilmiştir. Numunede deney sonuna kadar eğilme davranışı gözlemlenmiş olup, plastik mafsal bölgesindeki her iki yüzdeki çatlaklar birleştikten sonra 45° eğimle kolon-temel birleşimine doğru ilerlemişlerdir. YFC20-%10 deney elemanının ilk çatlak, akma yükü, maksimum yük ve göçme durumunun çatlak krokisi bilgisayar programında işlenerek, hasar oluşumu incelenmiştir. Deneysel numunenin çatlak krokisi Şekil 4.103’de gösterilmiştir.



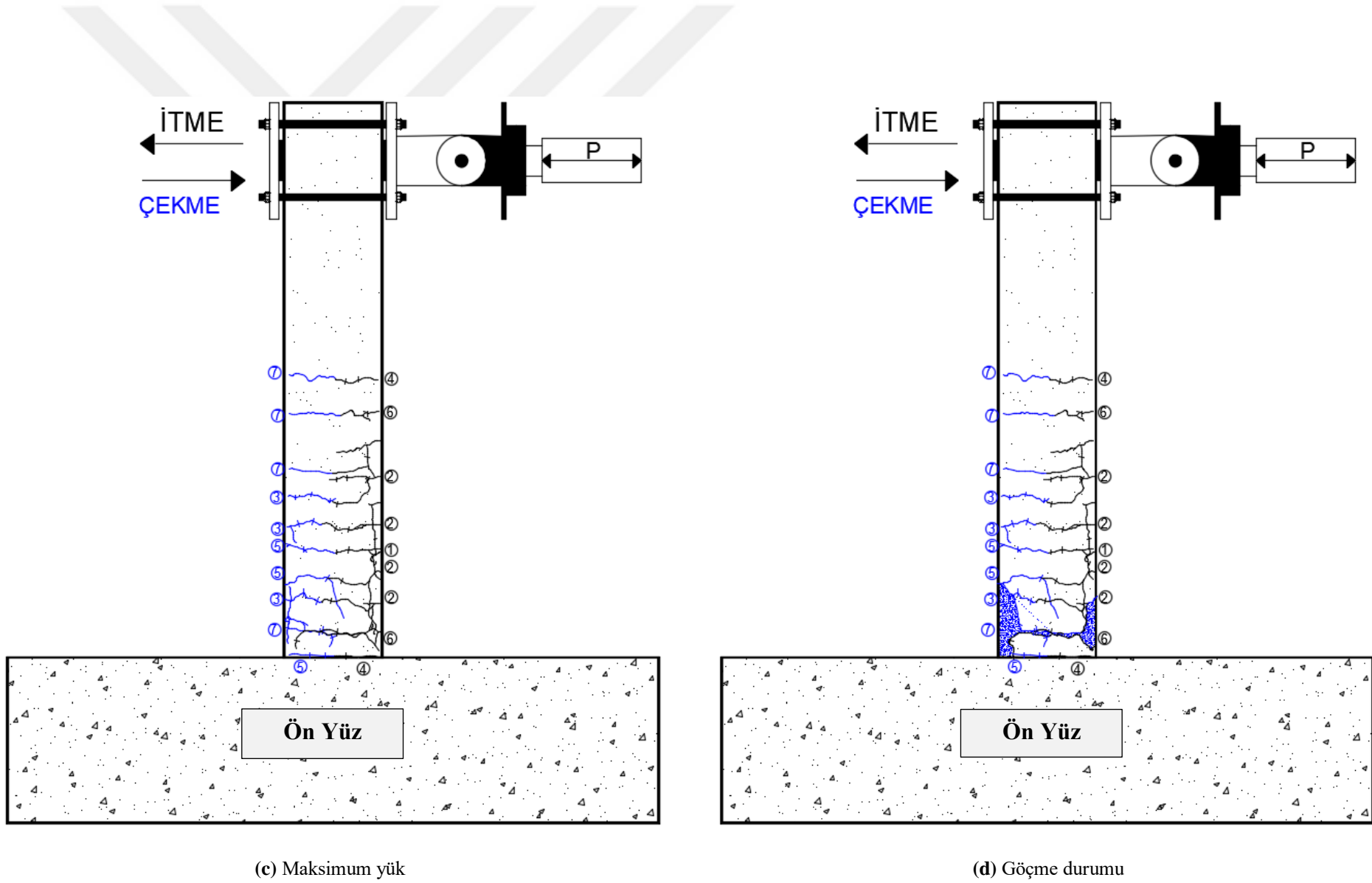
Şekil 4.102. YFC20-%10 numunesinin deney sonu görünümü



Şekil 4.102. YFC20-%10 numunesinin deney sonu görünümü (devamı)(plastik mafsalsal bölgesi)



Şekil 4.103. YFC20-%10 numunesinin çatlak krokisi

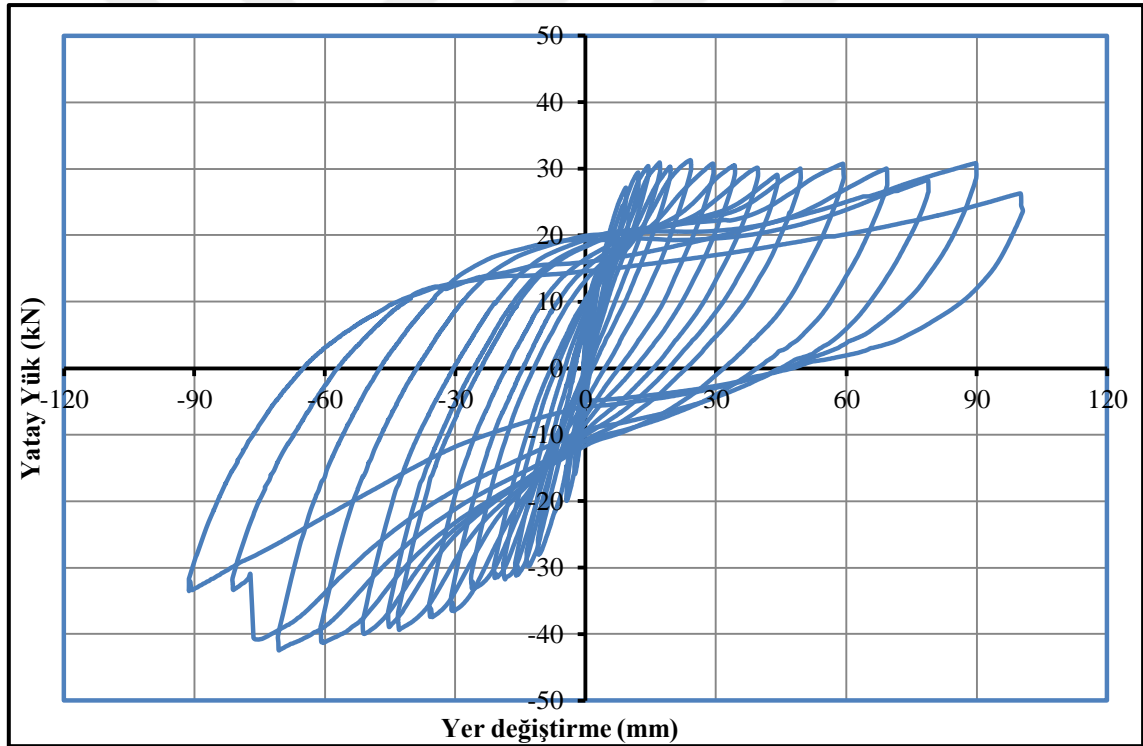


Şekil 4.103. YFC20-%10 numunesinin çatlak krokisi (devamı)

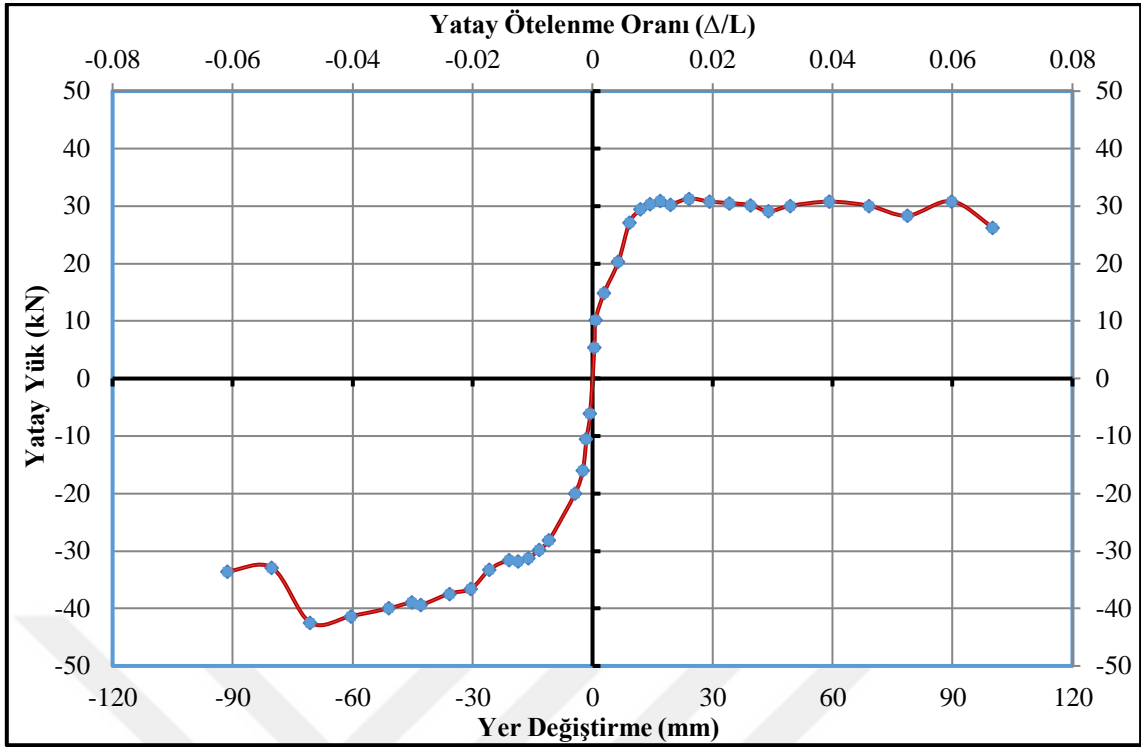
Deneyler sırasında yük hücresi ve yer değiştirme ölçerlerden alınan veriler yardımıyla, numunelerin davranışlarını incelemek için çeşitli grafikler çizilmiştir. Şekil 4.104’de YFC20-%10 numunesine ait yatay yük- yer değiştirme çevrimsel histerezis ilişkisi, Şekil 4.105’de ise her bir çevrimdeki maksimum yatay yük ve bu yüke karşılık gelen yer değiştirmelerin işaretlenmesi ve birleştirilmesi ile elde edilen dayanım zarfı görölmektedir.

YFC20-%10 numunesinin, yatay yük-yer değiştirme eğrisinin altında kalan alanların hesaplanması ve ardışık toplanması ile numunenin kümülatif toplam enerji tüketme kapasitesi-ötelenme oranı grafiği çizilmiş ve Şekil 4.106’da verilmiştir.

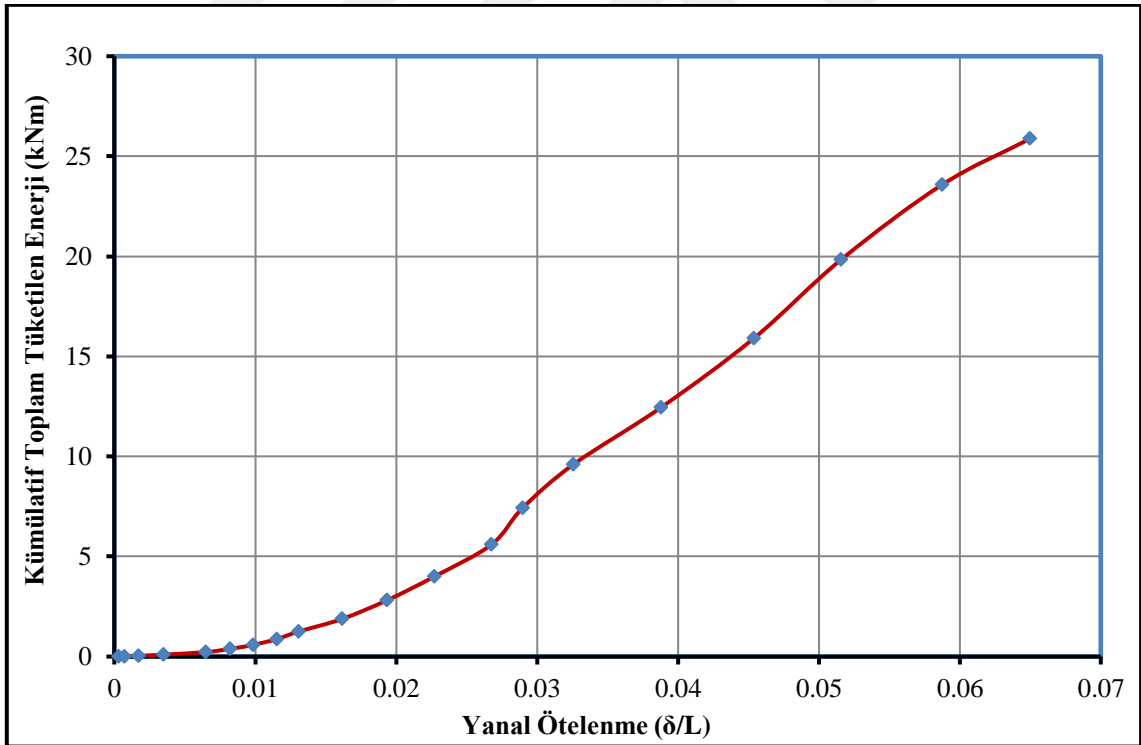
YFC20-%10 numunesine ait rijitlik azalımı grafiği Şekil 4.107’de gösterilmiştir. Rijitlik grafiğinde, itme çevrimleri için elde edilen değerler grafiğin sağ tarafında, çekme çevrimleri için hesaplanan değerler grafiğin solunda yer almaktadır.



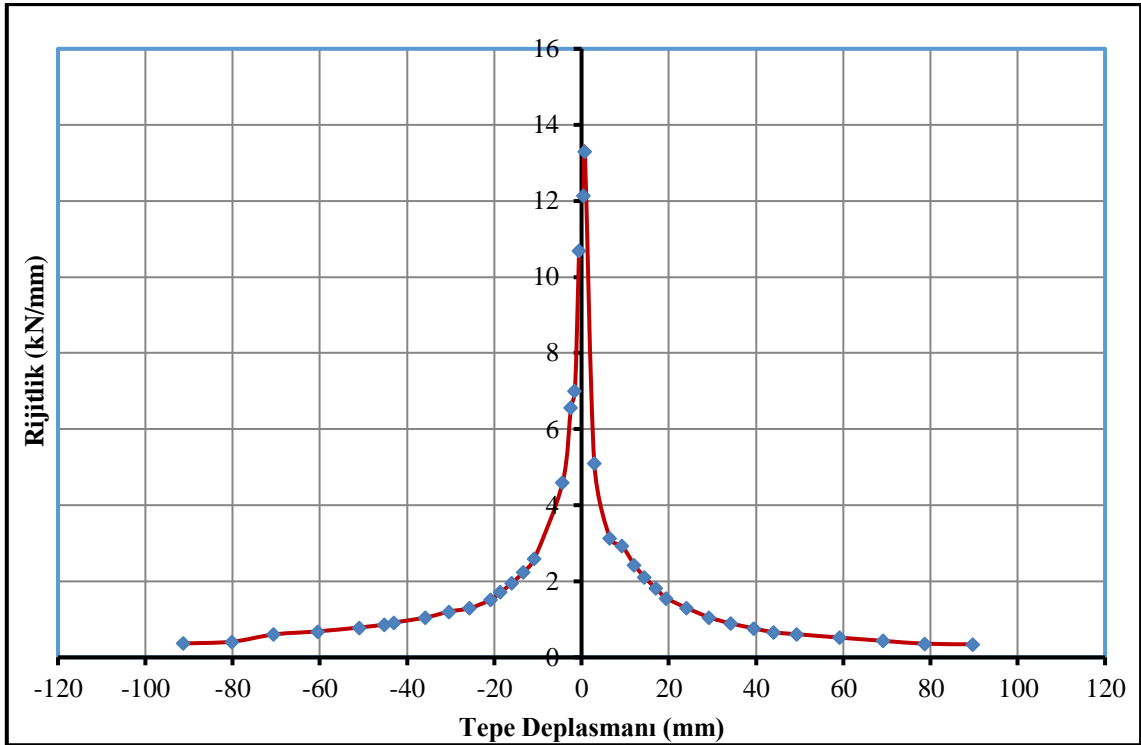
Şekil 4.104. YFC20-%10 numunesinin yatay yük-tepe deplasmanı histerezis eğrisi



Şekil 4.105. YFC20-%10 numunesine ait dayanım zarfı

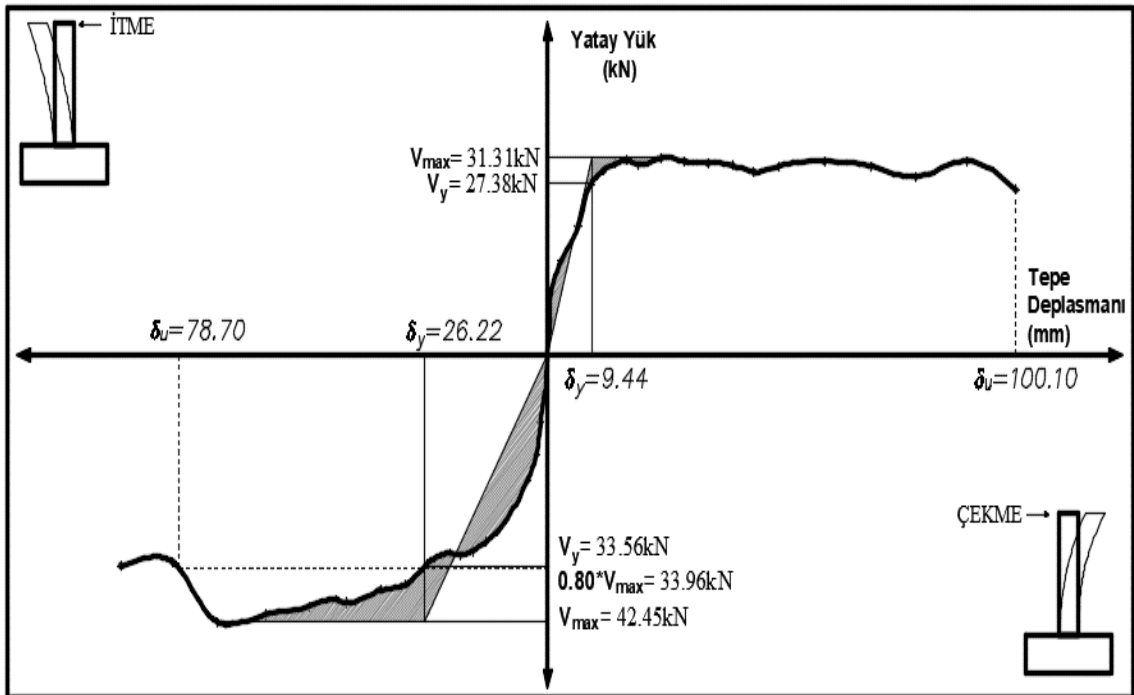


Şekil 4.106. YFC20-%10 numunesine ait kümülatif toplam tüketilen enerji grafiği



Şekil 4.107. YFC20-%10 numunesinin rijitlik azalım grafiği

YFC20-%10 numunesinin süneklik parametrelerinin gösterildiği grafik Şekil 4.108'de verilmiştir. Çizelge 4.27'de ise süneklik değerleri tablo halinde özetlenmiştir.



Şekil 4.108. YFC20-%10 numunesinin süneklik grafiği

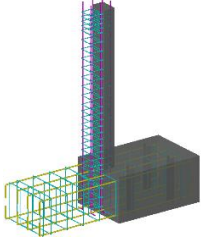
Çizelge 4.27. YFC20-%10 numunesinin çatlak ve hasar oluşumu

YFC20-%10	V_y (kN)	$0.8*V_{max}$ (kN)	V_{max} (kN)	Δ_y (mm)	Δ_u (mm)	μ (Δ_u/Δ_y)	$\mu_{ort.}$	Yatay Ötelenme Oranı (Δ/L) (%)
İtme	27.38	26.29	31.31	9.44	100.10	10.61	6.80	6.67
Çekme	-33.56	-33.96	-42.45	-26.22	-78.70	3.00		-5.25

4.1.10. Deney Numunesi-10 (YFC40-%10)

Çalışma kapsamında onuncu olarak test edilen numune, YFC40-%10 isimli numunedir. YFC40-%10 isimli numune, çimentonun yerine, çimento ağırlığının %40'si kadar yüksek fırın cürufu (YFC) ilave edilmiş, YFC40 serisine ait 3 adet numuneden ağırlıkça %10 korozyon hasarına maruz bırakılan numunedir. YFC40-%10 isimli numuneye ait parametrik değerler Çizelge 4.28'de özetlenmiştir.

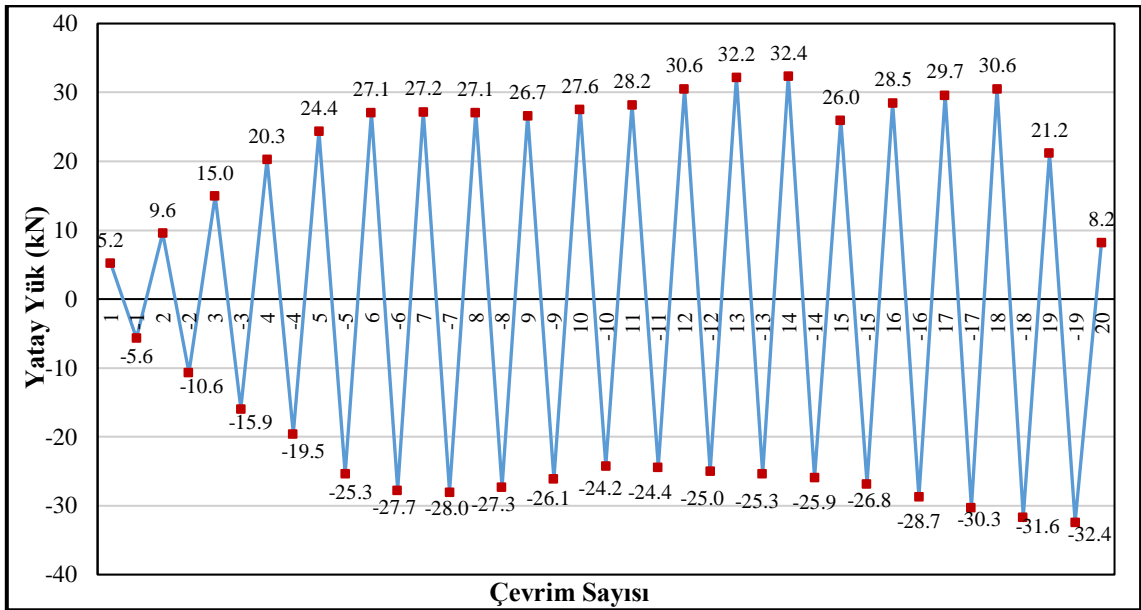
Çizelge 4.28. YFC40-%10 numunesinin parametrik özellikleri

Deney Numunesi No	Numune görünümü	Mineral Katkı Türü (1 m ³ için) (kg)			Ortalama Silindir Basınç Dayanımı (MPa)	Korozyon Seviyesi (%)
		CEM I 42.5R	UK	YFC		
Deney-10 YFC40-%10 Yüksek Fırın Cürufu Seri		168	-	112	34.95	10

Deney elemanının tersinir-tekrarlanır yatay yükleme altında test edilmeden hemen önce ki, yatay yükleme deney düzeneğine yerleştirilmiş hali Şekil 4.109'da gösterilmiştir. Şekil 4.100'de deney elemanına ait yük geçmişi grafiği, Şekil 4.101'de deplasman geçmişi grafiği verilmiştir.



Şekil 4.109. YFC40-%10 numunesinin deney öncesi görünümü



Şekil 4.100. YFC40-%10 deney numunesinin yük geçmişi grafiği

Çevrim No (+, itme) (-, çekme)	Maksimum Yatay Yük (kN)	Maksimum Tepe Deplasmanı (mm)	Numunede Gözlenen Çatlak ve Hasar Oluşumu
4	20.28	6.61	Kolon-temel birleşiminden itibaren 54 ve 73 cm yüksekliğinde iki adet yeni çatlak meydana gelmiştir. 26cm 1 nolu çatlağın alt ve üstüne doğru boyuna aderans çatlağı oluşmuştur. Daha önceki yüklemelerde meydana gelen çatlaklar ilerlemiştir.
-4	-19.51	-4.45	Kolon-temel birleşiminden itibaren 4, 39, 52 ve 56 cm yüksekliğinde ve kolon temel birleşiminde 3 adet yeni çatlak meydana gelmiştir.
5	24.39	9.97	Kolon-temel birleşiminden itibaren 4 ve 96 cm yüksekliğinde ve kolon temel birleşiminde üç adet yeni çatlak meydana gelmiştir. 15 ve 27cm 1 nolu çatlak aderans çatlağı olarak ilerlemiştir. *Deney numunesi akma konumuna ulaşmıştır.
-5	-25.35	-7.92	Kolon-temel birleşiminden itibaren 48, 59 ve 76 cm yüksekliğinde üç adet yeni çatlak oluştu ve ayrıca itme ve çekmede oluşan yatay çatlaklar birleşmiştir. *Deney numunesi akma konumuna ulaşmıştır.
Deplasman Kontrollü Yüklemeye Geçilmiştir.			
6	27.09	12.55	Kolon-temel birleşiminden itibaren 4cm yüksekliğinde oluşan çatlak aşağı yönlü hareket ederek temel çatlağı ile birleşmiştir.
-6	-27.72	-12.72	Kolon-temel birleşiminde oluşan çatlaklar birleşmiştir ve daha önce oluşan çatlakların boyları uzamıştır.
7	27.24	15.17	Daha önce oluşan çatlakların boyları uzamıştır.
-7	-27.97	-15.66	Kolon-temel birleşiminden itibaren 95 cm yüksekliğinde yeni çatlak meydana gelmiştir. Daha önce oluşan çatlakların boyları uzamıştır.
8	27.12	17.86	Daha önce meydana gelen çatlakların boyları uzamıştır ve çatlaklar çatallaşmıştır.
-8	-27.29	-18.37	4 cm oluşan itme ve çekme çatlakları birleşmiştir.
9	26.65	20.01	Kolon temel birleşiminde itmede ve çekmede meydana gelen çatlaklar birleşmiştir.
-9	-26.08	-19.76	Daha önceki yüklemelerde meydana gelen çatlaklar düşey yönde ilerlemeye başlamıştır.
10	27.58	25.01	Daha önceki yüklemelerde meydana gelen çatlaklar düşey yönde ilerlemeye başlamıştır.
-10	-24.17	-25.64	Kolon temel birleşiminde itmede ve çekmede meydana gelen çatlaklar birleşmiştir.
11	28.24	29.81	Basınç bölgesinde ezilmeler başlamıştır. Ayrıca meydana gelen çatlaklar çatallaşarak ilerlemektedir.
-11	-24.36	-30.50	Basınç bölgesinde ezilmeler başlamıştır. Ayrıca meydana gelen çatlaklar çatallaşarak ilerlemektedir.
12	30.55	35.12	Önceki yüklemelerde meydana gelen çatlaklar çatallaşarak ilerlemektedir.
-12	-24.97	-35.40	-----

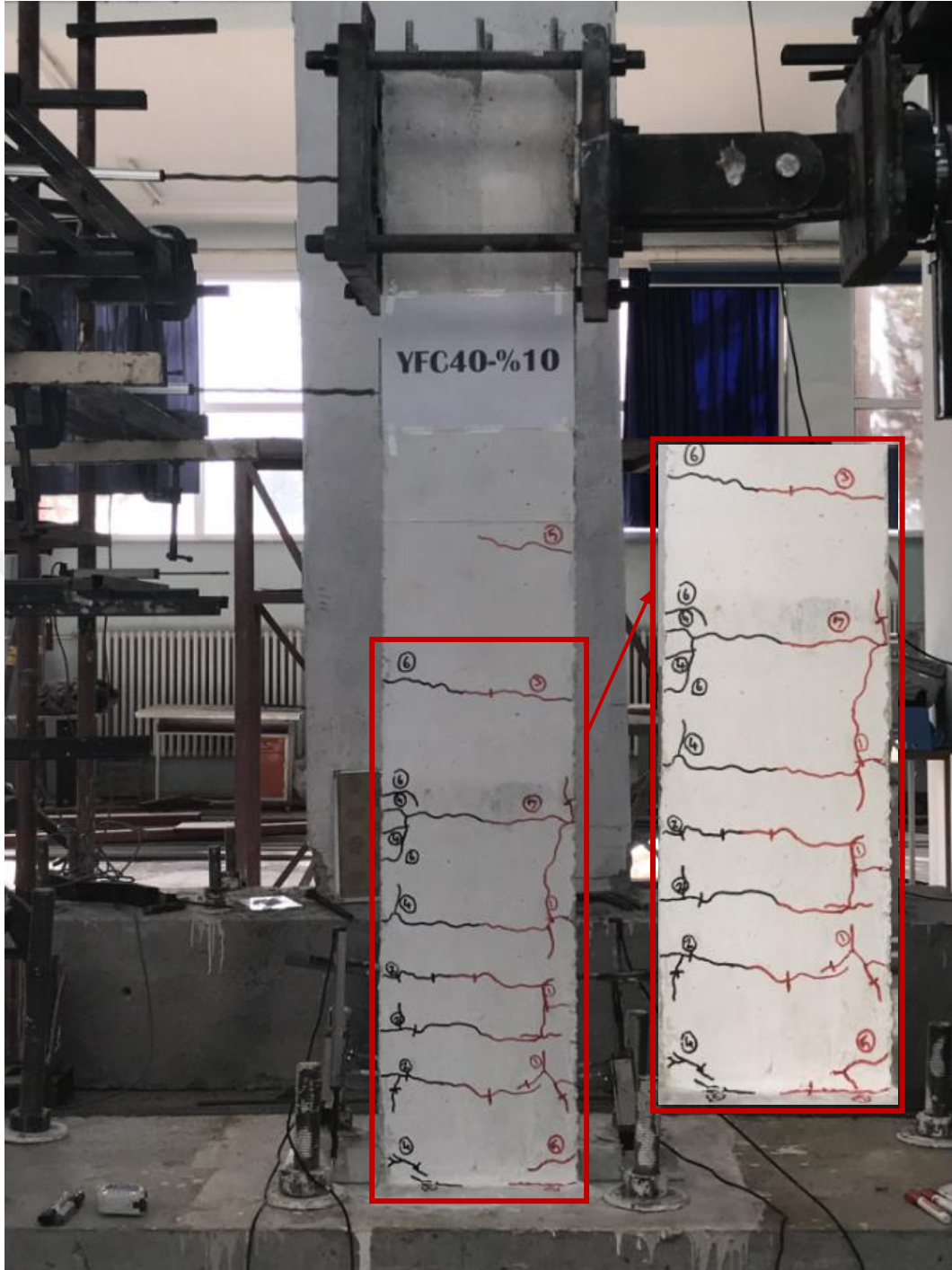
Çevrim No (+, itme) (-, çekme)	Maksimum Yatay Yük (kN)	Maksimum Tepe Deplasmanı (mm)	Numunede Gözlenen Çatlak ve Hasar Oluşumu
13	32.23	39.97	Plastik mafsal bölgesinde oluşan yatay çatlaklar temel doğru ilerlemektedir.
-13	-25.35	-40.54	Plastik mafsal bölgesinde oluşan yatay çatlaklar temel doğru ilerlemektedir.
14	32.39	44.65	Basınç bölgesinde ezilmelerden dolayı boyuna çatlaklar meydana gelmiştir.
-14	-25.91	-45.76	Basınç bölgesinde ezilmelerden dolayı boyuna çatlaklar meydana gelmiştir.
15	25.99	50.05	-----
-15	-26.80	-50.56	Basınç bölgesinde meydana gelen ezilmelerden dolayı beton dökülmeye başlamıştır.
16	28.51	59.96	Basınç bölgesinde meydana gelen ezilmelerden dolayı beton dökülmeye başlamıştır.
-16	-28.70	-60.79	Basınç bölgesinde meydana gelen ezilmelerden dolayı beton dökülmeye başlamıştır.
17	29.66	69.87	-----
-17	-30.25	-71.03	-----
18	30.56	79.78	İtmede ilk donatıda kopma meydana gelmiştir.
-18	-31.63	-81.47	-----
19	21.21	90.01	İkinci çekme donatısında kopma meydana geldiği için numune göçme konumuna ulaşmıştır. *Deneyde yüklemeye son verilmiştir.
-19	-32.37	-92.16	-----
20	8.23	-0.02	Deplasman sıfırlanarak numune başlangıç konumuna alınmıştır.

Deneyel elamanda ilk eğilme çatlağı -3. itme çevriminde yaklaşık 14.98 kN'luk yatay yükte meydana gelmiştir. Bu yük değerinde numune, yaklaşık 3.43 mm'lik bir tepe deplasmanına ve % 0.22'lik bir yanal ötelenme oranına sahiptir. Deneyel elemanda itmede ve çekmede gözlemlenen ilk çatlaklar Şekil 4.102'de gösterilmiştir.



Şekil 4.102. YFC40-%10 deney numunesinde oluşan ilk çatlaklar

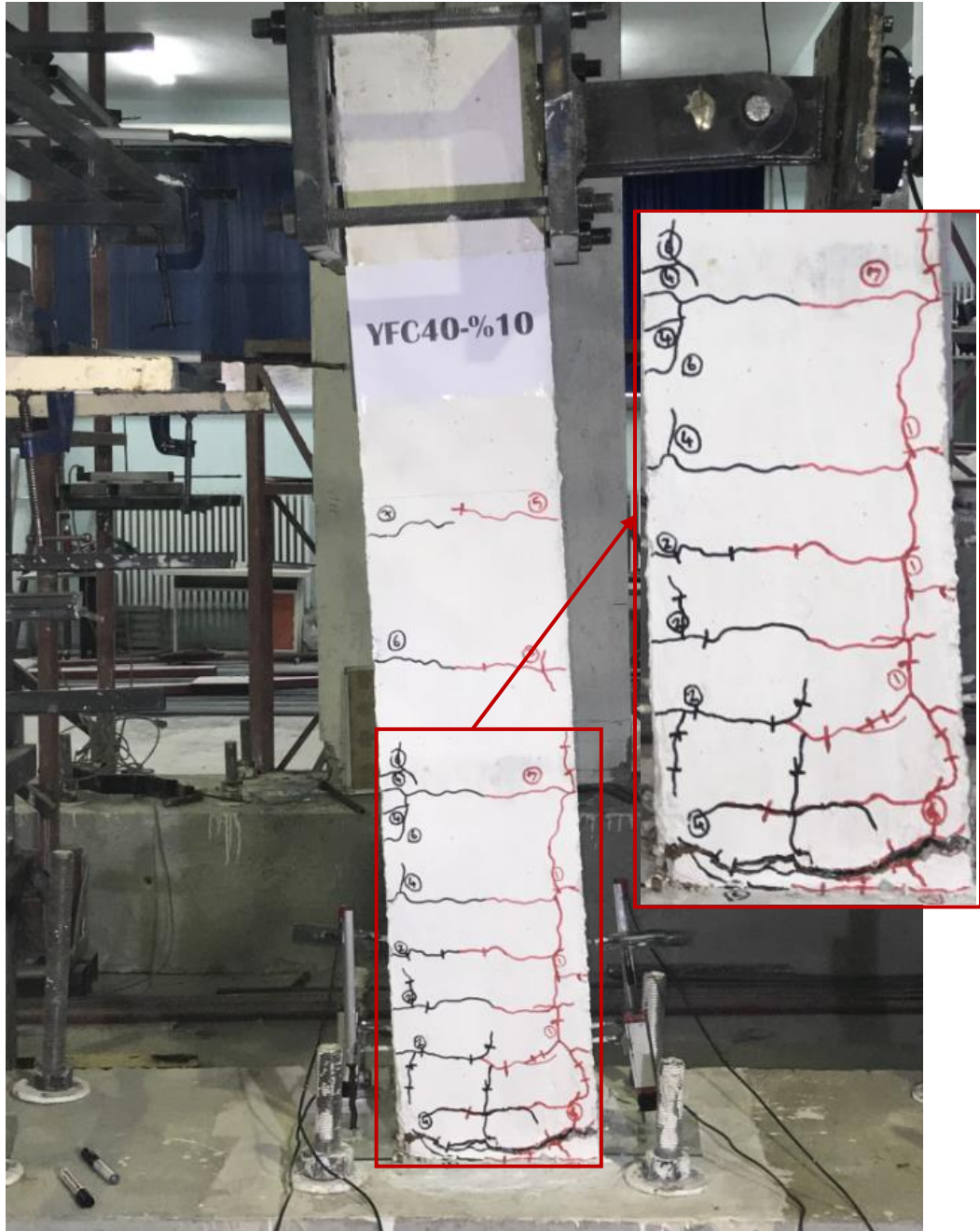
YFC40-%10 deney elemanı akma konumuna yaklaşık % 0.52 ötelenme oranında ve -25.35 kN yatay yük değerinde ulaşmıştır. Bu yükte deneysel numunenin tepe deplasmanı -7.92 mm'dir. Bu yükleme adımında temel-kolon birleşim bölgesinde çatlaklar oluşmuştur, ayrıca plastik mafsallarda itme ve çekme çevrimlerinde oluşan simetrik eğilme çatlakları çatallaşmaya başlamıştır. Şekil 4.103'de deneysel numunenin akma konumunda gözlenen çatlaklar gösterilmiştir.



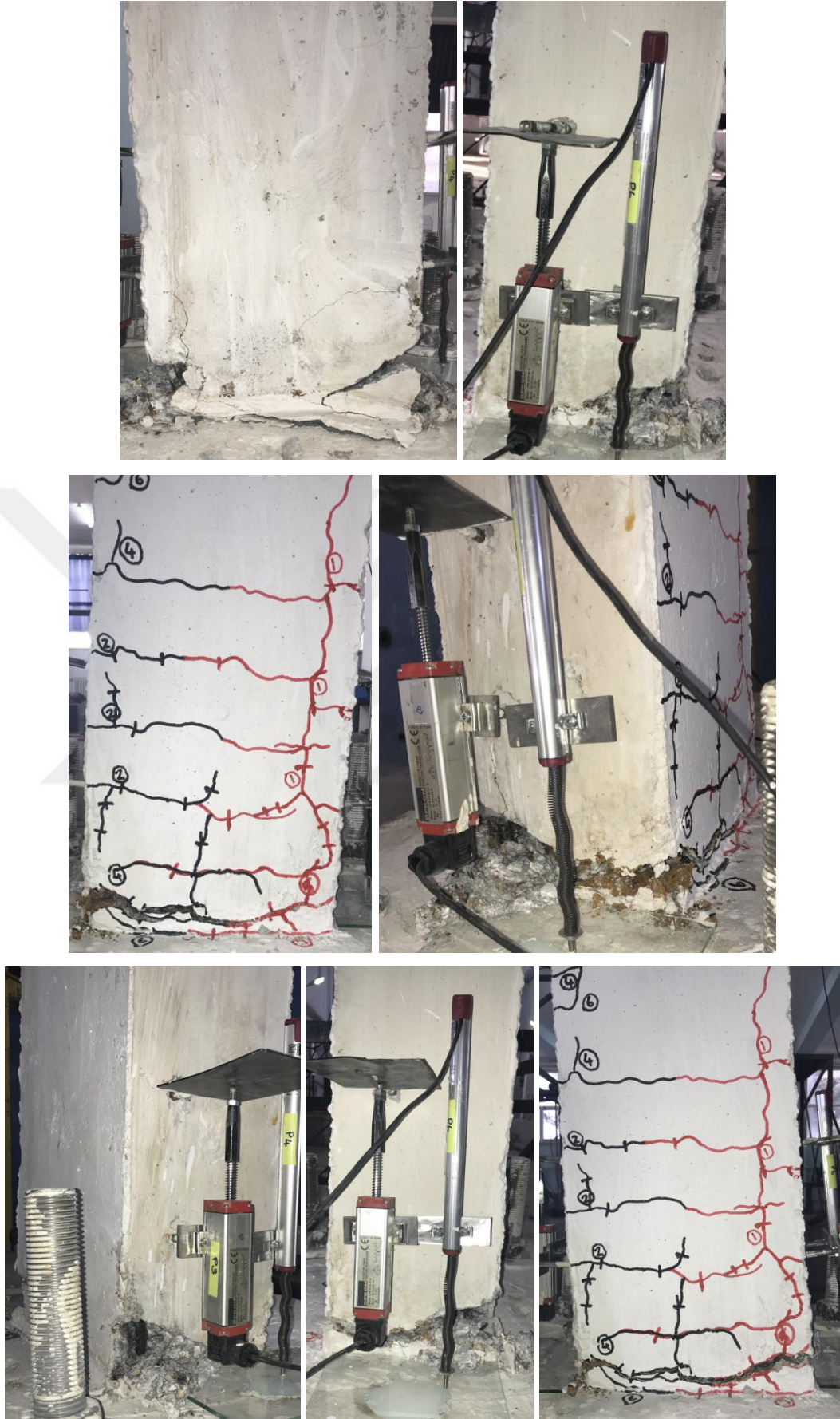
Şekil 4.103. YFC40-%10 deney numunesinde akma konumunda gözlenen çatlaklar

YFC40-%10 numunesi, 19. ileri çevriminde, çekme donatısında meydana gelen kopma ile yatay yük taşıma kapasitesine ulaşmıştır. Bu çevrimde numune, -21.21 kN yatay yük ve 90.01 mm tepe deplasmanına sahiptir. Deneysel eleman göçme konumuna ulaştığında, numunenin basınç bölgesinde ki donatılar burkulmuş ve beton örtüsü dökülmüştür. 17. itme çevriminde, çekme bölgesindeki ilk donatının kopması sonucu yatay yükte ani bir düşüş meydana gelmiştir. 19. itme çevriminde diğer çekme donatısı

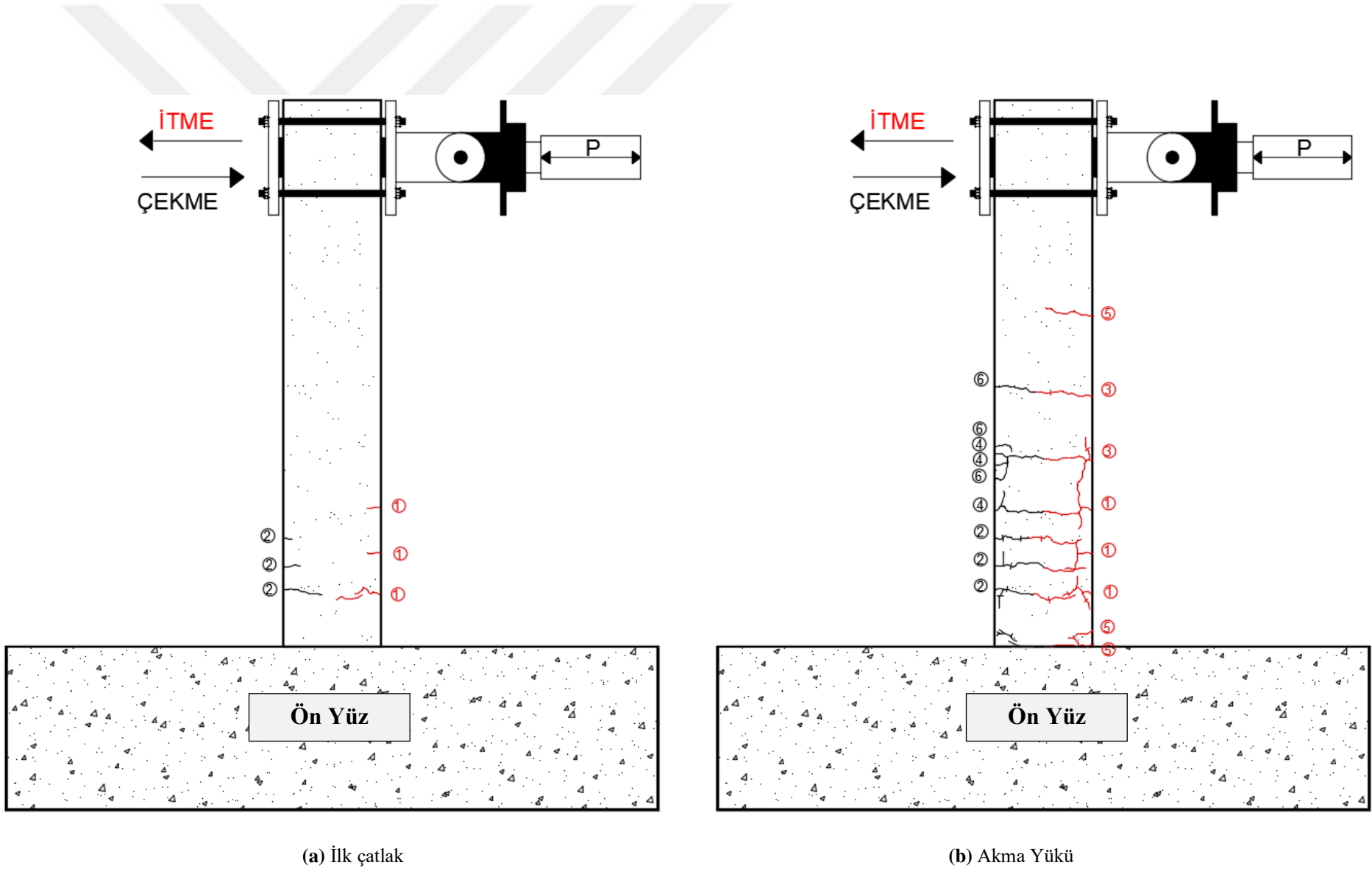
da kopmuştur. Daha sonra 20. çekme çevrimi de yapılarak deney sonlandırılmıştır. Deneysel numunenin deney sonu görünümü Şekil 4.104'de gösterilmiştir. Numunede deney sonuna kadar eğilme davranışı gözlemlenmiş olup, plastik mafsal bölgesindeki her iki yüzdeki çatlaklar birleştikten sonra 45° eğimle kolon-temel birleşimine doğru ilerlemişlerdir. YFC40-%10 deney elemanının ilk çatlak, akma yükü, maksimum yük ve göçme durumunun çatlak krokisi bilgisayar programında işlenerek, hasar oluşumu incelenmiştir. Deneysel numunenin çatlak krokisi Şekil 4.105'de gösterilmiştir.



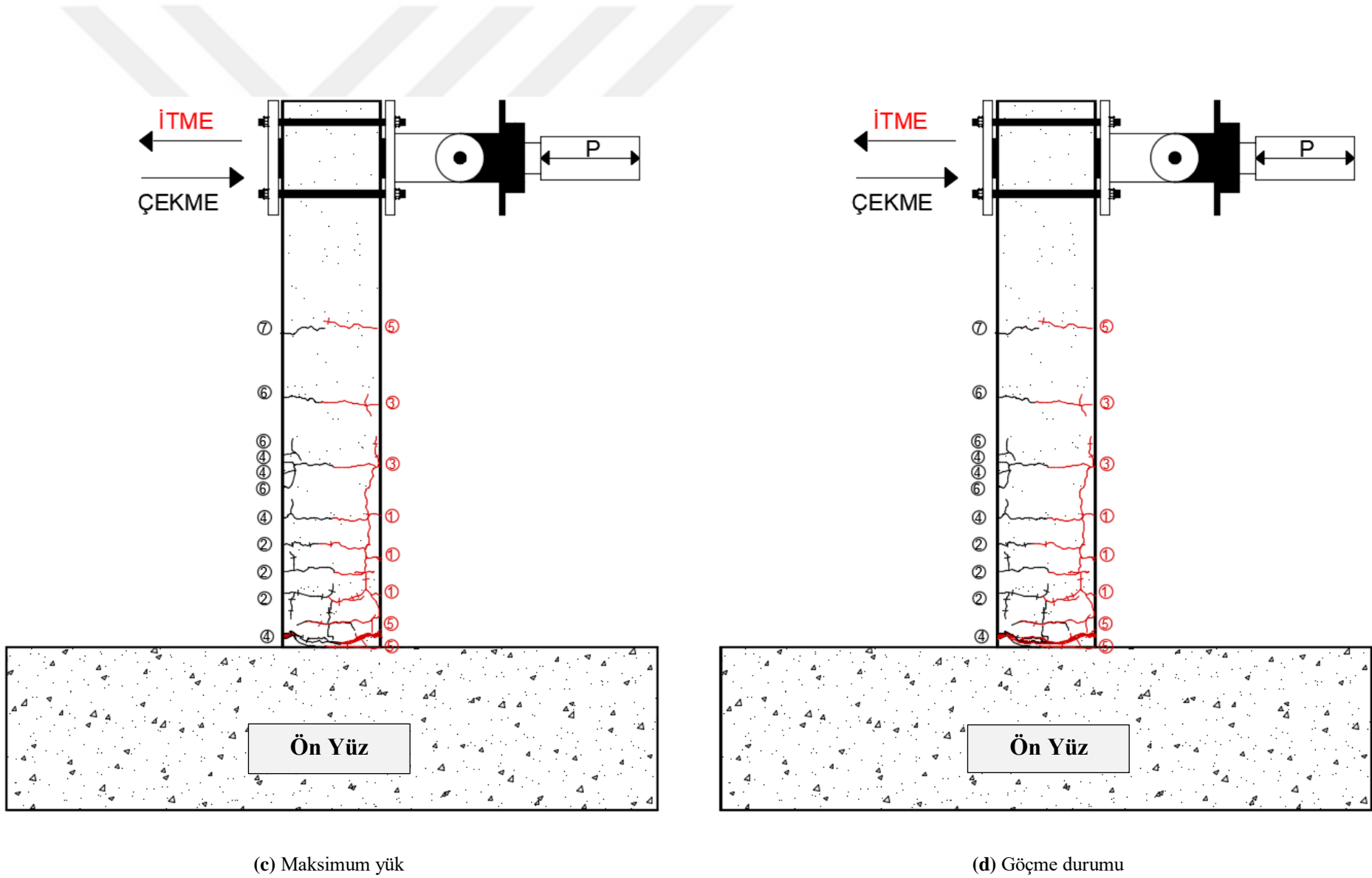
Şekil 4.104. YFC40-%10 numunesinin deney sonu görünümü



Şekil 4.104. YFC40-%10 numunesinin deney sonu görünümü (devamı)(plastik mafsalsal bölgesi)



Şekil 4.105. YFC40-%10 numunesinin çatlak krokişi

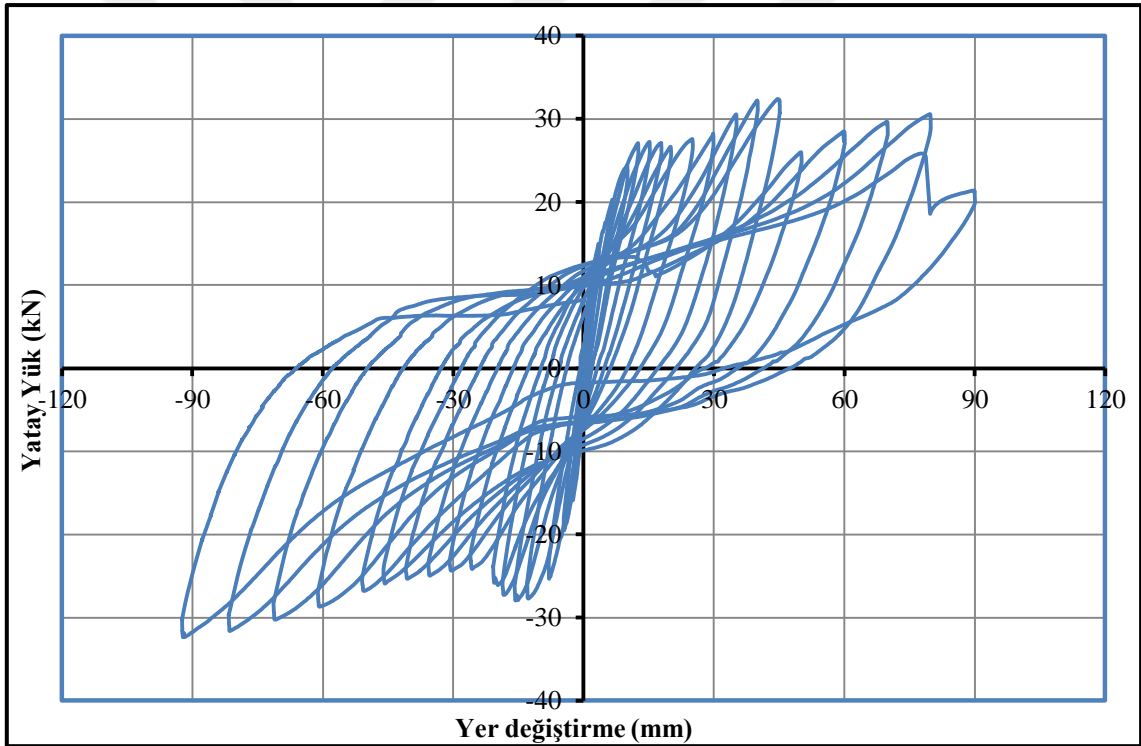


Şekil 4.105. YFC40-%10 numunesinin çatlak krokisi (devamı)

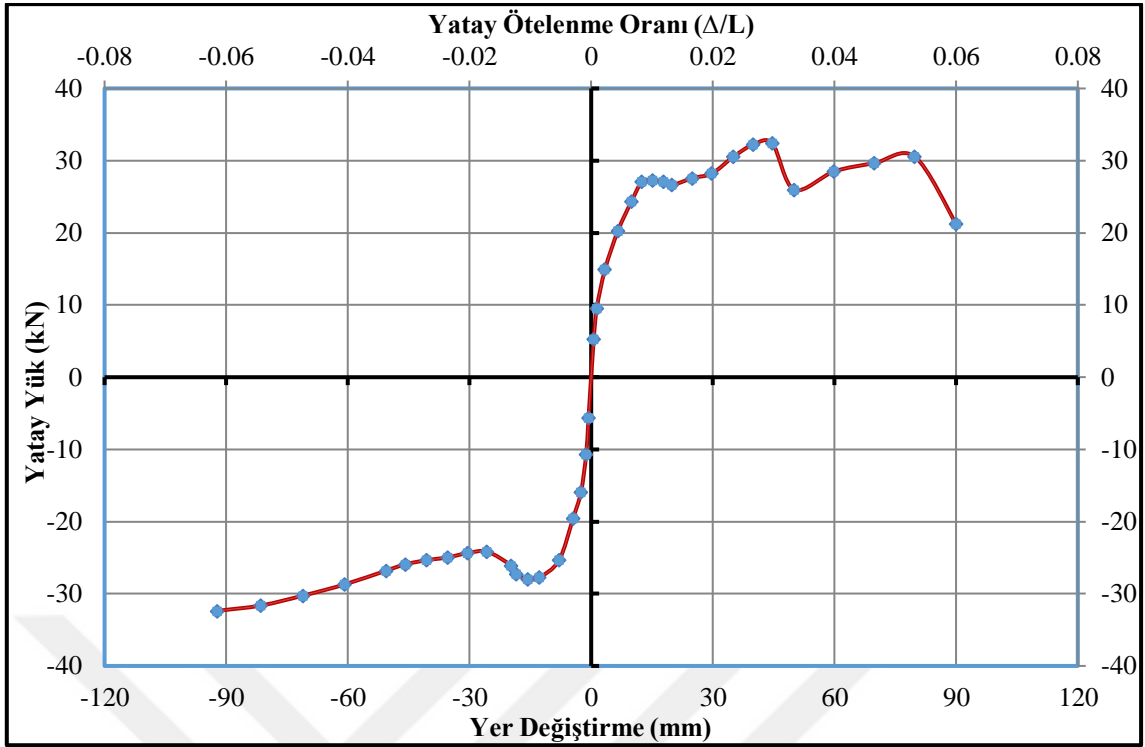
Deneyler sırasında yük hücresi ve yer değiştirme ölçerlerden alınan veriler yardımıyla, numunelerin davranışlarını incelemek için çeşitli grafikler çizilmiştir. Şekil 4.106'da YFC40-%10 numunesine ait yatay yük- yer değiştirme çevrimsel histerezis ilişkisi, Şekil 4.107'de ise her bir çevrimdeki maksimum yatay yük ve bu yüke karşılık gelen yer değiştirmelerin işaretlenmesi ve birleştirilmesi ile elde edilen dayanım zarfı görölmektedir.

YFC40-%10 numunesinin, yatay yük-yer değiştirme eğrisinin altında kalan alanların hesaplanması ve ardışık toplanması ile numunenin kümülatif toplam enerji tüketme kapasitesi-ötelenme oranı grafiği çizilmiş ve Şekil 4.108'de verilmiştir.

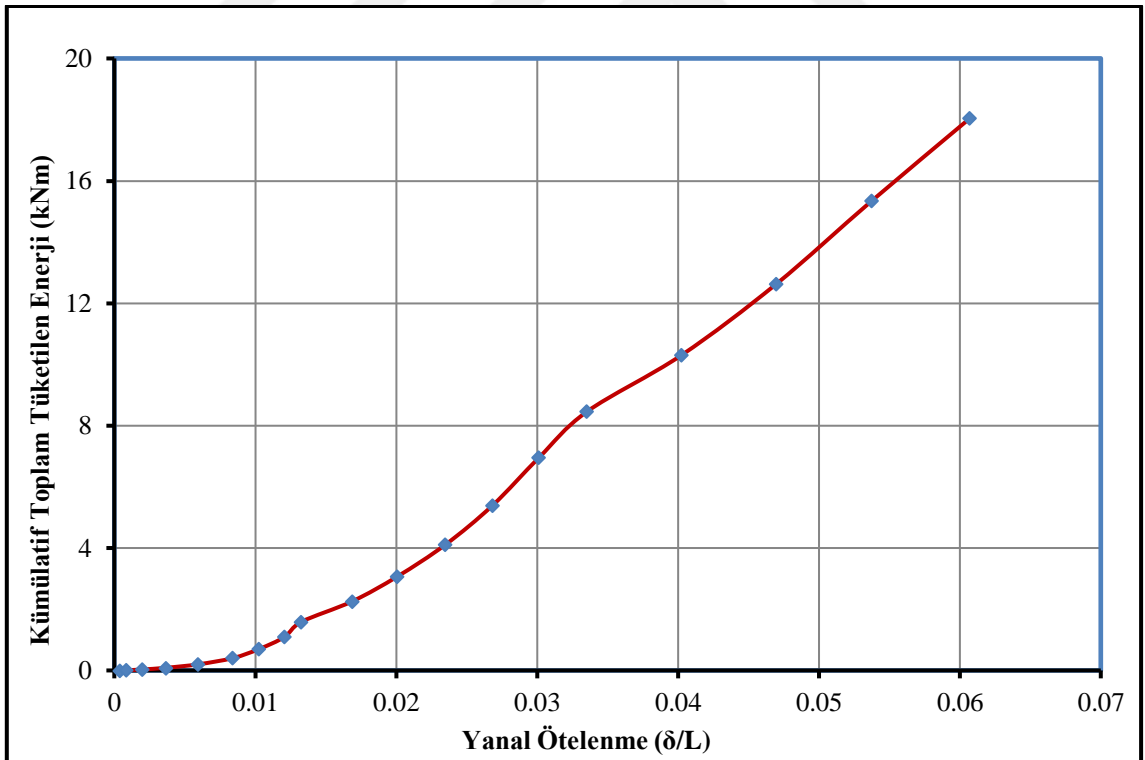
YFC40-%10 numunesine ait rijitlik azalımı grafiği Şekil 4.109'de gösterilmiştir. Rijitlik grafiğinde, itme çevrimleri için elde edilen değerler grafiğin sağ tarafında, çekme çevrimleri için hesaplanan değerler grafiğin solunda yer almaktadır.



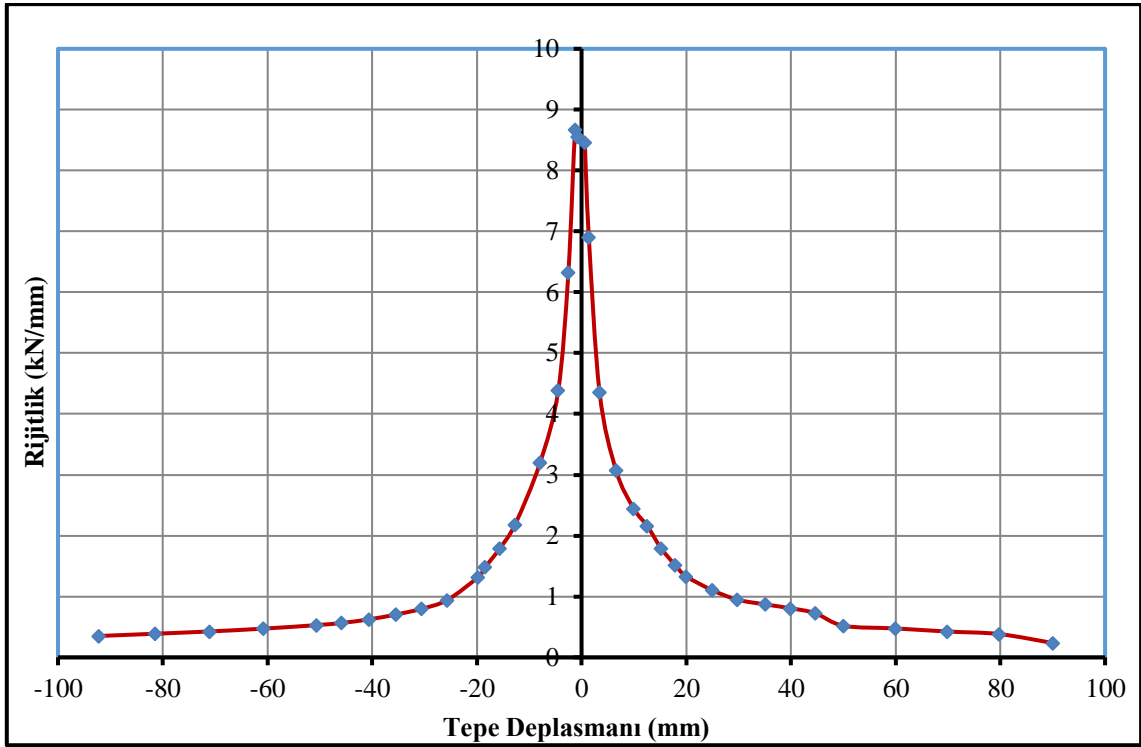
Şekil 4.106. YFC40-%10 numunesinin yatay yük-tepe deplasmanı histerezis eğrisi



Şekil 4.107. YFC100-%10 numunesine ait dayanım zarfı

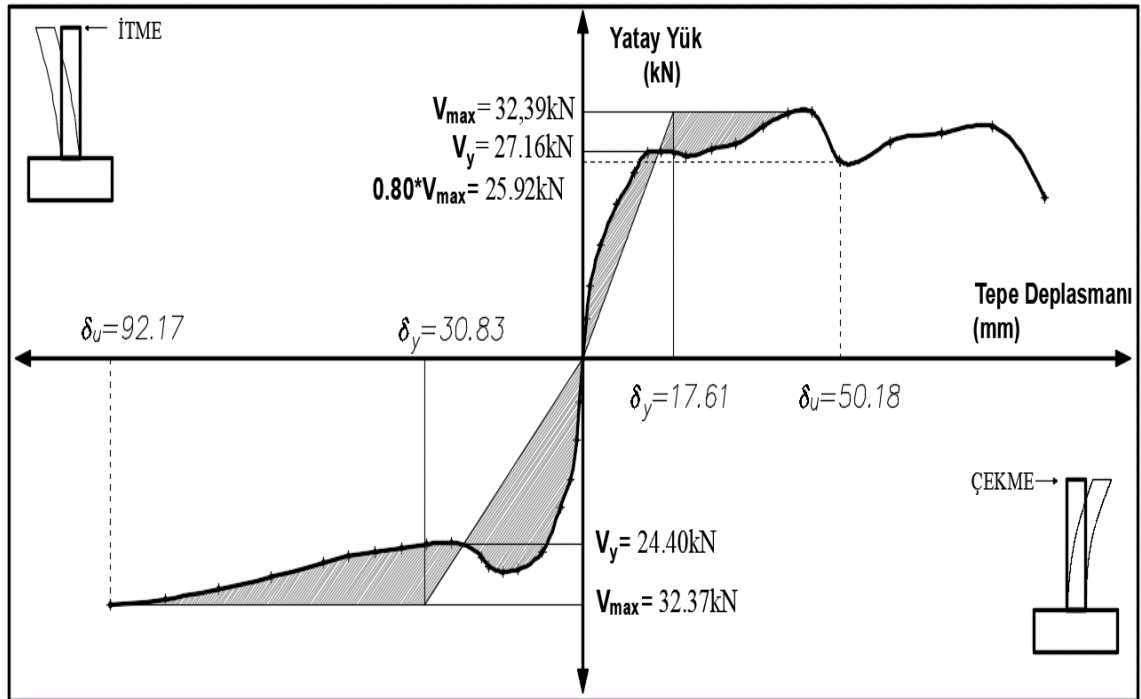


Şekil 4.108. YFC40-%10 numunesine ait kümülatif toplam tüketilen enerji grafiği



Şekil 4.109. YFC40-%10 numunesinin rijitlik azalım grafiği

YFC40-%10 numunesinin süneklik parametrelerinin gösterildiği grafik Şekil 4.110'de verilmiştir. Çizelge 4.30'de ise süneklik değerleri tablo halinde özetlenmiştir.



Şekil 4.110. YFC40-%10 numunesinin süneklik grafiği

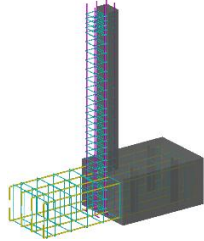
Çizelge 4.30. YFC40-%10 numunesinin çatlak ve hasar oluşumu

YFC40-%10	V_y (kN)	$0.8*V_{max}$ (kN)	V_{max} (kN)	Δ_y (mm)	Δ_u (mm)	μ (Δ_u/Δ_y)	$\mu_{ort.}$	Yatay Ötelenme Oranı (Δ/L) (%)
İtme	27.16	25.92	32.39	17.61	50.18	2.85	2.92	3.35
Çekme	-24.40	-32.37	-32.37	-30.83	-92.17	2.99		-6.14

4.1.11. Deney Numunesi-11 (KONTROL-%30)

Çalışma kapsamında on birinci test edilen numune, Kontrol-%30 isimli numunedir. Kontrol-%30 isimli numune, mineral katkısız seriye ait 3 adet numuneden, donatılarında ağırlık kaybı %30 olan korozyon hasarlı numunedir. Kontrol-%30 isimli numuneye ait parametrik değerler Çizelge 4.31’de özetlenmiştir.

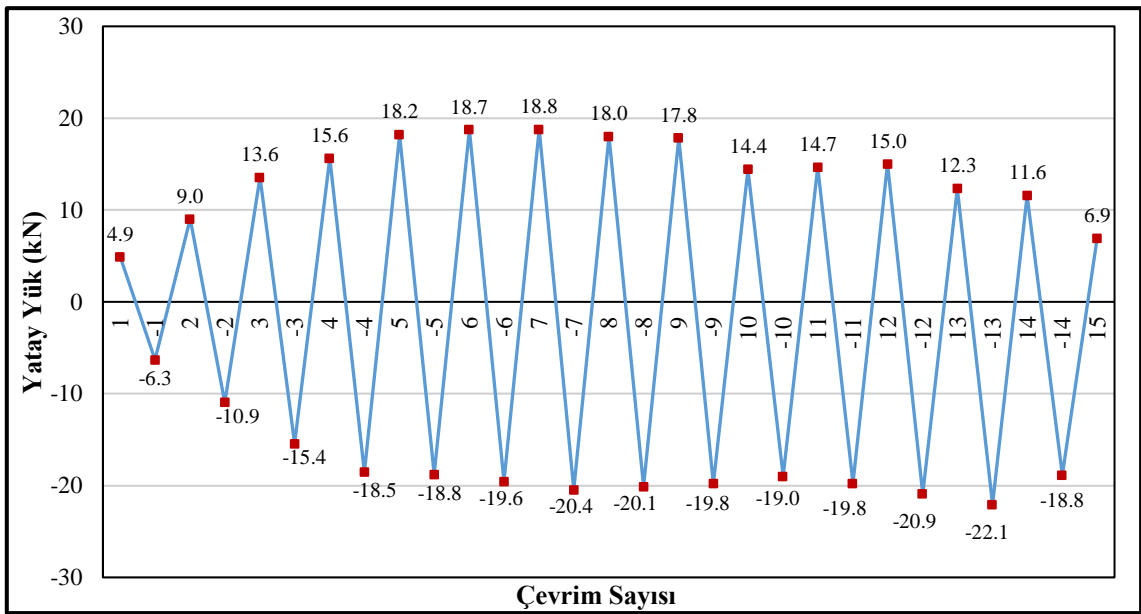
Çizelge 4.31. Kontrol-%30 numunesinin parametrik özellikleri

Deney Numunesi No	Numune görünümü	Mineral Katkı Türü (1 m ³ için) (kg)			Ortalama Silindirik Basınç Dayanımı (MPa)	Korozyon Seviyesi (%)
		CEM I 42.5R	UK	YFC		
Deney-11 KONTROL-%30 Çimentolu Seri		280	-	-	29.17	30

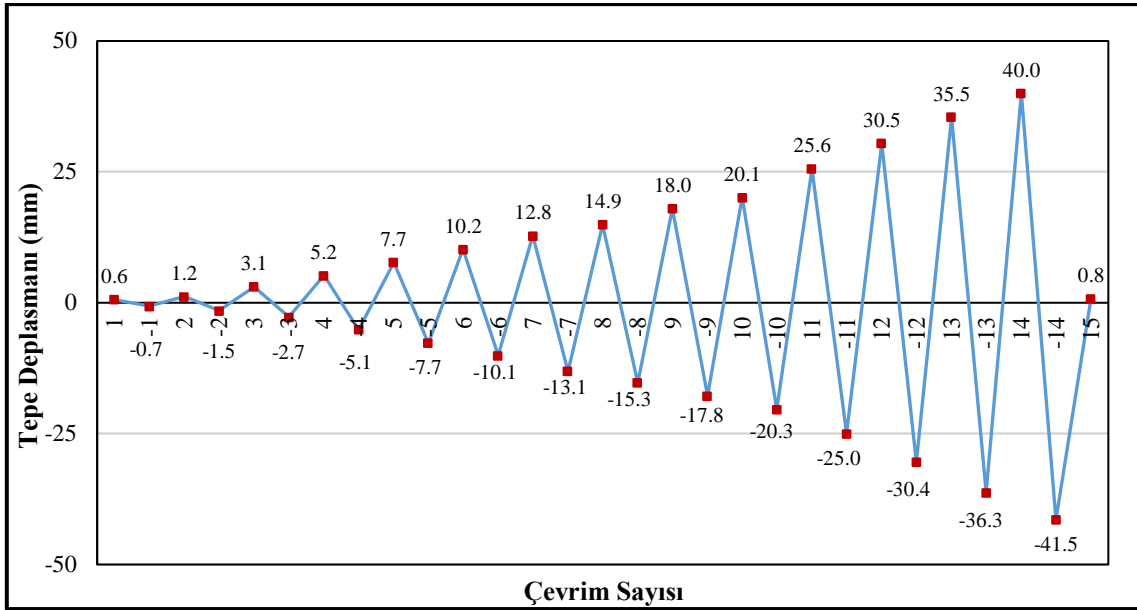
Deney elemanının tersinir-tekrarlanır yatay yükleme altında test edilmeden hemen önce ki, yatay yükleme deney düzeneğine yerleştirilmiş hali Şekil 4.111’de gösterilmiştir. Şekil 4.112’de deney elemanına ait yük geçmişi grafiği, Şekil 4.113’de deplasman geçmişi grafiği verilmiştir.



Şekil 4.111. Kontrol-%30 numunesinin deney öncesi görünümü



Şekil 4.112. Kontrol-%30 deney numunesinin yük geçmişi grafiği



Şekil 4.113. Kontrol-%30 deney numunesinin deplasman geçmişi grafiği

Şekil 4.112'deki yükleme geçmişi grafiğinden de görüldüğü gibi 4. çevrime kadar ± 5 kN yük artırımı uygulanmış ve sonraki çevrimlerde deplasman kontrollü yüklemeye geçilmiştir. Deplasman kontrollü yüklemeye ise 20 mm'ye kadar 2.5 mm deplasman artırımı uygulanmış ve 20 mm'den sonra 5 mm'lik deplasman artırımları ile deneye devam edilmiştir. Yük geçmişi grafiği incelendiğinde, 3. çevrimden sonraki yüklemelerde deneysel numunenin ideal akma noktasına ulaştığı görülmektedir. İlerleyen çevrimlerde yatay yükte artış olmadığından deplasman kontrollü olarak göçme konumuna 41.5 mm'de donatıda meydana gelen kopma ile ulaşılmıştır. Deney aşamasında her bir çevrimde gözlemlenen davranış Çizelge 4.32'de verilmiştir.

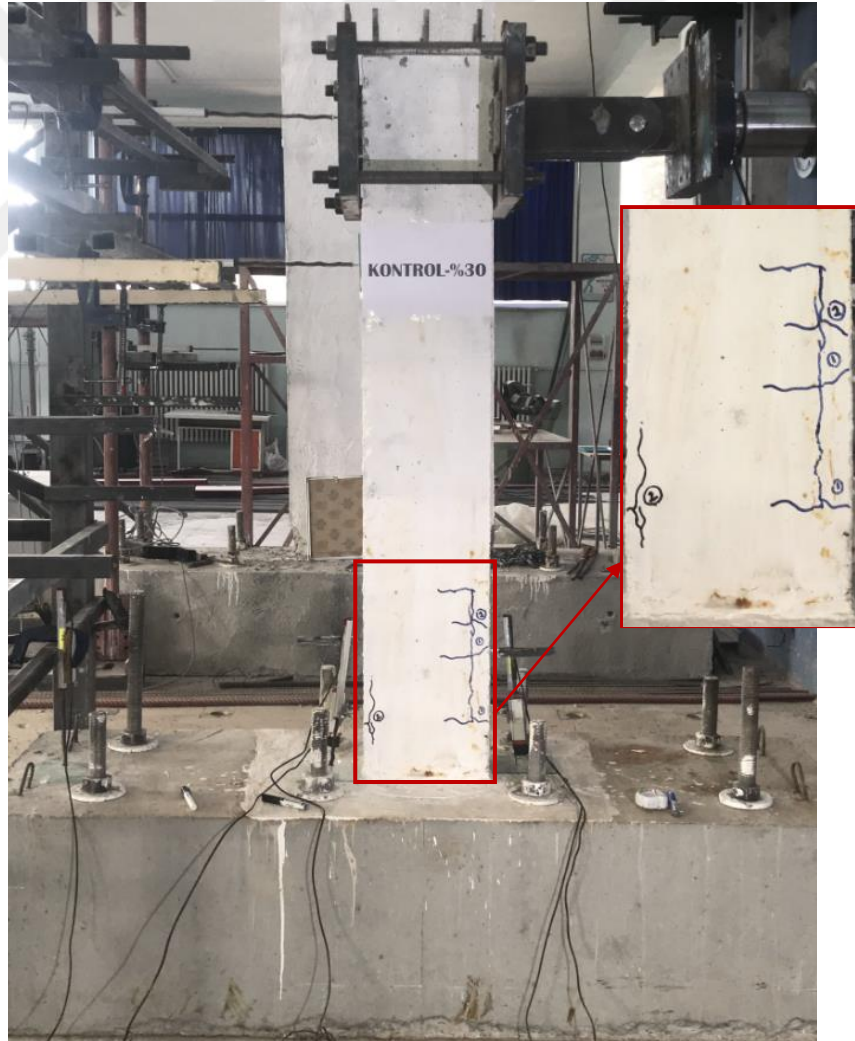
Çizelge 4.32. Kontrol-%30 numunesinde çatlak ve hasar oluşumları

Çevrim No (+, itme) (-, çekme)	Maksimum Yatay Yük (kN)	Maksimum Tepe Deplasmanı (mm)	Numunede Gözlenen Çatlak ve Hasar Oluşumu
1	4.87	0.61	*İtmede ilk çatlak meydana geldi. Kolon-temel birleşiminden itibaren 15 ve 32 cm yüksekliğinde iki adet çatlak meydana gelmiştir ve bu çatlaklar arasında boyuna aderans çatlağı da oluşmuştur.
-1	-6.32	-0.69	*Çekmede ilk çatlak meydana geldi. Kolon-temel birleşiminden itibaren 15 cm yüksekliğinde bir adet çatlak meydana gelmiştir ve bu çatlağın aşağı ve yukarı yönlü aderans çatlağı olarak ilerlemiştir.
2	9.02	1.19	Kolon-temel birleşiminden itibaren 37 ve 46 cm yüksekliğinde 2 adet çatlak meydana gelmiştir.

Çevrim No (+, itme) (-, çekme)	Maksimum Yatay Yük (kN)	Maksimum Tepe Deplasmanı (mm)	Numunede Gözlenen Çatlak ve Hasar Oluşumu
-2	-10.95	-1.53	Kolon-temel birleşiminden itibaren 37 cm yüksekliğinde 1 adet çatlak meydana gelmiştir.
3	13.56	3.09	Kolon-temel birleşiminden itibaren 7 ve 23 cm yüksekliğinde yeni çatlak meydana gelmiştir. Çatlaklar kolon yüzünden en dış boyuna donatıda oluşan aderans çatlağından itibaren oluşmaktadır. *Deney numunesi akma konumuna ulaşmıştır.
-3	-15.44	-2.75	Daha önce meydana gelen çatlakların boyları uzamıştır ve düşey yönde oluşan aderans çatlakları ilerlemiştir. *Deney numunesi akma konumuna ulaşmıştır.
Deplasman Kontrollü Yükleme Geçilmiştir.			
4	15.63	5.20	Kolon-temel birleşiminden itibaren 7cm çatlak ile 15cm çatlak arasında boyuna çatlak meydana gelmiştir.
-4	-18.53	-5.11	Kolon-temel birleşiminden itibaren 4 ve 32 cm yüksekliğinde yeni çatlak oluşmuştur. Daha önce oluşan çatlakların boyları uzamış ve çatlak genişlikleri artmıştır.
5	18.21	7.70	Kolon-temel birleşiminden itibaren 7 cm oluşan 5 nolu çatlak çatallaşarak 6 nolu çatlak ile birleşmiştir.
-5	-18.81	-7.68	4 nolu boyuna çatlak düşey doğrultuda ilerlemiştir.
6	18.74	10.23	5 nolu çatlak kolon temel birleşimine doğru ilerlemiştir.
-6	-19.56	-10.08	Ortada bulunan boyuna donatı boyunca aderans çatlağı meydana gelmiştir.
7	18.80	12.81	Önceki yüklemelerde meydana gelen çatlakların boyları uzamaktadır. Çatlak genişlikleri artmaktadır.
-7	-20.45	-13.05	Önceki yüklemelerde meydana gelen çatlakların boyları uzamaktadır. Çatlak genişlikleri artmaktadır.
8	18.01	14.90	İtmede ve çekmede meydana gelen çatlaklar birleşmiştir.
-8	-20.11	-15.29	Daha önce meydana gelen çatlakların genişlikleri artmaktadır ve boyları uzamıştır.
9	17.84	17.97	Basınç bölgesinde ezilmeler başlamıştır.
-9	-19.81	-17.79	Basınç bölgesinde ezilmeler başlamıştır.
10	14.41	20.12	-----
-10	-19.00	-20.35	Her iki yönde de boyuna çatlaklar 50 cm kadar ulaşmıştır.
11	14.69	25.58	İtmede boyuna ilk donatıda kopma meydana gelmiş ve yatay yük düşmüştür.
-11	-19.77	-25.01	Basınç bölgesinde meydana gelen ezilmelerden dolayı beton dökülmeye başlamıştır.
12	15.02	30.45	-----
-12	-20.90	-30.41	-----
13	12.32	35.45	İtmede ikinci donatıda da kopma meydana gelmiştir.

Çevrim No (+, itme) (-, çekme)	Maksimum Yatay Yük (kN)	Maksimum Tepe Deplasmanı (mm)	Numunede Gözlenen Çatlak ve Hasar Oluşumu
-13	-22.05	-36.27	-----
14	11.57	40.02	-----
-14	-18.84	-41.47	Çekme yüklemesinde, ilk donatı da kopma meydana gelmiştir ve numune göçme konumuna ulaşmıştır. *Deneyde yüklemeye son verilmiştir.
15	6.90	0.77	Deplasman sıfırlanarak numune başlangıç konumuna alınmıştır.

DeneySEL elamanda ilk eğilme çatlağı ± 1 . çevrimde yaklaşık 4.87 kN'luk yatay yükte meydana gelmiştir. Bu yük değerinde numune, 0.61 mm'lik bir tepe deplasmanına ve % 0.04'lük bir yanal ötelenme oranına sahiptir. DeneySEL elemanda gözlemlenen ilk çatlaklar Şekil 4.114'de gösterilmiştir.



Şekil 4.114. Kontrol-%30 deney numunesinde oluşan ilk çatlaklar

Kontrol-%30 deney elemanı akma konumuna, yaklaşık % 0.20 ötelenme oranında ve 13.56 kN yatay yük değerinde ulaşmıştır. Bu yükte deneysel numunenin tepe deplasmanı 3.09 mm'dir. Bu yükleme adımında korozyon hasarından dolayı kolon boyuna donatıları boyunca düşey aderans çatlakları oluşmuştur, ayrıca itme ve çekme çevrimlerinde oluşan simetrik yatay eğilme çatlakları çatallaşmıştır. Şekil 4.115'de deneysel numunenin akma konumunda gözlenen çatlaklar gösterilmiştir.



Şekil 4.115. Kontrol-%30 deney numunesinde akma konumunda gözlenen çatlaklar

Kontrol-%30 numunesi, 14. ileri yükleme çevriminde ikinci çekme donatısı da kopmuştur ve -14. çekme çevriminde ilk çekme donatısında da meydana gelen kopma ile yatay yük taşıma kapasitesine ulaşmıştır. Bu çevrimde numunede, 18.84 kN yatay yük ve 41.43 mm tepe deplasmanına sahiptir. Deneysel eleman göçme konumuna ulaştığında,

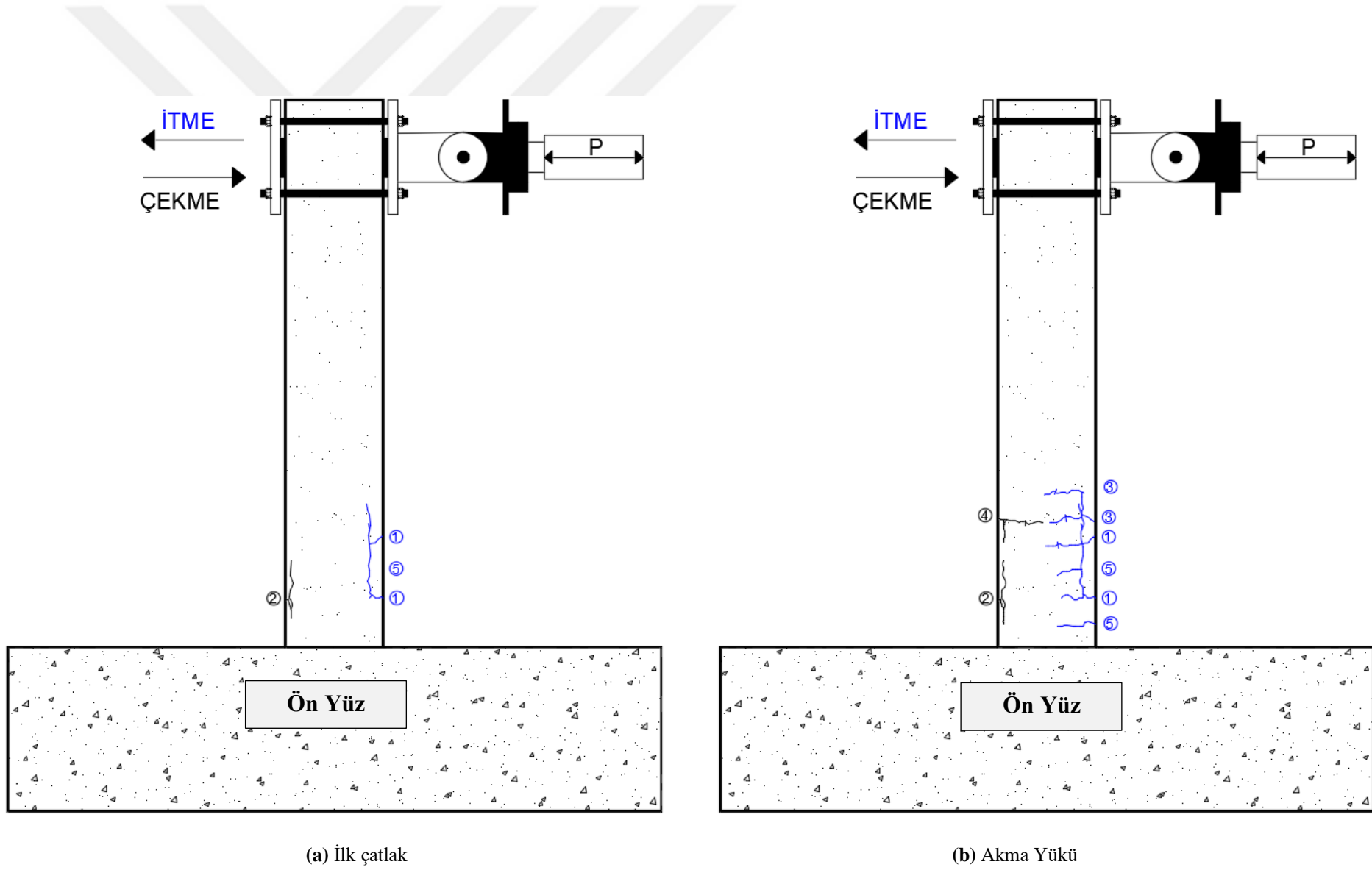
numunenin her iki yönde de meydana gelen aderans çatlaklarından dolayı yeterli kenetlenmeye sahip değildir. İtmede ilk çekme donatısı 11. çevrimde, ikinci çekme donatısı 13. çevrimde kopmuştur, fakat numune yükte bir düşüş meydana gelse de yük taşımaya devam etmiştir. Daha sonra -14. çevrimde itmede ilk donatının kopması ile deney sonlandırılmıştır. Deneysel numunenin deney sonu görünümü Şekil 4.116'da gösterilmiştir. Numunede deney sonuna kadar eğilme davranışı gözlemlenmiştir ve aderans çatlaklarından dolayı beton donatı ile kenetlenmesini söz konusu olmadığından kesit bazında bir akma görülememiştir. Kontrol-%30 deney elemanının ilk çatlak, akma yükü, maksimum yük ve göçme durumunun çatlak krokisi bilgisayar programında işlenerek, hasar oluşumu incelenmiştir. Deneysel numunenin çatlak krokisi Şekil 4.117'de gösterilmiştir.



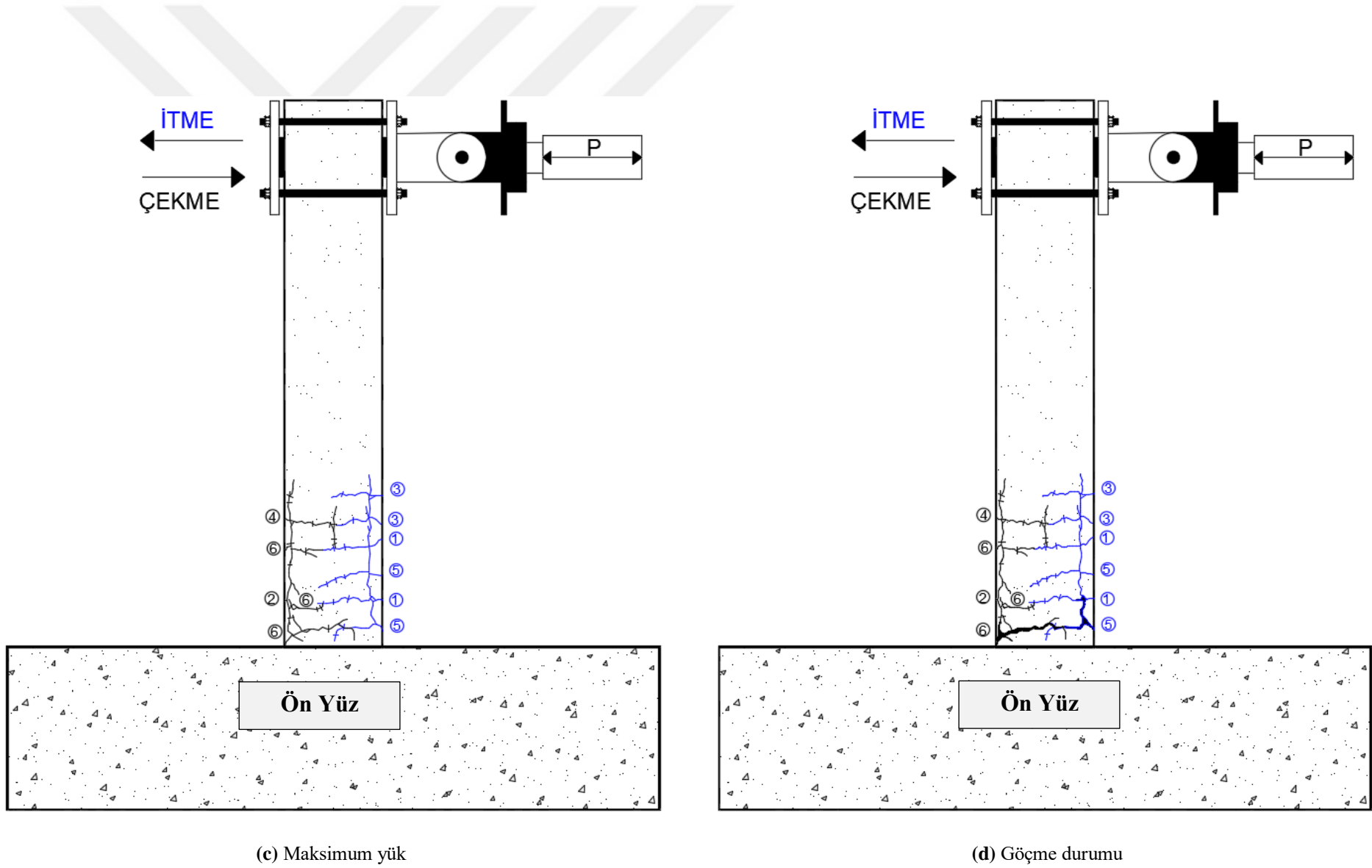
Şekil 4.116. Kontrol-%30 numunesinin deney sonu görünümü



Şekil 4.116. Kontrol-%30 numunesinin deney sonu görünümü (devamı)(plastik mafsalsal bölgesi)



Şekil 4.117. Kontrol-%30 numunesinin çatlak krokisi

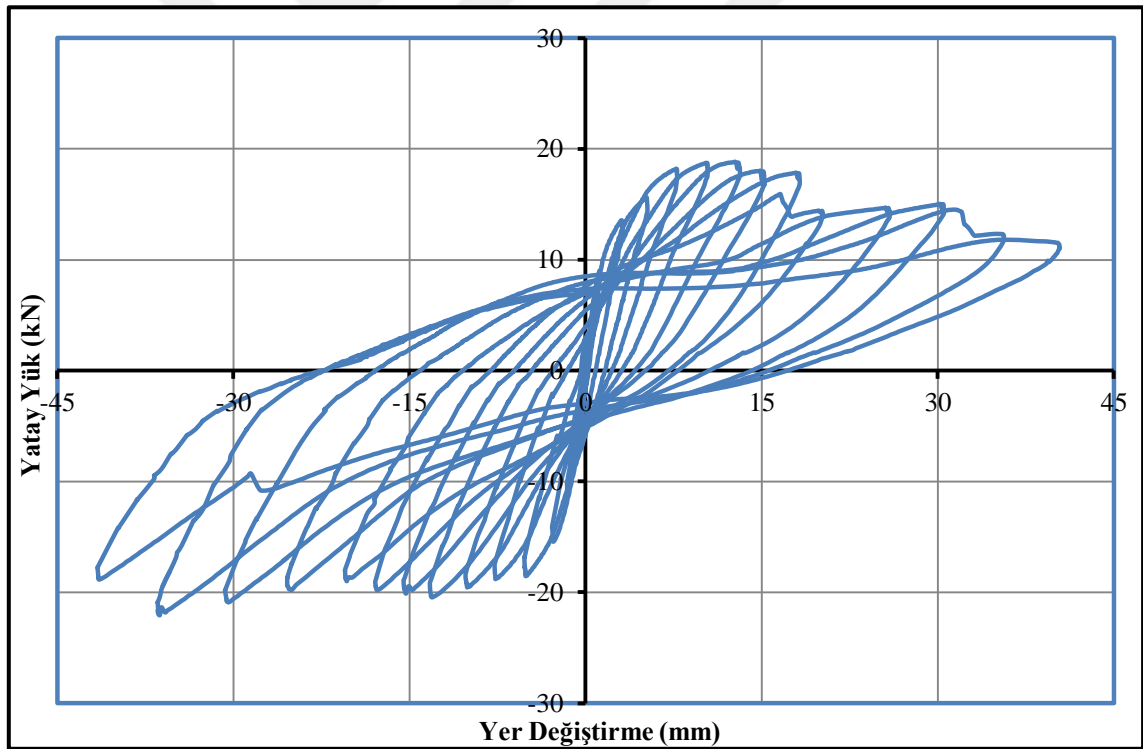


Şekil 4.117. Kontrol-%30 numunesinin çatlak krokisi (devamı)

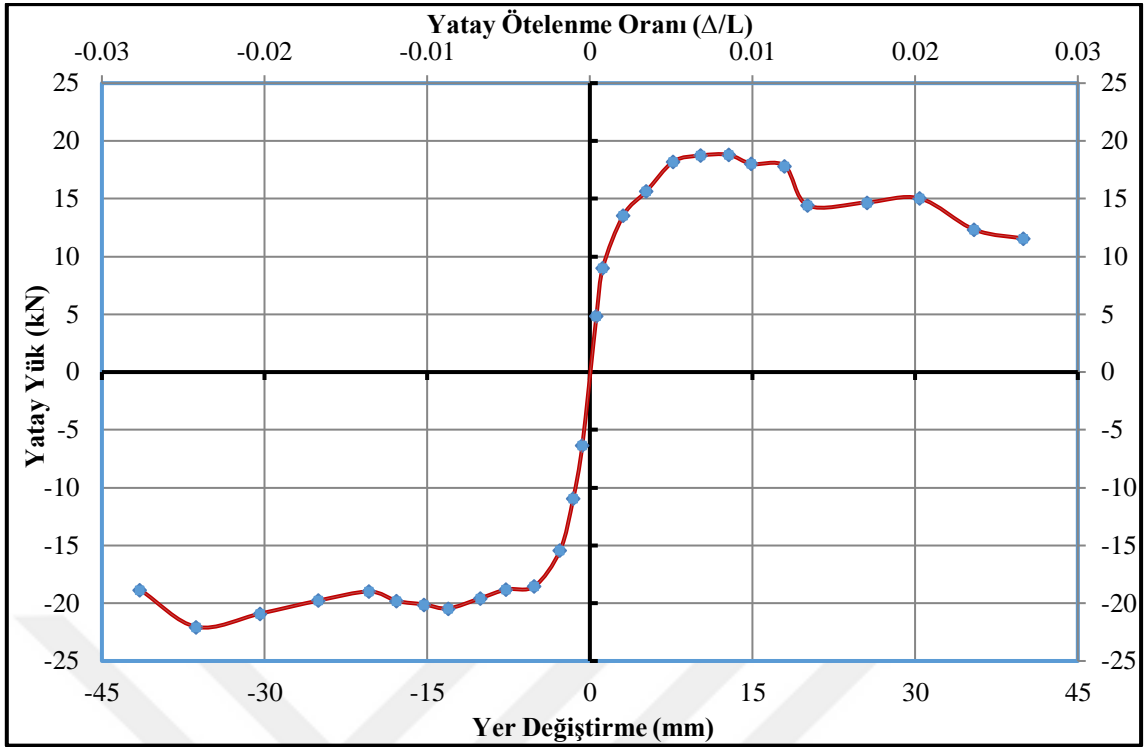
Deneyler sırasında yük hücresi ve yer değiştirme ölçerlerden alınan veriler yardımıyla, numunelerin davranışlarını incelemek için çeşitli grafikler çizilmiştir. Şekil 4.118’de Kontrol-%30 numunesine ait yatay yük- yer değiştirme çevrimsel histerezis ilişkisi, Şekil 4.119’da ise her bir çevrimdeki maksimum yatay yük ve bu yüke karşılık gelen yer değiştirmelerin işaretlenmesi ve birleştirilmesi ile elde edilen dayanım zarfı görölmektedir.

Kontrol-%30 numunesinin, yatay yük-yer değiştirme eğrisinin altında kalan alanların hesaplanması ve ardışık toplanması ile numunenin kümülatif toplam enerji tüketme kapasitesi-ötelenme oranı grafiği çizilmiş ve Şekil 4.120’de gösterilmiştir.

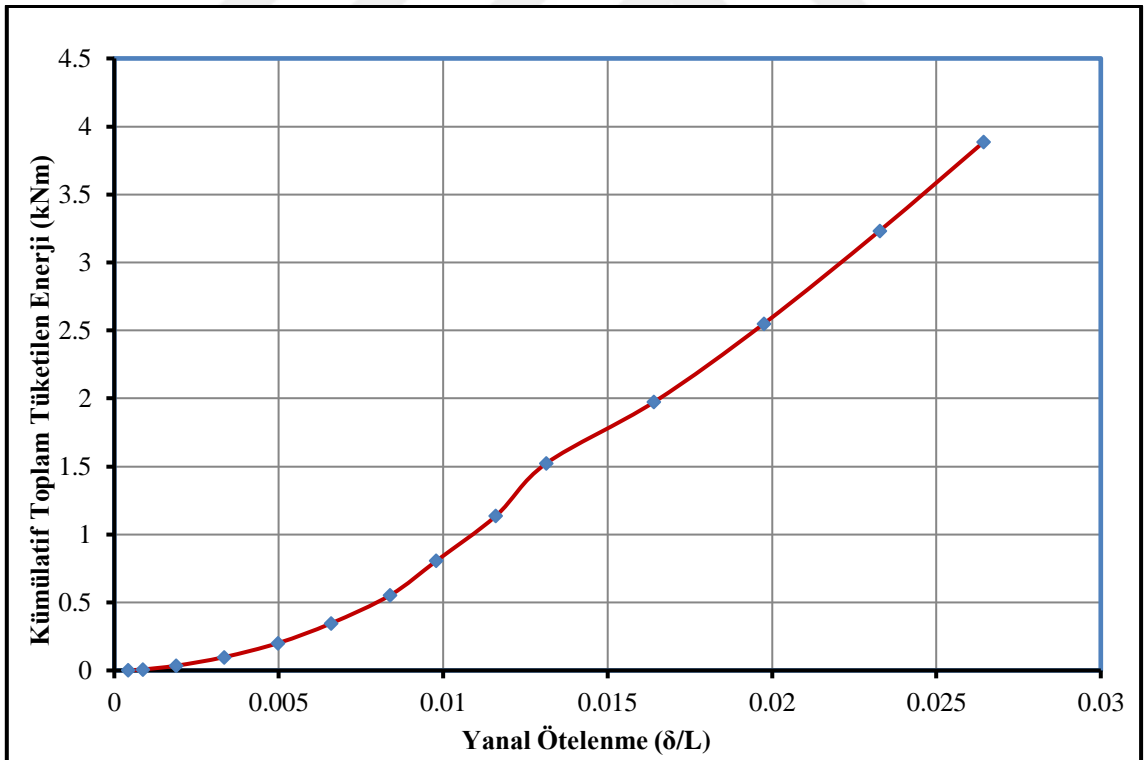
Kontrol-%30 numunesine ait rijitlik azalımı grafiği Şekil 4.121’de gösterilmiştir. Rijitlik grafiğinde, itme çevrimleri için elde edilen değerler grafiğin sağ tarafında, çekme çevrimleri için hesaplanan değerler grafiğin solunda yer almaktadır.



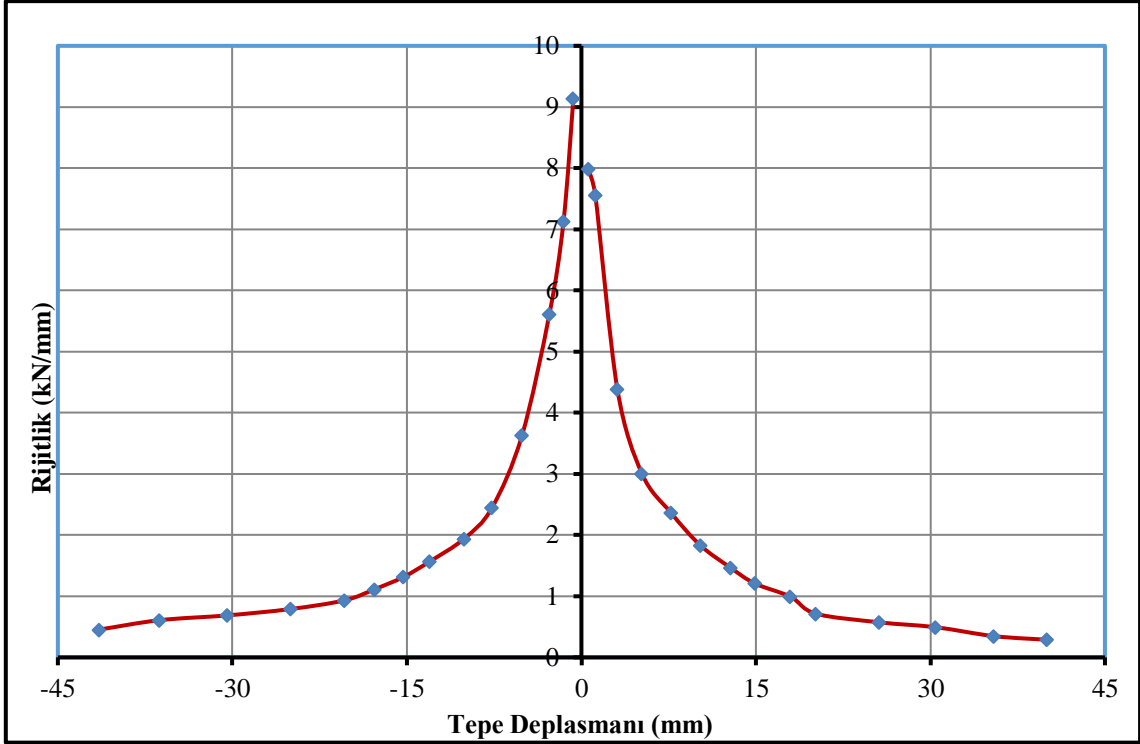
Şekil 4.118. Kontrol-%30 numunesinin yatay yük-tepe deplasmanı histerezis eğrisi



Şekil 4.119. Kontrol-%30 numunesine ait dayanım zarfı

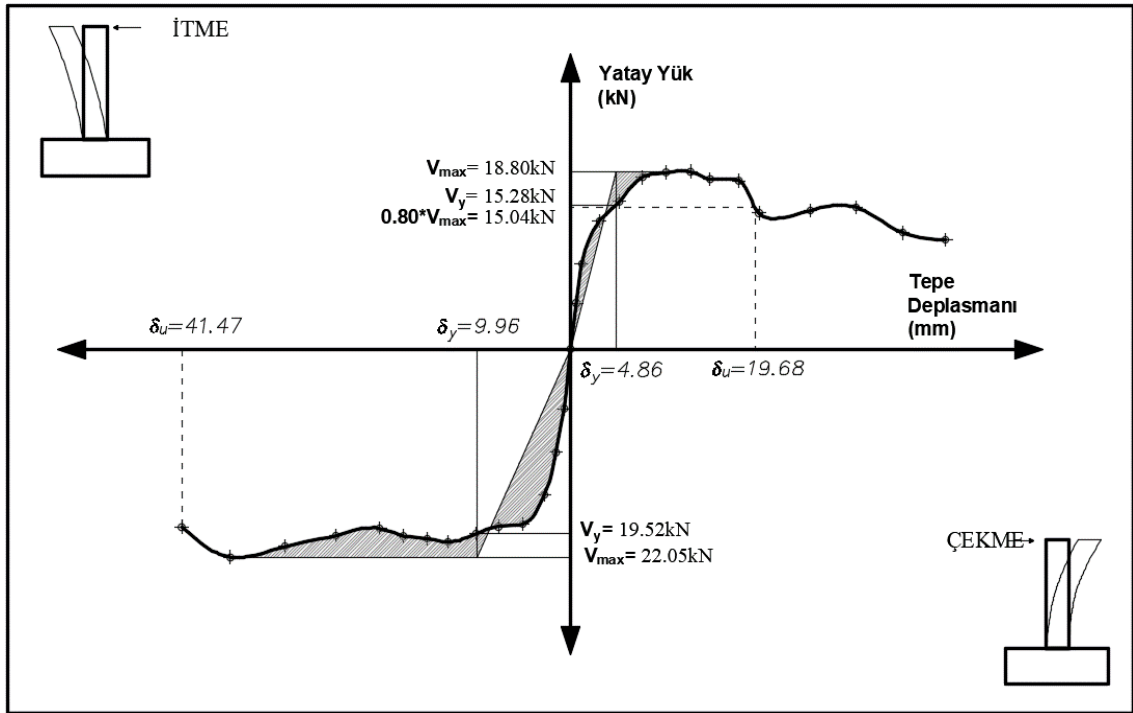


Şekil 4.120. Kontrol-%30 numunesine ait kümülatif toplam tüketilen enerji grafiği



Şekil 4.121. Kontrol-%30 numunesinin rijitlik azalımı grafiği

Kontrol-%30 numunesinin süneklik parametrelerinin gösterildiği grafik Şekil 4.122’de verilmiştir. Çizelge 4.33’de ise süneklik değerleri tablo halinde özetlenmiştir.



Şekil 4.122. Kontrol-%30 numunesinin süneklik grafiği

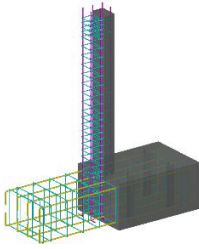
Çizelge 4.33. Kontrol-%30 numunesinin çatlak ve hasar oluşumu

Kontrol- %30	V_y (kN)	$0.8*V_{max}$ (kN)	V_{max} (kN)	Δ_y (mm)	Δ_u (mm)	μ (Δ_u / Δ_y)	$\mu_{ort.}$	Yatay Ötelenme Oranı (Δ/L) (%)
İtme	15.28	15.04	18.80	4.86	19.68	4.05	4.11	1.31
Çekme	-19.52	-18.84	-22.05	-9.96	-41.47	4.16		-2.76

4.1.12. Deney Numunesi-12 (UK10-%30)

Çalışma kapsamında on ikinci olarak test edilen numune, UK10-%30 isimli numunedir. UK10-%30 isimli numune, çimentonun yerine, çimento ağırlığının %10'u kadar uçucu kül (UK) ilave edilmiş, UK10 serisine ait 3 adet numuneden ağırlıkça %30 seviyesinde korozyon hasarına maruz bırakılan numunedir. UK10-%30 isimli numuneye ait parametrik değerler Çizelge 4.34'da özetlenmiştir.

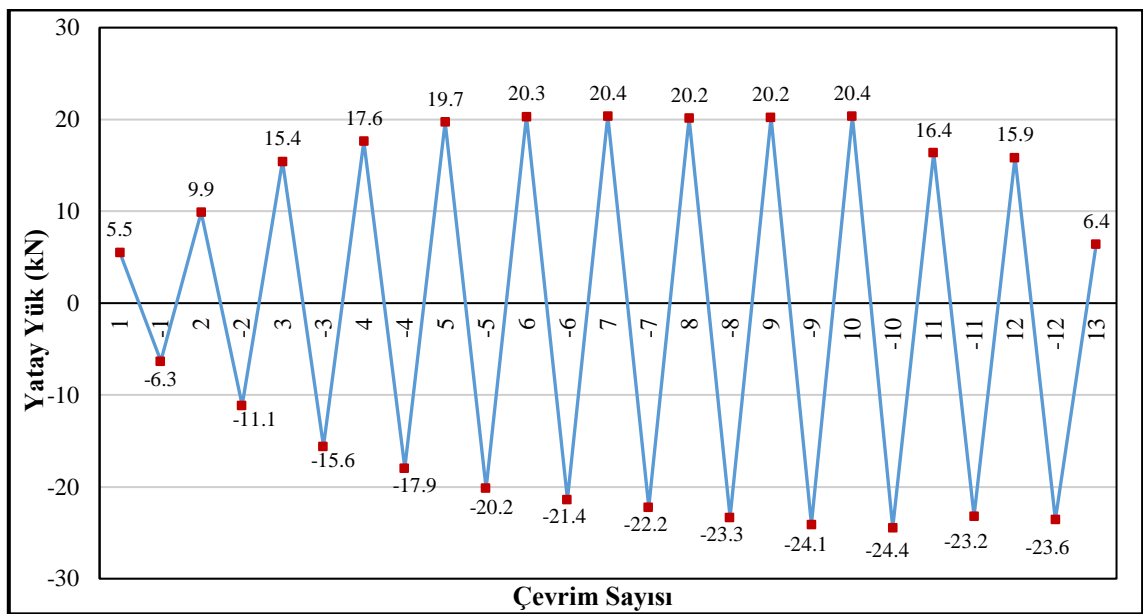
Çizelge 4.34. UK10-%30 numunesinin parametrik özellikleri

Deney Numunesi No	Numune görünümü	Mineral Katkı Türü (1 m ³ için) (kg)			Ortalama Silindir Basınç Dayanımı (MPa)	Korozyon Seviyesi (%)
		CEM I 42.5R	UK	YFC		
Deney-12 UK10-%30 Uçucu Küllü Seri		252	28	-	32.05	30

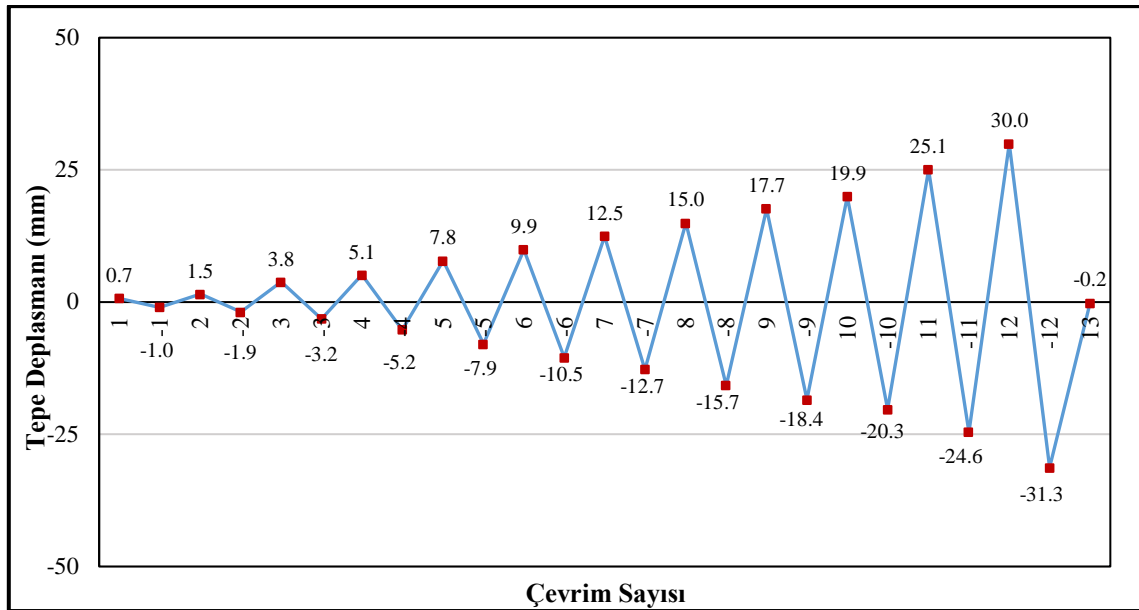
Deney elemanının tersinir-tekrarlanır yatay yükleme altında test edilmeden hemen önce ki, yatay yükleme deney düzeneğine yerleştirilmiş hali Şekil 4.123'de gösterilmiştir. Şekil 4.124'de deney elemanına ait yük geçmişi grafiği, Şekil 4.125'de deplasman geçmişi grafiği verilmiştir.



Şekil 4.123. UK10-%30 numunesinin deney öncesi görünümü



Şekil 4.124. UK10-%30 deney numunesinin yük geçmişi grafiği



Şekil 4.125. UK10-%30 deney numunesinin deplasman geçmişi grafiği

Şekil 4.124'deki yükleme geçmişi grafiğinden de görüldüğü gibi 4. çevrime kadar ± 5 kN yük artırımını uygulanmış ve sonraki çevrimlerde deplasman kontrollü yüklemeye geçilmiştir. Deplasman kontrollü yüklemeye ise 20 mm'ye kadar 2.5 mm deplasman artırımını uygulanmış ve 20 mm'den sonra 5 mm'lik deplasman artırımları ile deneye devam edilmiştir. Yük geçmişi grafiği incelendiğinde, 3. çevrimde deneysel numunenin ideal akma noktasına ulaştığı görülmektedir. İlerleyen çevrimlerde yatay yükte artış olmadığından deplasman kontrollü olarak göçme konumuna ulaşılmıştır. Deney aşamasında her bir çevrimde gözlemlenen davranış Çizelge 4.35'de verilmiştir.

Çizelge 4.35. UK10-%30 numunesinde çatlak ve hasar oluşumları

Çevrim No (+, itme) (-, çekme)	Maksimum Yatay Yük (kN)	Maksimum Tepe Deplasmanı (mm)	Numunede Gözlenen Çatlak ve Hasar Oluşumu
1	5.52	0.74	*İtmede ilk çatlak meydana geldi. Kolon-temel birleşiminden itibaren 32 cm yüksekliğinde bir adet çatlak meydana gelmiştir.
-1	-6.32	-0.95	-----
2	9.91	1.50	Kolon-temel birleşiminden itibaren 15 cm yüksekliğinde bir adet çatlak meydana gelmiştir.
-2	-11.14	-1.86	*Çekmede ilk çatlak meydana geldi. Kolon-temel birleşiminden itibaren 6, 16, 24, 31 ve 47 cm yüksekliğinde beş adet çatlak meydana gelmiştir.

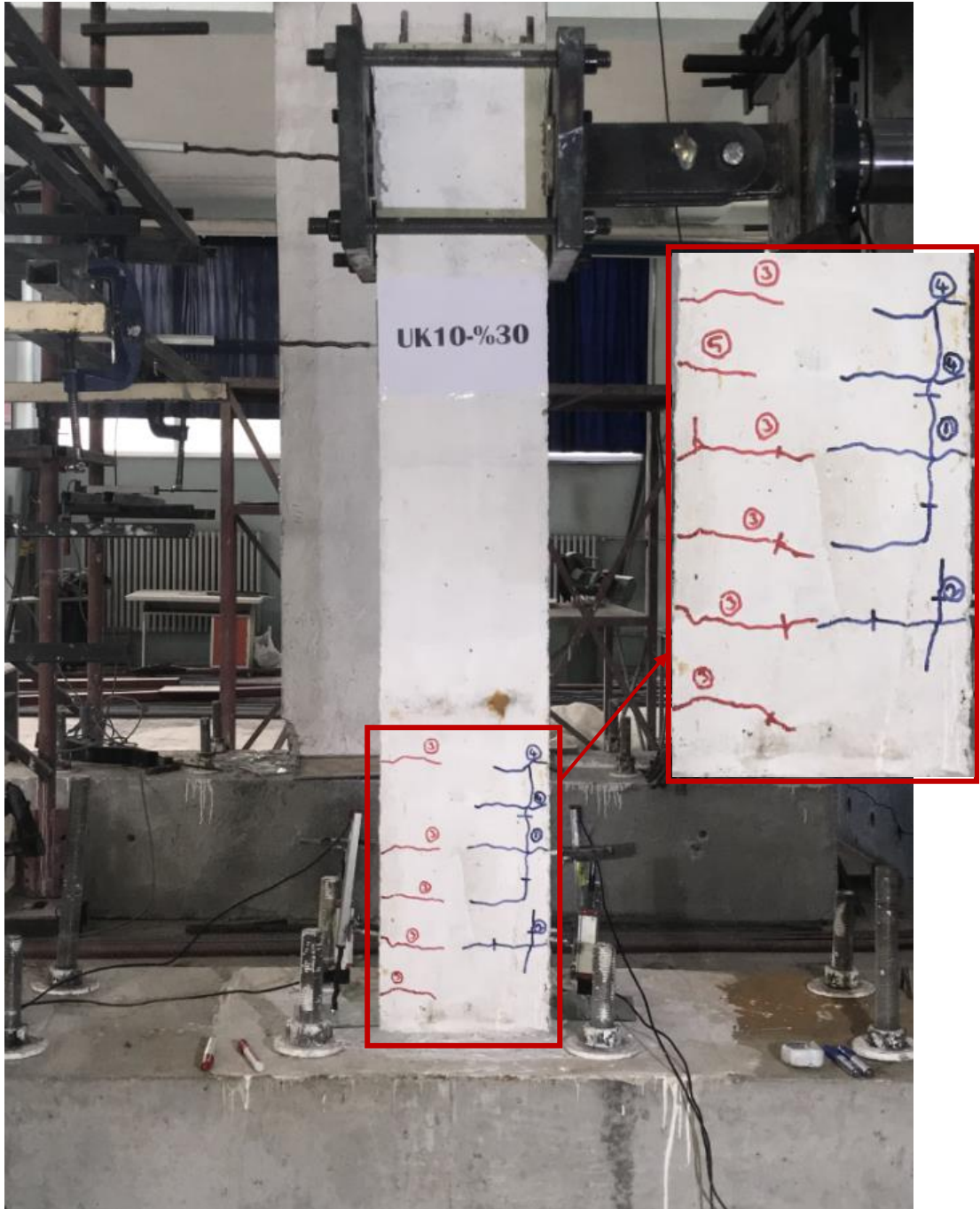
Çevrim No (+, itme) (-, çekme)	Maksimum Yatay Yük (kN)	Maksimum Tepe Deplasmanı (mm)	Numunede Gözlenen Çatlak ve Hasar Oluşumu
3	15.44	3.78	Kolon-temel birleşiminden itibaren 40 ve 47 cm yüksekliğinde iki adet yeni çatlak meydana gelmiştir. 32 cm ile 47cm arasında boyuna aderans çatlağı meydana gelmiştir. *Deney numunesi akma konumuna ulaşmıştır.
-3	-15.59	-3.17	Kolon-temel birleşiminden itibaren 41 cm yüksekliğinde yeni çatlak meydana gelmiştir ve 3 nolu çatlak çatallaşmıştır. *Deney numunesi akma konumuna ulaşmıştır.
Deplasman Kontrollü Yükleme Geçilmiştir.			
4	17.62	5.11	Kolon-temel birleşiminden itibaren 75 ve 85 cm yüksekliğinde iki adet yeni çatlak meydana gelmiştir önceki yüklemelerde oluşan çatlakların boyları uzamıştır.
-4	-17.94	-5.23	Kolon-temel birleşiminden itibaren 85 cm yüksekliğinde yeni çatlak oluştu ve daha önce oluşan çatlakların boyları uzamıştır. Ayrıca düşey yönde çatlaklar oluşmuştur.
5	19.73	7.82	Kolon-temel birleşiminden itibaren 21 cm yüksekliğinde yeni çatlak oluştu ve daha önce oluşan çatlakların boyları uzamıştır.
-5	-20.16	-7.94	Kolon-temel birleşiminden itibaren 57 ve 74 cm yüksekliğinde yeni çatlak meydana gelmiştir. Daha önce oluşan çatlakların boyları uzamıştır.
6	20.32	9.91	Çatlakların boyları uzayarak itme ve çekme çatlakları birleşmiştir. Ayrıca meydana gelen çatlaklar çatallaşarak ilerlemektedir.
-6	-21.37	-10.48	Daha önce meydana gelen çatlakların boyları uzamıştır.
7	20.39	12.48	Önceki yüklemelerde meydana gelen çatlakların boyları uzamaktadır. Çatlak genişlikleri artmaktadır.
-7	-22.22	-12.73	-----
8	20.16	14.97	2 nolu çatlak temele doğru ilerlemiştir.
-8	-23.33	-15.73	3 nolu çatlak temele doğru ilerlemiştir.
9	20.22	17.68	Korozyon hasarlı bölümde aderans çatlağı boyuna doğrultuda temele kadar ilerlemiştir.
-9	-24.09	-18.45	Korozyon hasarlı bölümde aderans çatlağı boyuna doğrultuda temele kadar ilerlemiştir.
10	20.35	19.94	İtmede çekme bölgesindeki kabuk atmaya başlamıştır.
-10	-24.45	-20.28	-----
11	16.37	25.05	İtmede ilk çekme donatısında kopma meydana gelmiştir.
-11	-23.18	-24.59	Basınç bölgesindeki kabuk betonu dökülmüştür.
12	15.87	29.95	İtmede ikinci çekme donatısında kopma meydana gelmiştir.
-12	-23.56	-31.28	Çekme yüklemesinde kolon yük taşımaya devam etmektedir, fakat itme bölgesinin boyuna donatıları koptuğu için deneyde yüklemeye son verilmiştir.
13	6.43	-0.17	Deplasman sıfırlanarak numune başlangıç konumuna alınmıştır.

Deneysel elamanda ilk eğilme çatlağı +1. itme çevriminde yaklaşık 5.52 kN'luk yatay yükte meydana gelmiştir. Bu yük değerinde numune, 0.74 mm'lik bir tepe deplasmanına ve % 0.05'lik bir yanal ötelenme oranına sahiptir. Deneysel elemanda itmede ve çekmede gözlemlenen ilk çatlaklar Şekil 4.126'da gösterilmiştir.



Şekil 4.126. UK10-%30 deney numunesinde oluşan ilk çatlaklar

UK10-%30 deney elemanı akma konumuna yaklaşık % 0.34 ötelenme oranında ve 17.62 kN yatay yük değerinde ulaşılmıştır. Bu yükte deneysel numunenin tepe deplasmanı 5.11 mm'dir. Bu yükleme adımında korozyon hasarından dolayı kolon boyuna donatıları boyunca düşey aderans çatlakları oluşmuştur ve plastik mafsal bölgesinde itme ve çekme çevrimlerinde oluşan yatay eğilme çatlakları yaklaşık olarak simetriktir. Şekil 4.127'de deneysel numunenin akma konumunda gözlenen çatlaklar gösterilmiştir.



Şekil 4.127. UK10-%30 deney numunesinin akma konumunda gözlenen çatlaklar

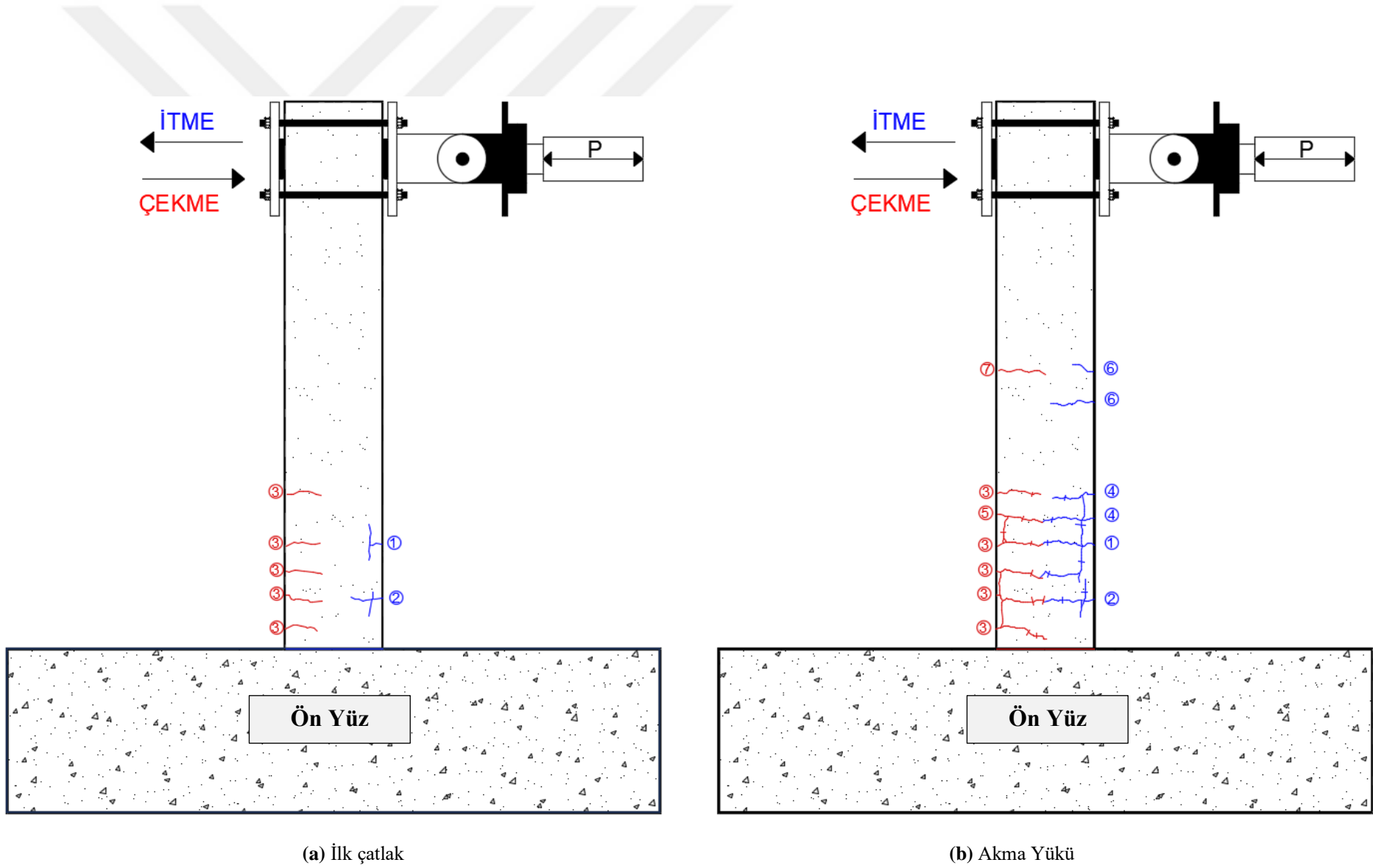
UK10-%30 numunesi, 12. ileri yükleme çevriminde, çekme donatısında meydana gelen kopma ile yatay yük taşıma kapasitesine ulaşmıştır. Bu çevrimde numune, 15.87 kN yatay yük, 29.95 mm tepe deplasmanına sahiptir. Deney elemanının bir sonraki çekme yüklemesinde yük taşımaya devam etmiştir ve tepe deplasmanı yaklaşık 31.28 mm civarındadır. Deneysel eleman göçme konumuna ulaştığında, numunenin basınç bölgesinde ki beton örtüsü dökülmüştür. Deneysel numunenin deney sonu görünümü Şekil 4.128’de gösterilmiştir. Numunede deney sonuna kadar eğilme davranışı gözlemlenmiştir ve aderans çatlaklarından dolayı beton donatı ile kenetlenmesini söz konusu olmadığından kesit bazında bir akma görülemediği. UK10-%30 deney elemanının ilk çatlak, akma yükü, maksimum yük ve göçme durumunun çatlak krokisi bilgisayar programında işlenerek, hasar oluşumu incelenmiştir. Deneysel numunenin çatlak krokisi Şekil 4.129’da gösterilmiştir.



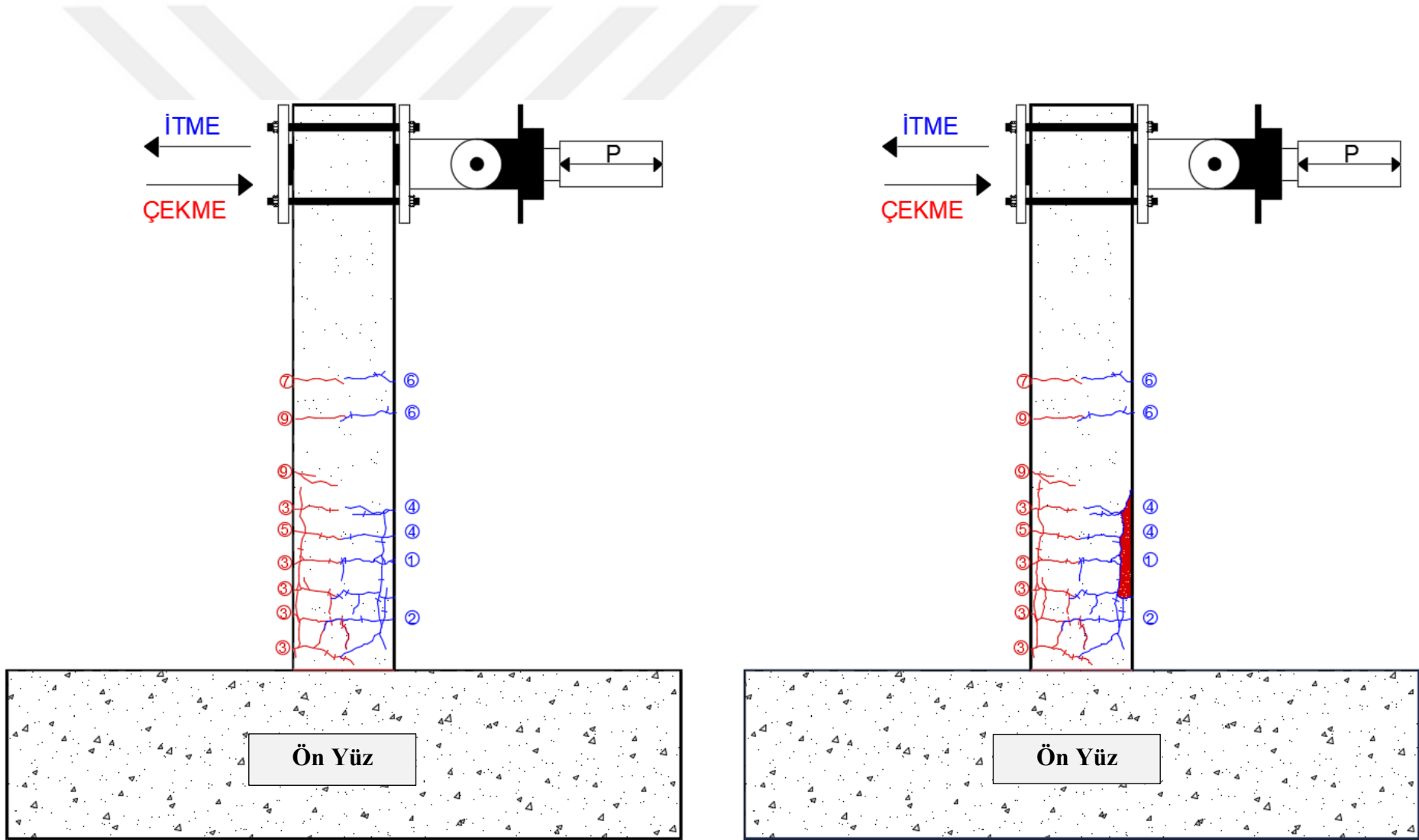
Şekil 4.128. UK10-%30 numunesinin deney sonu görünümü



Şekil 4.128. UK10-%30 numunesinin deney sonu görünümü (devamı)(plastik mafsalsal bölgesi)



Şekil 4.129. UK10-%30 numunesinin çatlak krokisi



(c) Maksimum yük

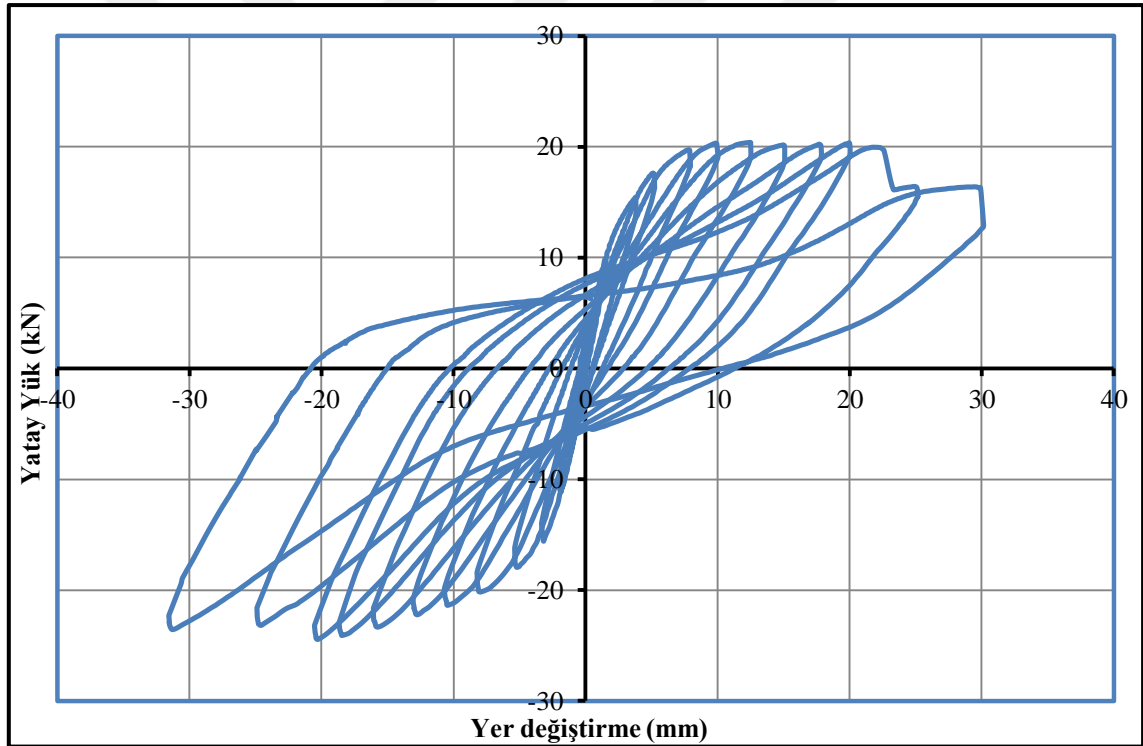
(d) Göçme durumu

Şekil 4.129. UK10-%30 numunesinin çatlak krokisi (devamı)

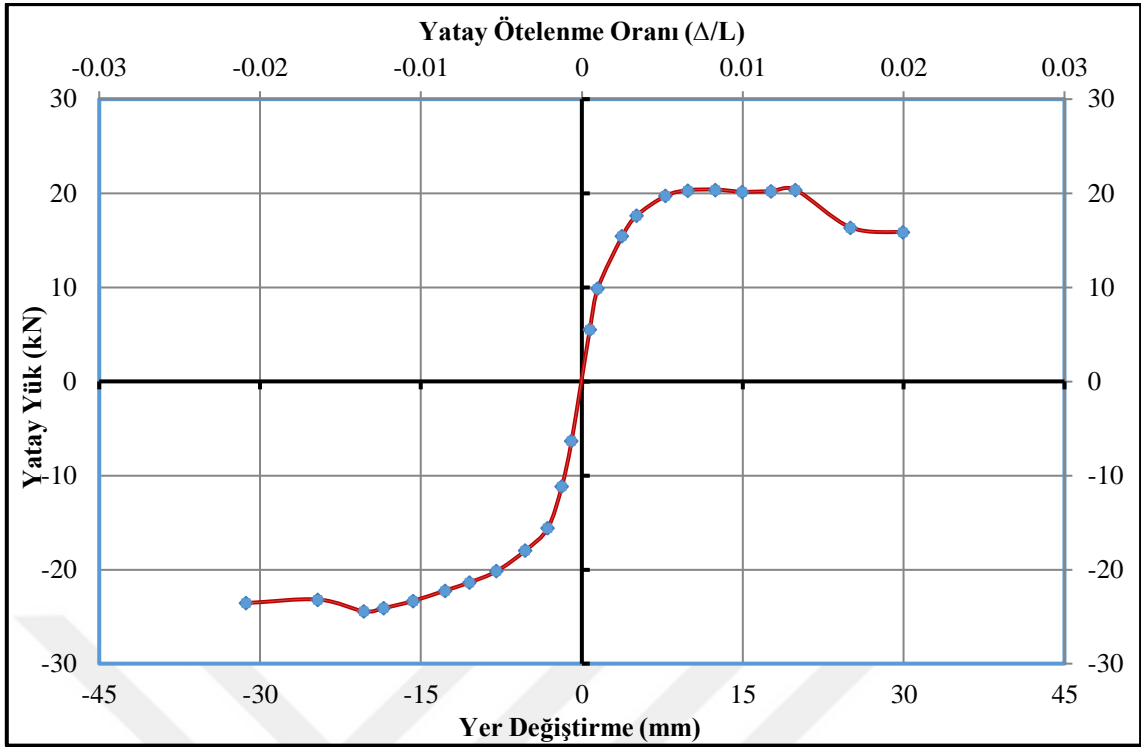
Deneyler sırasında yük hücresi ve yer değiştirme ölçerlerden alınan veriler yardımıyla, numunelerin davranışlarını incelemek için çeşitli grafikler çizilmiştir. Şekil 4.130'de UK10-%30 numunesine ait yatay yük- yer değiştirme çevrimsel histerezis ilişkisi, Şekil 4.131'de ise her bir çevrimdeki maksimum yatay yük ve bu yüke karşılık gelen yer değiştirmelerin işaretlenmesi ve birleştirilmesi ile elde edilen dayanım zarfı görölmektedir.

UK10-%30 numunesinin, yatay yük-yer değiştirme eğrisinin altında kalan alanların hesaplanması ve ardışık toplanması ile numunenin kümülatif toplam enerji tüketme kapasitesi-ötelenme oranı grafiği çizilmiş ve Şekil 4.132'de gösterilmiştir.

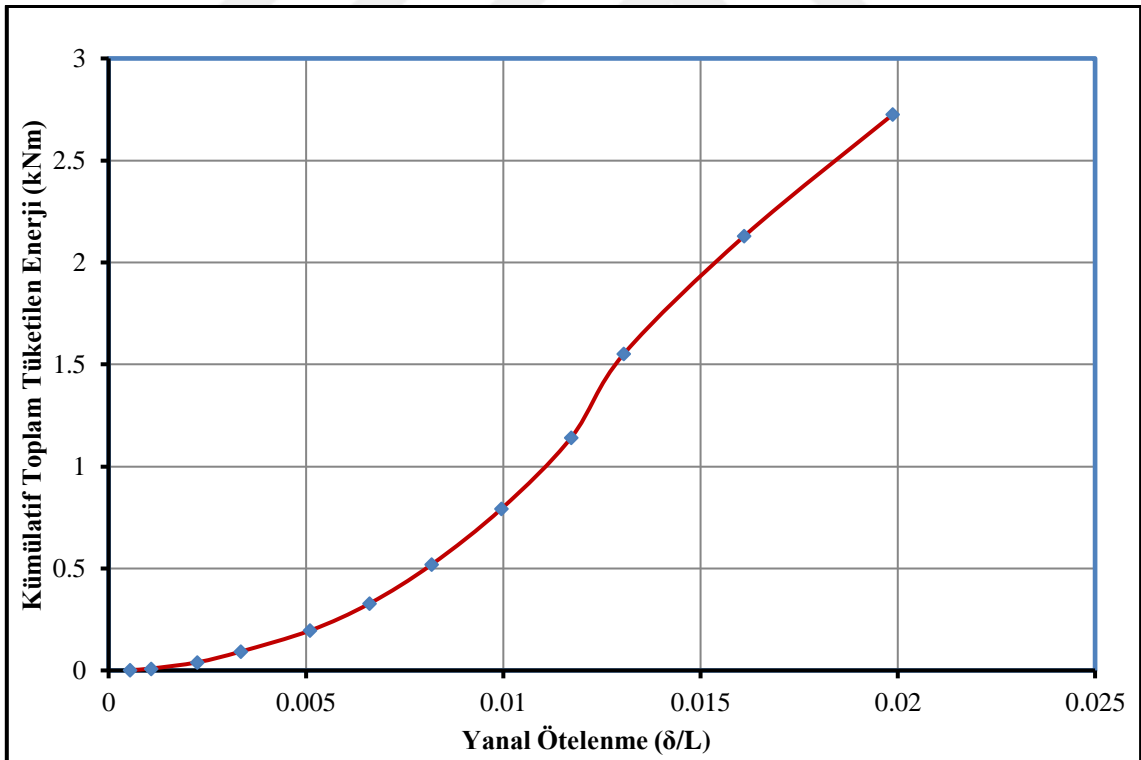
UK10-%30 numunesine ait rijitlik azalımı grafiği Şekil 4.133'de gösterilmiştir. Rijitlik grafiğinde, itme çevrimleri için elde edilen değerler grafiğin sağ tarafında, çekme çevrimleri için hesaplanan değerler grafiğin solunda yer almaktadır.



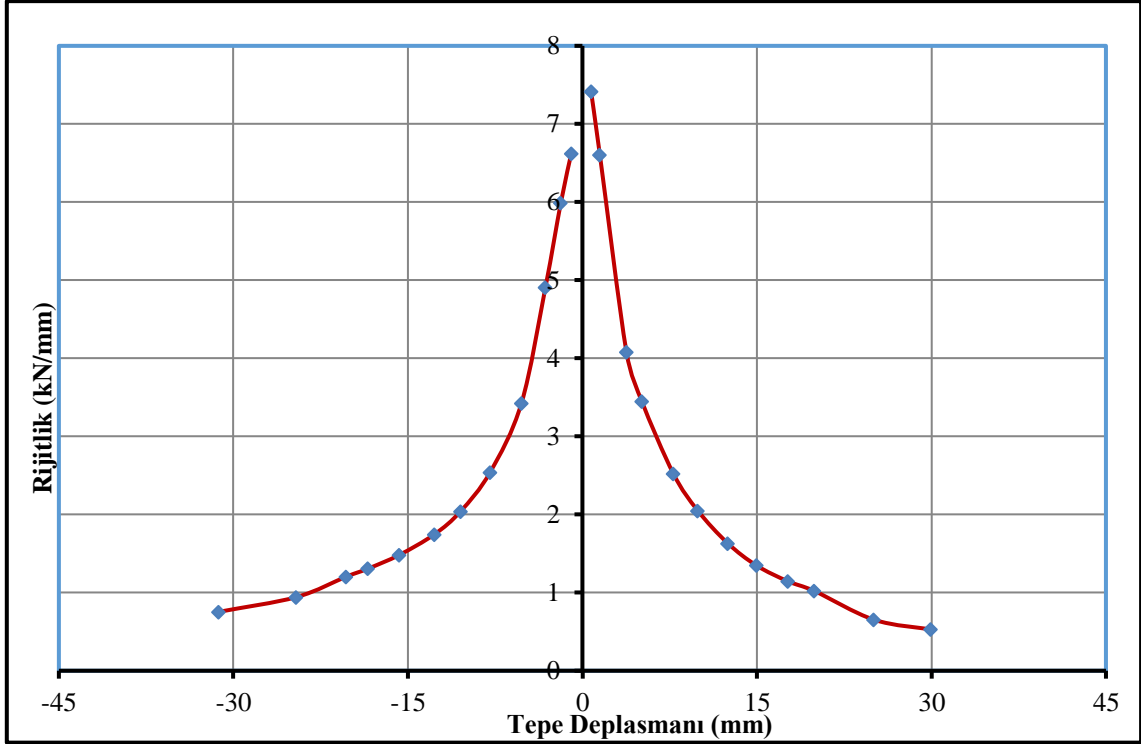
Şekil 4.130. UK10-%30 numunesinin yatay yük-tepe deplasmanı histerezis eğrisi



Şekil 4.131. UK10-%30 numunesine ait dayanım zarfı

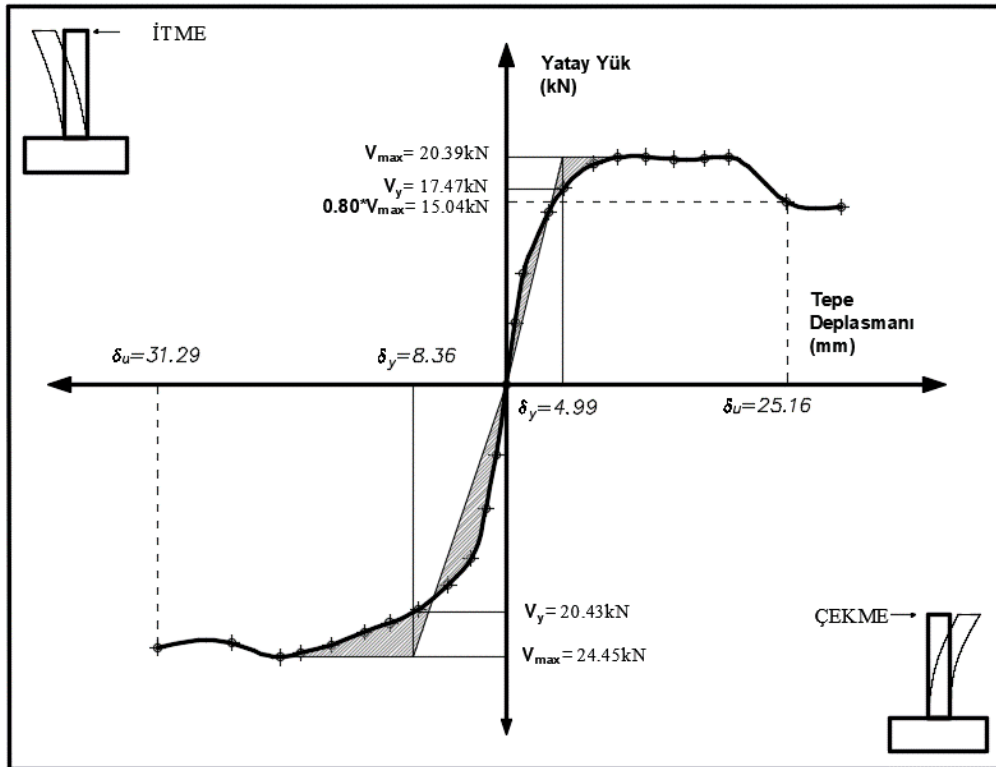


Şekil 4.132. UK10-%30 numunesine ait kümülatif toplam tüketilen enerji grafiği



Şekil 4.133. UK10-%30 numunesinin rijitlik azalımı grafiği

UK10-%30 numunesinin süneklik parametrelerinin gösterildiği grafik Şekil 4.134'de verilmiştir. Çizelge 4.36'da ise süneklik değerleri tablo halinde özetlenmiştir.



Şekil 4.134. UK10-%30 numunesinin süneklik grafiği

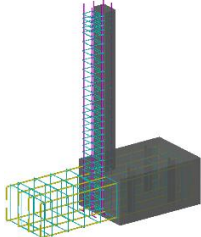
Çizelge 4.36. UK10-%30 numunesinin çatlak ve hasar oluşumu

UK10-%30	V_y (kN)	$0.8*V_{max}$ (kN)	V_{max} (kN)	Δ_y (mm)	Δ_u (mm)	μ (Δ_u / Δ_y)	$\mu_{ort.}$	Yatay Ötelenme Oranı (Δ/L) (%)
İtme	17.47	15.04	20.39	4.99	25.16	5.04	4.39	1.68
Çekme	-20.43	-23.56	-24.45	-8.36	-31.28	3.74		-2.09

4.1.13. Deney Numunesi-13 (UK20-%30)

Çalışma kapsamında on üçüncü olarak test edilen numune, UK20-%30 isimli numunedir. UK20-%30 isimli numune, çimentonun yerine, çimento ağırlığının %20'si kadar uçucu kül (UK) ilave edilmiş, UK20 serisine ait 3 adet numuneden ağırlıkça %30 seviyesinde korozyon hasarına maruz bırakılan numunedir. UK20-%30 isimli numuneye ait parametrik değerler Çizelge 4.37'de özetlenmiştir.

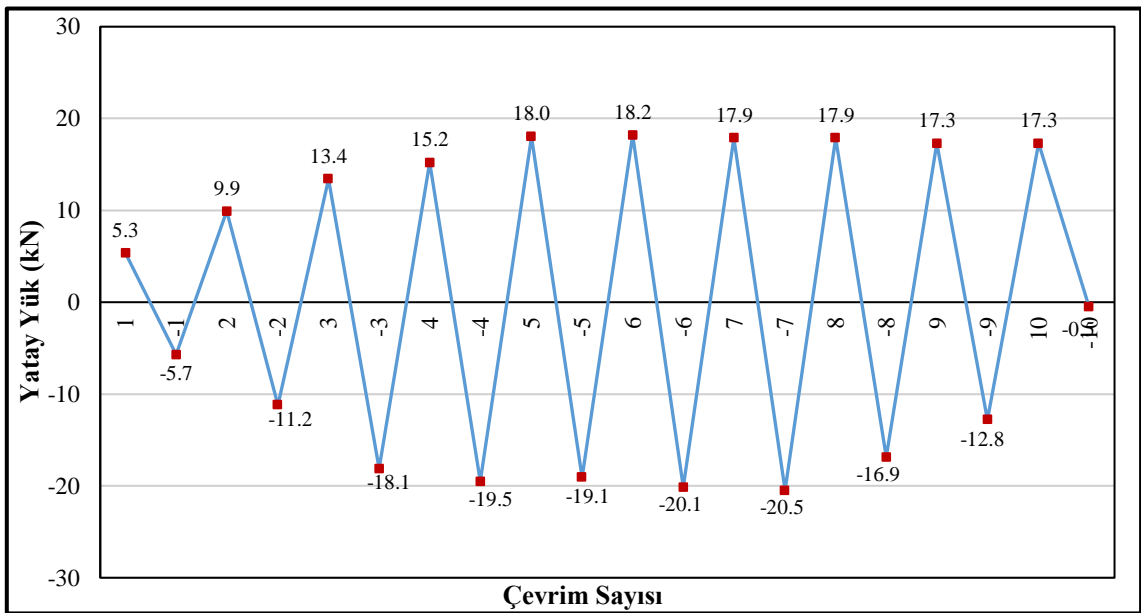
Çizelge 4.37. UK20-%30 numunesinin parametrik özellikleri

Deney Numunesi No	Numune görünümü	Mineral Katkı Türü (1 m ³ için) (kg)			Ortalama Silindir Basınç Dayanımı (MPa)	Korozyon Seviyesi (%)
		CEM I 42.5R	UK	YFC		
Deney-13 UK20-%30 Uçucu Küllü Seri		224	56	-	31.11	30

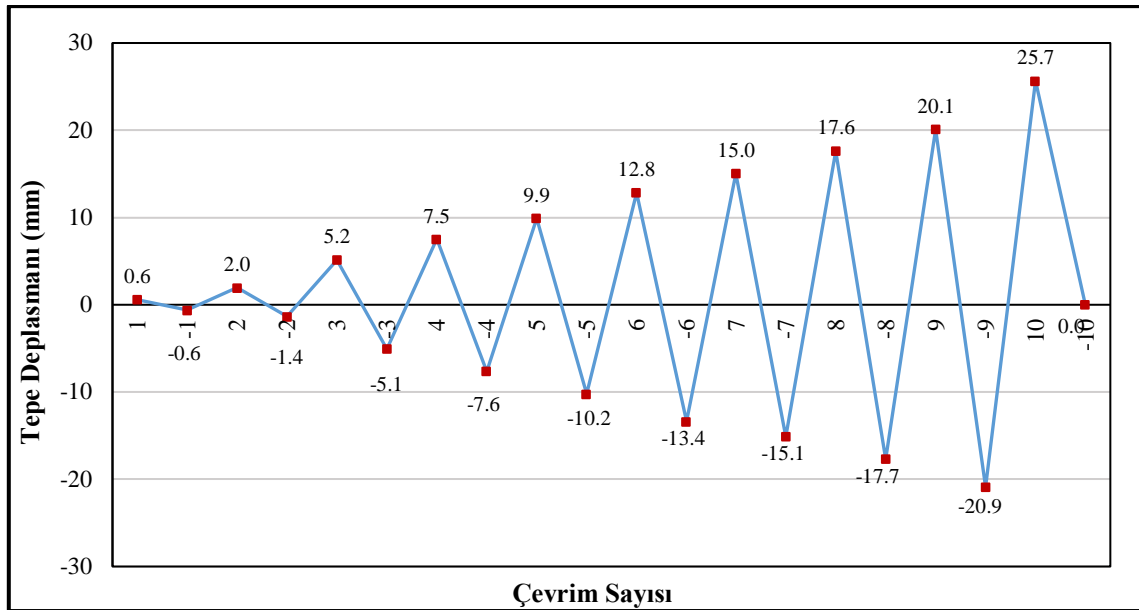
Deney elemanının tersinir-tekrarlanır yatay yükleme altında test edilmeden hemen önce ki, yatay yükleme deney düzeneğine yerleştirilmiş hali Şekil 4.135'de gösterilmiştir. Şekil 4.136'da deney elemanına ait yük geçmişi grafiği, Şekil 4.137'de deplasman geçmişi grafiği verilmiştir.



Şekil 4.135. UK20-%30 numunesinin deney öncesi görünümü



Şekil 4.136. UK20-%30 deney numunesinin yük geçmişi grafiği



Şekil 4.137. UK20-%30 deney numunesinin deplasman geçmişi grafiği

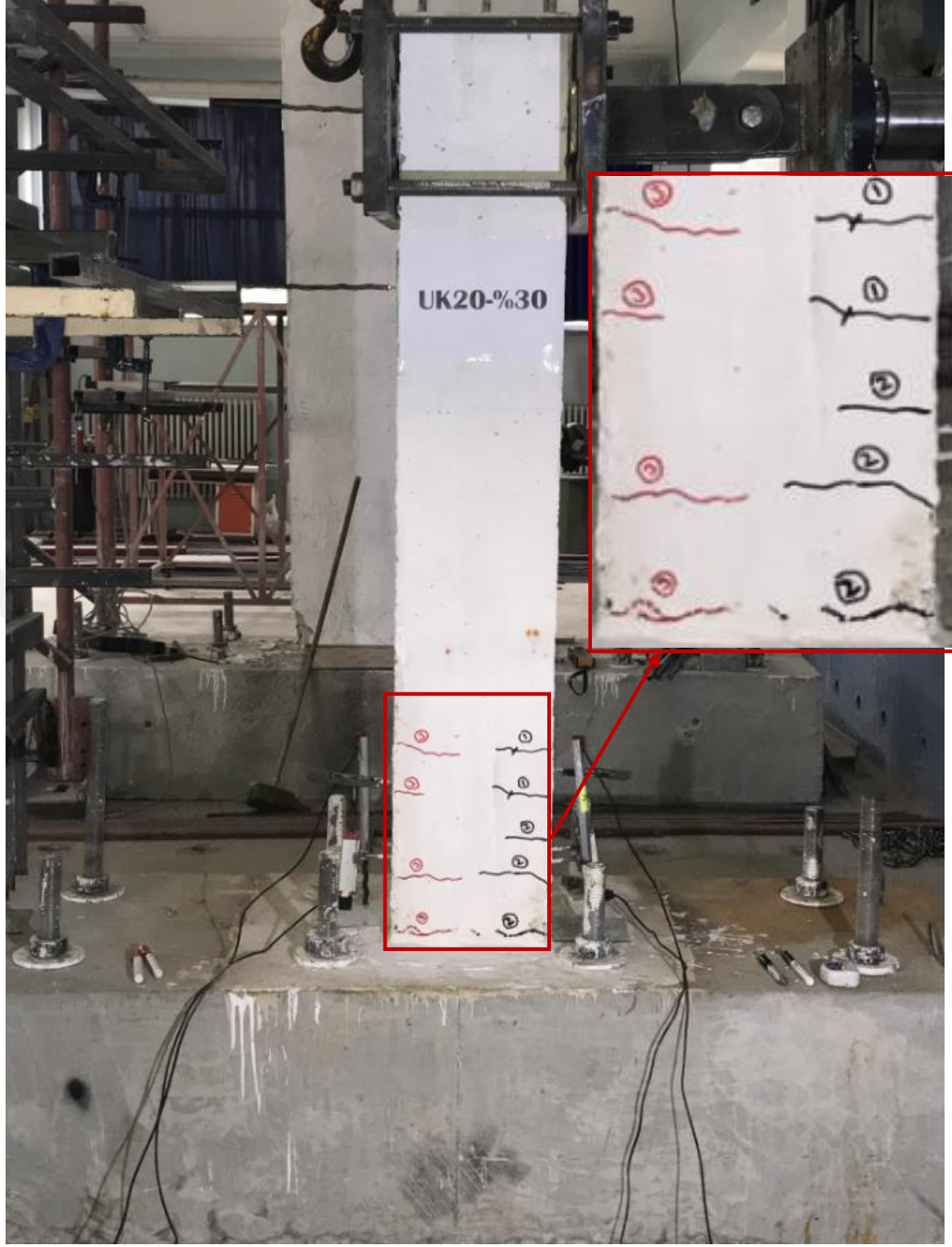
Şekil 4.136'daki yükleme geçmişi grafiğinden de görüldüğü gibi 4. çevrime kadar ± 5 kN yük artırımı uygulanmış ve sonraki çevrimlerde deplasman kontrollü yüklemeye geçilmiştir. Deplasman kontrollü yüklemeye ise 20 mm'ye kadar 2.5 mm deplasman artırımı uygulanmış ve 20 mm'den sonra 5 mm'lik deplasman artırımları ile deneye devam edilmiştir. Yük geçmişi grafiği incelendiğinde, 3. çevrimde deneysel numunenin ideal akma noktasına ulaştığı görülmektedir. İlerleyen çevrimlerde yatay yükte artış olmadığından deplasman kontrollü olarak göçme konumuna itmede ve çekmede donatıda meydana gelen kopma ile ulaşılmıştır. Deney aşamasında her bir çevrimde gözlemlenen davranış Çizelge 4.38'de verilmiştir.

Çizelge 4.38. UK20-%30 numunesinde çatlak ve hasar oluşumları

Çevrim No (+, itme) (-, çekme)	Maksimum Yatay Yük (kN)	Maksimum Tepe Deplasmanı (mm)	Numunede Gözlenen Çatlak ve Hasar Oluşumu
1	5.34	0.60	Deneyin ilk iki çevriminde herhangi bir çatlak gözlemlenmemiştir.
-1	-5.72	-0.61	
2	9.89	1.96	*İtmede ilk çatlak meydana geldi. Kolon-temel birleşiminden itibaren 29 ve 38 cm yüksekliğinde iki adet çatlak meydana gelmiştir.
-2	-11.17	-1.36	-----
3	13.42	5.16	Kolon-temel birleşiminden itibaren 3. 13 ve 21 cm yüksekliğinde üç adet yeni çatlak meydana gelmiştir. *Deney numunesi akma konumuna ulaşmıştır.

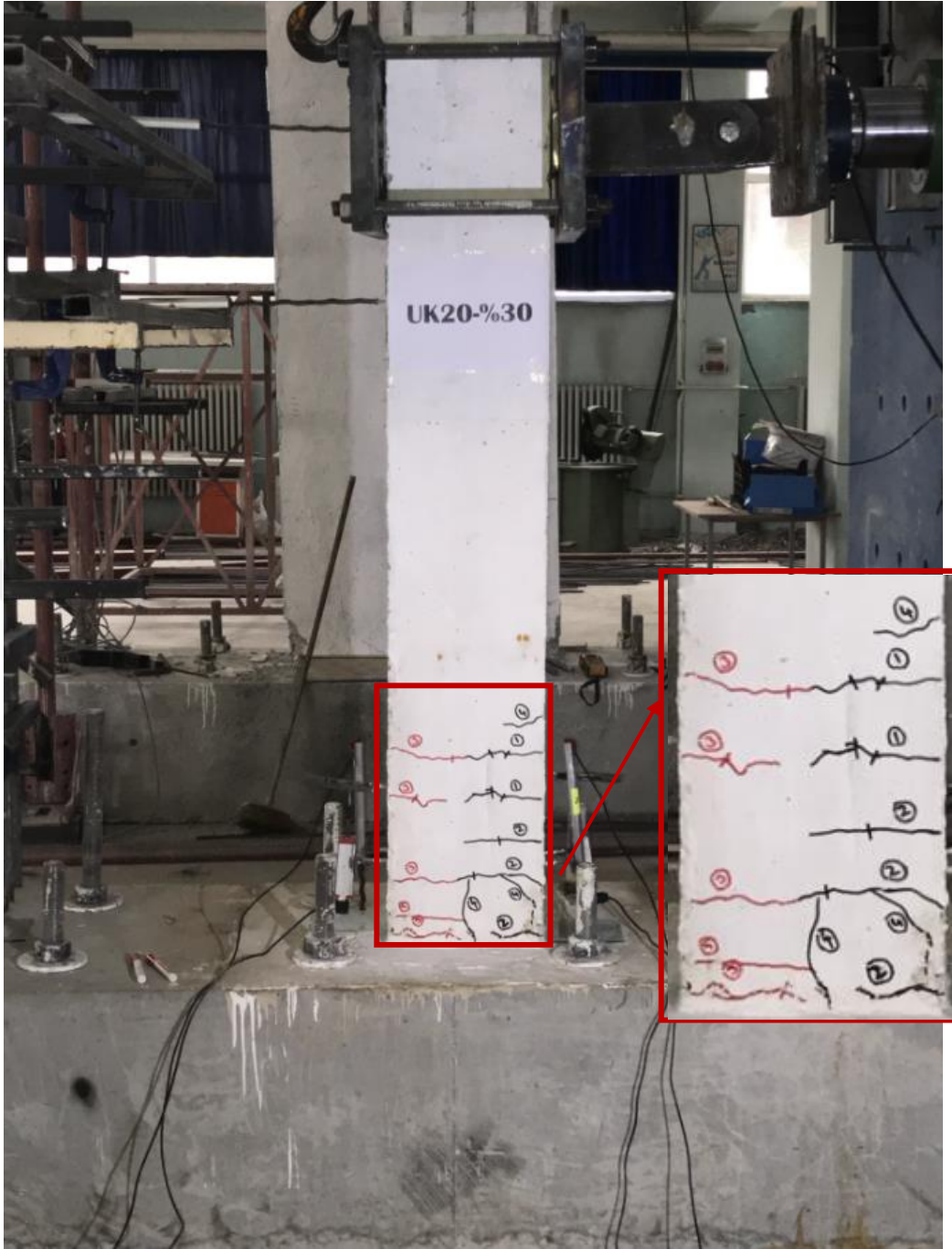
Çevrim No (+, itme) (-, çekme)	Maksimum Yatay Yük (kN)	Maksimum Tepe Deplasmanı (mm)	Numunede Gözlenen Çatlak ve Hasar Oluşumu
-3	-18.12	-5.06	*Çekmede ilk çatlak meydana geldi. Kolon-temel birleşiminden itibaren 2, 13, 29 ve 38 cm yüksekliğinde dört adet yeni çatlak meydana gelmiştir. *Deney numunesi akma konumuna ulaşmıştır.
Deplasman Kontrollü Yükleme Geçilmiştir.			
4	15.19	7.53	Kolon-temel birleşiminden itibaren 4 cm yüksekliğinde yeni çatlak oluştu ve daha önce oluşan çatlakların boyları uzamıştır.
-4	-19.53	-7.63	Kolon-temel birleşiminden itibaren 6 cm yüksekliğinde yeni çatlak oluştu ve daha önce oluşan çatlakların boyları uzamıştır. Ayrıca 2 ve 4 nolu çatlaklar çatallaşarak temele doğru ilerlemiştir.
5	18.02	9.93	Kolon-temel birleşiminden itibaren 85 cm yüksekliğinde ve kolon temel birleşiminde iki adet çatlak meydana gelmiştir.
-5	-19.05	-10.23	Kolon-temel birleşiminden itibaren 85 cm yüksekliğinde yeni çatlak meydana gelmiştir. Daha önce oluşan çatlakların boyları uzamıştır.
6	18.18	12.83	Kolon temel birleşiminde itmede ve çekmede meydana gelen çatlaklar birleşmiştir.
-6	-20.14	-13.39	Daha önce meydana gelen çatlakların boyları uzamıştır.
7	17.89	15.04	Plastik mafsallık bölgesinde oluşan yatay çatlaklar temel doğru ilerlemektedir.
-7	-20.48	-15.13	Çekme çevriminde, çekme bölgesinde ki ilk donatı kopmuştur.
8	17.89	17.62	Kolon-temel birleşiminden itibaren 20 cm yüksekliğinde yeni çatlak meydana gelmiştir ve kolon-temel birleşimindeki çatlağın genişliği artmıştır. Önceki yüklemelerde meydana gelen çatlakların boyları uzadı ve çatlak genişlikleri artmıştır.
-8	-16.86	-17.69	4 ve 2 nolu çatlak arasında boyuna çatlak meydana gelmiştir.
9	17.29	20.12	-----
-9	-12.78	-20.89	İkinci çekme donatısında da kopma meydana gelmiştir ve numune göçme konumuna ulaşmıştır.
10	17.28	25.66	Önceki yüklemelerde meydana gelen çatlakların boyları uzamaktadır. Çatlak genişlikleri artmaktadır. *Deneyde yüklemeye son verilmiştir.
-10	-0.54	0.00	Deplasman sıfırlanarak numune başlangıç konumuna alınmıştır.

Deneyel elamanda ilk eğilme çatlağı +2. itme çevriminde yaklaşık 9.89 kN'luk yatay yükte meydana gelmiştir. Bu yük değerinde numune, 1.18 mm'lik bir tepe deplasmanına ve % 0.07'lik bir yanal ötelenme oranına sahiptir. Deneyel elemanda itmede ve çekmede gözlemlenen ilk çatlaklar Şekil 4.138'de gösterilmiştir.



Şekil 4.138. UK20-%30 deney numunesinde oluşan ilk çatlaklar

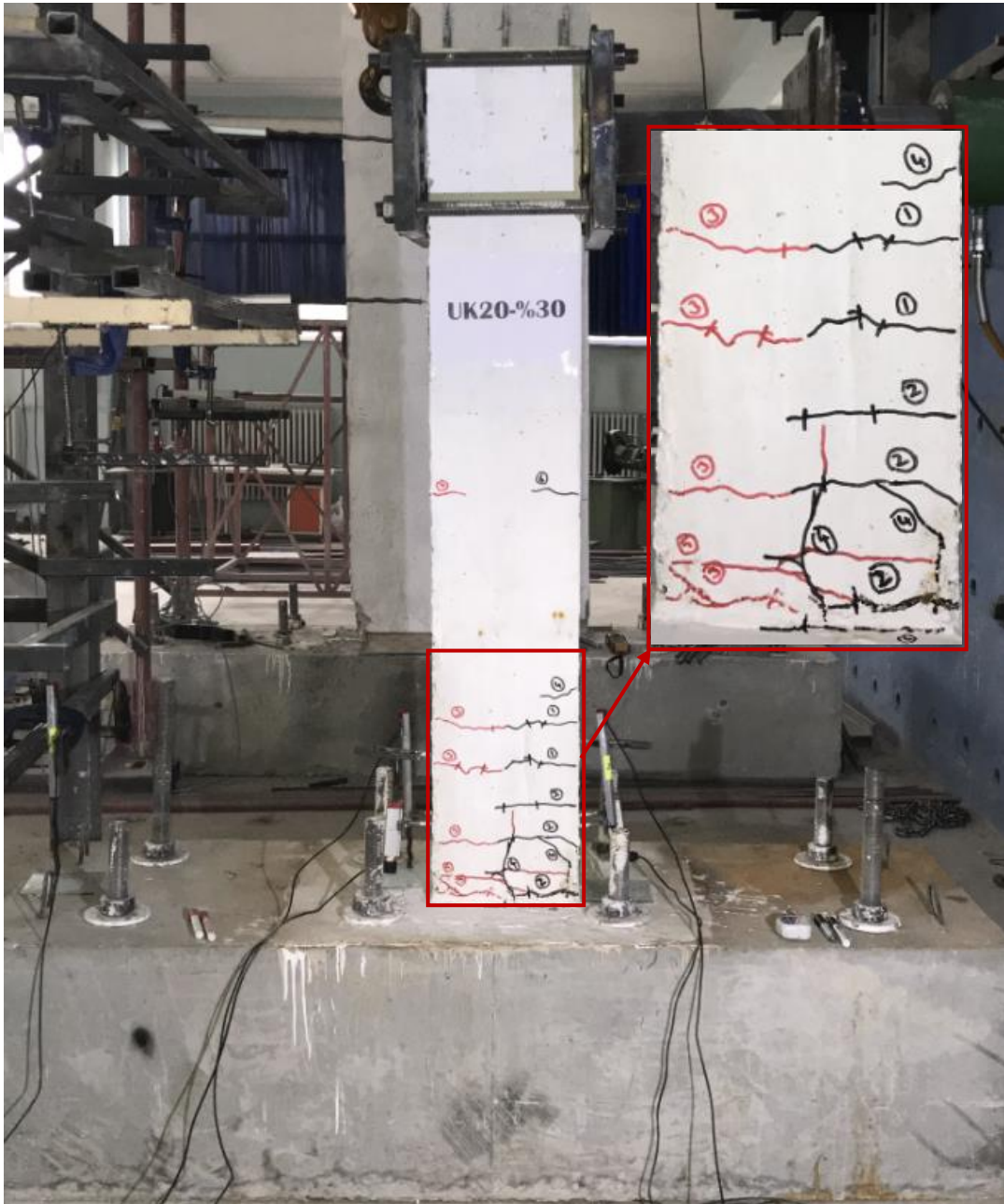
UK20-%30 deney elemanı akma konumuna yaklaşık % 0.36 ötelenme oranında ve 19.98 kN yatay yük değerinde ulaşmıştır. Bu yükte deneysel numunenin tepe deplasmanı 5.53 mm'dir. Bu yükleme adımında temel-kolon birleşim bölgesinde çatlaklar oluşmuştur, ayrıca plastik mafsal bölgesinde itme ve çekme çevrimlerinde oluşan simetrik eğilme çatlakları çatallaşmaya başlamıştır. Şekil 4.89'da deneysel numunenin akma konumunda gözlenen çatlaklar gösterilmiştir.



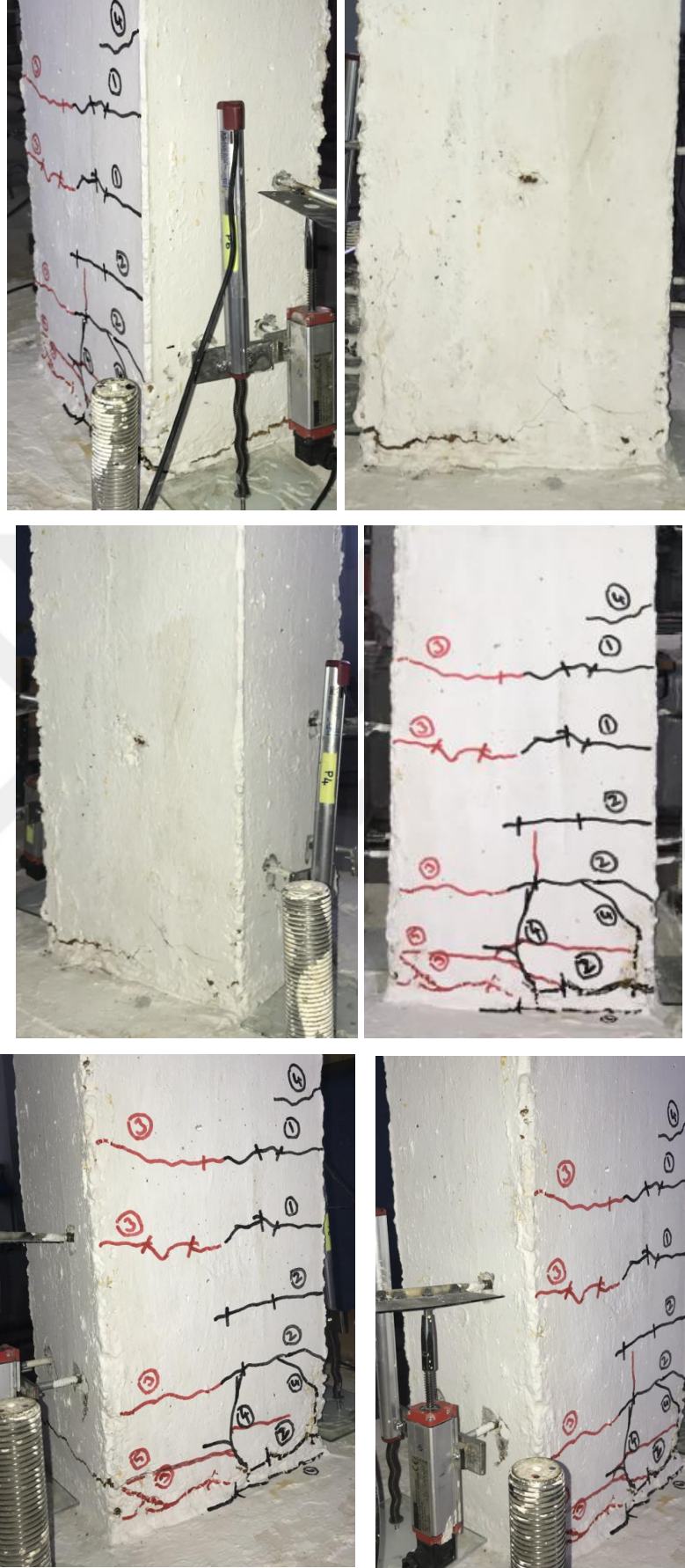
Şekil 4.139. UK20-%30 deney numunesinde akma konumunda gözlenen çatlaklar

UK20-%30 numunesi, -20. geri yükleme çevriminde, çekme donatısında meydana gelen kopma ile yatay yük taşıma kapasitesine ulaşmıştır. Bu çevrimde numune, -23.27 kN yatay yük, -98.48 mm tepe deplasmanına sahiptir. Deney elemanının bir önceki çevriminde tepe deplasmanı yaklaşık 99 mm civarındadır. Deneysel eleman göçme konumuna ulaştığında, numunenin basınç bölgesinde ki donatılar burkulmuş ve beton örtüsü dökülmüştür. Çekme yüklemesinde, çekme bölgesindeki ilk donatının kopması sonucu yatay yükte ani bir düşüş meydana gelmiş, daha sonra numune kendini

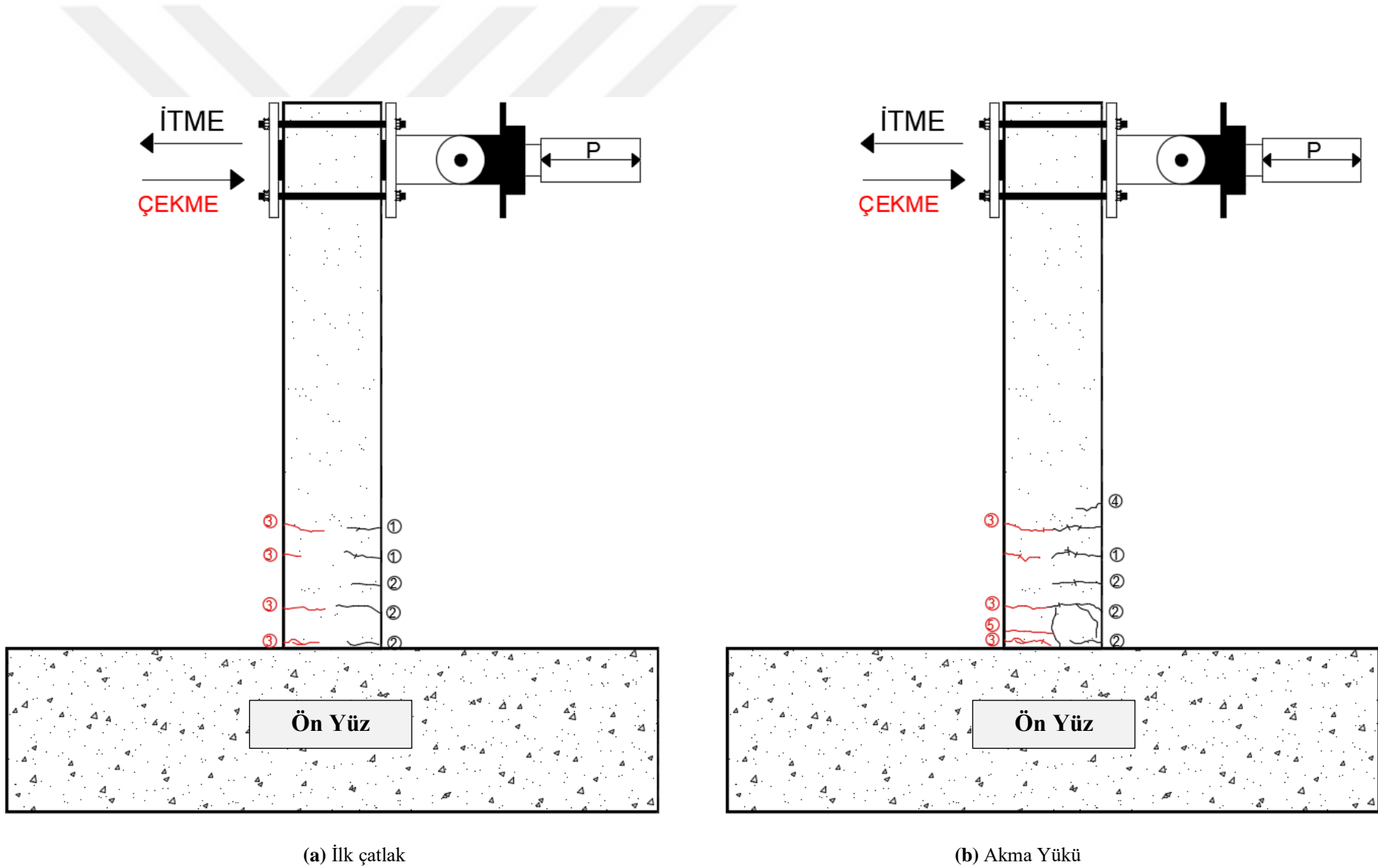
toparlamıştır. -20. Çevrimde diğer çekme donatısının da kopması sonucu deney sonlandırılmıştır. Deneysel numunenin deney sonu görünümü Şekil 4.140'da gösterilmiştir. Numunede deney sonuna kadar eğilme davranışı gözlemlenmiş olup, plastik mafsal bölgesindeki her iki yüzdeki çatlaklar birleştikten sonra 45° eğimle kolon-temel birleşimine doğru ilerlemişlerdir. UK20-%30 deney elemanının ilk çatlak, akma yükü, maksimum yük ve göçme durumunun çatlak krokisi bilgisayar programında işlenerek, hasar oluşumu incelenmiştir. Deneysel numunenin çatlak krokisi Şekil 4.141'de gösterilmiştir.



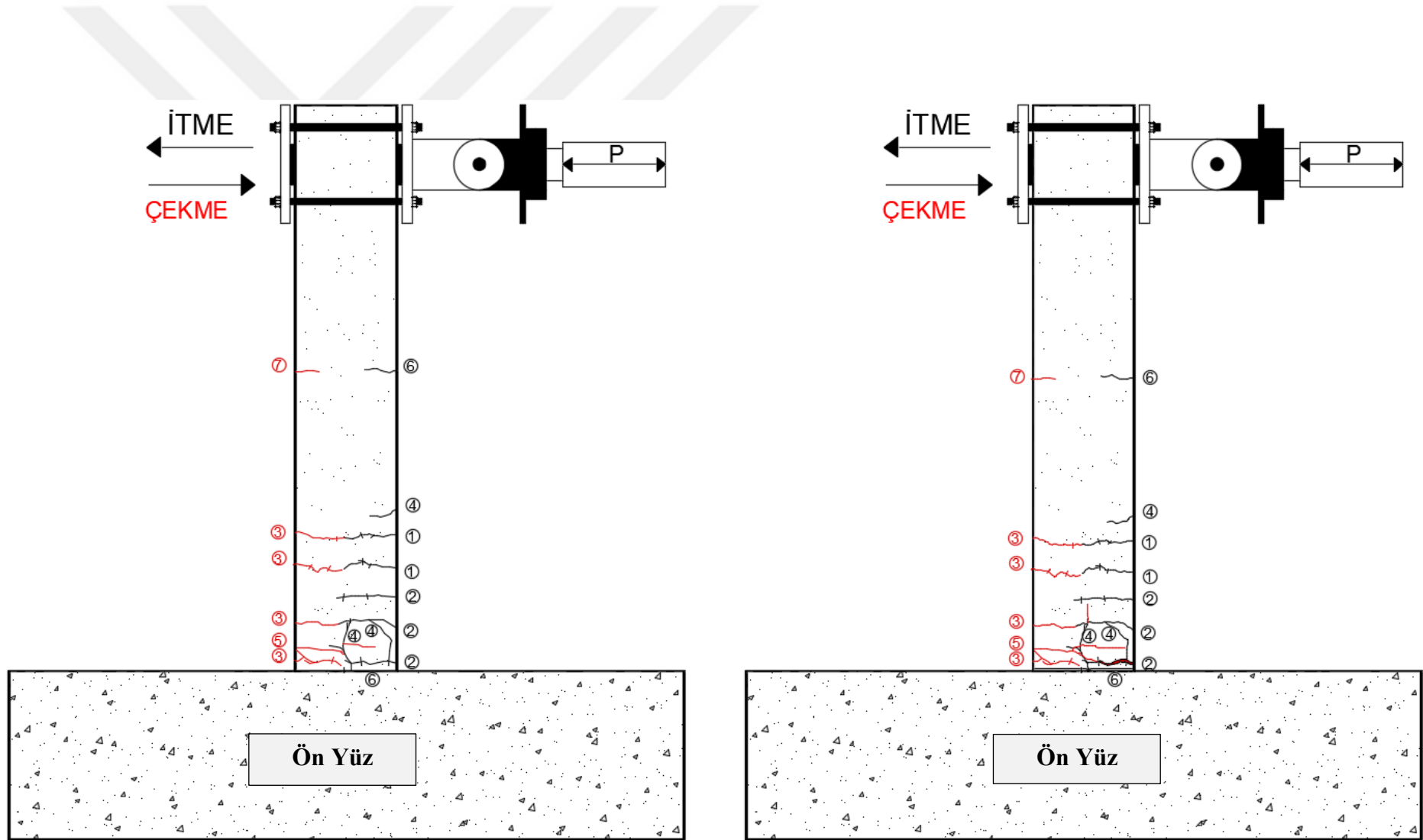
Şekil 4.140. UK20-%30 numunesinin deney sonu görünümü



Şekil 4.140. UK20-%30 numunesinin deney sonu görünümü (devamı)(plastik mafsalsal bölgesi)



Şekil 4.141. UK20-%30 numunesinin çatlak krokisi



(c) Maksimum yük

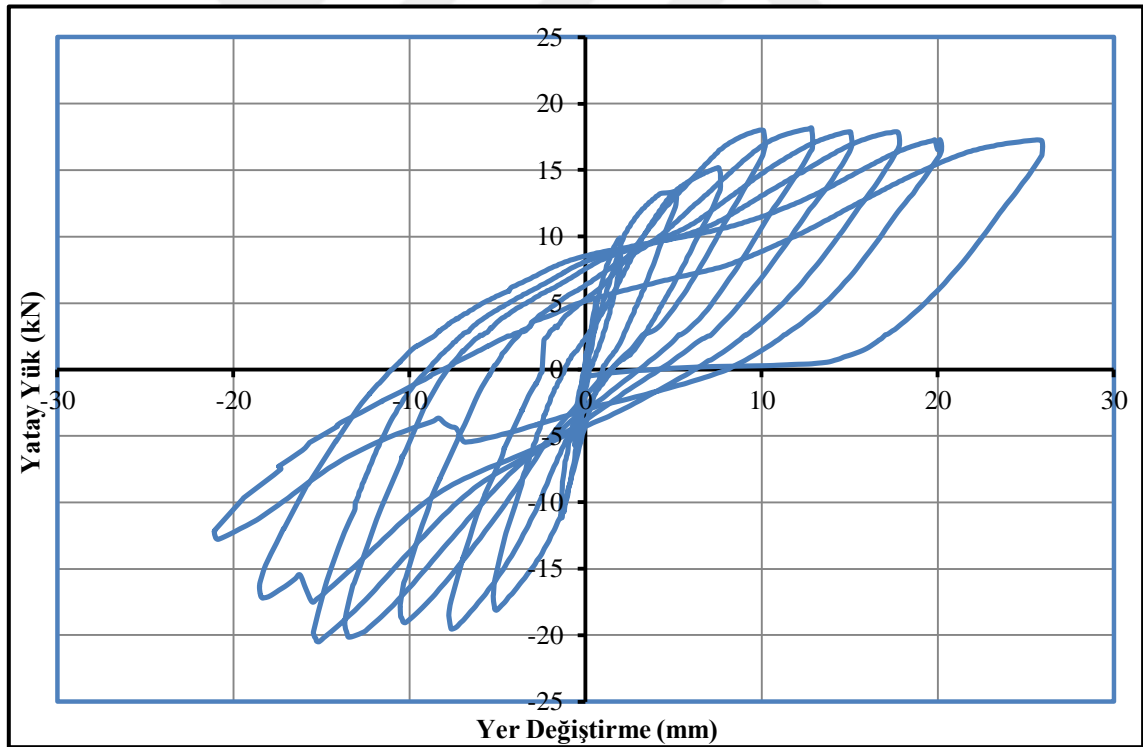
(d) Göçme durumu

Şekil 4.141. UK20-%30 numunesinin çatlak krokisi (devamı)

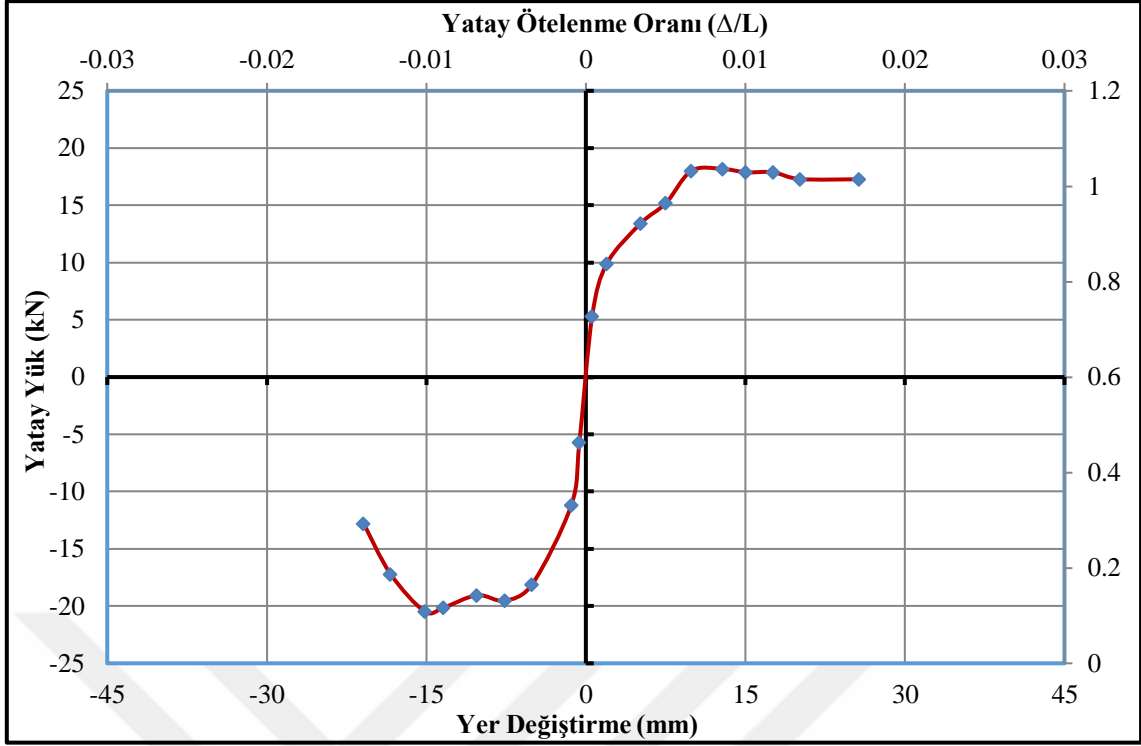
Deneyler sırasında yük hücresi ve yer değiştirme ölçerlerden alınan veriler yardımıyla, numunelerin davranışlarını incelemek için çeşitli grafikler çizilmiştir. Şekil 4.142’de UK20-%30 numunesine ait yatay yük- yer değiştirme çevrimsel histerezis ilişkisi, Şekil 4.143’de ise her bir çevrimdeki maksimum yatay yük ve bu yüke karşılık gelen yer değiştirmelerin işaretlenmesi ve birleştirilmesi ile elde edilen dayanım zarfı görölmektedir.

UK20-%30 numunesinin, yatay yük-yer değiştirme eğrisinin altında kalan alanların hesaplanması ve ardışık toplanması ile numunenin kümülatif toplam enerji tüketme kapasitesi-ötelenme oranı grafiği çizilmiş ve Şekil 4.144’de gösterilmiştir.

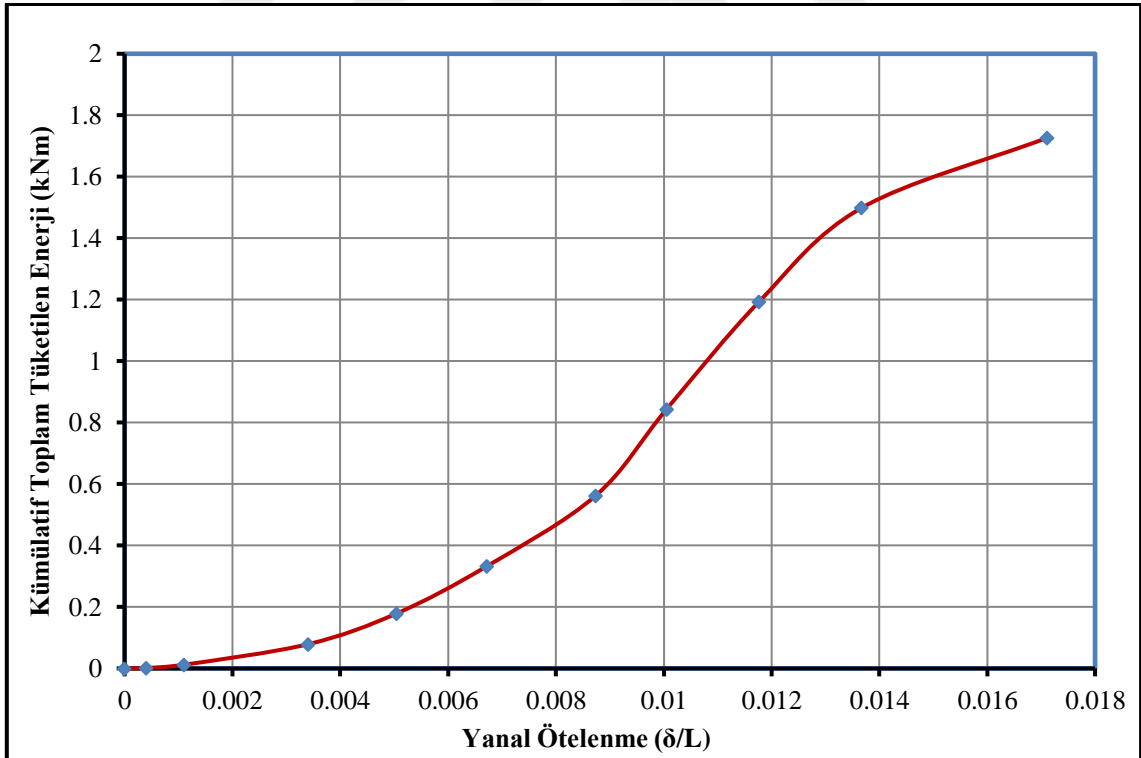
Deneyin her bir çevriminde elde edilen maksimum yatay yükün ve bu yüklere karşılık gelen tepe deplasman değerlerine oranlanması ile her bir çevrim için rijitlik değerleri elde edilmiştir. UK20-%30 numunesine ait rijitlik azalımı grafiği Şekil 4.145’de gösterilmiştir. Rijitlik grafiğinde, itme çevrimleri için elde edilen değerler grafiğin sağ tarafında, çekme çevrimleri için hesaplanan değerler grafiğin solunda yer almaktadır.



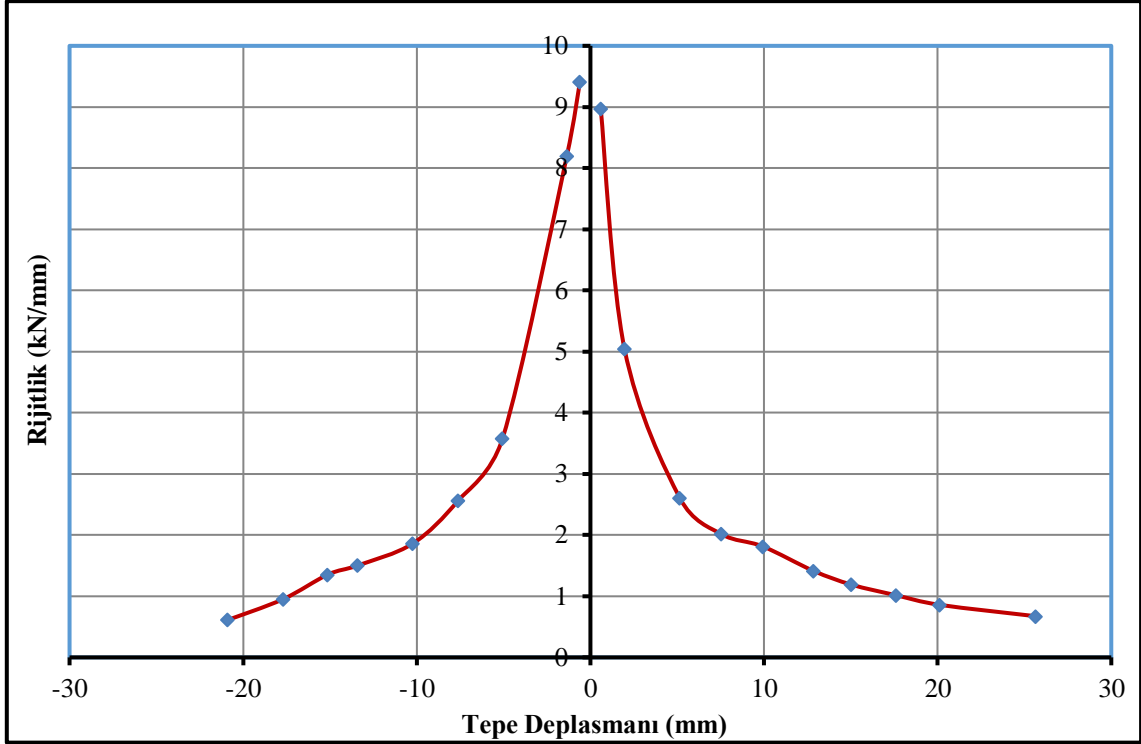
Şekil 4.142. UK20-%30 numunesinin yatay yük-tepe deplasmanı histerezis eğrisi



Şekil 4.143. UK20-%30 numunesine ait dayanım zarfı

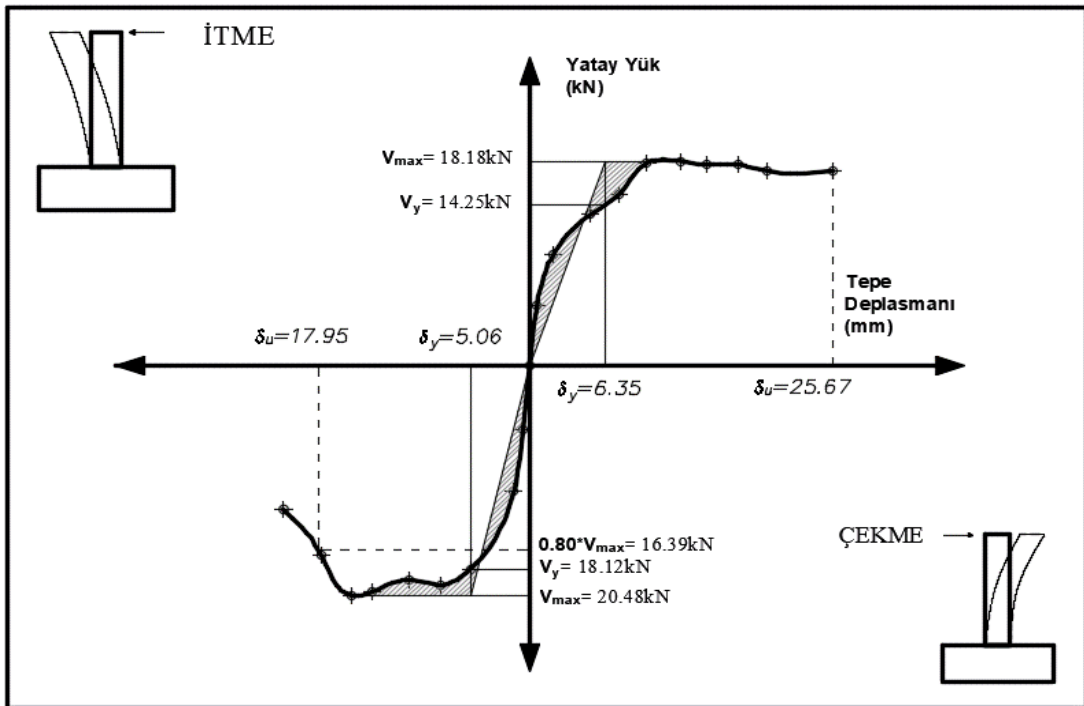


Şekil 4.144. UK20-%30 numunesine ait kümülatif toplam tüketilen enerji grafiği



Şekil 4.145. UK20-%30 numunesinin rijitlik azalımı grafiği

UK20-%30 numunesinin süneklik parametrelerinin gösterildiği grafik Şekil 4.146'de verilmiştir. Çizelge 4.39'da ise süneklik değerleri tablo halinde özetlenmiştir.



Şekil 4.146. UK20-%30 numunesinin süneklik grafiği

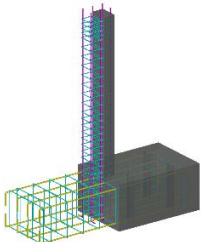
Çizelge 4.39. UK20-%30 numunesinin çatlak ve hasar oluşumu

UK20-%30	V_y (kN)	$0.8*V_{max}$ (kN)	V_{max} (kN)	Δ_y (mm)	Δ_u (mm)	μ (Δ_u/Δ_y)	$\mu_{ort.}$	Yatay Ötelenme Oranı (Δ/L) (%)
İtme	14.25	17.28	18.18	6.35	25.66	4.04	3.79	1.71
Çekme	-18.12	-16.39	-20.48	-5.06	-17.95	3.55		-1.20

4.1.14. Deney Numunesi-14 (YFC20-%30)

Çalışma kapsamında on dördüncü olarak test edilen numune, YFC20-%30 isimli numunedir. YFC20-%30 isimli numune, çimentonun yerine, çimento ağırlığının %20'si kadar yüksek fırın cürufu (YFC) ilave edilmiş, YFC20 serisine ait 3 adet numuneden ağırlıkça %30 seviyesinde korozyon hasarına maruz bırakılan numunedir. YFC20-%30 isimli numuneye ait parametrik değerler Çizelge 4.40'da özetlenmiştir.

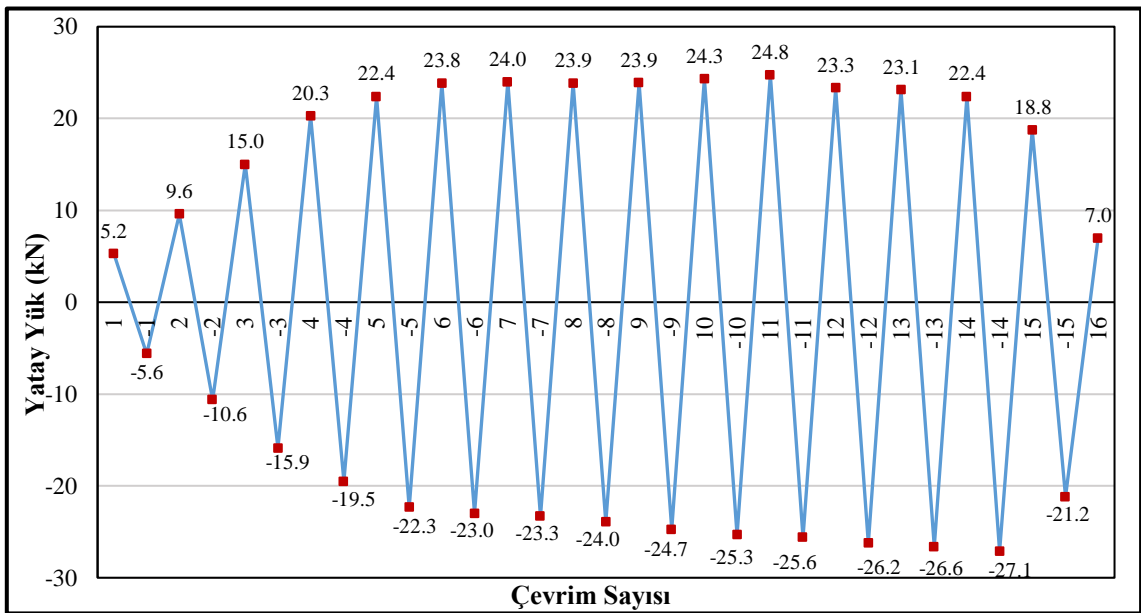
Çizelge 4.40. YFC20-%30 numunesinin parametrik özellikleri

Deney Numunesi No	Numune görünümü	Mineral Katkı Türü (1 m ³ için) (kg)			Ortalama Silindir Basınç Dayanımı (MPa)	Korozyon Seviyesi (%)
		CEM I 42.5R	UK	YFC		
Deney-14 YFC20-%30 Yüksek Fırın Cürufu Seri		224	-	56	31.43	30

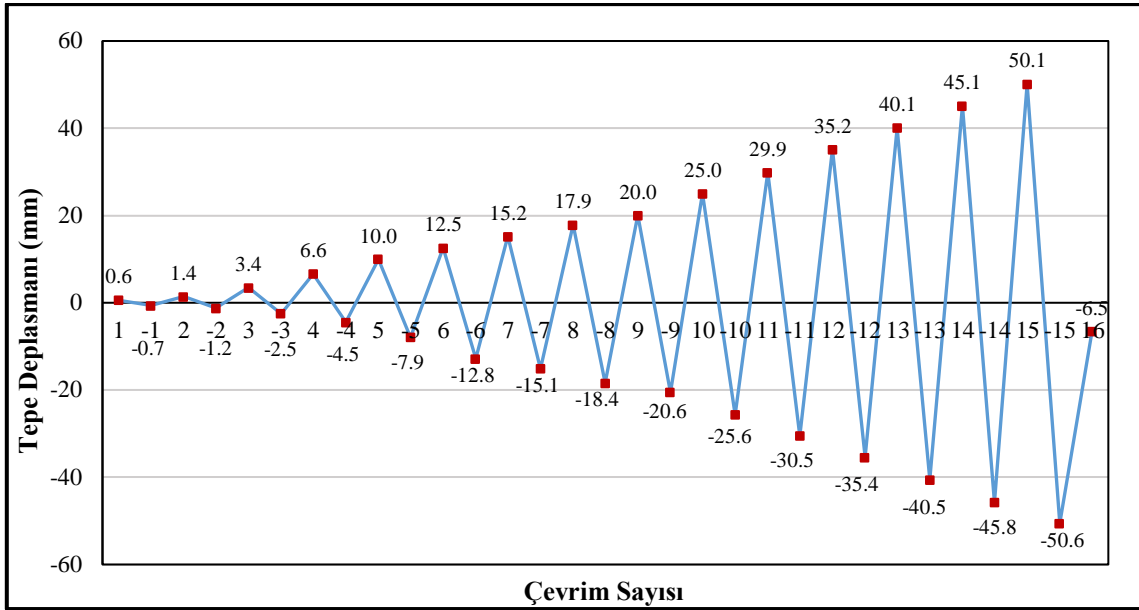
Deney elemanının tersinir-tekrarlanır yatay yükleme altında test edilmeden hemen önce ki, yatay yükleme deney düzeneğine yerleştirilmiş hali Şekil 4.147'de gösterilmiştir. Şekil 4.148'da deney elemanına ait yük geçmişi grafiği, Şekil 4.149'da deplasman geçmişi grafiği verilmiştir.



Şekil 4.147. YFC20-%30 numunesinin deney öncesi görünümü



Şekil 4.148. YFC20-%30 deney numunesinin yük geçmişi grafiği



Şekil 4.149. YFC20-%30 deney numunesinin deplasman geçmişi grafiği

Şekil 4.148'deki yükleme geçmişi grafiğinden de görüldüğü gibi 5. çevrime kadar ± 5 kN yük artırımını uygulanmış ve sonraki çevrimlerde deplasman kontrollü yüklemeye geçilmiştir. Deplasman kontrollü yüklemeye ise 20 mm'ye kadar 2.50 mm deplasman artırımını uygulanmış ve 20 mm'den sonra 5 mm'lik deplasman artırımları ile deneye devam edilmiştir. Yük geçmişi grafiği incelendiğinde, 4. çevrimde deneysel numunenin ideal akma noktasına ulaştığı görülmektedir. İlerleyen çevrimlerde yatay yükte artış olmadığından deplasman kontrollü olarak göçme konumuna, çekme donatısında meydana gelen kopma ile ulaşılmıştır. Deney aşamasında her bir çevrimde gözlemlenen davranış Çizelge 4.41'de verilmiştir.

Çizelge 4.41. YFC20-%30 numunesinde çatlak ve hasar oluşumları

Çevrim No (+, itme) (-, çekme)	Maksimum Yatay Yük (kN)	Maksimum Tepe Deplasmanı (mm)	Numunede Gözlenen Çatlak ve Hasar Oluşumu
1	5.25	0.62	*İtmede ilk çatlak meydana geldi. Kolon-temel birleşiminden itibaren 15 cm yüksekliğinde bir adet çatlak meydana gelmiştir.
-1	-5.62	-0.66	-----
2	9.59	1.39	Kolon-temel birleşiminden itibaren 33 cm yüksekliğinde bir adet çatlak meydana gelmiştir.
-2	-10.64	-1.23	*Çekmede ilk çatlak meydana geldi. Kolon-temel birleşiminden itibaren 4 cm yüksekliğinde bir adet çatlak meydana gelmiştir.

Çevrim No (+, itme) (-, çekme)	Maksimum Yatay Yük (kN)	Maksimum Tepe Deplasmanı (mm)	Numunede Gözlenen Çatlak ve Hasar Oluşumu
3	14.98	3.43	Kolon-temel birleşiminden itibaren 6 ve 30 cm yüksekliğinde iki adet çatlak meydana gelmiştir. *Deney numunesi akma konumuna ulaşmıştır.
-3	-15.91	-2.52	Kolon-temel birleşiminde yeni çatlak meydana gelmiştir. *Deney numunesi akma konumuna ulaşmıştır.
Deplasman Kontrollü Yükleme Geçilmiştir.			
4	20.28	6.61	Kolon-temel birleşiminde yeni çatlak meydana gelmiştir.
-4	-19.51	-4.45	Kolon temel birleşiminde itmede ve çekmede meydana gelen çatlaklar birleşmiştir.
5	22.39	9.97	Kolon-temel birleşiminde ve 46 cm yüksekliğinde yeni çatlak meydana gelmiştir. 1 ve 4 nolu çatlaklar arasında boyuna çatlak oluşmuştur.
-5	-22.35	-7.92	Daha önce oluşan çatlakların boyları uzadı ve kolon temel birleşiminde oluşan çatlaklar birleşmiştir.
6	23.82	12.55	Kolon-temel birleşiminde çatlak genişliği artmaktadır.
-6	-23.01	-12.84	Kolon-temel birleşiminde çatlak genişliği artmaktadır.
7	23.98	15.17	Kolon temel birleşiminde itmede ve çekmede meydana gelen çatlaklar birleşmiştir.
-7	-23.33	-15.14	-----
8	23.86	17.86	-----
-8	-23.96	-18.37	-----
9	23.88	20.01	-----
-9	-24.73	-20.56	-----
10	24.31	25.01	Çatlakların boyları uzayarak itme ve çekme çatlakları birleşmiştir.
-10	-25.34	-25.64	-----
11	24.75	29.86	-----
-11	-25.63	-30.50	-----
12	23.30	35.15	-----
-12	-26.23	-35.40	-----
13	23.09	40.09	Kolon-temel birleşiminde çatlak genişliği artmaktadır.
-13	-26.61	-40.54	Kolon-temel birleşiminde çatlak genişliği artmaktadır.
14	22.38	45.12	-----
-14	-27.13	-45.76	-----
15	18.76	50.12	İtme çevriminde çekme donatısında kopma meydana gelmiştir.
-15	-21.19	-50.56	Çekme çevriminde çekme donatısında da kopma meydana geldiği için numune göçme konumuna ulaşmıştır. *Deneyde yüklemeye son verilmiştir.
16	6.98	-6.53	Deplasman sıfırlanarak numune başlangıç konumuna alınmıştır.

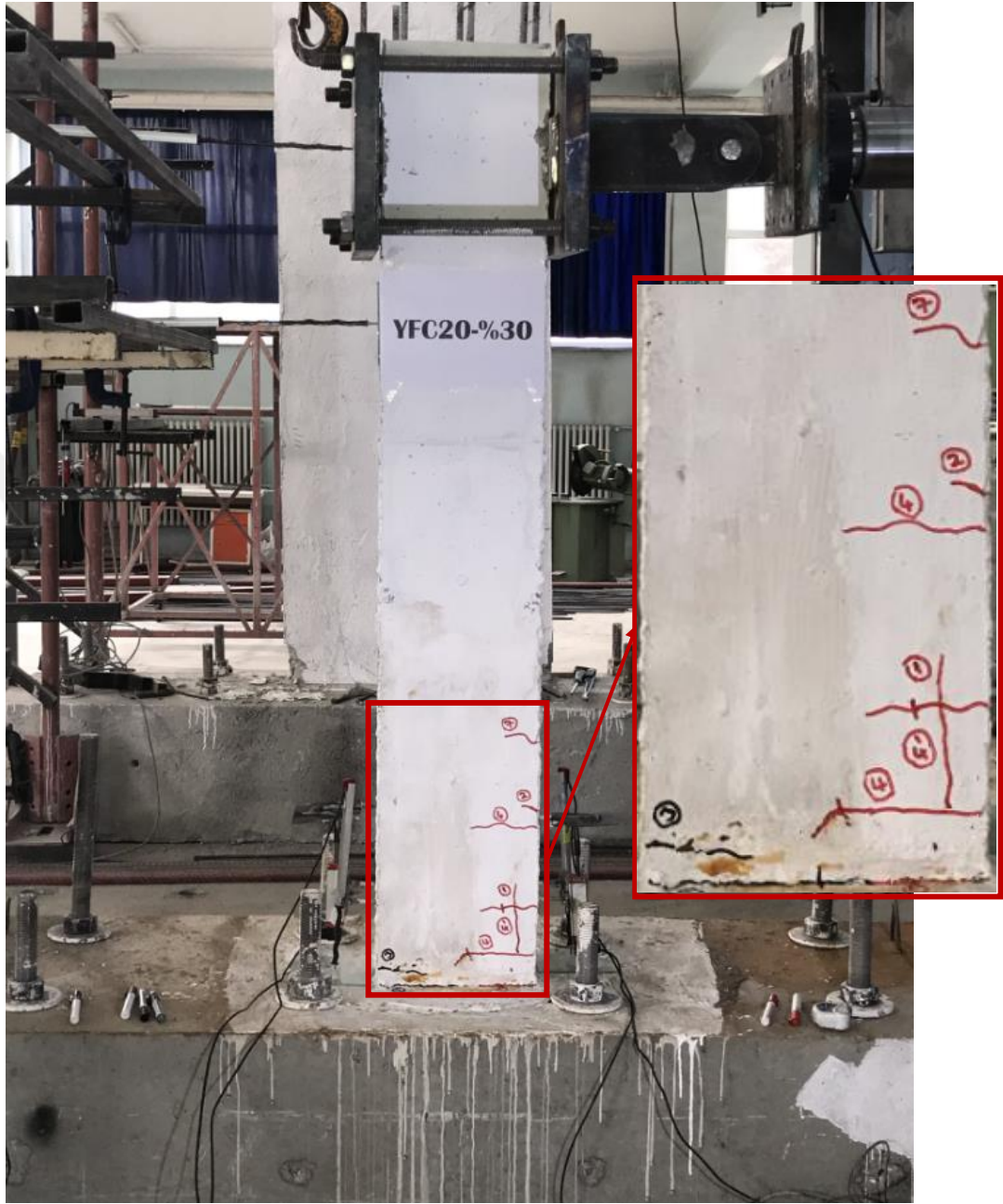
Deneysel elamanda ilk eğilme çatlağı +1. itme çevriminde yaklaşık 5.25 kN'luk yatay yükte meydana gelmiştir. Bu yük değerinde numune, yaklaşık 0.62 mm'lik bir tepe deplasmanına ve % 0.04'lik bir yanal ötelenme oranına sahiptir. Deneysel elemanda itmede ve çekmede gözlemlenen ilk çatlaklar Şekil 4.150'de gösterilmiştir.



Şekil 4.150. YFC20-%30 deney numunesinde oluşan ilk çatlaklar

YFC20-%30 deney elemanı akma konumuna, yaklaşık % 0.23 ötelenme oranında ve 14.98 kN yatay yük değerinde ulaşılmıştır. Bu yükte deneysel numunenin tepe deplasmanı 3.43 mm'dir. Bu yükleme adımında temel-kolon birleşim bölgesinde çatlaklar oluşmuştur, ayrıca plastik mafsallarda itme ve çekme çevrimlerinde

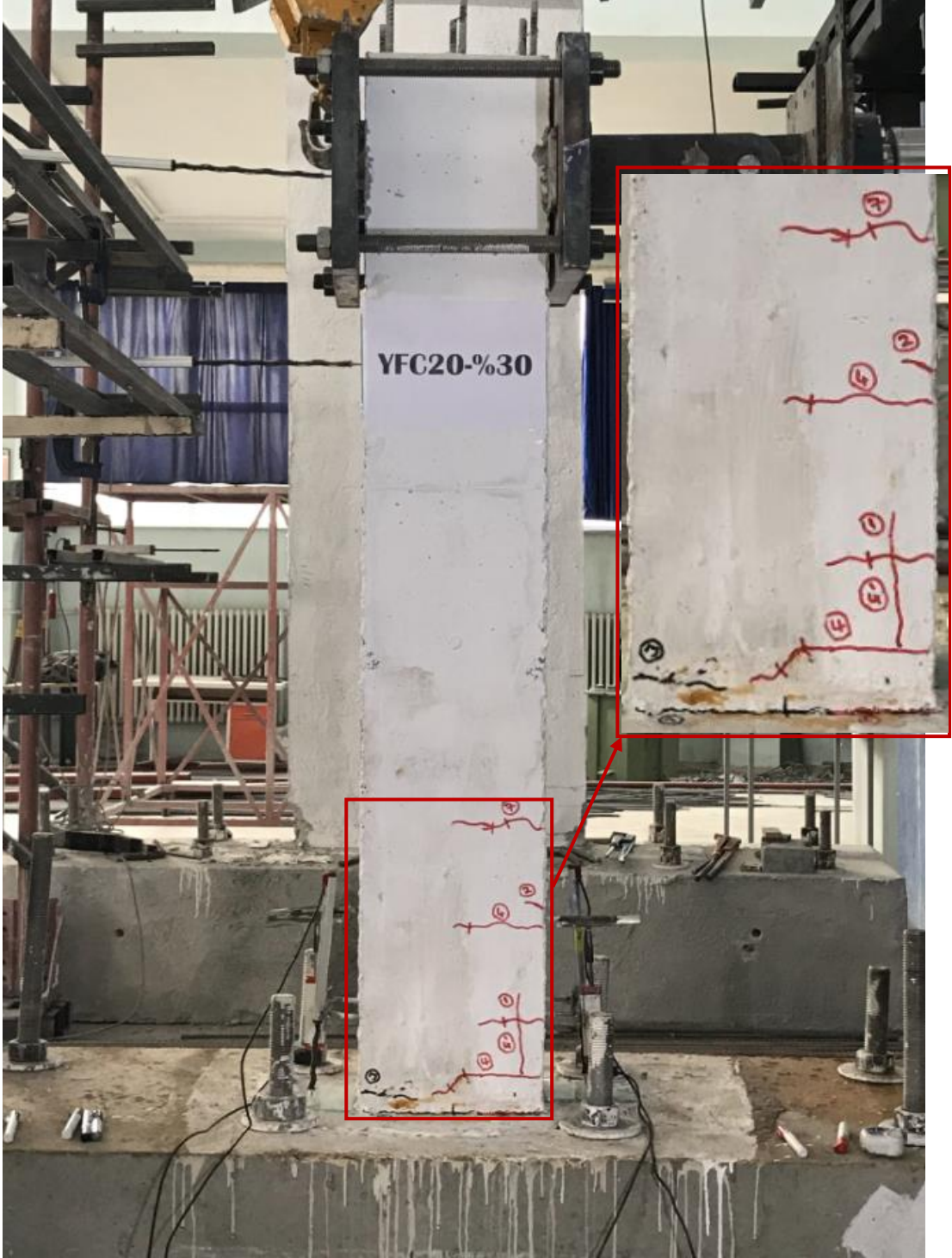
oluşan yatay eğilme çatlakları çatallaşmaya başlamıştır. Şekil 4.151'de deneysel numunenin akma konumunda gözlenen çatlaklar gösterilmiştir.



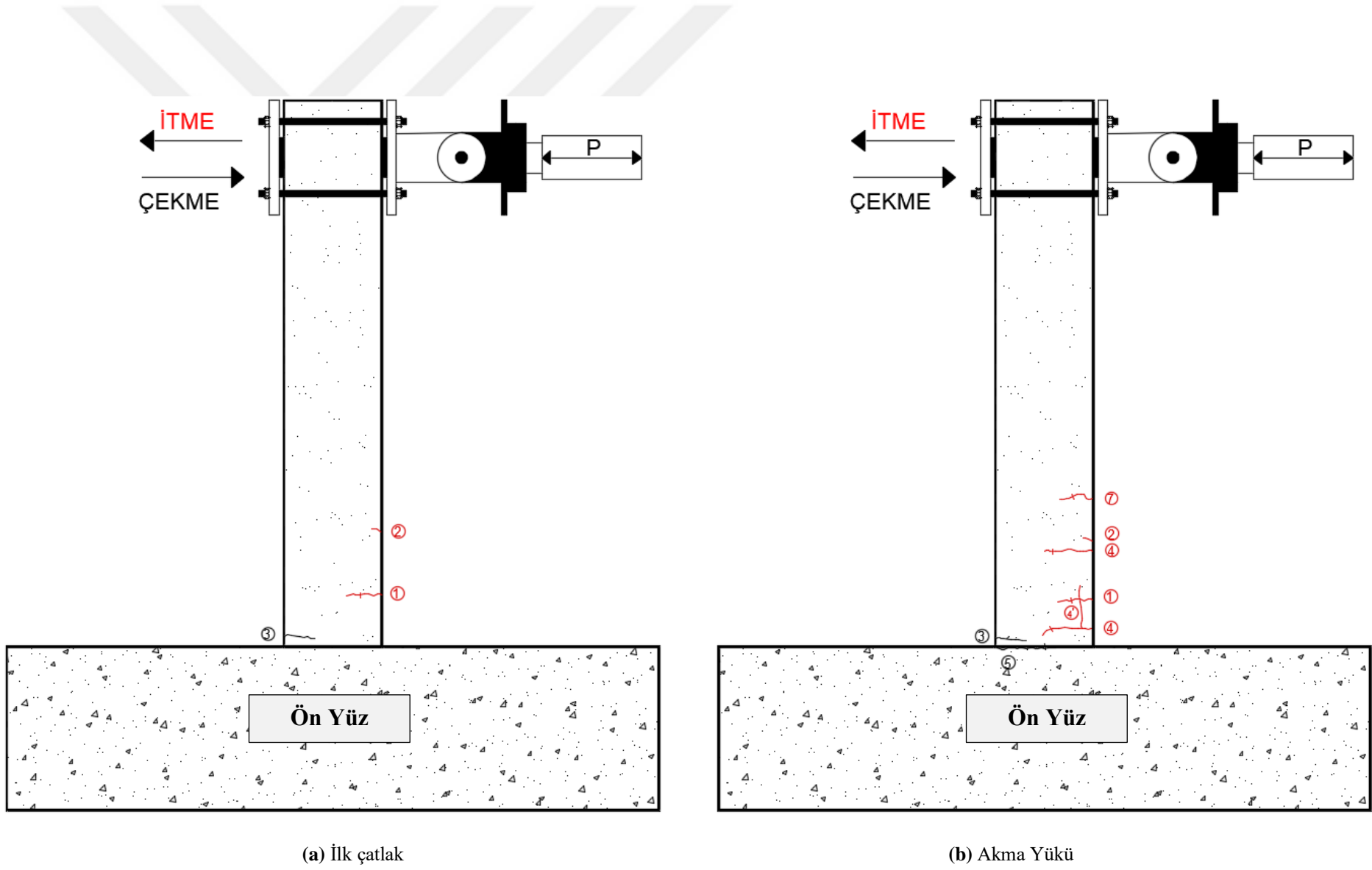
Şekil 4.151. YFC20-%30 deney numunesinde akma konumunda gözlenen çatlaklar

YFC20-%30 numunesi, -15. geri yükleme çevriminde, çekme donatısında meydana gelen kopma ile yatay yük taşıma kapasitesine ulaşmıştır. Bu çevrimde numune, -21.19 kN yatay yük, -50.56 mm tepe deplasmanına sahiptir. 15. itme çevriminde, çekme bölgesindeki ilk donatının kopması sonucu yatay yükte ani bir düşüş meydana gelmiştir ve daha sonra numunenin kendini toplayarak yük taşımaya devam etmiştir. -15. Çekme çevriminde donatıda meydana gelen kopma ile deney sonlandırılmıştır. Deneysel

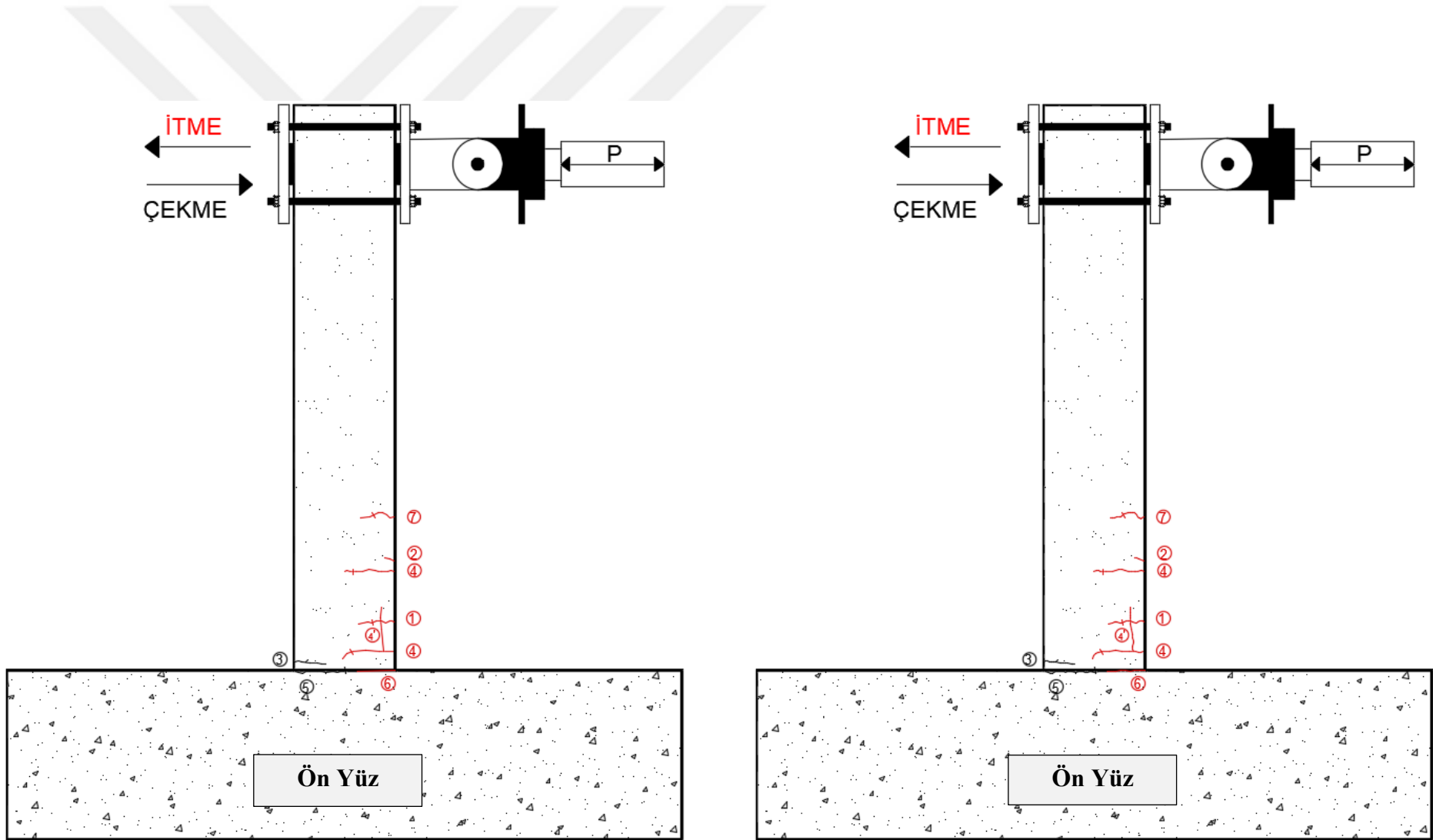
numunenin deney sonu görünümleri Şekil 4.152’de gösterilmiştir. YFC20-%30 deney elemanının ilk çatlak, akma yükü, maksimum yük ve göçme durumunun çatlak krokisi bilgisayar programında işlenerek, hasar oluşumu incelenmiştir. Deneysel numunenin çatlak krokisi Şekil 4.153’de gösterilmiştir.



Şekil 4.152. YFC20-%30 numunesinin deney sonu görünümü



Şekil 4.153. YFC20-%30 numunesinin çatlak krokisi



(c) Maksimum yük

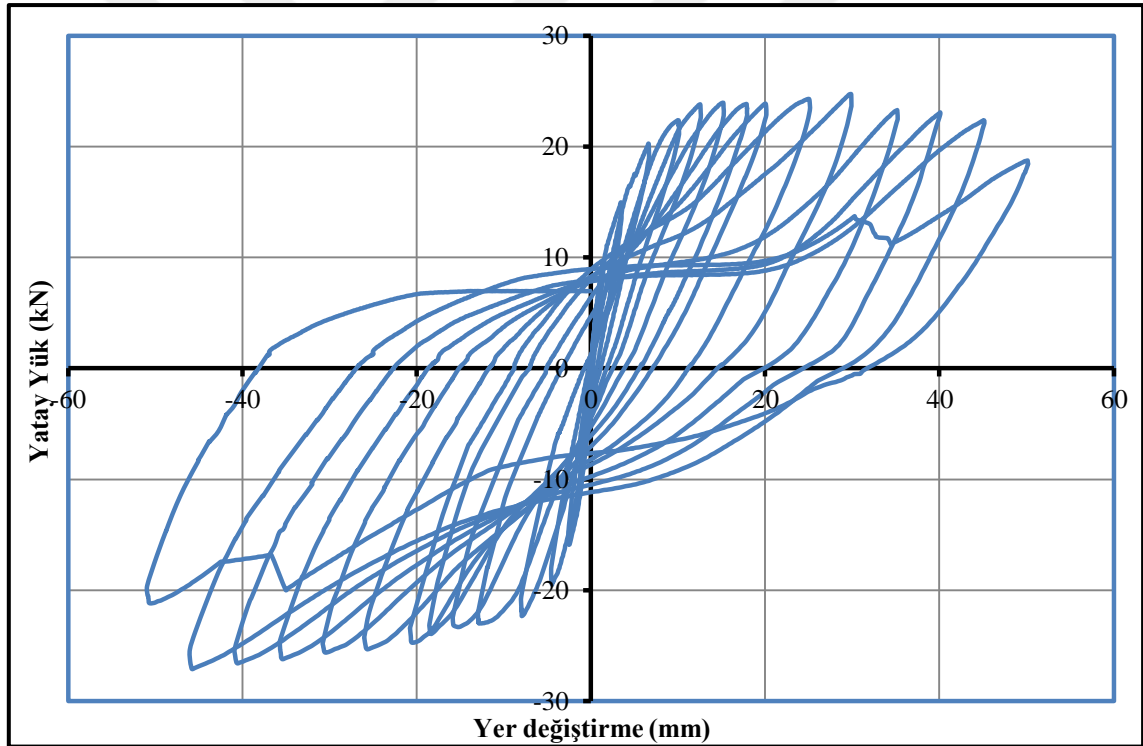
(d) Göçme durumu

Şekil 4.153. YFC20-%30 numunesinin çatlak krokisi (devamı)

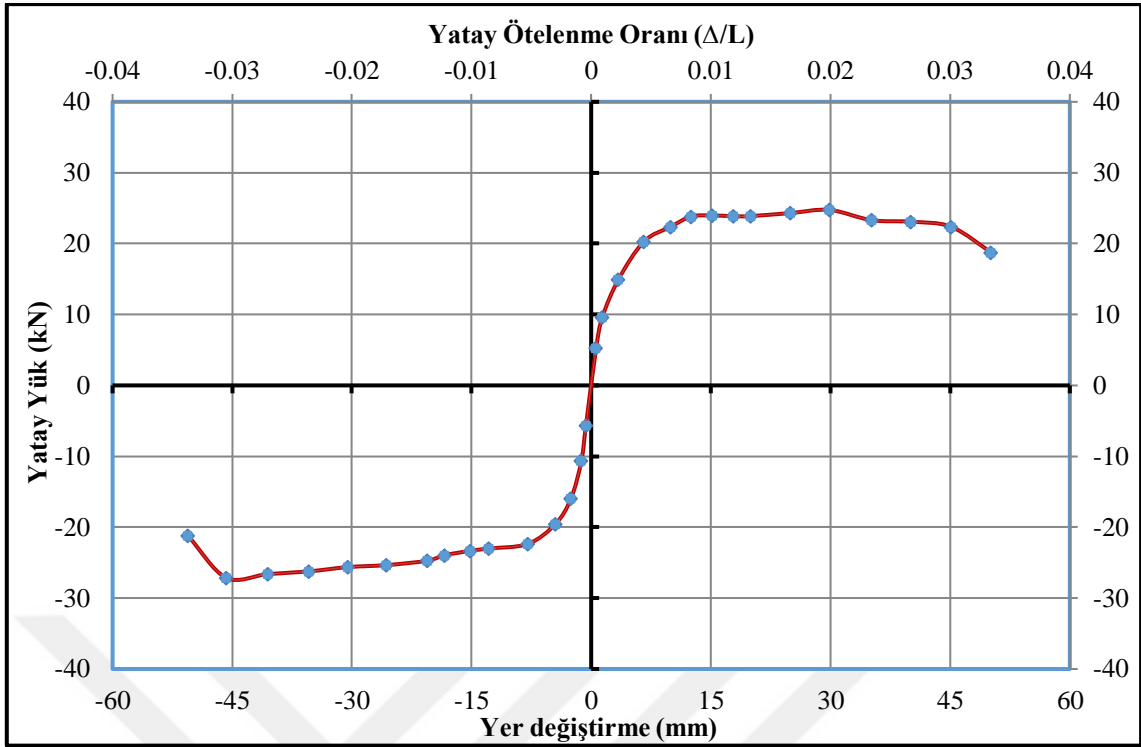
Deneyler sırasında yük hücresi ve yer değiştirme ölçerlerden alınan veriler yardımıyla, numunelerin davranışlarını incelemek için çeşitli grafikler çizilmiştir. Şekil 4.154'de YFC20-%30 numunesine ait yatay yük- yer değiştirme çevrimsel histerezis ilişkisi, Şekil 4.155'de ise her bir çevrimdeki maksimum yatay yük ve bu yüke karşılık gelen yer değiştirmelerin işaretlenmesi ve birleştirilmesi ile elde edilen dayanım zarfı görölmektedir.

YFC20-%30 numunesinin, yatay yük-yer değiştirme eğrisinin altında kalan alanların hesaplanması ve ardışık toplanması ile numunenin kümülatif toplam enerji tüketme kapasitesi-ötelenme oranı grafiği çizilmiş ve Şekil 4.156'da gösterilmiştir.

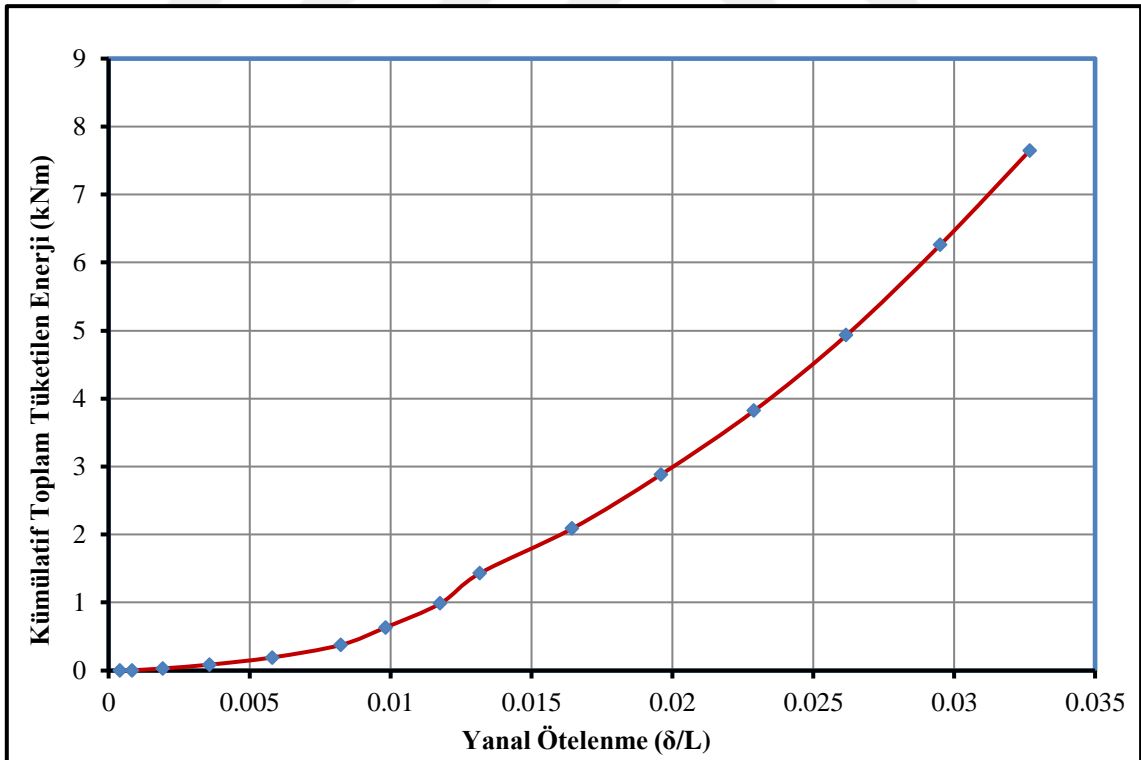
YFC20-%30 numunesine ait rijitlik azalım grafiği Şekil 4.157'de gösterilmiştir. Rijitlik grafiğinde, itme çevrimleri için elde edilen değerler grafiğin sağ tarafında, çekme çevrimleri için hesaplanan değerler grafiğin solunda yer almaktadır.



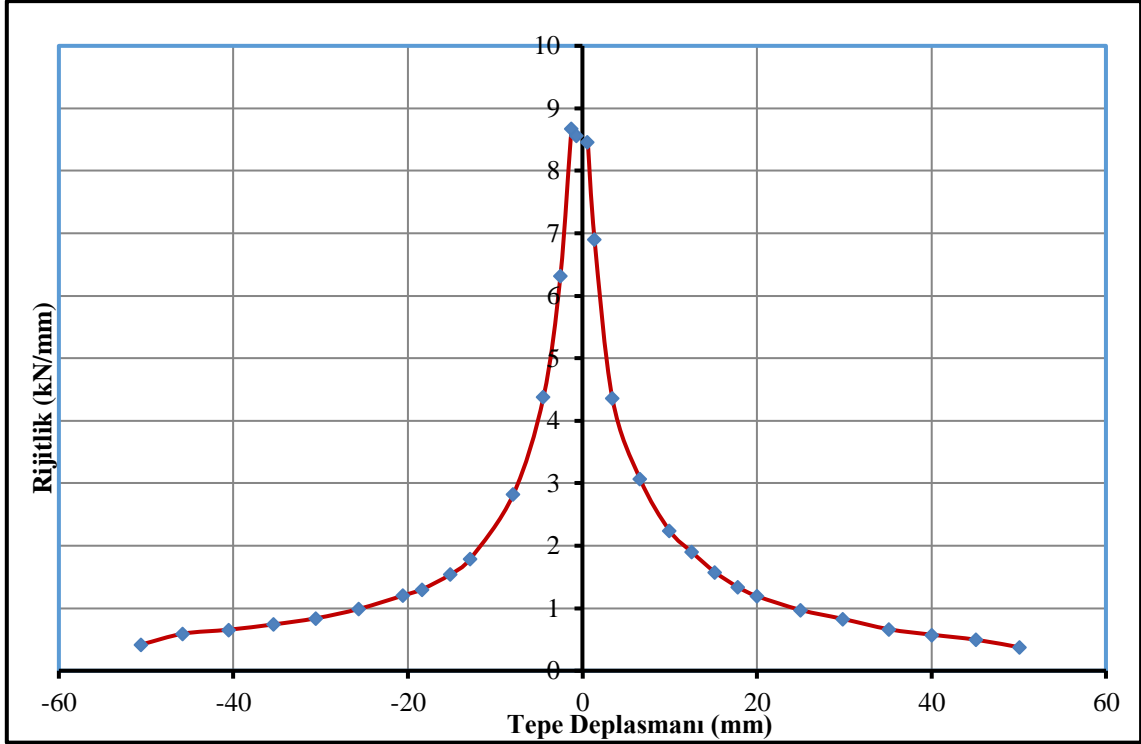
Şekil 4.154. YFC20-%30 numunesinin yatay yük-tepe deplasmanı histerezis eğrisi



şekil 4.155. YFC20-%30 numunesine ait dayanım zarfı

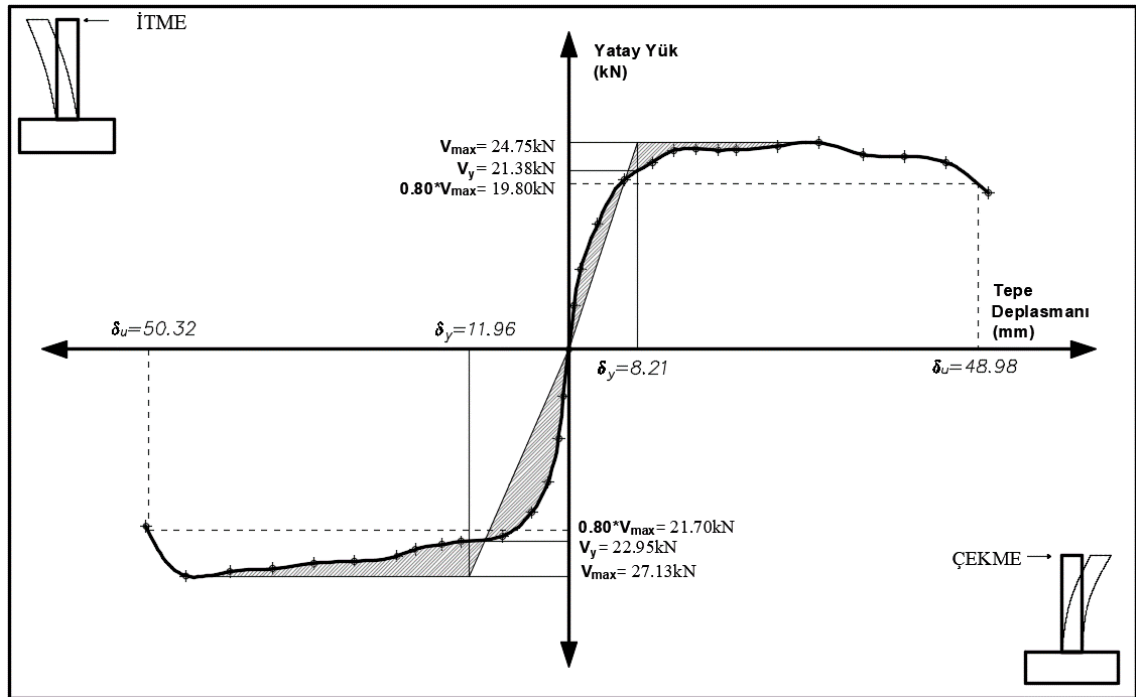


şekil 4.156. YFC20-%30 numunesine ait kümülatif toplam tüketilen enerji grafiği



Şekil 4.157. YFC20-%30 numunesinin rijitlik azalım grafiği

YFC20-%30 numunesinin süneklik parametrelerinin gösterildiği grafik Şekil 4.158'de verilmiştir. Çizelge 4.42'de ise süneklik değerleri tablo halinde özetlenmiştir.



Şekil 4.158. YFC20-%30 numunesinin süneklik grafiği

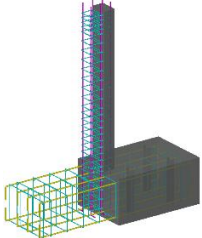
Çizelge 4.42. YFC20-%30 numunesinin çatlak ve hasar oluşumu

YFC20- %30	V_y (kN)	$0.8*V_{max}$ (kN)	V_{max} (kN)	Δ_y (mm)	Δ_u (mm)	μ (Δ_u/Δ_y)	$\mu_{ort.}$	Yatay Ötelenme Oranı (Δ/L) (%)
İtme	21.38	19.80	24.75	8.21	48.98	5.97	5.09	3.27
Çekme	-22.95	-21.70	-27.13	-11.96	-50.32	4.21		-3.35

4.1.15. Deney Numunesi-15 (YFC40-%30)

Çalışma kapsamında on beşinci olarak test edilen numune, YFC40-%30 isimli numunedir. YFC40-%30 isimli numune, çimentonun yerine, çimento ağırlığının %40'si kadar yüksek fırın cürufu (YFC) ilave edilmiş, YFC40 serisine ait 3 adet numuneden ağırlıkça %30 seviyesinde korozyon hasarına maruz bırakılan numunedir. YFC40-%30 isimli numuneye ait parametrik değerler Çizelge 4.43'de özetlenmiştir.

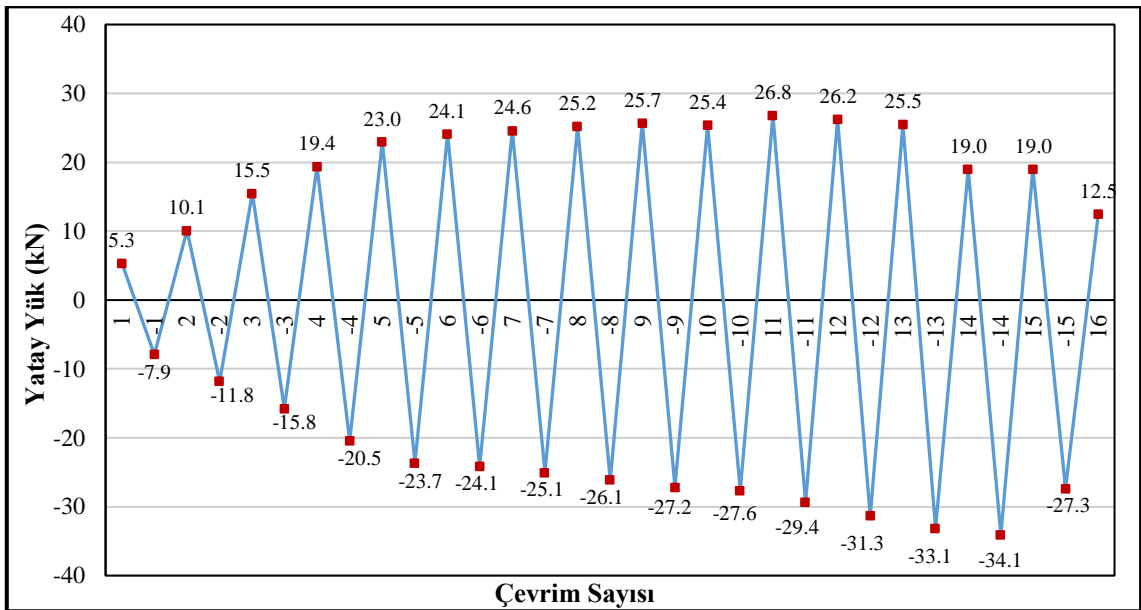
Çizelge 4.43. YFC40-%30 numunesinin parametrik özellikleri

Deney Numunesi No	Numune görünümü	Mineral Katkı Türü (1 m ³ için) (kg)			Ortalama Silindir Basınç Dayanımı (MPa)	Korozyon Seviyesi (%)
		CEM I 42.5R	UK	YFC		
Deney-15 YFC40-%30 Yüksek Fırın Cürufu Seri		168	-	112	34.95	30

Deney elemanının tersinir-tekrarlanır yatay yükleme altında test edilmeden hemen önce ki, yatay yükleme deney düzeneğine yerleştirilmiş hali Şekil 4.159'da gösterilmiştir. Şekil 4.160'de deney elemanına ait yük geçmişi grafiği, Şekil 4.161'de deplasman geçmişi grafiği verilmiştir.



Şekil 4.159. YFC40-%30 numunesinin deney öncesi görünümü



Şekil 4.160. YFC40-%30 deney numunesinin yük geçmişi grafiği

Çevrim No (+, itme) (-, çekme)	Maksimum Yatay Yük (kN)	Maksimum Tepe Deplasmanı (mm)	Numunede Gözlenen Çatlak ve Hasar Oluşumu
-2	-11.81	-1.60	Kolon-temel birleşiminden itibaren 32 cm yüksekliğinde yeni çatlak meydana gelmiştir ve 14cm yüksekliğindeki 1 nolu çatlağın altına ve üstüne doğru devam eden botuna adersan çatlağı oluşmuştur.
3	15.50	2.92	Kolon-temel birleşiminden itibaren 55 cm yüksekliğinde yeni çatlak meydana gelmiştir ve 14cm 2 nolu çatlak çatallaşmıştır. *Deney numunesi akma konumuna ulaşmıştır.
-3	-15.76	-2.83	Kolon-temel birleşiminden itibaren 2, 37, 52 ve 57 cm yüksekliğinde dört adet çatlak meydana gelmiştir. *Deney numunesi akma konumuna ulaşmıştır.
Deplasman Kontrollü Yükleme Geçilmiştir.			
4	19.39	5.26	Kolon-temel birleşiminden itibaren 75, 39 ve 7 cm yüksekliğinde üç adet yeni çatlak meydana gelmiştir.
-4	-20.46	-5.07	Kolon-temel birleşiminden itibaren 7 ve 74 cm yüksekliğinde iki adet yeni çatlak meydana gelmiştir.
5	22.95	7.48	Kolon-temel birleşiminden itibaren 2, 37 ve 86 üç adet yeni çatlak meydana gelmiştir.
-5	-23.66	-8.18	Kolon-temel birleşiminden itibaren 86 cm yüksekliğinde bir adet yeni çatlak oluştu ve ayrıca itme ve çekmede oluşan yatay çatlaklar birleşmiştir.
6	24.12	10.02	-----
-6	-24.13	-10.29	Kolon-temel birleşiminde oluşan çatlaklar birleşmiştir ve daha önce oluşan çatlakların boyları uzamıştır.
7	24.61	12.64	Daha önce oluşan çatlakların boyları uzamıştır.
-7	-25.06	-12.73	Boyuna çatlakların boyları uzamıştır.
8	25.20	15.10	Daha önce meydana gelen çatlakların boyları uzamıştır ve çatlaklar çatallaşmıştır.
-8	-26.12	-15.34	-----
9	25.69	17.76	-----
-9	-27.19	-18.22	-----
10	25.38	19.64	-----
-10	-27.64	-20.51	-----
11	26.79	25.35	Plastik mafsallık bölgesinde oluşan yatay çatlaklar temel doğru ilerlemektedir.
-11	-29.36	-25.47	Basınç bölgesinde ezilmeler başlamıştır. Ayrıca meydana gelen çatlaklar çatallaşarak ilerlemektedir.
12	26.21	29.79	Önceki yüklemelerde meydana gelen çatlaklar çatallaşarak ilerlemektedir.
-12	-31.33	-30.47	-----
13	25.49	34.97	-----

Çevrim No (+, itme) (-, çekme)	Maksimum Yatay Yük (kN)	Maksimum Tepe Deplasmanı (mm)	Numunede Gözlenen Çatlak ve Hasar Oluşumu
-13	-33.14	-36.07	-----
14	18.98	40.07	İtmeye ilk donatıda kopma meydana gelmiştir.
-14	-34.10	-41.15	Basınç bölgesinde ezilmelerden dolayı boyuna çatlaklar meydana gelmiştir.
15	19.02	45.44	-----
-15	-27.34	-45.83	Her iki çekme donatısında kopma meydana geldiği için numune göçme konumuna ulaşmıştır. *Deneyde yüklemeye son verilmiştir.
16	12.48	-0.06	Deplasman sıfırlanarak numune başlangıç konumuna alınmıştır.

Deneyisel elamanda ilk eğilme çatlağı -1. itme çevriminde yaklaşık 7.87 kN'luk yatay yükte meydana gelmiştir. Bu yük değerinde numune, yaklaşık 0.88 mm'lik bir tepe deplasmanına ve % 0.05'lik bir yanal ötelenme oranına sahiptir. Deneyisel elemanda itmeye ve çekmeye gözlemlenen ilk çatlaklar Şekil 4.162'de gösterilmiştir.



Şekil 4.162. YFC40-%30 deney numunesinde oluşan ilk çatlaklar

YFC40-%30 deney elemanı akma konumuna, yaklaşık % 0.19 ötelenme oranında ve 15.50 kN yatay yük değerinde ulaşmıştır. Bu yükte deneysel numunenin tepe deplasmanı 2.92 mm'dir. Bu yükleme adımında temel-kolon birleşim bölgesinde çatlaklar oluşmuş, ayrıca plastik mafsal bölgesinde itme ve çekme çevrimlerinde oluşan simetrik eğilme çatlakları çatallaşmaya başlamıştır. Şekil 4.163'de deneysel numunenin akma konumunda gözlenen çatlaklar gösterilmiştir.



Şekil 4.163. YFC40-%30 deney numunesinde akma konumunda gözlenen çatlaklar

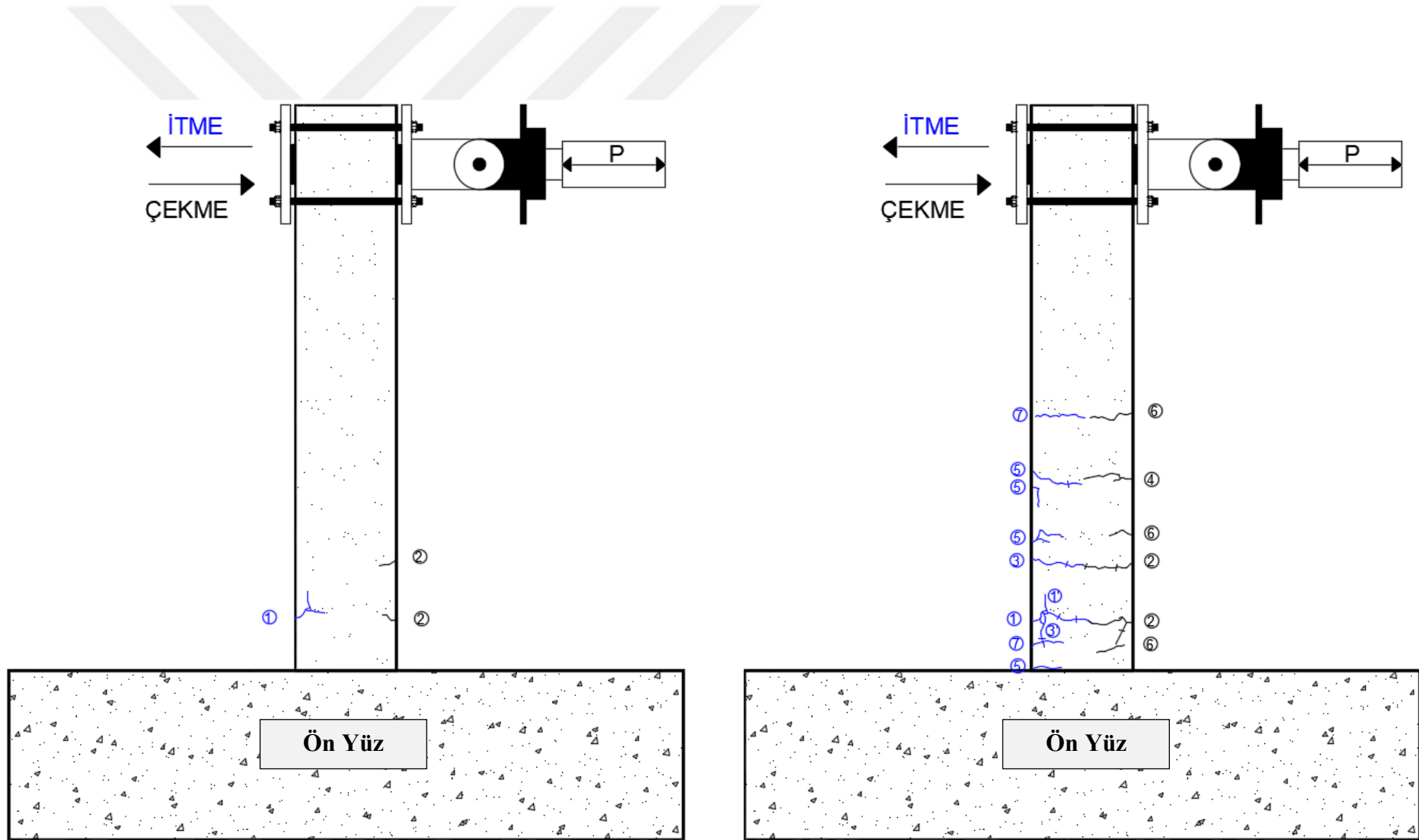
YFC40-%30 numunesi, -15. geri yükleme çevriminde, her iki çekme donatısında meydana gelen kopma ile yatay yük taşıma kapasitesine ulaşmıştır. Bu çevrimde numune, -27.34 kN yatay yük ve 45.83 mm tepe deplasmanına sahiptir. 13. itme çevriminde, çekme bölgesindeki ilk donatının kopması sonucu yatay yükte ani bir düşüş meydana gelmiştir ve numune bir sonraki çevrimde de yük taşımaya devam etmiştir. Daha sonra -15. çekme çevriminde her iki çekme donatısının kopması sonucu deney sonlandırılmıştır. Deneysel numunenin deney sonu görünümü Şekil 4.164’de gösterilmiştir. Numunede deney sonuna kadar eğilme davranışı gözlemlenmiş olup, plastik mafsal bölgesindeki her iki yüzdeki çatlaklar birleştikten sonra 45° eğimle kolon-temel birleşimine doğru ilerlemişlerdir. YFC40-%30 deney elemanının ilk çatlak, akma yükü, maksimum yük ve göçme durumunun çatlak krokisi bilgisayar programında işlenerek, hasar oluşumu gözlemlenmiştir. Deneysel numunenin çatlak krokisi Şekil 4.165’de gösterilmiştir.



Şekil 4.164. YFC40-%30 numunesinin deney sonu görünümü



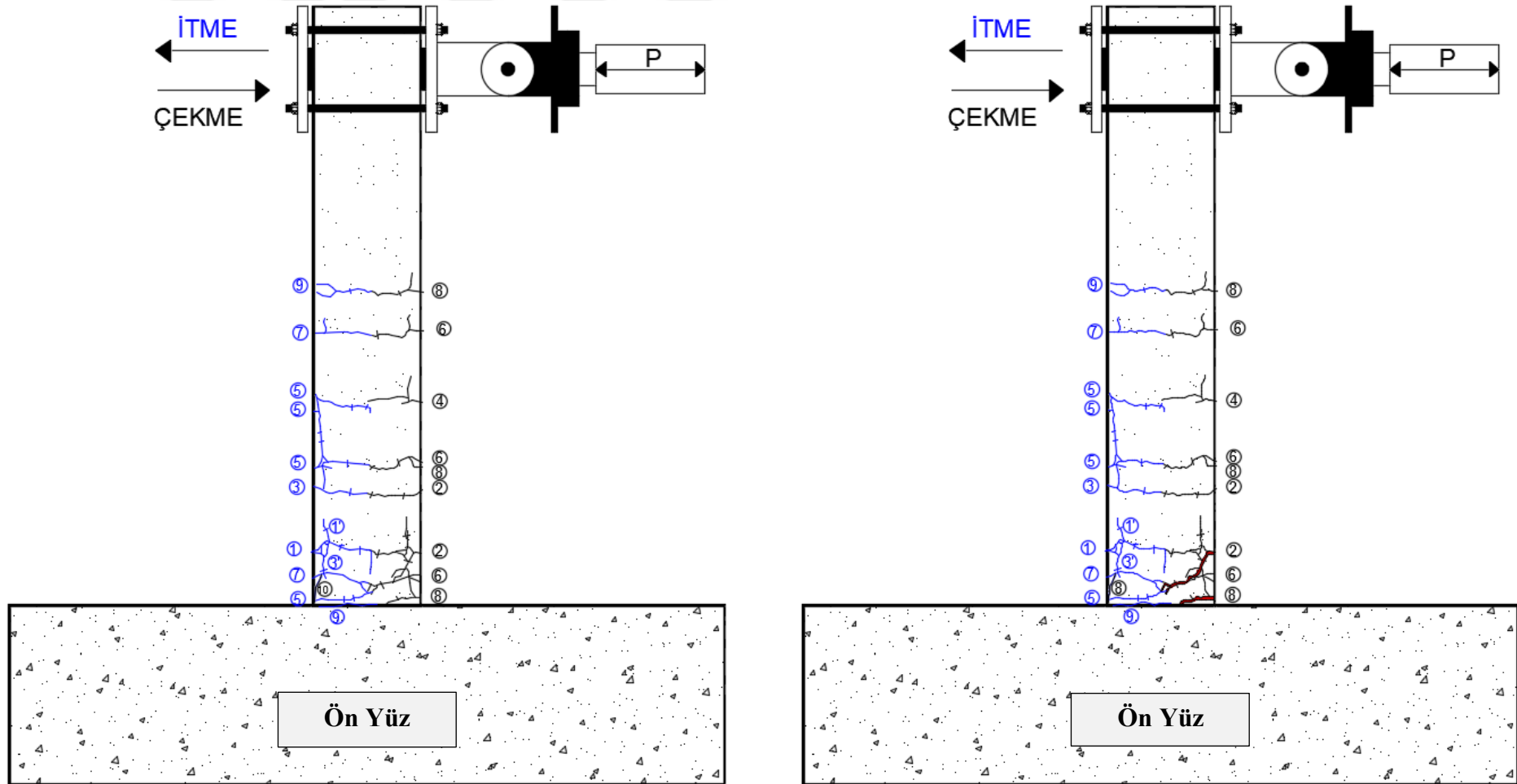
Şekil 4.164. YFC40-%30 numunesinin deney sonu görünümü (devamı)(plastik mafsals bölgesi)



(a) İlk çatlak

(b) Akma Yüğü

Şekil 4.165. YFC40-%30 numunesinin çatlak krokisi



(c) Maksimum yük

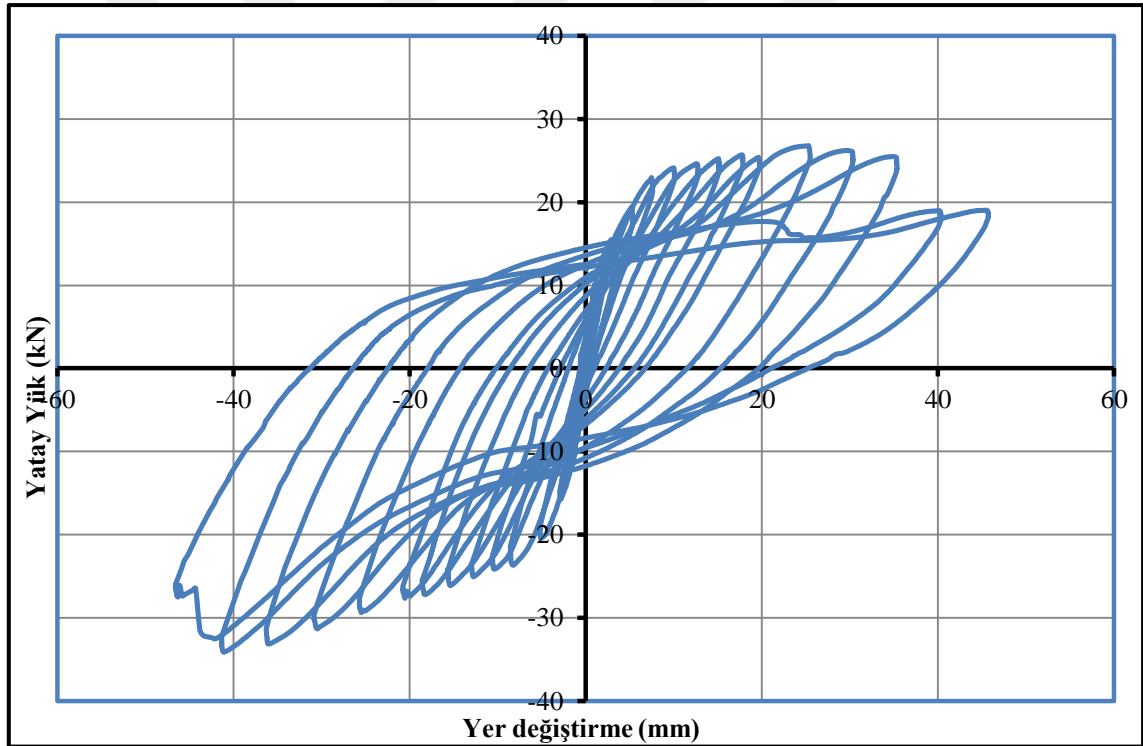
(d) Göçme durumu

Şekil 4.165. YFC40-%30 numunesinin çatlak krokisi (devamı)

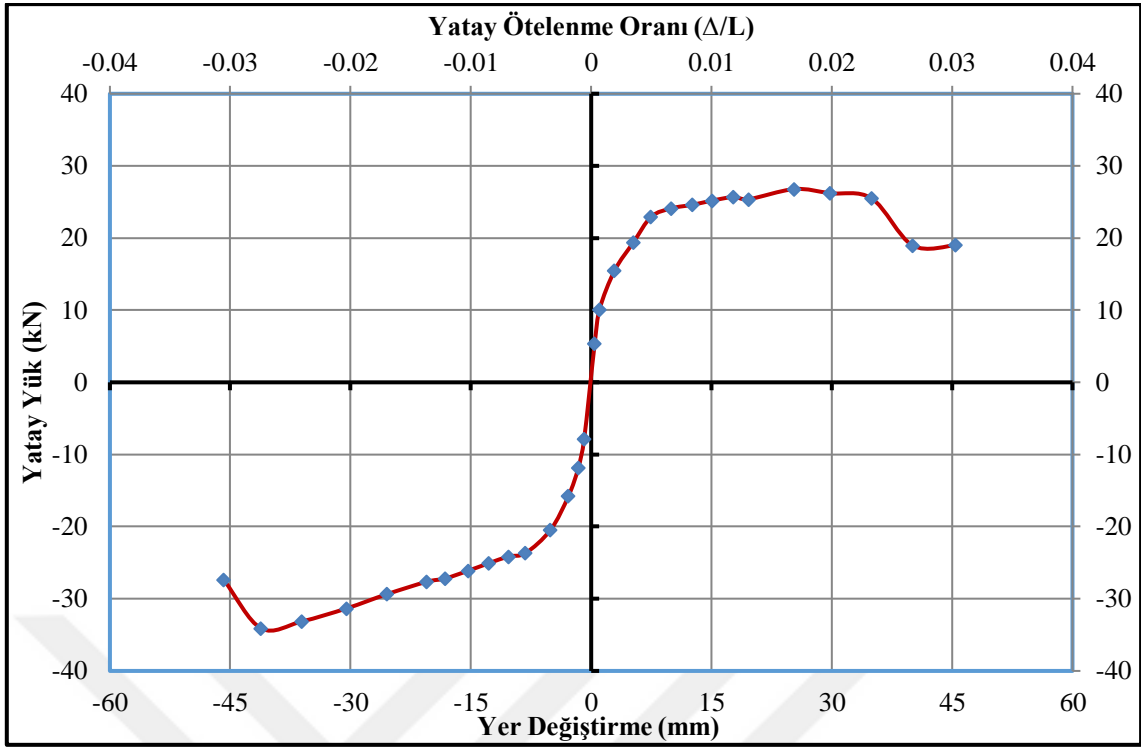
Deneyler sırasında yük hücresi ve yer değiştirme ölçerlerden alınan veriler yardımıyla, numunelerin davranışlarını incelemek için çeşitli grafikler çizilmiştir. Şekil 4.166'da YFC40-%30 numunesine ait yatay yük- yer değiştirme çevrimsel histerezis ilişkisi, Şekil 4.167'de ise her bir çevrimdeki maksimum yatay yük ve bu yüke karşılık gelen yer değiştirmelerin işaretlenmesi ve birleştirilmesi ile elde edilen dayanım zarfı görölmektedir.

YFC40-%30 numunesinin, yatay yük-yer değiştirme eğrisinin altında kalan alanların hesaplanması ve ardışık toplanması ile numunenin kümülatif toplam enerji tüketme kapasitesi-ötelenme oranı grafiği çizilmiştir ve Şekil 4.168'de gösterilmiştir.

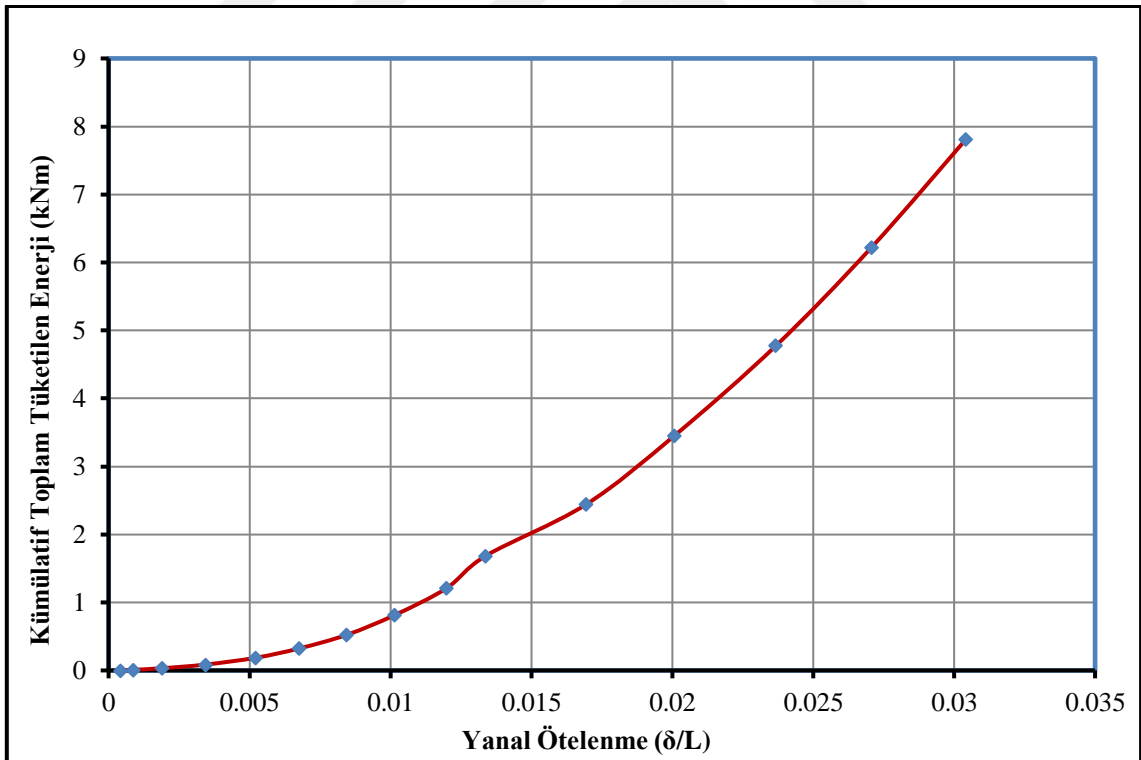
YFC40-%30 numunesine ait rijitlik azalımı grafiği Şekil 4.169'de gösterilmiştir. Rijitlik grafiğinde, itme çevrimleri için elde edilen değerler grafiğin sağ tarafında, çekme çevrimleri için hesaplanan değerler grafiğin solunda yer almaktadır.



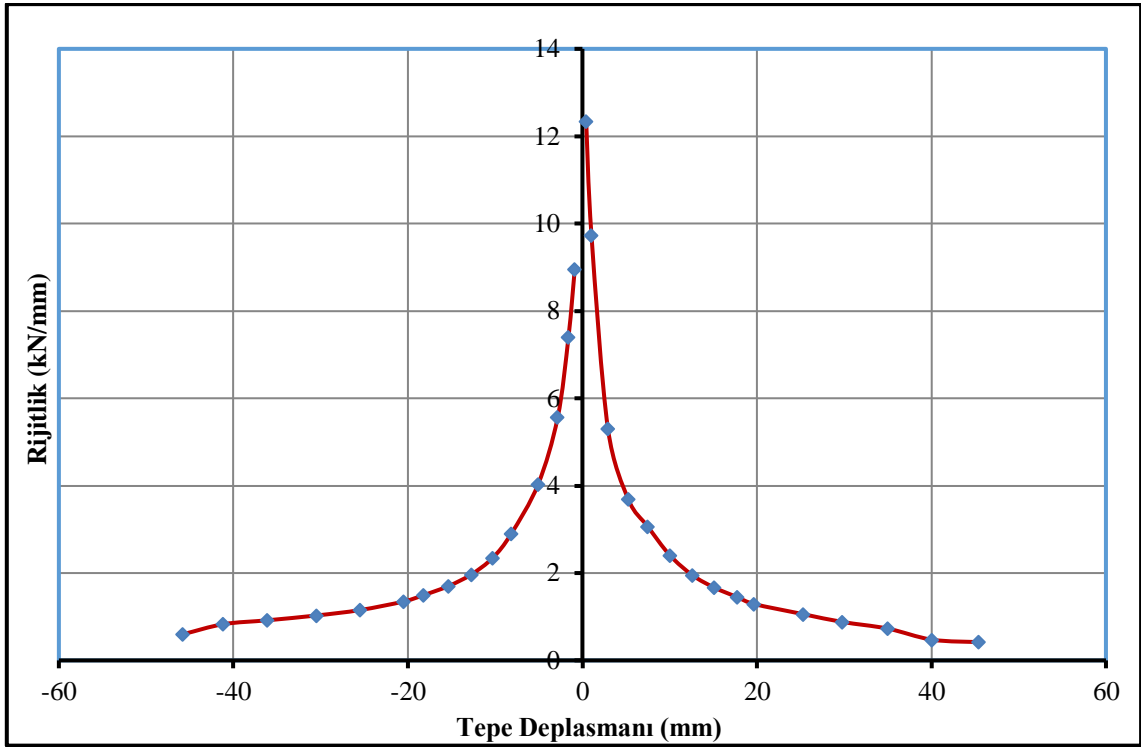
Şekil 4.166. YFC40-%30 numunesinin yatay yük-tepe deplasmanı histerezis eğrisi



Şekil 4.167. YFC40-%10 numunesine ait dayanım zarfı

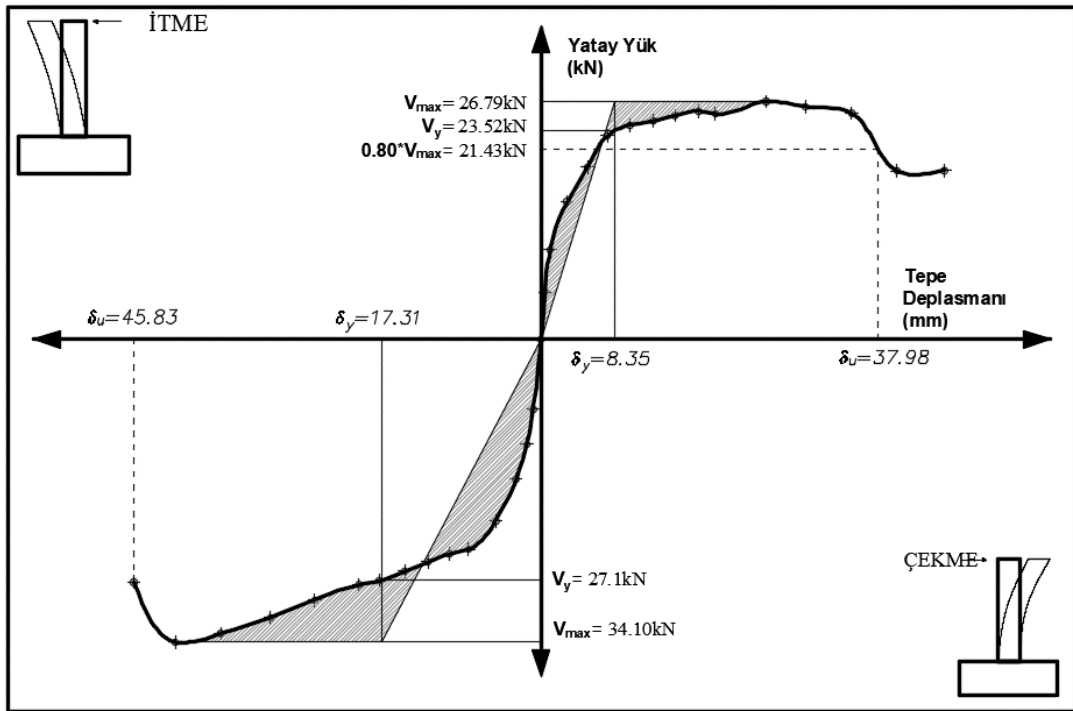


Şekil 4.168. YFC40-%30 numunesine ait kümülatif toplam tüketilen enerji grafiği



Şekil 4.169. YFC40-%30 numunesinin rijitlik azalımı grafiği

YFC40-%30 numunesinin süneklik parametrelerinin gösterildiği grafik Şekil 4.170'de verilmiştir. Çizelge 4.45'de ise süneklik değerleri tablo halinde özetlenmiştir.



Şekil 4.170. YFC40-%30 numunesinin süneklik grafiği

Çizelge 4.45. YFC40-%30 numunesinin çatlak ve hasar oluşumu

YFC40-%10	V_y (kN)	$0.8*V_{max}$ (kN)	V_{max} (kN)	Δ_y (mm)	Δ_u (mm)	μ (Δ_u/Δ_y)	$\mu_{ort.}$	Yatay Ötelenme Oranı (Δ/L) (%)
İtme	23.52	21.43	26.79	8.35	37.98	4.55	3.55	2.53
Çekme	-27.10	-27.34	-34.10	-17.91	-45.83	2.56		-3.06

4.2. Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması

Tez çalışmasının bu bölümünde, çalışma kapsamında test edilen 15 adet deneysel numunenin beton serilerine ve korozyon hasar seviyelerine bağlı olarak deneysel sonuçlarının karşılaştırılması yapılmıştır. Yapılan çalışmanın temel amacı korozyon hasar seviyelerine bağlı olarak, kullanılan beton karışımlarının tersinir tekrarlanır yatay yük altındaki numunelerin davranışlarına etkisini araştırmak ve korozyon hasar seviyesine göre kullanılan mineral katkı türünün ve miktarının avantajlarını irdelemektir. Bu doğrultuda deneysel veriler karşılaştırılırken korozyon oranı sabit tutularak beton serileri kendi içinde karşılaştırma yapılmış, ayrıca sadece korozyon hasar seviyelerine bağlı olarak ikinci bir grafiksel karşılaştırma yapılmıştır. Çizelge 4.46'da karşılaştırma grupları gösterilmiştir. Deney elemanları karşılaştırılırken kullanılan grafikler şunlardır;

- Zarf Eğrisi (Dayanım Zarfı) Grafiği
- Rijitlik Grafiği
- Kümülatif Tüketilen Enerji Grafiği

Çizelge 4.46. Karşılaştırma grupları

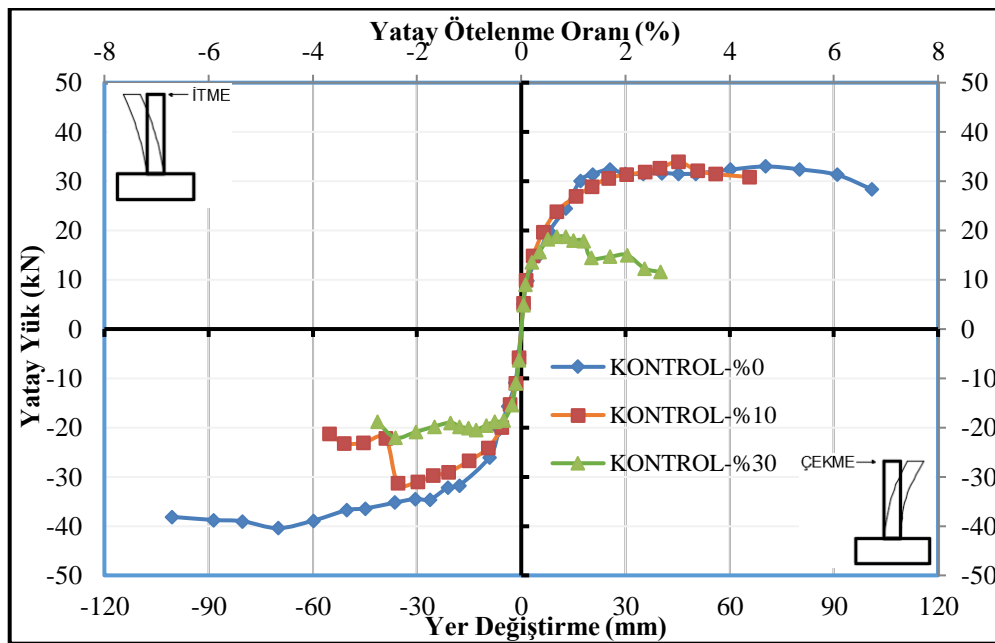
Grup No	Karşılaştırma Tanımı	Karşılaştırmada Kullanılan Deney Numuneleri	
1	Beton Serisi	Kontrol	Kontrol-%0, Kontrol-%10, Kontrol-%30
		UK10	UK10-%0, UK10-%10, UK10-%30
		UK20	UK20-%0, UK20-%10, UK20-%30
		YFC20	YFC20-%0, YFC20-%10, YFC20-%30
		YFC40	YFC40-%0, YFC40-%10, YFC40-%30
2	Korozyon Oranı	%0	Kontrol-%0, UK10-%0, UK20-%0, YFC20-%0, YFC40-%0
		%10	Kontrol-%10, UK10-%10, UK20-%10, YFC20-%10, YFC40-%10
		%30	Kontrol-%30, UK10-%30, UK20-%30, YFC20-%30, YFC40-%30

4.2.1. 1. Grup Karşılaştırma (Beton Serisi Sabit, Korozyon Oranı Değişken)

Bu bölümde, beton serisi aynı olan numunelerin korozyon oranlarına bağlı olarak karşılaştırması yapılmıştır. Bu grup 5 adet seriden ve her bir seride 3 adet numuneden oluşmaktadır. Her bir beton serisi kendi içinde ayrı olarak değerlendirilmiştir.

Depremi benzeştiren tersinir tekrarlanır yatay yükleme deneylerinde, korozyonun etkisinden dolayı numunelerin itme ve çekme yüklemelerinde homojen sonuçlar elde edilememiştir. Yapılan bu çalışmada 15 adet deneysel numune incelendiği için itme ve çekme olarak ayrı ayrı kıyaslamak veri karışıklığına yol açacağından, Çizelge 4.47’de tüm deney elemanlarının beton serilerine göre karşılaştırmalı deneysel sonuçları itme ve çekme değerlerinin ortalaması alınarak verilmiştir. Bu bölümde yapılan karşılaştırmalar bu çizelge üzerinden değerlendirilmiştir.

Beton serilerine ait dayanım zarfları Şekil 4.171 – Şekil 4.175 arasında gösterilmiştir. Şekil 4.171’deki Kontrol serisine ait dayanım zarfları incelendiğinde, Kontrol-%0 deney elemanı 36.71 kN maksimum yatay yük taşırken, sırasıyla Kontrol-%10 ve Kontrol-%30 numuneleri 32.62 ve 20.43 kN maksimum yatay yük taşımışlardır. Kontrol-%10 ve Kontrol-%30 numunelerinin Kontrol-%0 numunesine göre yatay yük taşıma kapasitelerinde sırasıyla % 11 ve % 44’lük bir azalma meydana gelmiştir. Yatay ötelenme oranları incelendiğinde, Kontrol-%0 numunesi % 6.72 oranında yatay ötelenmeye sahipken, Kontrol-%10 ve Kontrol-%30 numunelerinin yatay ötelenme oranlarında sırasıyla % 0.49 ve % 0.70’lik bir azalma meydana gelmiştir.

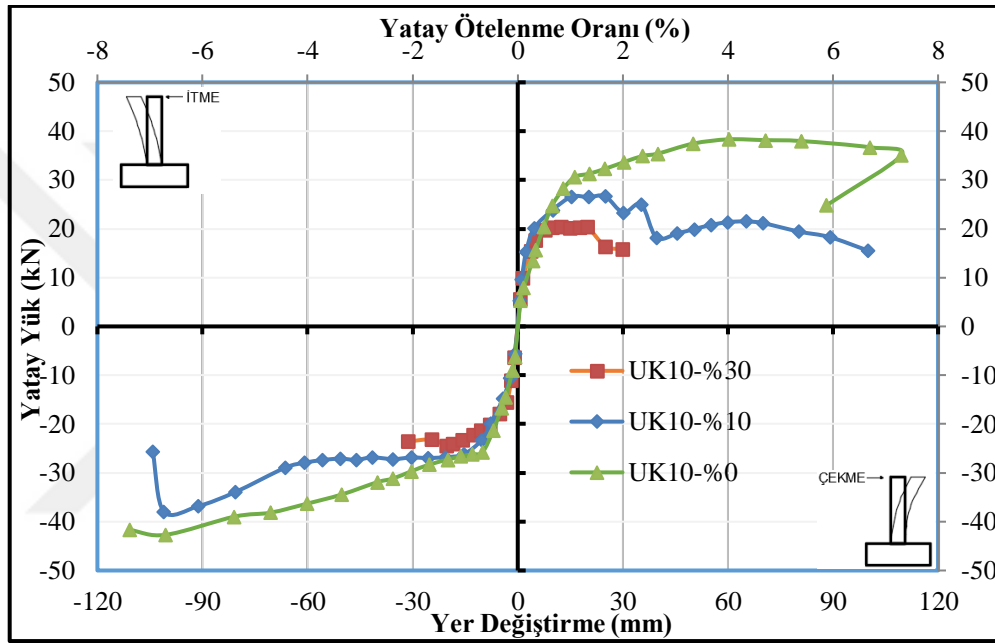


Şekil 4.171. Kontrol serisinin dayanım zarflarının karşılaştırılması

Çizelge 4.47. Deneysel elemanlarının beton serisine göre deneysel sonuçlarının karşılaştırılması (ileri ve geri çevrimin ortalaması)

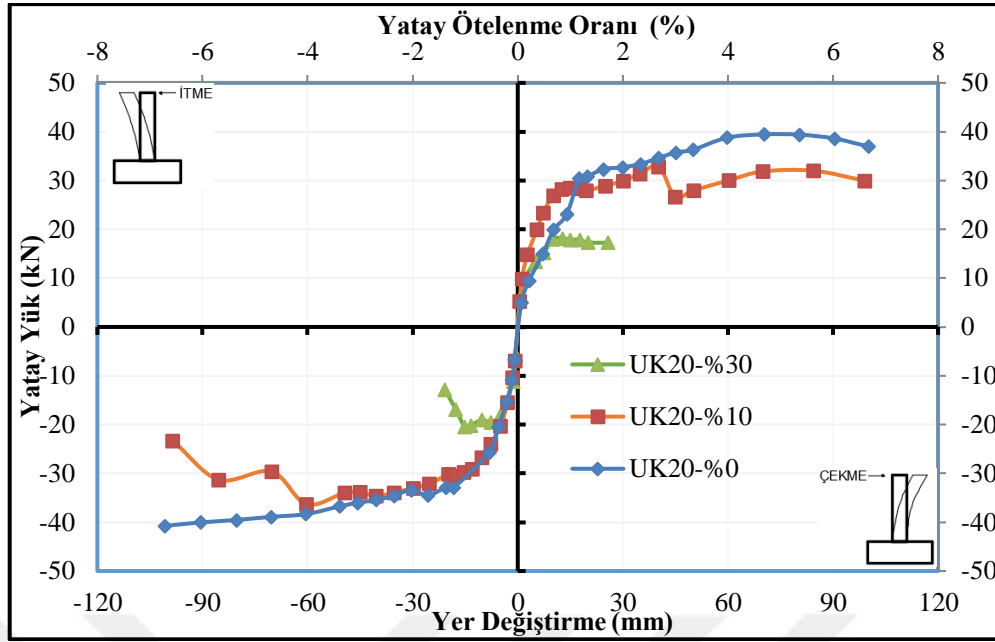
Deneysel No	Deneysel Numuneler	Akma Yüklü		Göçme Yüklü $0.8 \cdot V_{max}$		Mak. Yatay Yük		Akma Deplasmanı		Göçme Deplasmanı		Deplasman Sünekliği		Yatay Ötelenme Oranı $(\delta = \Delta/L)$ (%)		Kümülatif Toplam Tüketilen Enerji (kN.m)		Rijitlik (kN/mm)	
		V_y (kN)	V_u (kN)	V_{max} (kN)	$V/V_{Referans}$	Δ_y (mm)	$\Delta/\Delta_{Referans}$	Δ_u (mm)	$\Delta/\Delta_{Referans}$	μ	$\mu/\mu_{Referans}$	δ	$\delta/\delta_{Referans}$	E (kN.m)	$E/E_{Referans}$	İlk Rijitlik (kN/mm)	$R/R_{Referans}$	Mak. Yüktteki Rijitlik (kN/mm)	$R/R_{Referans}$
1	Kontrol-%0	32.63	33.25	36.71	1.00	22.23	1.00	100.75	1.00	4.71	1.00	6.72	1.00	31.81	1.00	7.95	1.00	0.52	1.00
2	Kontrol-%10	27.02	27.94	32.62	0.89	15.73	0.71	51.69	0.51	3.23	0.69	3.45	0.51	12.28	0.39	8.44	1.06	0.82	1.56
3	Kontrol-%30	17.40	16.94	20.43	0.56	7.41	0.33	30.57	0.30	4.11	0.87	2.04	0.30	3.89	0.12	8.56	1.08	1.04	1.98
4	UK10-%0	32.67	38.38	40.51	1.00	34.92	1.00	110.16	1.00	3.54	1.00	7.34	1.00	29.45	1.00	7.40	1.00	0.53	1.00
5	UK10-%10	24.65	25.83	32.29	0.80	29.30	0.84	70.88	0.64	3.63	1.03	4.73	0.64	21.96	0.75	8.06	1.09	0.72	1.36
6	UK10-%30	18.95	19.30	22.42	0.55	6.68	0.19	28.22	0.26	4.39	1.24	1.88	0.26	2.73	0.09	7.02	0.95	1.42	2.67
7	UK20-%0	33.20	38.85	40.11	1.00	30.12	1.00	100.43	1.00	3.34	1.00	6.70	1.00	30.48	1.00	6.04	1.00	0.48	1.00
8	UK20-%10	29.28	27.68	34.60	0.86	17.38	0.58	59.32	0.59	3.37	1.01	3.95	0.59	20.89	0.69	8.78	1.45	0.71	1.47
9	UK20-%30	16.19	16.83	19.33	0.48	5.70	0.19	21.81	0.22	3.79	1.13	1.45	0.22	1.73	0.06	9.19	1.52	1.39	2.87
10	YFC20-%0	30.53	32.27	37.67	1.00	24.29	1.00	100.52	1.00	4.76	1.00	6.70	1.00	32.54	1.00	7.95	1.00	0.72	1.00
11	YFC20-%10	30.47	30.13	36.88	0.98	17.83	0.73	89.40	0.89	6.80	1.43	5.96	0.89	25.88	0.80	11.41	1.44	0.95	1.32
12	YFC20-%30	22.17	20.75	25.94	0.69	10.08	0.41	49.65	0.49	5.09	1.07	3.31	0.49	7.65	0.24	8.51	1.07	0.71	0.99
13	YFC40-%0	34.42	33.57	41.96	1.00	30.92	1.00	102.27	1.00	3.89	1.00	6.82	1.00	35.30	1.00	6.20	1.00	0.55	1.00
14	YFC40-%10	25.78	29.14	32.38	0.77	24.22	0.78	71.18	0.70	2.92	0.75	4.75	0.70	18.05	0.51	8.51	1.37	0.54	0.97
15	YFC40-%30	25.31	24.38	30.44	0.73	13.13	0.42	41.90	0.41	3.55	0.91	2.79	0.41	7.81	0.22	10.65	1.72	0.94	1.70

Şekil 4.172'deki UK10 serisine ait dayanım zarfları incelendiğinde, UK10-%0 deney elemanı 40.51 kN maksimum yatay yük taşırken, sırasıyla UK10-%10 ve UK10-%30 numuneleri 32.29 ve 22.42 kN maksimum yatay yük taşımışlardır. UK10-%10 ve UK10-%30 numunelerinin UK10-%0 numunesine göre yatay yük taşıma kapasitelerinde sırasıyla % 20 ve % 45'lik bir azalma meydana gelmiştir. Yatay ötelenme oranları incelendiğinde, UK10-%0 numunesi % 7.34 oranında yatay ötelenmeye sahipken, UK10-%10 ve UK10-%30 numunelerinin yatay ötelenme oranlarında sırasıyla % 0.36 ve % 0.74'lük bir azalma meydana gelmiştir.



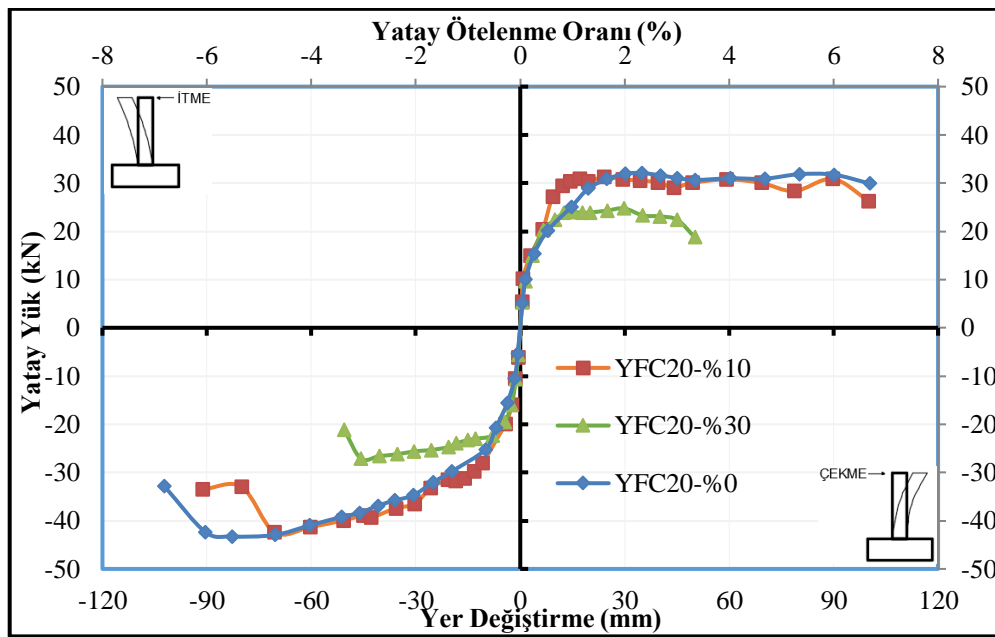
Şekil 4.172. UK10 serisinin dayanım zarflarının karşılaştırılması

Şekil 4.173'deki UK20 serisine ait dayanım zarfları incelendiğinde, UK20-%0 deney elemanı 40.11 kN maksimum yatay yük taşırken, sırasıyla UK20-%10 ve UK20-%30 numuneleri 34.60 ve 19.33 kN maksimum yatay yük taşımışlardır. UK20-%10 ve UK20-%30 numunelerinin UK20-%0 numunesine göre yatay yük taşıma kapasitelerinde sırasıyla %14 ve % 52'lik bir azalma meydana gelmiştir. Yatay ötelenme oranları incelendiğinde, UK20-%0 numunesi % 6.7 oranında yatay ötelenmeye sahipken, UK20-%10 ve UK20-%30 numunelerinin yatay ötelenme oranlarında sırasıyla % 0.41 ve % 0.78'lik bir azalma meydana gelmiştir.



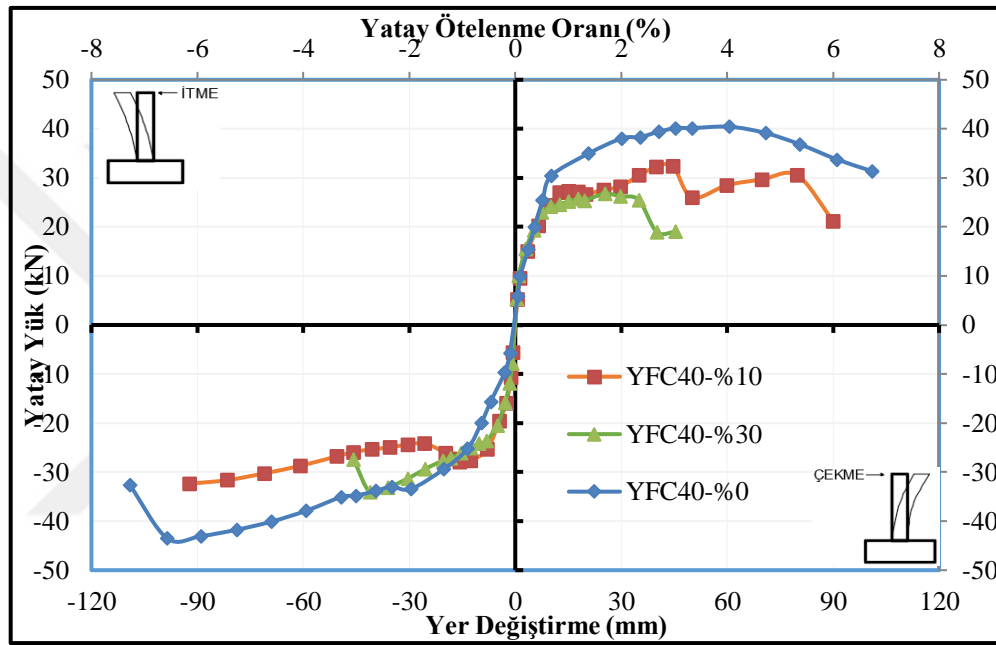
Şekil 4.173. UK20 serisinin dayanım zarflarının karşılaştırılması

Şekil 4.174'deki YFC20 serisine ait dayanım zarfları incelendiğinde, YFC20-%0 deney elemanı 37.67 kN maksimum yatay yük taşıırken, sırasıyla YFC20-%10 ve YFC20-%30 numuneleri 36.88 ve 25.94 kN maksimum yatay yük değerine ulaşmışlardır. YFC20-%10 ve YFC20-%30 numunelerinin YFC20-%0 numunesine göre yatay yük taşıma kapasitelerinde sırasıyla %2 ve %31'lik bir azalma meydana gelmiştir. Yatay ötelenme oranları incelendiğinde, YFC20-%0 numunesi %6.7 oranında yatay ötelenmeye sahipken, YFC20-%10 ve YFC20-%30 numunelerinin yatay ötelenme oranlarında sırasıyla %0.11 ve %0.51'lik bir azalma meydana gelmiştir.



Şekil 4.174. YFC20 serisinin dayanım zarflarının karşılaştırılması

Şekil 4.175'deki YFC40 serisine ait dayanım zarfları incelendiğinde, YFC40-%0 deney elemanı 41.96 kN maksimum yatay yük taşıırken, sırasıyla YFC40-%10 ve YFC40-%30 numuneleri 32.38 ve 30.44 kN maksimum yatay yük taşımışlardır. YFC40-%10 ve YFC40-%30 numunelerinin YFC40-%0 numunesine göre yatay yük taşıma kapasitelerinde sırasıyla %23 ve %27'lik bir azalma meydana gelmiştir. Yatay ötelenme oranları incelendiğinde, YFC40-%0 numunesi %6.82 oranında yatay ötelenmeye sahipken, YFC40-%10 ve YFC40-%30 numunelerinin yatay ötelenme oranlarında sırasıyla %0.30 ve %0.59'lik bir azalma meydana gelmiştir.

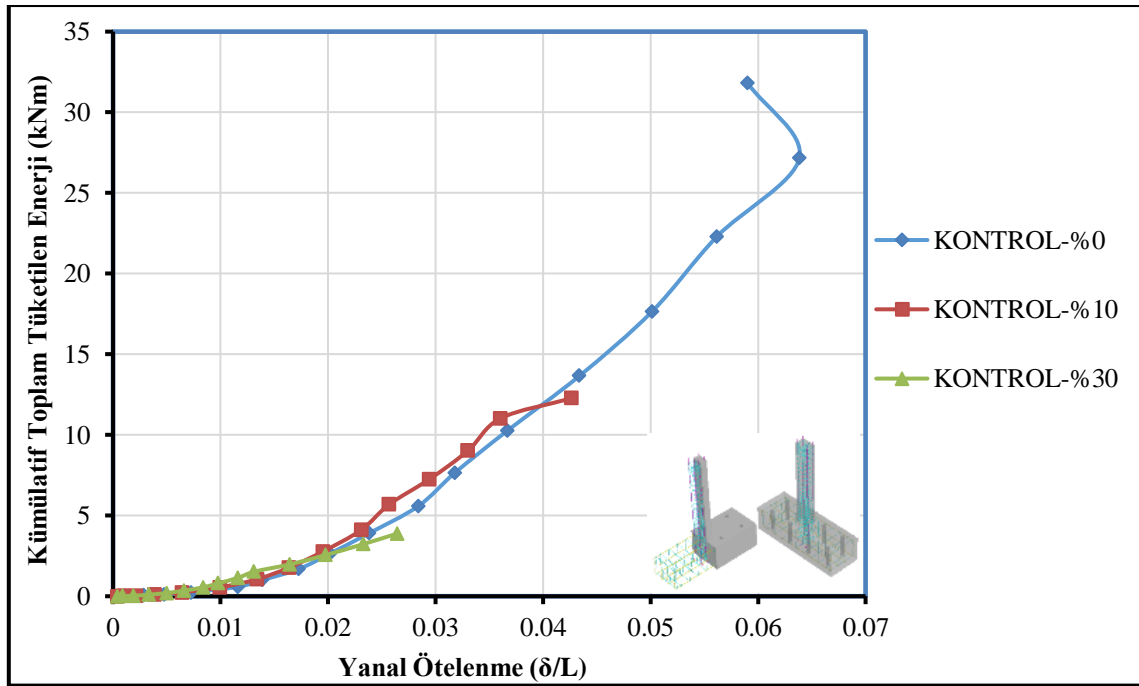


Şekil 4.175. YFC40 serisinin dayanım zarflarının karşılaştırılması

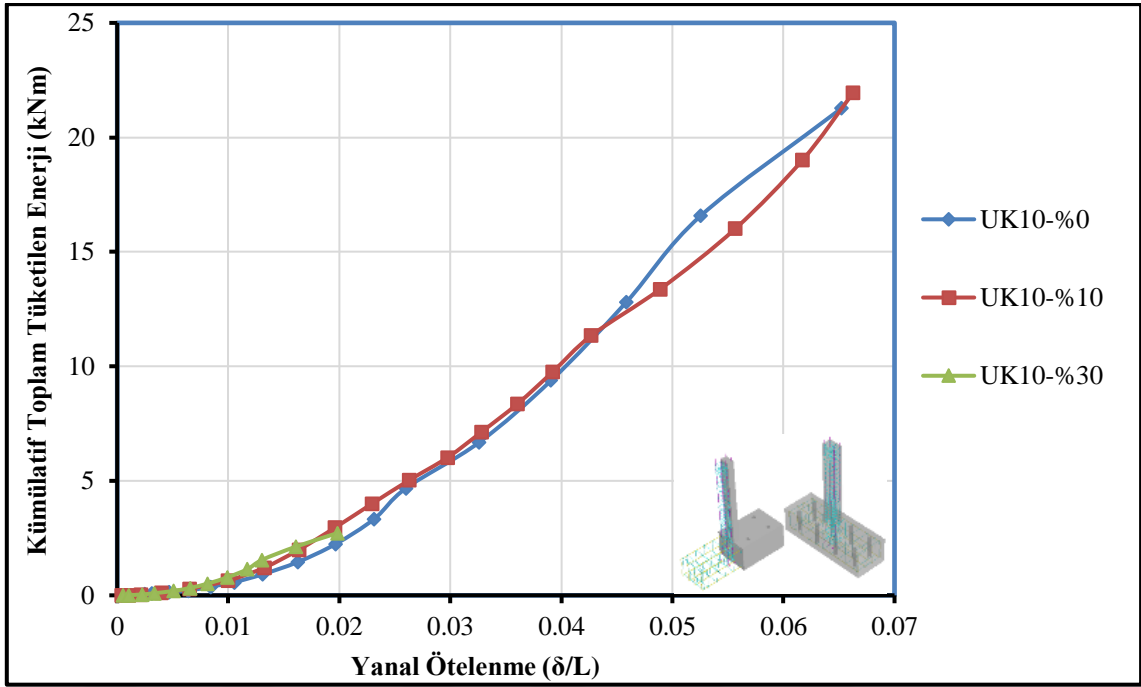
Sonuçlardan görüldüğü gibi korozyon hasar seviyesinin artmasıyla, deneysel elemanların yatay yük taşıma kapasitelerinde %10 ve %30 korozyon seviyeleri için sırasıyla %2 - %23 aralığında ve %27 - %52 aralığında dayanım kayıpları meydana gelmiştir. Korozyon hasar seviyesi %10 olan numunelerde, en fazla dayanım kaybı YFC40 serisinde olurken, %30 korozyon hasarlı numunelerde UK20'li seride maksimum dayanım kaybı meydana gelmiştir. Yatay ötelenme oranları incelendiğinde, %10 ve %30 korozyon seviyeleri için sırasıyla %11 - %49 ve %51 - %78 oranlarında yatay ötelenme kayıpları meydana gelmiştir. Korozyon hasar seviyesi %10 olan numunelerde, en fazla yatay ötelenme kaybı Kontrol serisinde oluşurken, %30 korozyon hasar seviyesinde UK20'li seride meydana gelmiştir.

Beton serilerine ait kümülatif toplam tüketilen enerji grafikleri karşılaştırmaları Şekil 4.176 - Şekil 4.180 arasında gösterilmiştir. Kümülatif toplam tüketilen enerji

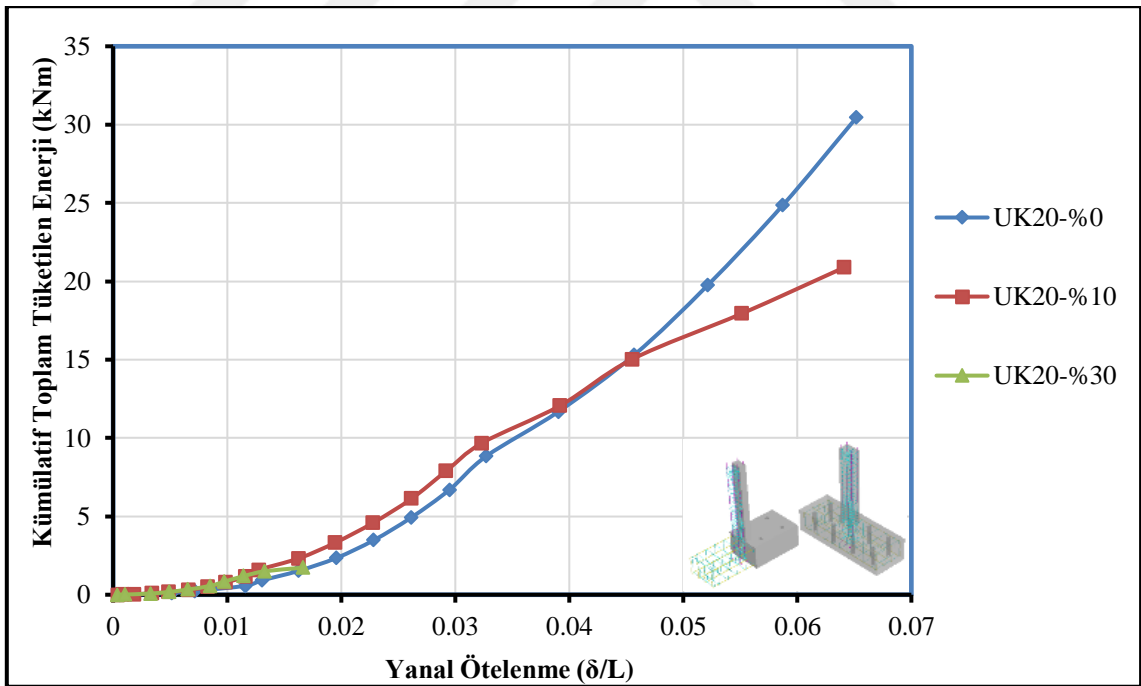
grafikleri incelendiğinde, korozyon hasar seviyesinin artmasıyla deneysel elemanların enerji tüketme kapasitelerinde önemli miktarlarda kayıplar meydana geldiği görülmektedir. Kontrol serisinin enerji grafiği incelendiğinde, Kontrol-%0 deney elemanı 31.81 kNm enerji tüketme kapasitesine sahipken, sırasıyla Kontrol-%10 ve Kontrol-%30 numunelerinde % 61 ve % 88’lik bir azalma meydana gelmiştir. UK10 serisine ait enerji grafiği incelendiğinde, UK10-%0 deney elemanı 29.45 kNm enerji tüketme kapasitesine sahipken, sırasıyla UK10-%10 ve UK10-%30 numunelerinde % 25 ve % 91’lik bir azalma meydana gelmiştir. UK20 serisine ait enerji grafiği incelendiğinde, UK20-%0 deney elemanı 30.48 kNm enerji tüketme kapasitesine sahipken, sırasıyla UK20-%10 ve UK20-%30 numunelerinde % 31 ve % 94’lük bir azalma meydana gelmiştir. YFC20 serisine ait enerji grafiği incelendiğinde, YFC20-%0 deney elemanı 32.54 kNm enerji tüketme kapasitesine sahipken, sırasıyla YFC20-%10 ve YFC20-%30 numunelerinde %20 ve % 76’lık bir azalma meydana gelmiştir. YFC40 serisine ait enerji grafiği incelendiğinde ise, YFC40-%0 deney elemanı 35.30 kNm enerji tüketme kapasitesine sahipken, sırasıyla YFC40-%10 ve YFC40-%30 numunelerinde % 49 ve % 78’lik bir azalma meydana gelmiştir. Korozyon hasar seviyesi %10 olan numunelerde, en fazla enerji tüketme kapasitesi kaybı Kontrol serisinde olurken, %30 korozyon hasarlı numunelerde UK20’li seride meydana gelmiştir.



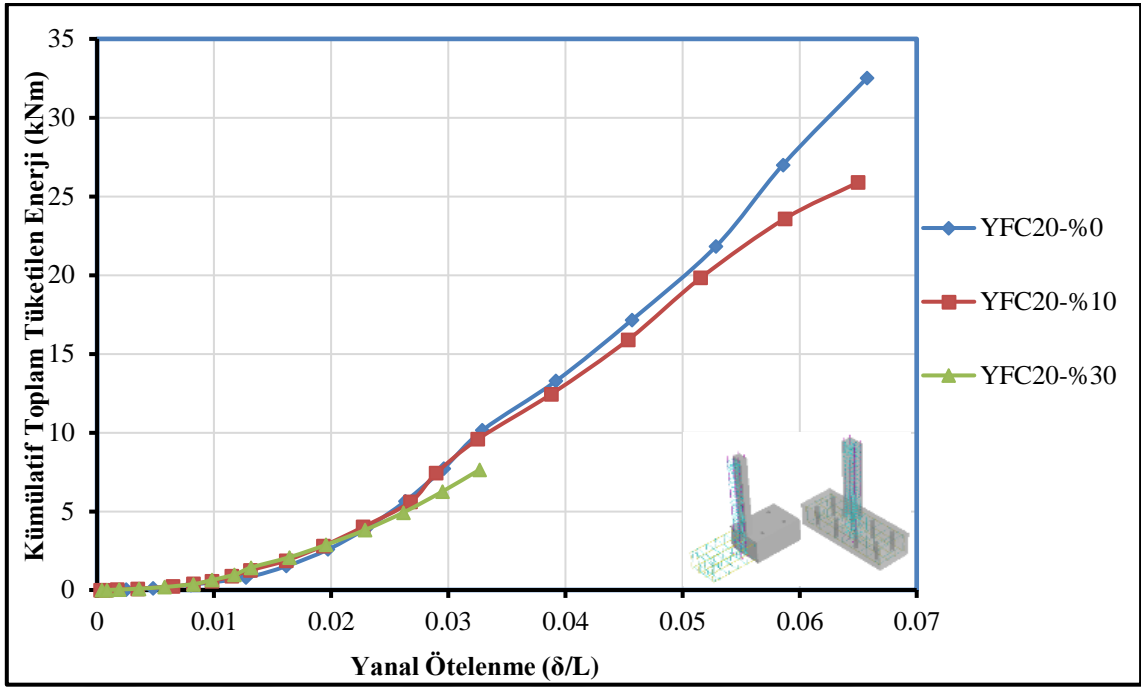
Şekil 4.176. Kontrol serisinin kümülatif toplam tüketilen enerji grafiklerinin karşılaştırılması



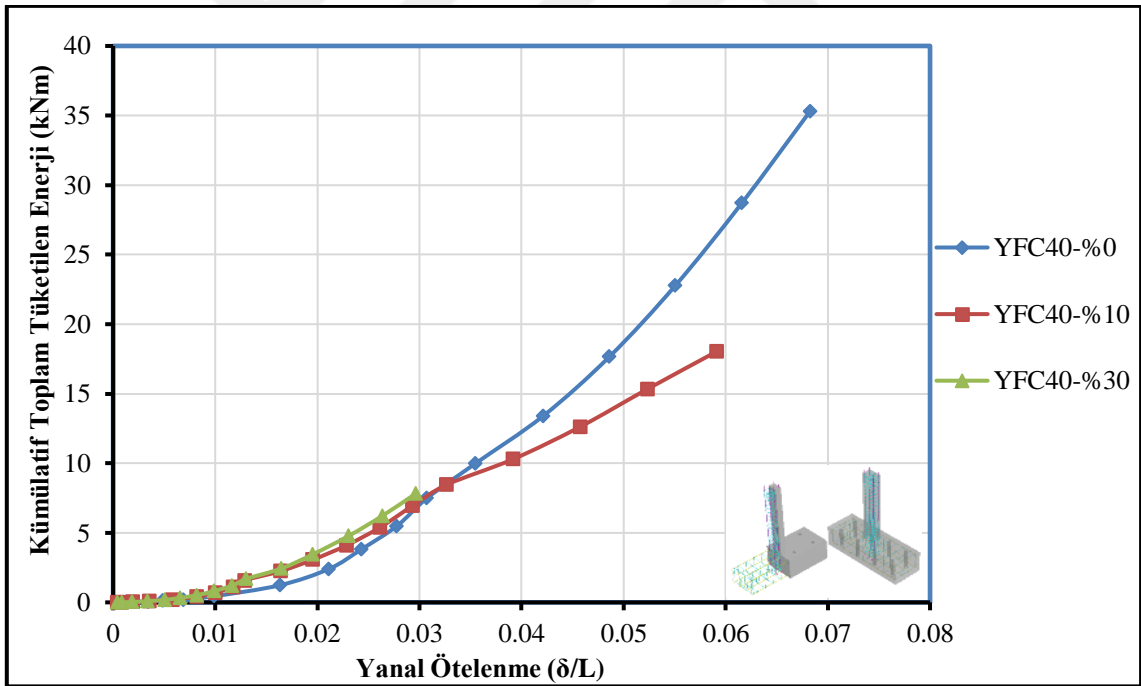
Şekil 4.177. UK10 serisinin kümülatif toplam tüketilen enerji grafiklerinin karşılaştırılması



Şekil 4.178. UK20 serisinin kümülatif toplam tüketilen enerji grafiklerinin karşılaştırılması



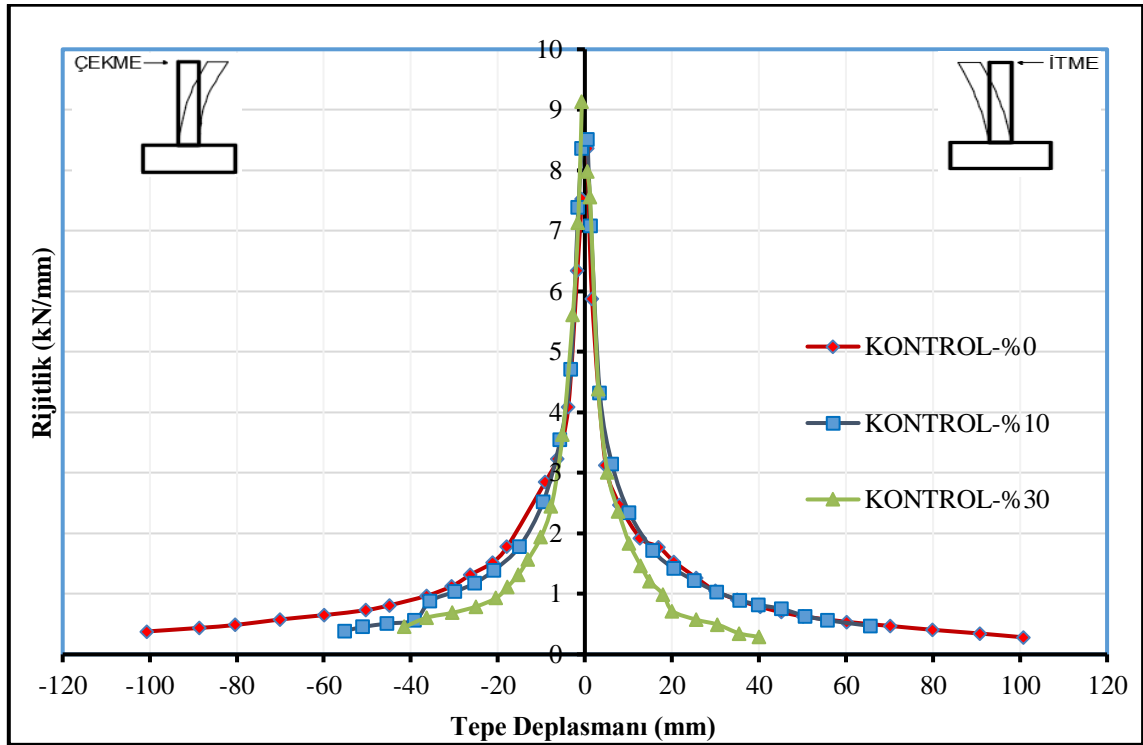
Şekil 4.179. YFC20 serisinin kümülatif toplam tüketilen enerji grafiklerinin karşılaştırılması



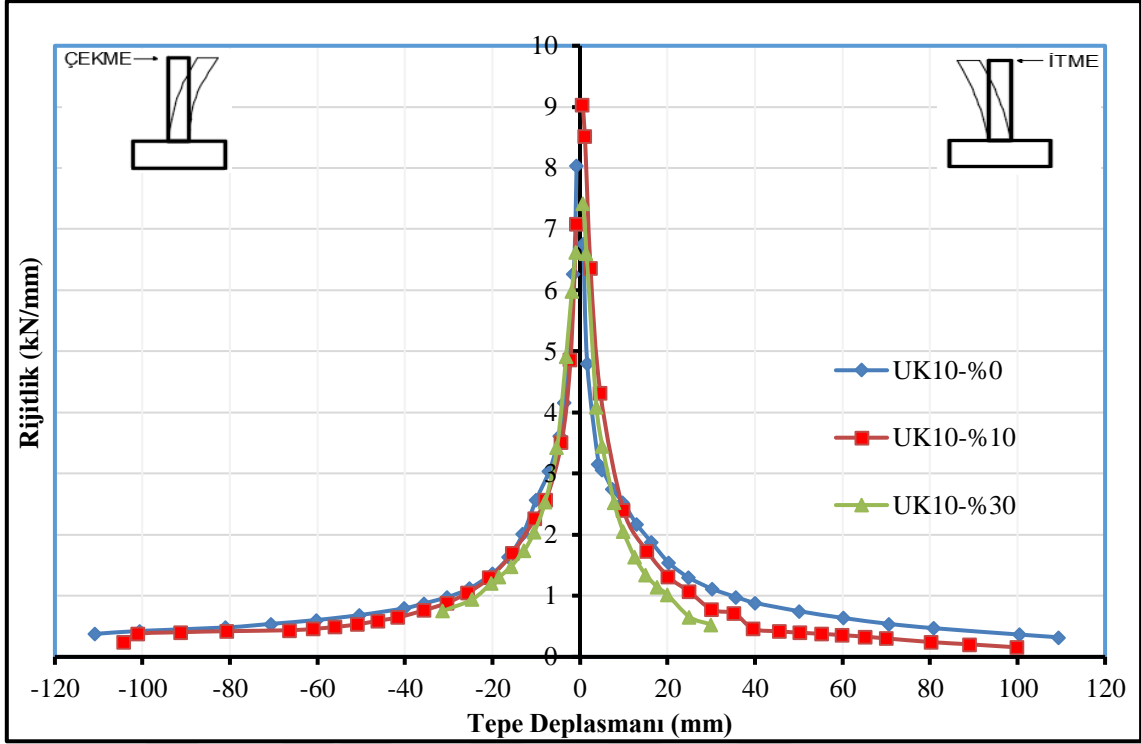
Şekil 4.180. YFC40 serisinin kümülatif toplam tüketilen enerji grafiklerinin karşılaştırılması

Beton serilerine ait rijitlik azalım grafikleri Şekil 4.181 – Şekil 4.185 arasında gösterilmiştir. Tablo 4.47’de deneysel numunelerin rijitlikleri değerlendirilirken, başlangıç ve maksimum yükteki rijitlik değerleri arasında bir karşılaştırma yapılmıştır. Fakat, deneysel numunelerin yatay yük taşıma kapasitelerinde meydana gelen azalma ile

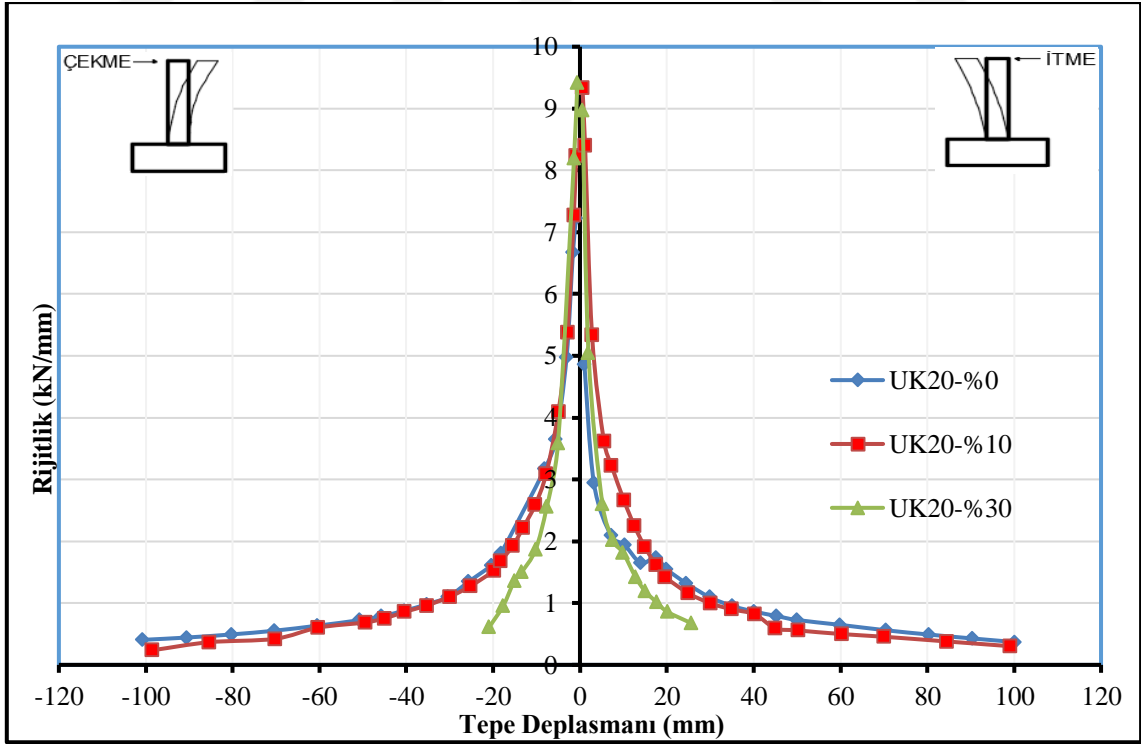
yanal ötelenme oranlarında ki azalma orantılı olmadığından (yatay tepe deplasmanlarında önemli kayıplar olduğu için) rijitlik azalım grafikleri önemli bir gösterge olamamıştır. Süneklik bakımından bir kıyaslama yapıldığında ise, korozyon hasarının, akma deplasmanlarında meydana gelen azalmalara etkisinin, göçme deplasmanlarında meydana gelen azalmalara göre etkisi daha fazla olduğu için süneklik açısından yapılan sayısal değerlendirmeler farklı sonuçlar vermiştir. Şekil 4.186'da deplasman süneklik değerleri toplu halde gösterilmiştir.



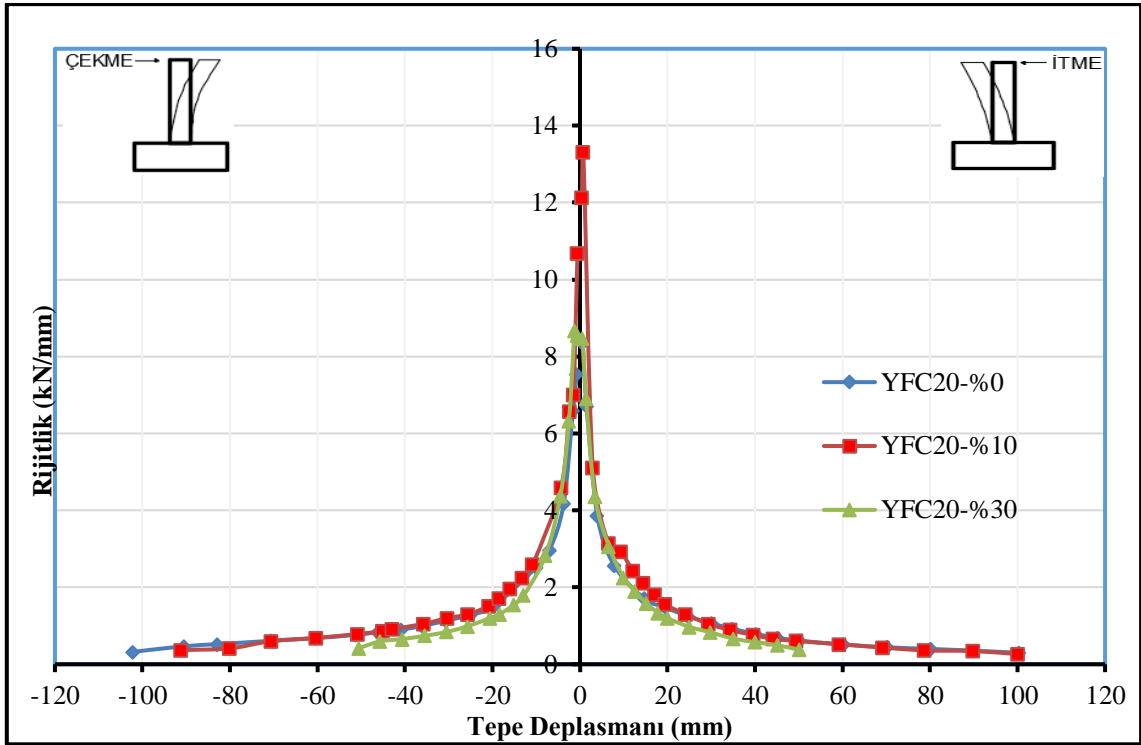
Şekil 4.181. Kontrol serisinin rijitlik azalım grafiklerinin karşılaştırılması



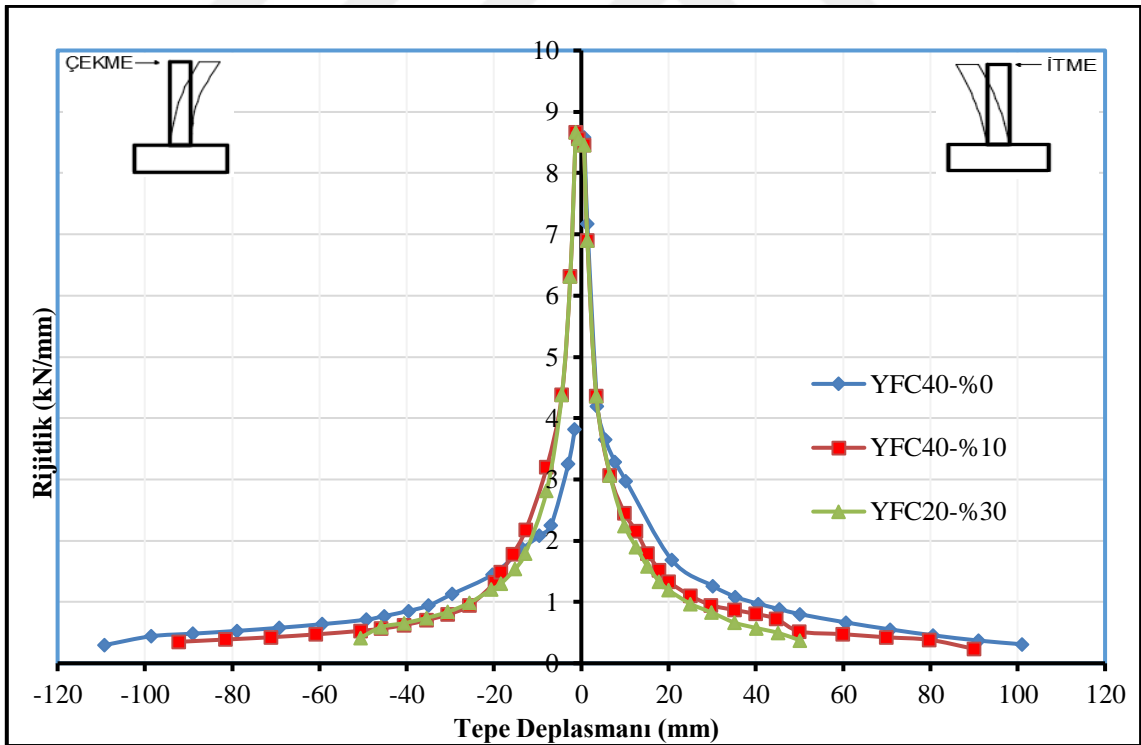
Şekil 4.182. UK10 serisinin rijitlik azalım grafiklerinin karşılaştırılması



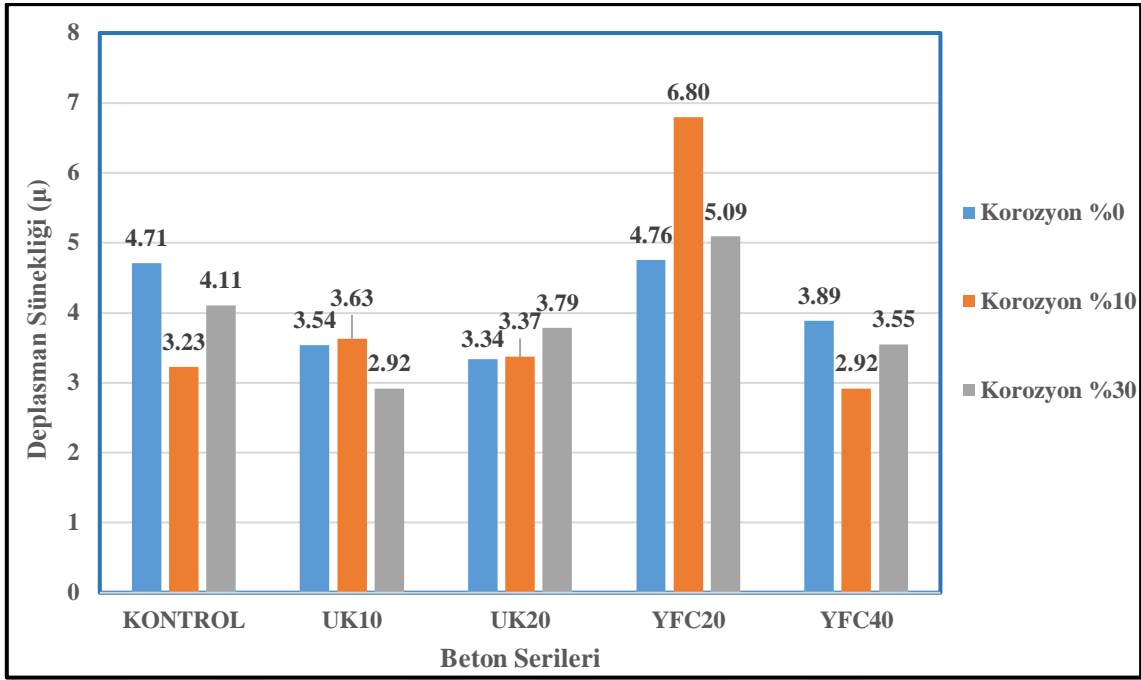
Şekil 4.183. UK20 serisinin rijitlik azalım grafiklerinin karşılaştırılması



Şekil 4.184. YFC20 serisinin rijitlik azalım grafiklerinin karşılaştırılması



Şekil 4.185. YFC40 serisinin rijitlik azalım grafiklerinin karşılaştırılması



Şekil 4.186. Beton serilerine göre deplasman sünekliklerinin karşılaştırılması

Şekil 4.186'dan görüldüğü üzere, korozyon hasarı olmayan numunelerde en sünek davranışı YFC20 serisi, en düşük sünekliği ise UK20 serisi göstermiştir. Korozyon hasarlı serilerde ise, UK20 ve YFC20 serilerinde referans numunelere göre daha yüksek ötelenme süneklik değerleri elde edilmiştir.

4.2.2. 2. Grup Karşılaştırma (Beton Serisi Değişken, Korozyon Oranı Sabit)

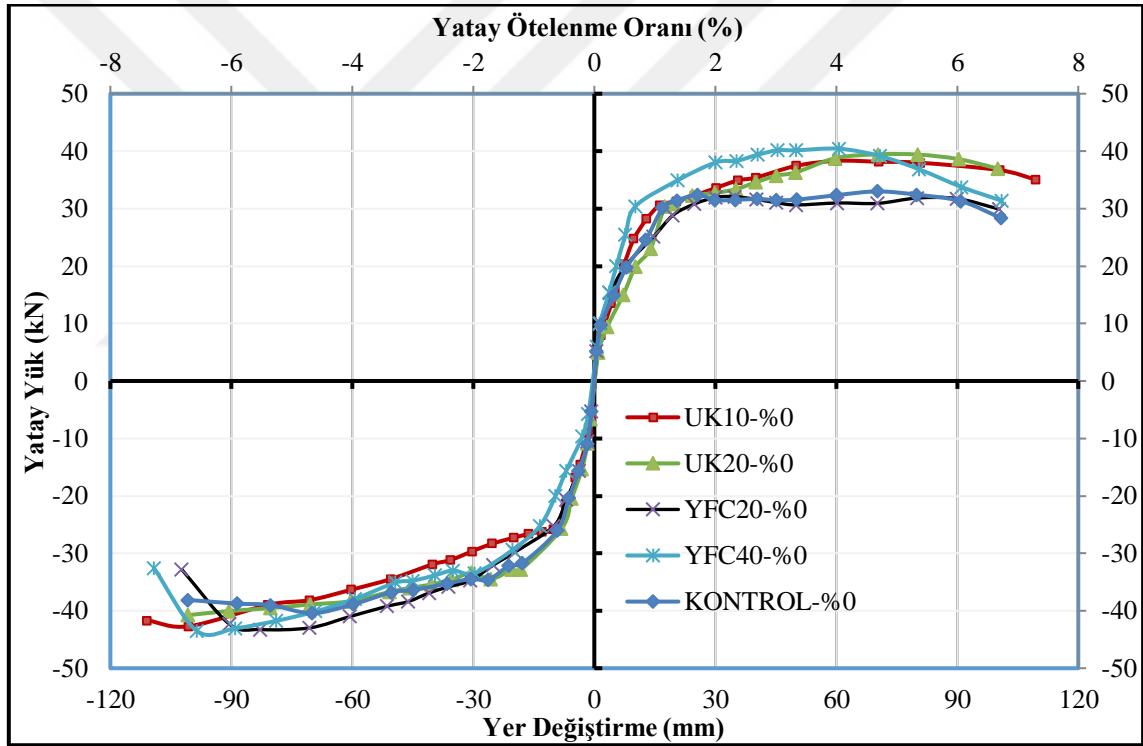
Bu bölümde, Çizelge 4.46'da belirtildiği şekilde, Grup No 2'de yer alan, korozyon oranları sabit ve farklı beton karışım dizaynlarına sahip olan seriler birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma grubu 3 adet seriden ve her bir seride 5 adet numuneden oluşmaktadır. Her bir korozyon serisi kendi içinde ayrı olarak değerlendirilmiştir.

1. Grup karşılaştırmada olduğu gibi, deneysel sonuçlar itme ve çekme değerlerinin ortalaması alınarak gerçekleştirilmiştir. Çizelge 4.48'de aynı korozyon oranına sahip numunelerin, yatay yükleme deney sonuçları, sayısal olarak tablo halinde karşılaştırılmıştır. Bu bölümdeki yapılan karşılaştırmalar Çizelge 4.48 üzerinden değerlendirilmiştir.

Çizelge 4.48. Deneysel elemanlarının korozyon seviyesine göre deneysel sonuçlarının karşılaştırılması (ileri ve geri çevrim ortalaması)

Deneysel No	Deneysel Numuneler	Akma Yüklü		Göçme Yüklü		Maksimum Yatay Yük		Akma Deplasmanı		Göçme Deplasmanı		Deplasman Sünekliği		Yatay Ötelenme Oranı ($\delta=\Delta/L$) (%)		Tüketilen Kümülatif Enerji (kN.m)		Rijitlik (kN/mm)		
		V_y (kN)	V_u (kN)	V_{mak} (kN)	$V/V_{Kontrol}$	Δ_y (mm)	$\Delta/\Delta_{Kontrol}$	Δ_u (mm)	$\Delta/\Delta_{Kontrol}$	μ	$\mu/\mu_{Kontrol}$	δ	$\delta/\delta_{Kontrol}$	E	$E/E_{Kontrol}$	İlk Rijitlik	$R/R_{Kontrol}$	Mak. Yükteki Rijitlik	$R/R_{Kontrol}$	
1	Kontrol-%0	32.63	33.25	36.71	1.00	22.23	1.00	100.75	1.00	4.71	1.00	6.72	1.00	31.81	1.00	7.95	1.00	0.52	1.00	
2	UK10-%0	32.67	38.38	40.51	1.10	34.92	1.57	110.16	1.09	3.54	0.75	7.34	1.09	29.45	0.93	7.40	0.93	0.53	1.01	
3	UK20-%0	33.20	38.85	40.11	1.09	30.12	1.35	100.43	1.00	3.34	0.71	6.69	0.99	30.48	0.96	6.04	0.76	0.48	0.92	
4	YFC20-%0	30.53	32.27	37.67	1.03	24.29	1.09	100.52	1.00	4.76	1.01	6.70	0.99	32.54	1.02	7.95	1.00	0.72	1.38	
5	YFC40-%0	34.42	33.57	41.96	1.14	30.92	1.39	102.27	1.02	3.89	0.83	6.82	1.01	35.30	1.11	6.20	0.78	0.55	1.06	
6	Kontrol-%10	27.02	27.94	32.62	1.00	15.73	1.00	51.69	1.00	3.23	1.00	3.45	1.00	12.28	1.00	8.44	1.00	0.82	1.00	
7	UK10-%10	24.65	25.83	32.29	0.99	29.30	1.86	70.88	1.37	3.63	1.12	4.73	1.37	21.96	1.79	8.06	0.96	0.72	0.88	
8	UK20-%10	29.28	27.68	34.60	1.06	17.38	1.10	59.32	1.15	3.37	1.04	3.95	1.14	20.89	1.70	8.78	1.04	0.71	0.87	
9	YFC20-%10	30.47	30.13	36.88	1.13	17.83	1.13	89.40	1.73	6.80	2.11	5.96	1.73	25.88	2.11	11.41	1.35	0.95	1.16	
10	YFC40-%10	25.78	29.14	32.38	0.99	24.22	1.54	71.18	1.38	2.92	0.90	4.75	1.38	18.05	1.47	8.51	1.01	0.54	0.66	
11	Kontrol-%30	17.40	16.94	20.43	1.00	7.41	1.00	30.57	1.00	4.11	1.00	2.04	1.00	3.89	1.00	8.56	1.00	1.04	1.00	
12	UK10-%30	18.95	19.30	22.42	1.09	6.68	0.90	28.22	0.92	4.39	1.24	1.88	0.92	2.73	0.70	7.02	0.95	1.42	1.37	
13	UK20-%30	16.19	16.83	19.33	0.95	5.70	0.77	21.81	0.71	3.79	0.92	1.45	0.71	1.73	0.44	9.19	1.07	1.39	1.33	
14	YFC20-%30	22.17	20.75	25.94	1.27	10.08	1.36	49.65	1.62	5.09	1.24	3.31	1.62	7.65	1.97	8.51	0.99	0.71	0.68	
15	YFC40-%30	25.31	24.38	30.44	1.49	13.13	1.77	41.90	1.37	3.55	0.86	2.79	1.37	7.81	2.01	10.65	1.24	0.94	0.91	

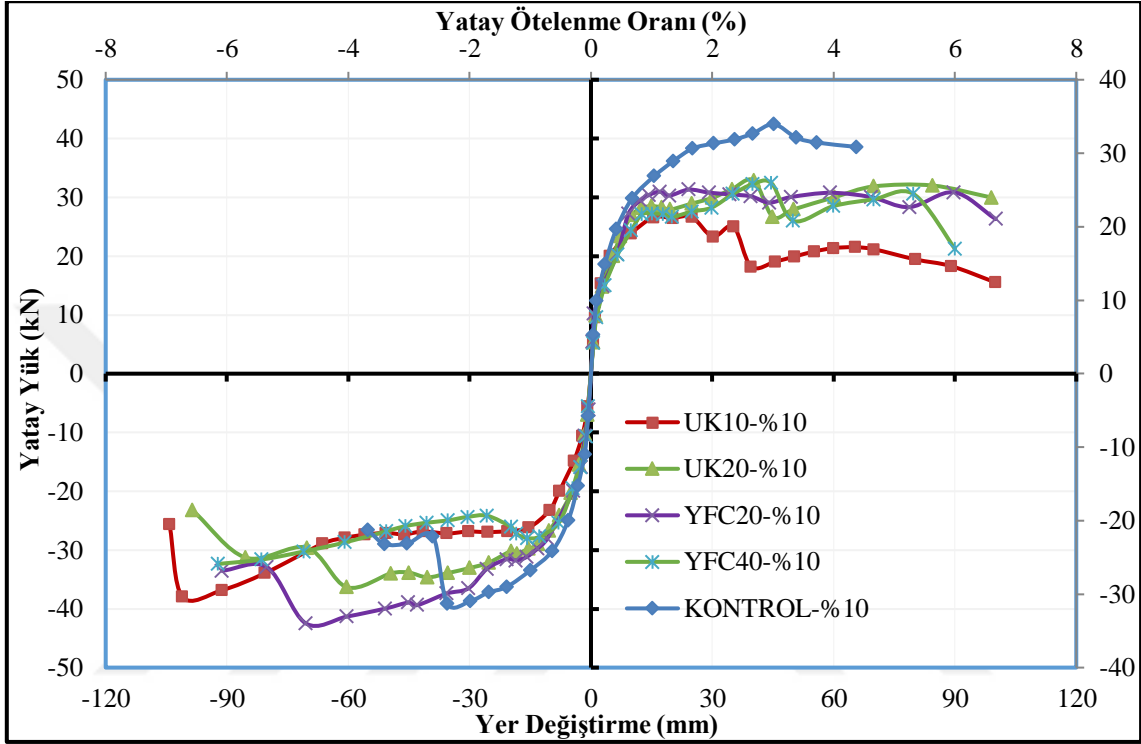
Korozyon serilerine ait dayanım zarfları Şekil 4.187 – Şekil 4.189 arasında gösterilmiştir. Şekil 4.187’deki korozyon oranı %0 olan numunelere ait dayanım zarfları incelendiğinde, Kontrol-%0 deney elemanı 36.71 kN maksimum yatay yük taşıırken, UK10-%0, UK20-%0, YFC20-%0 ve YFC40-%0 numuneleri sırasıyla 40.51, 40.11, 37.67 ve 41.96 kN maksimum yatay yüke ulaşmışlardır. UK10-%0, UK20-%0, YFC20-%0 ve YFC40-%0 numunelerinin Kontrol-%0 numunesine göre yatay yük taşıma kapasitelerinde sırasıyla % 10, % 9, % 3 ve % 14’lük bir artış meydana gelmiştir. Yatay ötelenme oranları incelendiğinde, Kontrol-%0 numunesi % 6.72 oranında yatay ötelenme oranına sahipken, UK10-%0 ve YFC40-%0 numunelerinin yatay ötelenme oranlarında sırasıyla % 9 ve % 1’lik bir artış, UK20-%0 ve YFC20-%0 numunelerinde ise, % 1’lik bir azalma meydana gelmiştir.



Şekil 4.187. Korozyon hasarı %0 olan numunelerin dayanım zarflarının karşılaştırılması

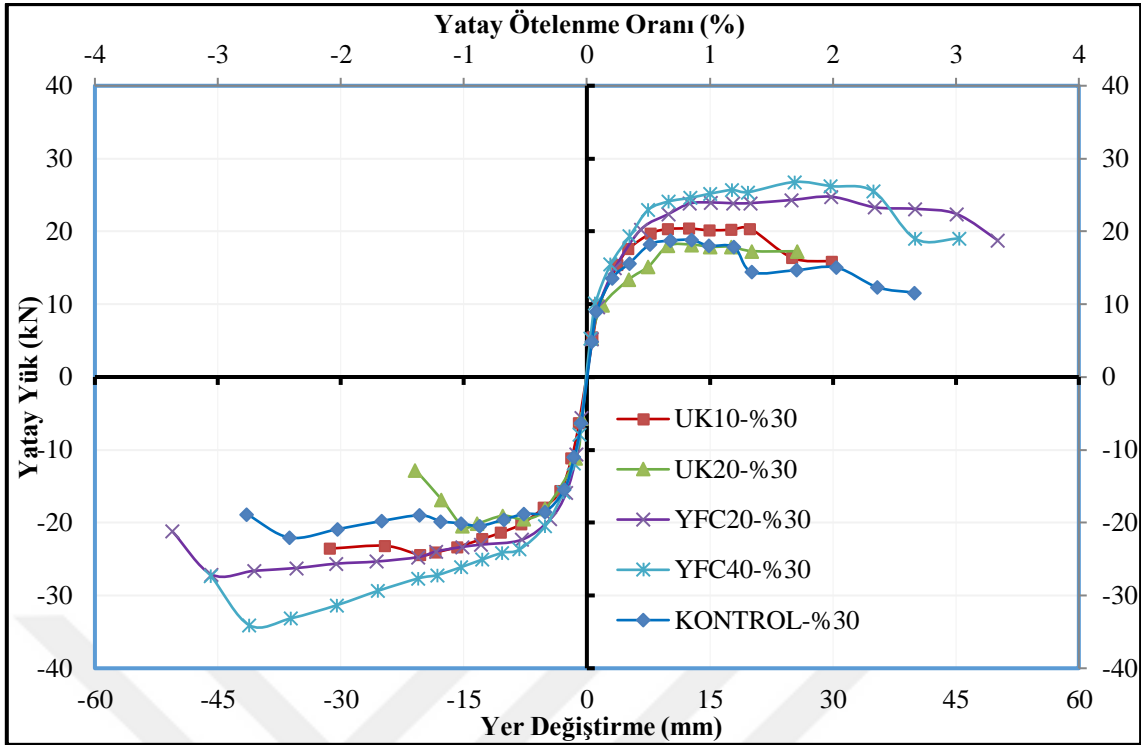
Şekil 4.188’deki korozyon oranı %10 olan serilere ait dayanım zarfları incelendiğinde, Kontrol-%10 deney elemanı 32.62 kN maksimum yatay yük taşıırken, sırasıyla UK10-%10, UK20-%10, YFC20-%10 ve YFC40-%10 numuneleri 32.29, 34.60, 36.88 ve 32.38 kN maksimum yatay yük taşımışlardır. UK10-%10 ve YFC40-%10 numunelerinin Kontrol-%10 numunesine göre yatay yük taşıma kapasitelerinde yaklaşık % 1’lik bir azalma meydana gelirken, UK20-%10 ve YFC20-%10 numunelerinin kapasitelerinde sırasıyla % 6 ve % 13’lük bir artış meydana gelmiştir. Yatay ötelenme

oranları incelendiğinde, Kontrol-%10 numunesi % 3.45 oranında bir yatay ötelenmeye sahipken, UK10-%10, UK20-%10, YFC20-%10 ve YFC40-%10 numunelerinin yatay ötelenme kapasitelerinde sırasıyla % 37, % 14, % 73 ve % 38'lik bir artış meydana gelmiştir. Kullanılan mineral katkıların ötelenme oranları açısından pozitif etki yarattığı görülmektedir.



Şekil 4.188. Korozyon hasarı %10 olan numunelerin dayanım zarflarının karşılaştırılması

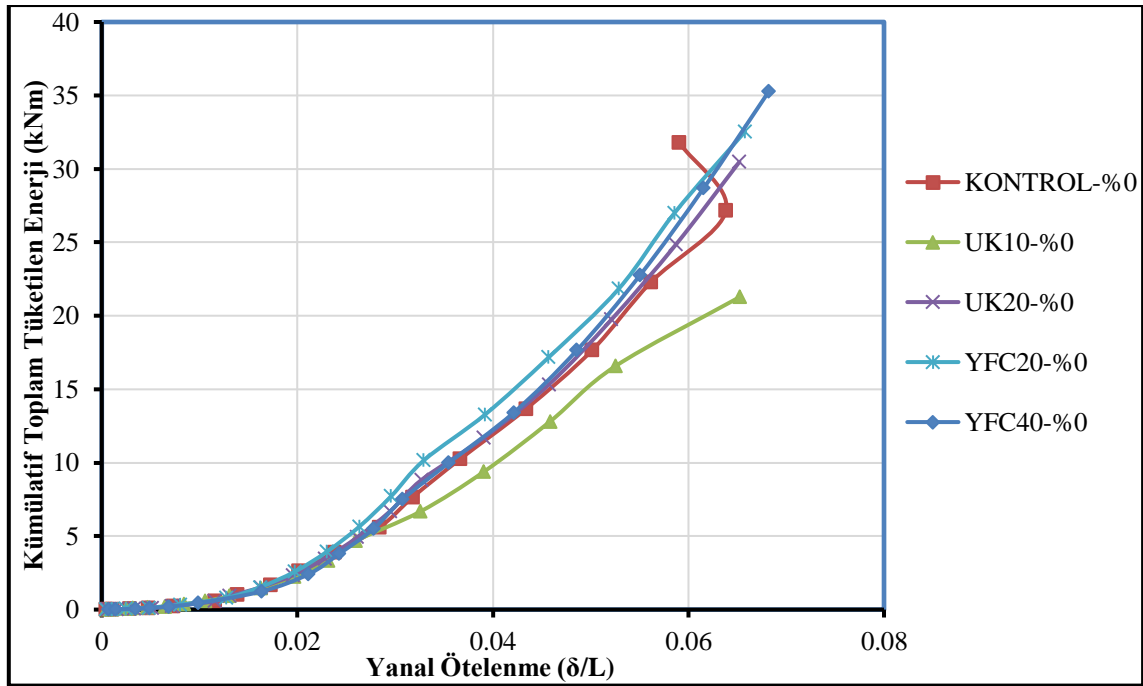
Şekil 4.189'daki korozyon oranı %30 olan serilere ait dayanım zarfları incelendiğinde, Kontrol-%30 deney elemanı 20.43 kN maksimum yatay yük taşıırken, sırasıyla UK10-%30, UK20-%30, YFC20-%30 ve YFC40-%30 numuneleri 22.42, 19.33, 25.94 ve 30.44 kN maksimum yatay yük değerine ulaşmışlardır. UK20-%30 numunesinin Kontrol-%30 numunesine göre yatay yük taşıma kapasitesinde % 5'lik bir azalma meydana gelirken, UK10-%30, YFC20-%30 ve YFC40-%30 numunelerinin kapasitelerinde sırasıyla % 9, % 27 ve % 49'luk bir artış meydana gelmiştir. Yatay ötelenme oranları incelendiğinde, Kontrol-%30 numunesi % 2.04 oranında bir yatay ötelenmeye sahipken, UK10-%30 ve UK20-%30 numunelerinin yatay ötelenme kapasitelerinde sırasıyla % 8 ve % 29'luk bir azalma meydana gelirken, YFC20-%30 ve YFC40-%30 numunelerinin yatay ötelenme kapasitelerinde sırasıyla % 62 ve % 37'lik bir artış meydana gelmiştir.



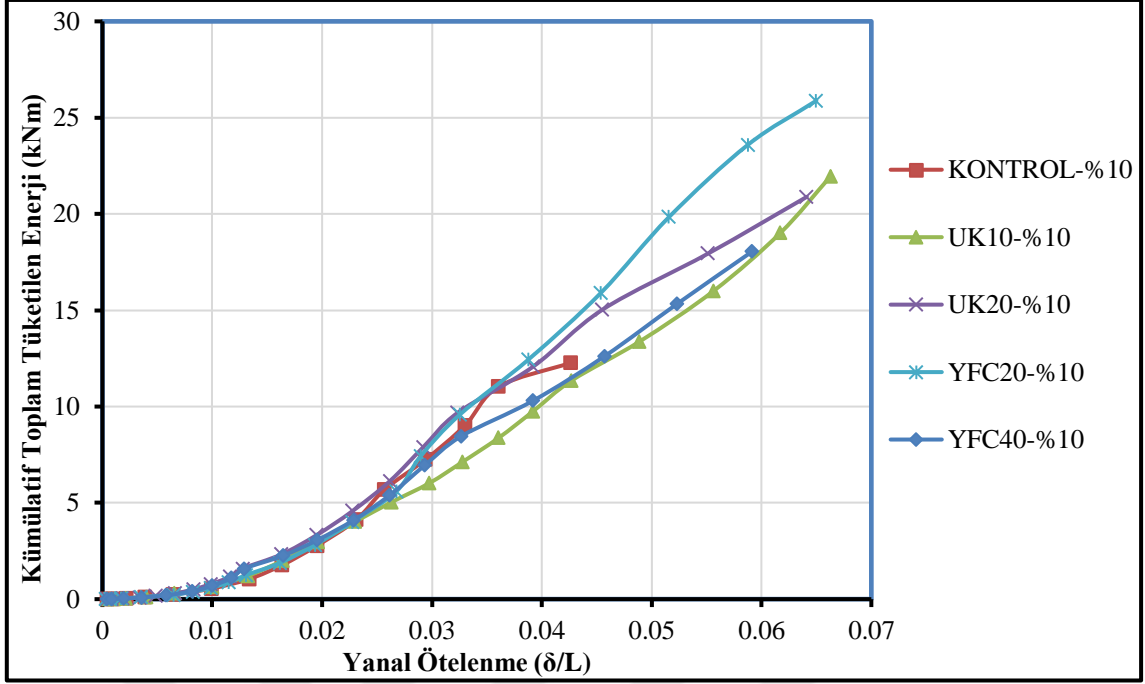
Şekil 4.189. Korozyon hasarı %30 olan numunelerin dayanım zarflarının karşılaştırılması

Görüleceği üzere kullanılan mineral katkı oranları, numunelerin yatay yük taşıma kapasiteleri açısından önemli dayanım artışları meydana getirmiştir. Korozyon hasar seviyesi %0 olan seride, en fazla dayanım artışı YFC40 numunesinde olurken, %10 korozyon hasarlı seride YFC20 numunesinde, %30 korozyon hasarlı seride YFC40 numunesinde en fazla artış meydana gelmiştir. Korozyon hasarı %10 ve %30 seviyesinde, farklı beton serilerinde dayanım artışı meydana gelmesi korozyondan dolayı oluşan pas ürününün meydana getirdiği kenetlenme artışıyla ifade edilebilir. %10 korozyon hasar seviyesinde referans Kontrol-%10 numunesine göre, YFC20 numunesi YFC40 numunesinden daha fazla yatay yük taşıma kapasitesine sahiptir ve bu seride yer alan numuneler içinde YFC40 numunesinin yatay yük taşıma kapasitesi en düşük sonuçlardan biridir. Bu sonuç, YFC20 numunesinin korozyon hasarı YFC40 numunesine göre daha fazla olması ve oluşan korozyon miktarının betonda oluşturduğu gerilmeler, henüz betonun yapısında bozulmalar meydana getirmediği için kenetlenme miktarını artırması ile açıklanabilir. Fakat %30 korozyon hasar seviyesine baktığımızda, korozyon miktarının fazla olmasından dolayı, korozyona karşı direnci fazla olan YFC40 numunesinin donatılarında meydana gelen kesit kaybı ve beton yapısındaki bozulmalar daha az olduğu için, yatay yük taşıma kapasitesinde Kontrol-%10 numunesine göre en fazla dayanım artışı meydana gelen numune olmuştur.

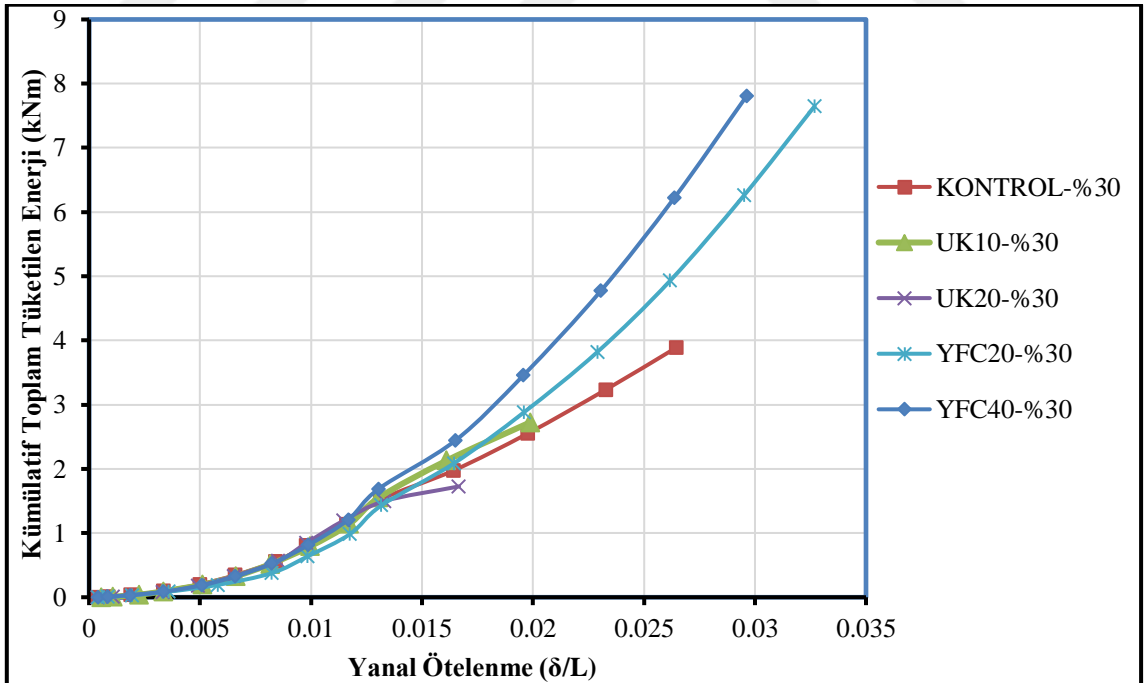
Korozyon serilerine ait kümülatif toplam tüketilen enerji grafikleri Şekil 4.190 – Şekil 4.192 arasında gösterilmiştir. Kümülatif toplam tüketilen enerji grafikleri incelendiğinde, üç farklı korozyon seviyesinde YFC’li serilerin enerji tüketme kapasitelerinin, Kontrol ve UK’lı serilere göre daha fazla olduğu görülmektedir. Korozyon oranı % 0 olan grupta kümülatif toplam tüketilen enerji grafiği incelendiğinde, Kontrol deney elemanı 31.81 kNm enerji tüketme kapasitesine sahipken, UK10 ve UK20 numunelerinde sırasıyla % 7 ve % 4’lük bir azalma, YFC20 ve YFC40 numunelerinin enerji tüketiminde ise % 2 ve % 11’lik bir artış meydana gelmiştir. Korozyon oranı % 10 olan grubun enerji grafiği incelendiğinde, Kontrol deney elemanı 12.28 kNm enerji tüketme kapasitesine sahipken, UK10, UK20, YFC20 ve YFC40 numunelerinin enerji tüketiminde sırasıyla, % 79, % 70, % 111 ve % 47’lik bir artış meydana gelmiştir. Korozyon oranı % 30 olan grubun enerji grafiği incelendiğinde ise, Kontrol deney elemanı 3.89 kNm enerji tüketme kapasitesine sahipken, UK10 ve UK20 numunelerinde sırasıyla % 30 ve % 56’lık bir azalma meydana gelmiş, YFC20 ve YFC40 numunelerinde ise sırasıyla, % 97 ve % 101’lik bir enerji tüketim artışı oluşmuştur. Korozyon hasar seviyesi % 10 olan numunelerde, en fazla enerji tüketme kapasitesi kaybı Kontrol numunesinde olurken, % 30 korozyon hasarlı numunelerde UK20’li numunede meydana gelmiştir.



Şekil 4.190. Korozyon hasarı %0 olan numunelerin kümülatif toplam tüketilen enerji grafiklerinin karşılaştırılması



Şekil 4.191. Korozyon hasarı %10 olan numunelerin kümülatif toplam tüketilen enerji grafiklerinin karşılaştırılması



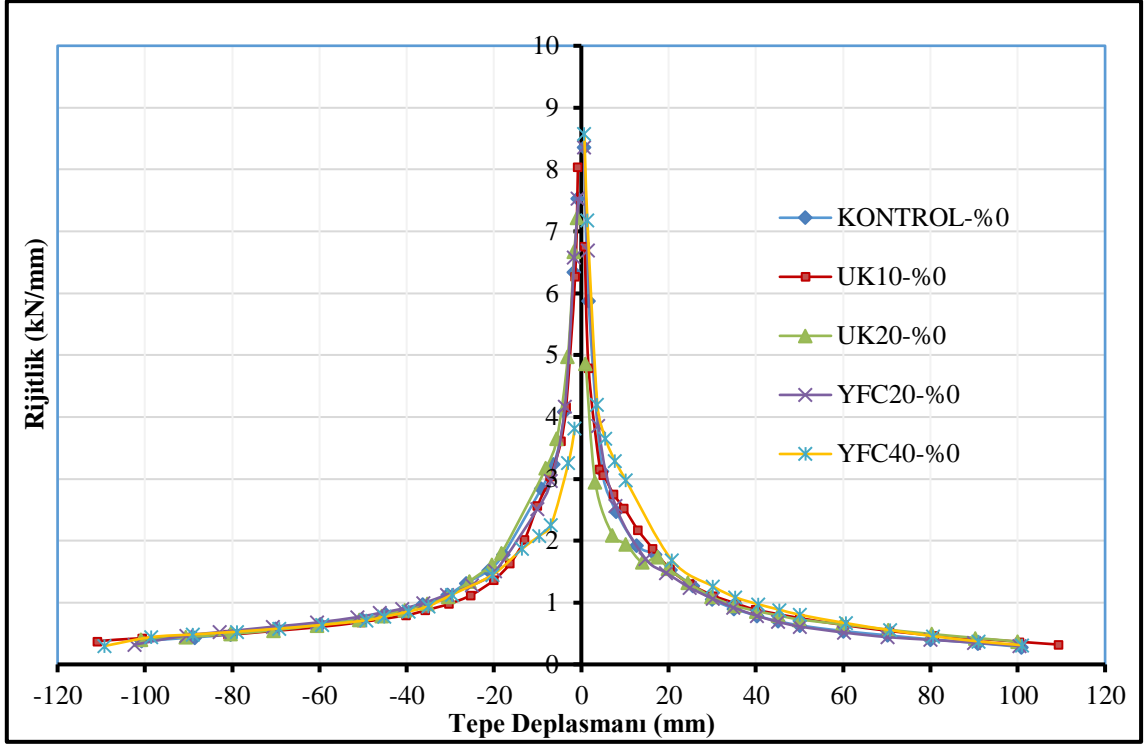
Şekil 4.192. Korozyon hasarı %30 olan numunelerin kümülatif toplam tüketilen enerji grafiklerinin karşılaştırılması

Beton serilerine ait rijitlik azalım grafikleri Şekil 4.193 – Şekil 4.195 arasında gösterilmiştir. Korozyon oranı % 0 olan numunelerin rijitlik azalım grafikleri incelendiğinde, Kontrol-%0 deney elemanının başlangıç rijitliği 7.95 kN/mm iken, UK10-%0, UK20-%0, YFC20-%0 ve YFC40-%0 numunelerin başlangıç rijitliklerinde sırasıyla % 7, % 24, % 0 ve % 22’lik bir azalma meydana gelmiştir. Kontrol-%0 deney elemanının maksimum yatay yükteki rijitliği 0.52 kN/mm iken, UK20-%0 numunesinin maksimum yükteki rijitliğinde % 8’lik bir azalma meydana gelmiş, UK10-%0, YFC20-%0 ve YFC40-%0 numunelerin rijitliklerinde ise sırasıyla % 1, % 38 ve % 6’lık bir artış oluşmuştur.

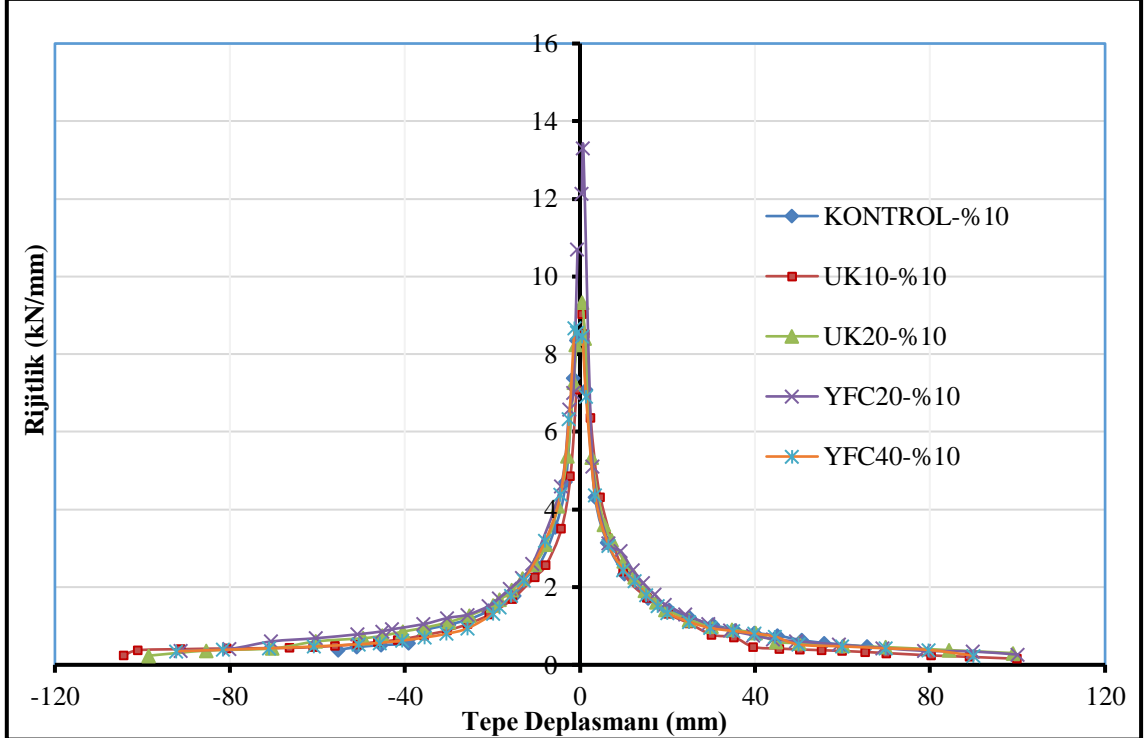
Korozyon oranı %10 olan numunelerin rijitlik azalım grafikleri incelendiğinde, Kontrol-%10 deney elemanının başlangıç rijitliği 8.44 kN/mm iken, UK10-%10 numunesinin başlangıç rijitliğinde % 4’lük bir azalma meydana gelmiş, UK20-%10, YFC20-%10 ve YFC40-%10 numunelerin başlangıç rijitliklerinde ise sırasıyla % 4, % 35 ve % 1’lik bir artış oluşmuştur. Kontrol-%10 deney elemanının maksimum yatay yükteki rijitliği 0.82 kN/mm iken, UK10-%10, UK20-%10 ve YFC40-%10 numunelerinin maksimum yükteki rijitliğinde sırasıyla % 12, % 13 ve % 34’lük bir azalma meydana gelmiş, YFC20-%10 numunesinde ise % 16’lık bir artış oluşmuştur.

Korozyon oranı %30 olan numunelerin rijitlik azalım grafikleri incelendiğinde, Kontrol-%30 deney elemanının başlangıç rijitliği 8.56 kN/mm iken, UK10-%30 ve YFC20-%30 numunelerinin başlangıç rijitliğinde sırasıyla % 5 ve % 1’lik bir azalma oluşmuş, UK20-%30 ve YFC40-%30 numunelerinde ise sırasıyla % 7 ve % 24’lük bir artış meydana gelmiştir. Kontrol-%30 deney elemanının maksimum yatay yükteki rijitliği 1.04 kN/mm iken, YFC20-%30 ve YFC40-%30 numunelerinin maksimum yükteki rijitliğinde sırasıyla % 32 ve % 9’luk bir azalma meydana gelmiş, UK10-%30 ve UK20-%30 numunelerinde ise sırasıyla % 37 ve % 33’lük bir artış oluşmuştur.

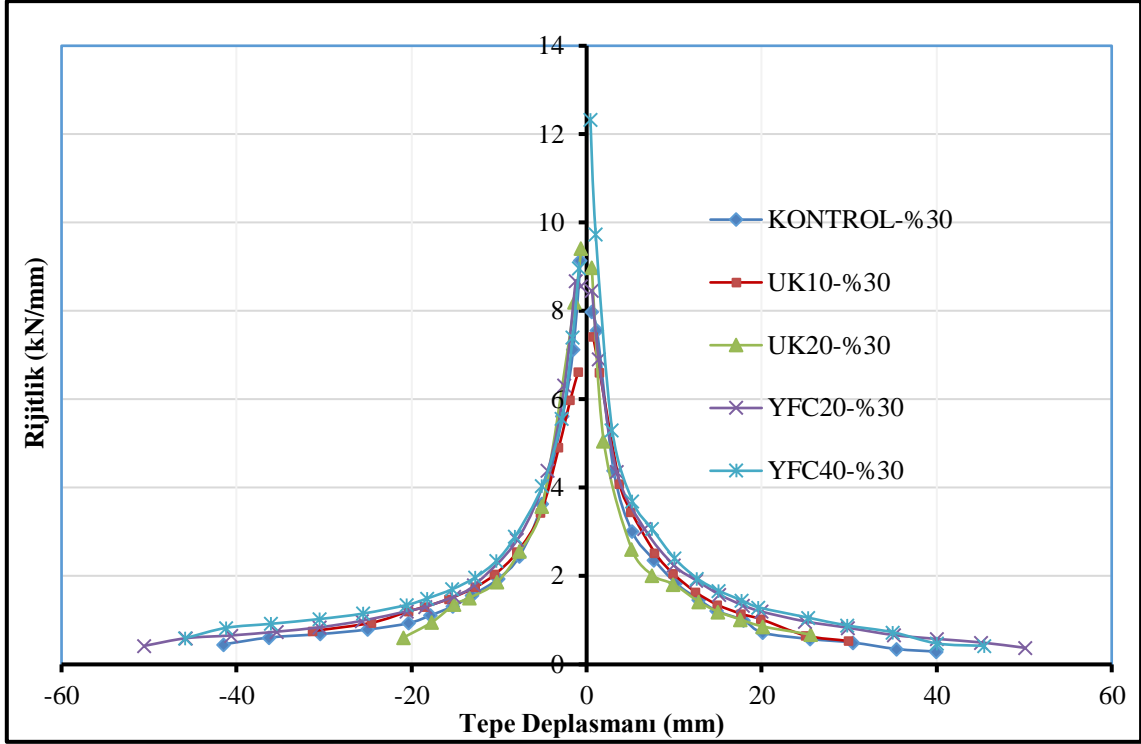
Süneklik bakımından bir kıyaslama yapıldığında ise, korozyon hasarı %0, %10 ve %30 olan numuneler arasında YFC katkılı olanların süneklik kapasitelerinin diğer beton serilerine göre daha iyi olduğu görülmektedir. Şekil 4.196’da deplasman süneklik değerleri toplu halde gösterilmiştir.



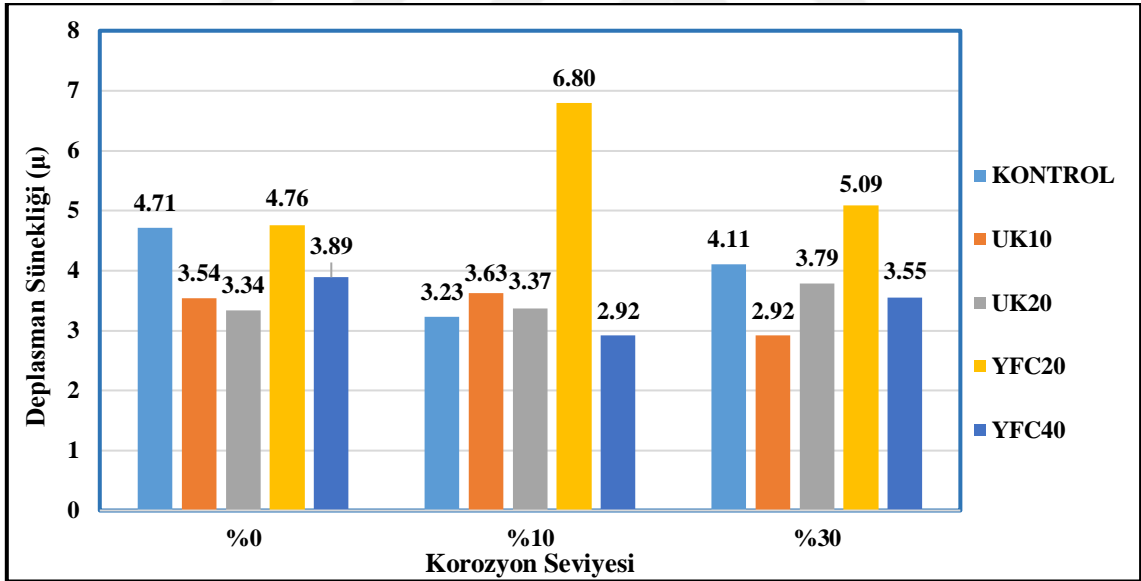
Şekil 4.193. Korozyon hasarı %0 olan numunelerin rijitlik azalım grafiklerinin karşılaştırılması



Şekil 4.194. Korozyon hasarı %10 olan numunelerin rijitlik azalım grafiklerinin karşılaştırılması



Şekil 4.195. Korozyon hasarı %30 olan numunelerin rijitlik azalım grafiklerinin karşılaştırılması



Şekil 4.196. Korozyon hasar seviyelerine göre deplasman sünekliklerinin karşılaştırılması

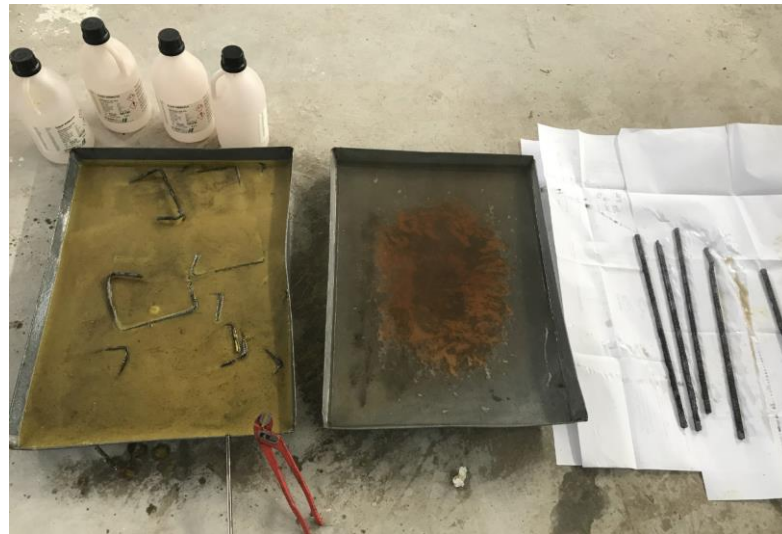
4.3. Teorik ve Gerçek Ağırlık Kaybı Değerlerinin Karşılaştırılması

Deneyel numuneler depremi benzeştiren tersinir tekrarlanır yatay yük altında test edildikten sonra, %10 ve %30 seviyesinde korozyon hasarına maruz kalan 10 adet numunenin kabuk betonları kırılarak kolon-temel birleşiminden itibaren 50 cm'lik bölge içerisinde yer alan etriye ve boyuna donatılar çıkartılmıştır. Şekil 4.197'de deneysel

numunelerden donatılarının çıkartılışı gösterilmiştir. Deneysel elemanlardan çıkartılan boyuna donatılar 50 cm uzunluğunda kesilerek temizleme işlemi için hazırlanmıştır. Daha sonra donatılar %37 kontrasyonlu HCl asit çözeltisinde temizlenerek beton ve pas kalıntılarından arındırılmıştır (Şekil 4.198). HCl asit çözeltisinden çıkarıldıktan sonra şebeke suyu ile asitten arındırılan donatılarda pas ürününün tekrar oluşmasına fırsat vermeden hemen kurutularak ağırlıklandırma ve isimlendirme işlemi uygulanmıştır. Şekil 4.199'da korozyon hasarı %10 olan numunelerin donatıları, Şekil 4.200'de korozyon hasarı %30 olan numunelerin donatıları gösterilmiştir. Her numunede yer alan 16 adet etriye ve 6 adet boyuna donatı tek tek tartılarak isimlendirilmiştir. Şekil 4.200'de korozyon hasarlı 10 adet deneysel numunenin HCl asitle temizlendikten sonra isimlendirilmiş donatıları gösterilmiştir.



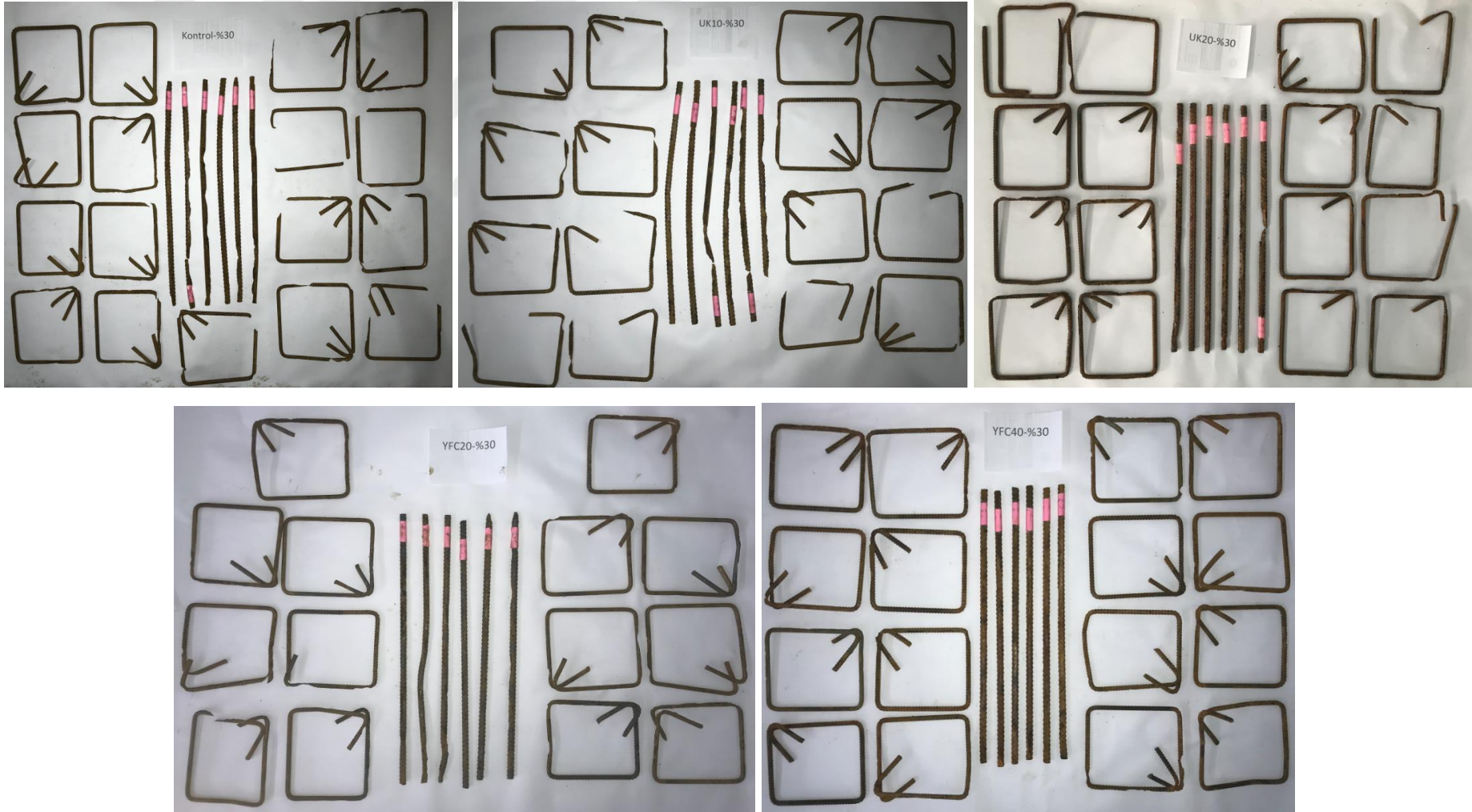
Şekil 4.197. Deneysel numunelerden donatıların çıkartılması



Şekil 4.198. HCl asit çözeltisi ile donatıların temizlenmesi ve kurtulması



Şekil 4.199. Korozyon hasarı %10 olan numunelerin donatıları



Şekil 4.200. Korozyon hasarı %30 olan numunelerin donatıları

Bölüm 3.7’de hızlandırılmış korozyon deneyinin yapıışında anlatıldığı gibi, deney süreleri belirlemek için numunelerin üretilme aşamasında korozyona maruz kalacak bölge içinde yer alan donatıların ilk olarak gerçek ağırlıkları belirlenmiştir. Daha sonra, korozyon seviyesi %10 ve %30 olan deneysel numunelerin teorik ağırlık kayıpları sırasıyla 766.532 ve 2292.617 gr olarak elde edilmiştir. Bu teorik ağırlık kayıpları (Faraday Denklemine Kontrol serisinin ortalama akımı dikkate alınarak) hızlandırılmış korozyon deneyleri sırasında elde edilmiş ve korozyon seviyesi %10 ve %30 olan deneysel numunelerin deney süreleri sonlandırılmıştır. Bu bölümde ise donatıların ağırlıklandırma işlemlerinin ardından, donatılarda meydana gelen gerçek korozyon seviyeleri belirlenmiştir ve Faraday Denklemine göre hesaplanan teorik ağırlık kayıpları ile karşılaştırmalar yapılmıştır. Çizelge 4.50’de korozyon hasarı % 10 olan numunelerin boyuna ve enine donatılarında ki gerçek korozyon oranları, Çizelge 4.51’de korozyon hasarı % 30 olan numunelerin boyuna ve enine donatılarında ki gerçek korozyon oranları gösterilmiştir.

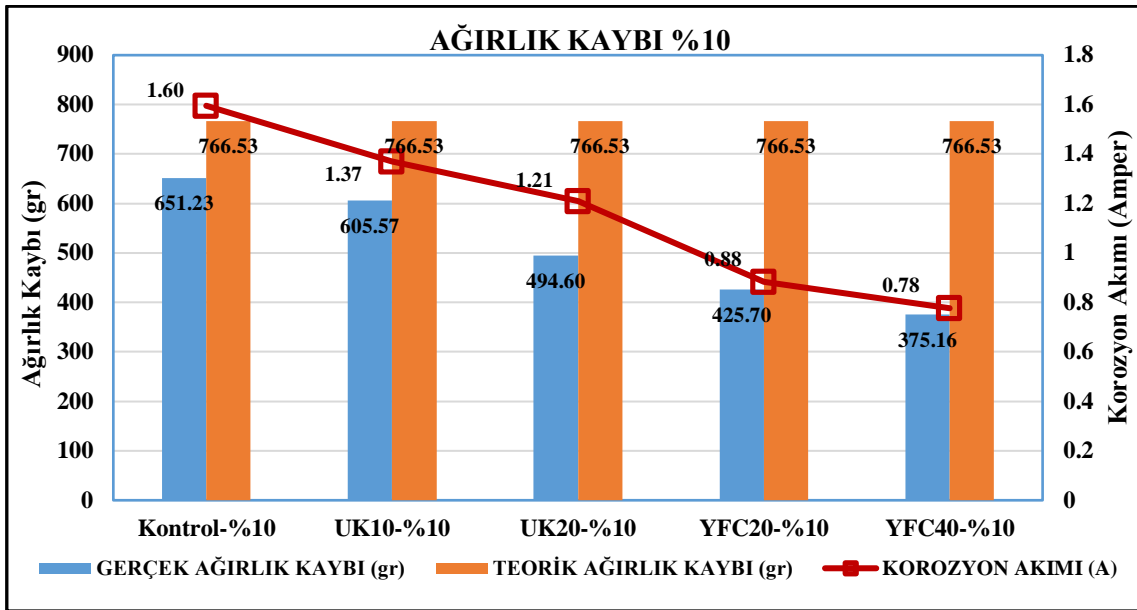
Çizelge 4.50. Korozyon hasarı %10 olan numunelerin boyuna ve enine donatılarındaki gerçek korozyon oranları

Deneysel Numuneler	Boyuna Donatı (%)	Enine Donatı (%)	ORTALAMA(%)
Kontrol-%10	9.12	8.18	8.65
UK10-%10	7.90	7.93	7.92
UK20-%10	8.67	5.23	6.95
YFC20-%10	7.73	4.35	6.04
YFC40-%10	5.97	4.31	5.14

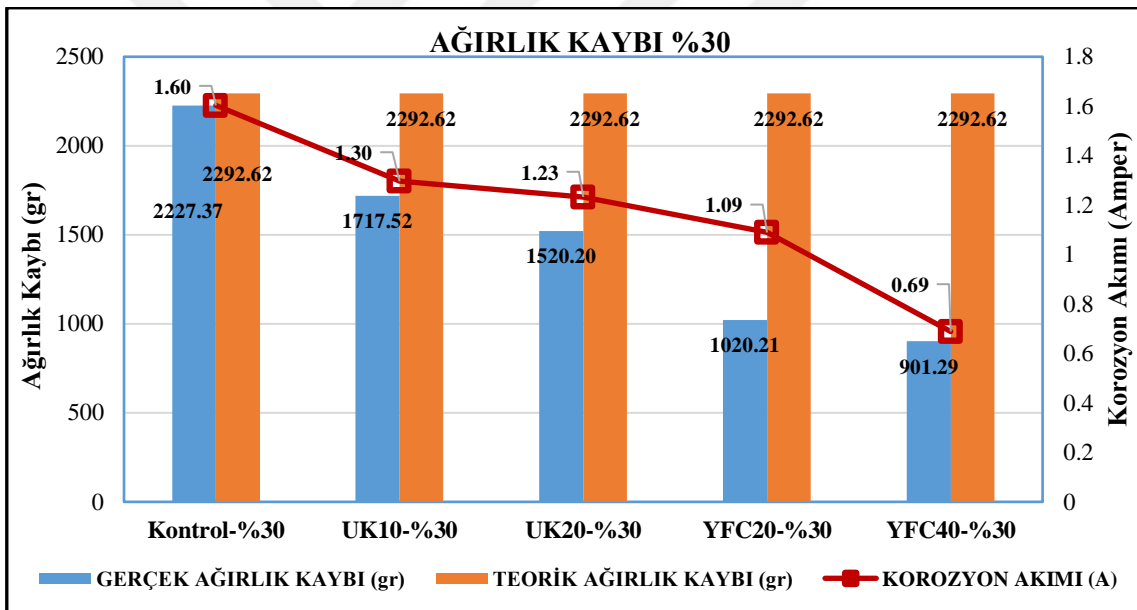
Çizelge 4.50. Korozyon hasarı %30 olan numunelerin boyuna ve enine donatılarındaki gerçek korozyon oranları

Deneysel Numuneler	Boyuna Donatı (%)	Enine Donatı (%)	ORTALAMA(%)
Kontrol-%30	26.06	30.85	28.46
UK10-%30	19.97	23.86	21.92
UK20-%30	17.38	21.29	19.33
YFC20-%30	14.30	14.63	14.47
YFC40-%30	10.41	12.56	11.49

Şekil 4.201 ve Şekil 4.202’de sırasıyla korozyon hasarı %10 ve %30 olan numunelerin teorik ve gerçek ağırlık kayıplarının akım çekme kapasitelerine göre karşılaştırması gösterilmiştir.



Şekil 4.201. Korozyon hasarı %10 olan numunelerin korozyon akımına bağlı olarak teorik ve gerçek ağırlık kayıplarının karşılaştırılması

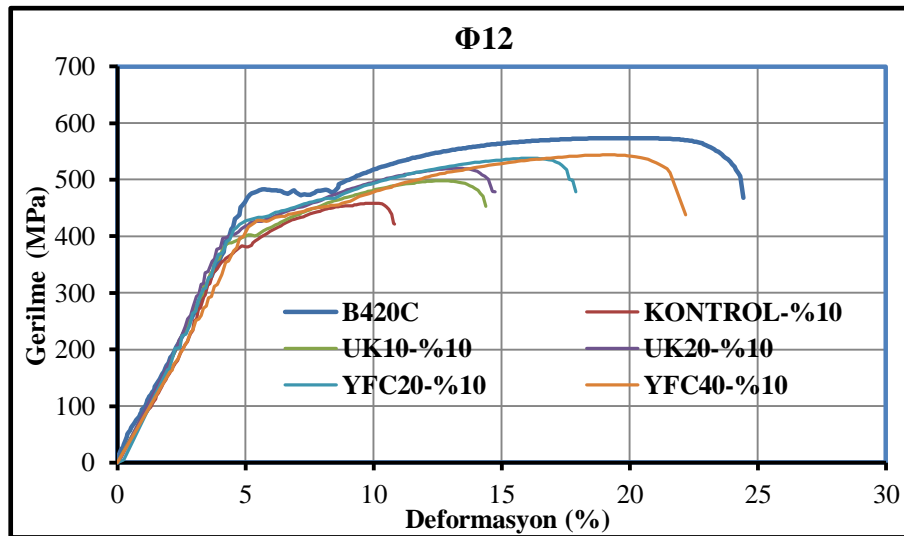
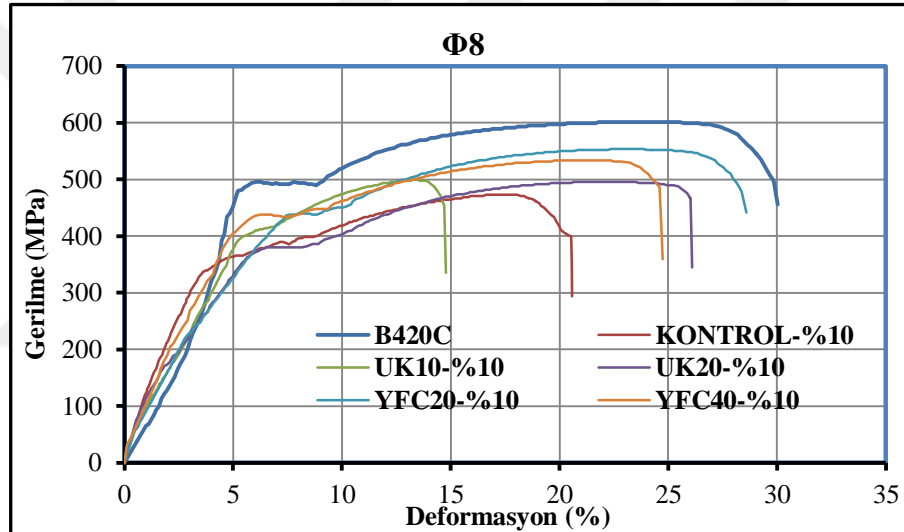


Şekil 4.202. Korozyon hasarı %30 olan numunelerin korozyon akımına bağlı olarak teorik ve gerçek ağırlık kayıplarının karşılaştırılması

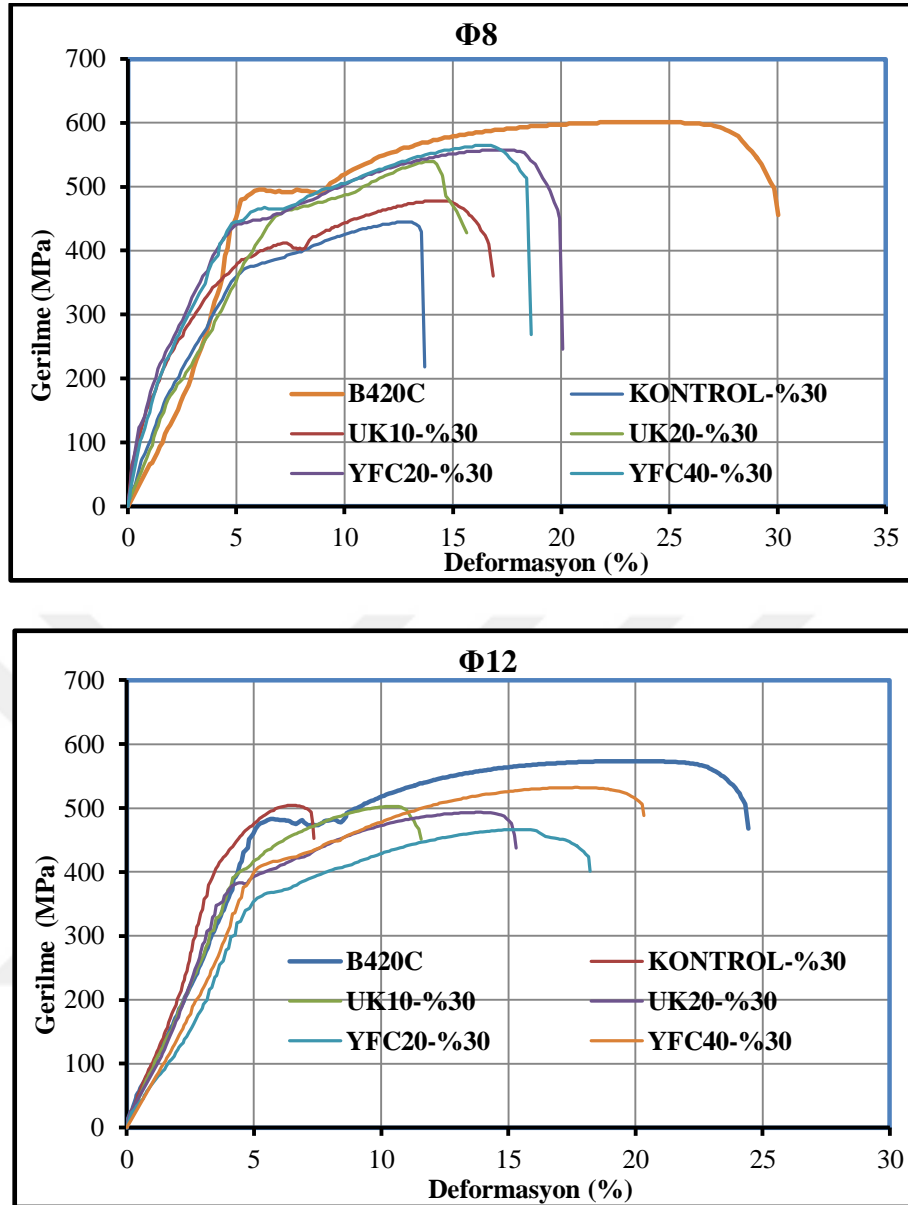
Şekil 4.201 ve Şekil 4.202’de görüldüğü üzere, Kontrol serilerinin teorik ağırlık kayıpları ile gerçek ağırlık kayıpları arasında oldukça yakın sonuçlar elde edilebilmiştir. Ayrıca, tüm beton serileri sabit 11V altında hızlandırılmış korozyon deneyine tabi tutulmasına rağmen, Kontrol serilerinin donatılarında meydana gelen gerçek ağırlık kayıpları, mineral katkı ile üretilen numunelere göre oldukça fazla olduğu görülmektedir. Kontrol serilerinin % 10 ve % 30 teorik ağırlık kayıplarına ulaşması ile diğer mineral katkı serilerinde de korozyon deneylerine son verilmiştir. UK ve YFC içeren mineral

katkılı seriler daha az korozyon akımı çektiklerinden dolayı Kontrol serileri ile aynı sürede korozyona uğratılmalarına rağmen, bu serilerde daha az ağırlık kayıpları elde edilmiştir. Bu sonuçlardan da mineral katkı serilerin korozyona karşı daha dayanıklı oldukları sonucuna varılmıştır.

DeneySEL numunelerden elde edilen 6 adet boyuna ve 16 adet enine donatı içinden diğer donatıları temsil edecek şekilde seçilen 3 adet boyuna ve enine donatı üzerinde çelik çekme deneyleri yapılmıştır. Her bir seriden, hem boyuna hem de enine donatı için 3 adet σ - ϵ grafiği elde edilmiştir. Elde edilen 3 adet σ - ϵ grafiğinin arasında kalan σ - ϵ grafiği o seri için referans eğri olarak kabul edilmiştir. Şekil 4.203 ve Şekil 4.204'de bu referans donatılar, korozyon hasarına bağlı olacak şekilde, $\Phi 12$ ve $\Phi 8$ için ayrı ayrı tek eksen üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 4.203. Korozyon hasarı %10 olan numunelerin $\Phi 8$ ve $\Phi 12$ donatılara ait çelik çekme deneyi sonuçları



Şekil 4.204. Korozyon hasarı %30 olan numunelerin $\Phi 8$ ve $\Phi 12$ donatılara ait çelik çekme deneyi sonuçları

Şekil 4.203 incelendiğinde, B420C referans donatıların akma dayanımına göre korozyon hasarı %10 olan $\Phi 8$ ve $\Phi 12$ 'lik donatıların akma ve çekme dayanımlarında azalmaların olduğu görülmüştür. Ayrıca, $\Phi 12$ 'lik donatının gerilme şekil değiştirme eğrisi incelendiğinde akma bölgesi sahanlığının belirginliğini yitirmeye başlamıştır.

Şekil 4.204 incelendiğinde, B420C referans donatıların akma dayanımına göre korozyon hasarı %30 olan $\Phi 8$ ve $\Phi 12$ 'lik donatıların akma ve çekme dayanımlarında azalmaların daha fazla olduğu görülmüştür. Ayrıca, $\Phi 8$ ve $\Phi 12$ 'lik donatının gerilme şekil değiştirme eğrisi incelendiğinde akma bölgesinin belirgin bir şekilde oluşmadığı görülmüştür.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, CEM I 42.5R çimentosu kullanılarak üretilen betonarme kolon içerisinde çimento yerine belli oranlarda yüksek fırın cürufu (YFC) ve uçucu kül (UK) kullanımının, betonarme kolon içerisindeki donatının korozyon performansına ve kolonun deprem performansına etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla, içerisinde hiçbir mineral katkının bulunmadığı 280 kg/m³ çimento dozajlı 3 adet betonarme kolon numunesi, kontrol serisi olarak üretilmiştir. Mineral katkılı serilerde ise, çimentonun yerine çimento miktarının %20'si ve %40'ı oranında YFC, %10'nu ve %20'si oranında UK kullanılarak her bir seriden 3'er adet olmak üzere toplam 12 adet betonarme kolon numunesi üretilmiştir. Dolayısıyla çalışma kapsamında toplamda 15 adet betonarme kolon numunesi 5 farklı beton karışım oranı hazırlanarak tasarlanmıştır.

Üretilen beton serilerine ait numunelerin mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla basınç ve yarmada-çekme deneyleri yapılmıştır. Beton serilerinin dayanıklılık özelliklerini belirlemek amacıyla da, hızlı klorür geçirimsizliği, elektriksel direnç deneyi ve hızlandırılmış korozyon deneyleri yapılmıştır.

Her bir serinin bir numunesi referans olarak seçilmiş, geriye kalan iki numune iki farklı seviyede (%10 ve %30 ağırlık kaybı) sabit voltaj altında hızlandırılmış korozyon deneyi ile korozyon hasarına maruz bırakılmıştır. Hızlandırılmış korozyon deney süresi Faraday Denklemi yardımıyla Kontrol serisinin ortalama akımına göre belirlenmiştir. Kontrol serisindeki %10 ve %30 ağırlık kayıplarının elde edildiği süreler boyunca, yüksek fırın cürufu ve uçucu kül katkılı serilerde korozyona uğratılmıştır. Çalışma kapsamında seçilen değişkenleri şu şekilde özetlenebilir;

- ✓ Mineral katkı türü
- ✓ Mineral katkı yüzdesi
- ✓ Korozyon oranı

Hızlandırılmış korozyon deneyinin ardından referans ve korozyon hasarlı numuneler, deprem yüklerini benzeştiren tersinir-tekrarlanır yatay yük altında Konya Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Deprem Laboratuvarı'nda test edilmişlerdir. Deney elemanlarının üretiminde 5 farklı beton karışım oranı kullanıldığı ve ayrıca korozyon hasarına maruz kaldıkları için özdeş birer yükleme programı uygulanamamıştır. Bu yüzden, tüm deneysel elemanlarda yatay çevrimsel yüklemeye

önce yük kontrollü olarak başlanmış, nominal akma sınırına ulaşıldığı zaman, deplasman kontrollü olarak devam edilmiştir.

Deneyler sırasında elde edilen veriler bilgisayar ortamına aktarılmış ve çeşitli grafikler çizilerek sonuçlar yorumlanmıştır. Her bir deney elemanı için elde edilen grafikler serilere göre aynı eksen takımında gösterilerek sonuçlar karşılaştırmalı bir şekilde verilmiştir. Çeşitli miktarlarda konulan mineral katkının, betonarme deney numunelerinin korozyon performansına ve döngüsel davranışına olan etkisinin yanı sıra, aynı katkılarla üretilen korozyon hasarsız referans numunelerin yatay yük altında ki davranışları hakkında da bilgi edinilmiştir. Böylece uçucu kül ve yüksek fırın cürufunun optimum kullanım oranları hakkında da bilgi sahibi olunmuştur. Ayrıca korozyon hasar seviyesiyle, kolonların yatay yük taşıma kapasitelerindeki azalmaya, mineral katkı oranlarının etkisi hakkında fikir edinilmiştir.

5.1 Sonuçlar

Bu tez çalışması kapsamında yapılan malzeme deneyleri ve betonarme elemanların deneysel çalışmaları sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Tüm serilerde toplam bağlayıcı miktarı (çimento veya çimento+mineral katkı) 280kg/m^3 olmasına rağmen, Kontrol serisinin ortalama basınç dayanımı 29.17 MPa elde edilirken, UK10, UK20, YFC20 ve YFC40 kullanılarak elde edilen mineral katkılı serilerin ortalama beton basınç dayanımlarında sırasıyla % 10.01, % 6.8, % 7.8, % 20.02'lik artışlar meydana gelmiştir.
- UK'lı serilerde mineral katkı oranının artması basınç dayanımını % 2.8 azaltırken, YFC'li serilerin dayanımında %11.2 artış meydana geldiği görülmüştür. Genel anlamda mineral katkı kullanılan serilerin dayanımları Kontrol serilerden daha yüksek çıkmıştır.
- Yarmada çekme deneylerinde Kontrol numunesinin ortalama çekme dayanımı 3.15 MPa olarak elde edilirken, UK10, UK20, YFC20 ve YFC40 serilerin ortalama çekme dayanımlarında sırasıyla % 0.5, % 6.6, % 5, % 10.02'lik artışlar meydana gelmiştir.
- Beton serilerinin elektriksel direnç sonuçlarına bakıldığında, Kontrol ve UK'lı seriler $10\text{ k}\Omega\cdot\text{cm}$ 'nin sınır değerinin altında kalırken, YFC'li seriler bu değer üzerinde

kalmıştır. Mineral katkı olarak yüksek fırın cürufu kullanılması ve oranının artmasının betonun elektriksel direnç değerini artırdığı görülmüştür.

➤ Beton serilerinin klor geçirimsizlik sonuçlarına bakıldığında, Kontrol serisi 4000 Coulomb sınır değerinin üstünde kalarak geçirimsizliği yüksek sınıfına girerken, UK'lı seriler 2000-4000 Coulomb sınır değerinin arasında kalıp klor geçirimsizliği orta sınıfına, YFC'li seriler 2000 Coulomb sınır değerinin altında kalıp klor geçirimsizliği düşük sınıfına girmiştir. Mineral katkı olarak yüksek fırın cürufu kullanımının ve oranının artmasının betonun klorür geçirimsizliğini azalttığı görülmüştür.

➤ Hızlandırılmış korozyon deneylerinde korozyon oranı %10 olan numunelerdeki Kontrol serisinde ortalama 1.6A akım elde edilirken, mineral katkılı UK10, UK20, YFC20, YFC40 serilerinin ortalama akım çekme kapasitelerinde sırasıyla % 14.3, % 23.2, % 45, % 51.25'lik azalma meydana gelmiştir. Korozyon oranı %30 olan seride Kontrol numunesinin akımı benzer şekilde 1.6A olurken, UK10, UK20, YFC20, YFC40 serilerde sırasıyla % 18.56, % 23.125, % 31.8, % 56.8'lik bir azalma meydana gelmiştir. Her bir seri kendi içinde düşünüldüğünde, mineral katkılı serilerin korozyon hasarına karşı dirençlerinin, Kontrol serisine göre daha iyi olduğu görülmüştür. Beton serileri mineral katkı türü bakımından karşılaştırılırsa; YFC'li serilerin UK'lı serilere göre daha elverişli sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. YFC20 ve YFC40 serilerini mineral katkı oranları bakımından düşündüğümüzde, korozyon süresinin artması YFC20 serisinin korozyon akımında % 23.8 artış meydana getirirken, YFC40 serisinde % 11.5'lik bir azalma meydana gelmiştir. Hâlbuki korozyon hasarı %10 ve %30 olan korozyon serisinde, YFC20 ve YFC40 serilerinin deney başındaki korozyon akımları birbirine oldukça yakın olması rağmen, korozyon hasar süresinin uzaması sonucunda YFC20 serisi olumsuz bir şekilde etkilenmiştir. YFC40 serisinde ise 0.65A başlangıç akımı, deney süresi boyunca ani akım artışları olsa da deney sonunda 0.7A olarak, ortalama 0.69 amper değeri ile tamamlanmıştır. Buradan, mineral katkı oranı olarak %40 YFC katkılı serilerin korozyon direncinin, %20 YFC katkılı serilere göre daha iyi olduğu anlaşılmaktadır.

➤ Aynı tür beton serilerinde, %10 korozyon hasarlı numunelerin yatay yük taşıma kapasiteleri, referans numunelere oldukça yakın olmasına rağmen, yatay ötelenme kapasitelerinde büyük kayıplar meydana gelmiştir.

- Aynı tür beton serilerinde , %30 korozyon hasarlı numunelerin yatay yük taşıma kapasitesi ve yatay ötelenme kapasitelerinde, donatıda meydana gelen kesit kaybı ve buna bağlı olarak oluşan aderans çözülmesinden dolayı, korozyon hasarsız referans numunelere göre büyük kayıplar meydana gelmiştir.
- Aynı tür beton serilerinde, korozyon hasar seviyesinin %10 olduğu numunelerde, en fazla dayanım kaybı YFC40 serisinde olurken, %30 korozyon hasarlı numunelerde UK20'li seride en fazla kayıp meydana gelmiştir.
- Aynı tür beton serilerinde, yatay ötelenme oranları ve kümülatif tüketilen enerji grafikleri incelendiğinde, korozyon hasar seviyesinin % 10 olduğu numunelerde, en fazla yatay ötelenme ve kümülatif tüketilen enerji kaybı Kontrol serisinde oluşurken, %30 korozyon hasar seviyesinde UK20'li seride meydana gelmiştir.
- Beton serileri arasında, korozyon oranı % 0 olan numunelere ait dayanım zarfları incelendiğinde, Kontrol-%0 deney elemanı 36.71 kN maksimum yatay yük taşırken, sırasıyla UK10-%0, UK20-%0, YFC20-%0 ve YFC40-%0 numuneleri 40.51 kN, 40.11 kN, 37.67 kN ve 41.96 kN maksimum yatay yük taşımışlardır. UK10-%0, UK20-%0, YFC20-%0 ve YFC40-%0 numunelerinin kapasitelerinde Kontrol-%0 numunesine göre sırasıyla % 10, % 9, % 3 ve % 14'lük bir artış meydana gelmiştir. Yatay ötelenme oranları incelendiğinde, Kontrol-%0, UK20-%0 ve YFC20-%0 numunesi % 6.72 oranında yatay ötelenmeye sahipken, UK10-%0 ve YFC40-%0 numunelerinin yatay ötelenme oranlarında sırasıyla % 9 ve % 1'lik bir artış meydana gelmiştir. Mineral katkı kullanımı numunelerin yatay yük taşıma kapasitelerine katkı sağlarken, yatay ötelenme oranlarında sadece UK10 ve YFC40 serilerinde pozitif bir etki oluşturmuştur.
- Beton serileri arasında, korozyon oranı % 10 olan numunelere ait dayanım zarfları incelendiğinde, Kontrol-%10 deney elemanı 32.62 kN maksimum yatay yük taşırken, sırasıyla UK10-%10, UK20-%10, YFC20-%10 ve YFC40-%10 numuneleri 32.29 kN, 34.60 kN, 36.88 kN ve 32.38 kN maksimum yatay yük taşımışlardır. UK10-%10 ve YFC40-%10 numunelerinin Kontrol-%10 numunesine göre yatay yük taşıma kapasitelerinde %1'lik bir azalma meydana gelirken, UK20-%10 ve YFC20-%10 numunelerinde sırasıyla % 6 ve % 13'lük bir artış meydana gelmiştir. Yatay ötelenme oranları incelendiğinde, Kontrol-%10 numunesi % 3.45 oranında bir yatay ötelenmeye sahipken, UK10-%10, UK20-%10, YFC20-%10 ve YFC40-%10 numunelerinin yatay

ötelenme kapasitelerinde sırasıyla % 37, % 14, % 73 ve % 38'lik bir artış meydana gelmiştir. Mineral katkı kullanımını yatay ötelenme kapasitesine önemli bir katkı sağlarken, boyuna donatılarında % 7 seviyesinde korozyon hasarı olan UK20-%10 ve YFC20-%10 numunelerin yatay yük taşıma kapasitelerinde olumlu bir etki oluşturmuştur.

➤ Beton serileri arasında, korozyon oranı %30 olan numunelere ait dayanım zarfları incelendiğinde, Kontrol-%30 deney elemanı 20.43 kN maksimum yatay yük taşıırken, sırasıyla UK10-%30, UK20-%30, YFC20-%30 ve YFC40-%30 numuneleri 32.38 kN, 19.33 kN, 25.94 kN ve 30.44 kN maksimum yatay yük taşımışlardır. UK20-%30 numunesinin Kontrol-%30 numunesine göre yatay yük taşıma kapasitesinde %5'lik bir azalma meydana gelirken, UK10-%30, YFC20-%30 ve YFC40-%30 numunelerinin kapasitelerinde sırasıyla % 58, % 27 ve % 49'luk bir artış meydana gelmiştir. Yatay ötelenme oranları incelendiğinde, Kontrol-%30 numunesi % 2.04 oranında bir yatay ötelenmeye sahipken, UK10-%30 ve UK20-%30 numunelerinin yatay ötelenme kapasitelerinde sırasıyla % 8 ve % 29'luk bir azalma meydana gelirken, YFC20-%30 ve YFC40-%30 numunelerinin yatay ötelenme kapasitelerinde sırasıyla % 62 ve % 37'lik bir artış meydana gelmiştir. Korozyon hasar seviyesinin artmasıyla YFC'li seriler, UK'lı serilere göre hem dayanım hem de yanal ötelenme kapasitesi bakımından daha olumlu sonuç vermişlerdir.

➤ Korozyon hasar seviyesinin sabit alınması ve beton serisinin değişmesiyle deneysel elemanların yatay yük taşıma kapasitelerinde dayanım artışları meydana gelmiştir. Korozyon hasar seviyesinin % 0 olduğu numunelerde en fazla dayanım artışı YFC40 serisinde olurken, %10 korozyon hasarlı numunelerde YFC20'li seride, %30 korozyon hasarlı numunelerde ise YFC40'lı seride meydana gelmiştir. Korozyon hasarı %10 ve %30 seviyesinde, farklı serilerde dayanım artışı meydana gelmesi korozyondan dolayı oluşan pas ürününün meydana getirdiği kenetlenme artışıyla ifade edilebilir. %10 korozyon hasar seviyesinde YFC20 serisinin gerçek korozyon miktarı, YFC40 serisine göre daha fazladır ve betonda oluşan gerilmeler betonun yapısında henüz bozulmalar meydana getiremediği için kenetlenme miktarını artırmıştır. Fakat korozyon hasar seviyesi %30 olan numunelerde, korozyon hasar seviyesinin fazla olmasından dolayı korozyona karşı direnci fazla olan YFC40 serisinin donatılarında meydana gelen kesit kaybı YFC20 serisine göre çok daha az olduğu için, yatay yük taşıma kapasitesinde daha sınırlı bir azalma meydana gelmiştir. Yatay ötelenme oranları incelendiğinde, %0

korozyon hasar seviyesi için ötelenme kapasiteleri birbirine yakınken, %10 korozyon hasar seviyesinde tüm serilerin yatay ötelenme kapasiteleri Kontrol serisinden daha iyi, %30 korozyon seviyesi için ise UK serilerinin Kontrol serisinden daha kötü performans sergilediği görülmüştür.

- Korozyon hasarı %10 ve %30 olan deneysel elamanların yatay yük taşıma kapasitelerinde, yatay ötelenme oranlarında ve enerji tüketme kapasitelerinde meydana gelen kayıplar, beton serilerin dayanıklılık (hızlandırılmış korozyon deneyi, klor geçirimsizlik deneyi ve elektriksel direnç deneyi) özelliklerini belirlemek için yapılan malzeme deneylerine paralel sonuçlar elde edilmiştir. Bu bakımdan YFC seriler, hem Kontrol serisinden, hem de UK serilerinden, korozyona karşı daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.
- Tüm beton serileri sabit 11V altında hızlandırılmış korozyon deneyine tabi tutulmasına rağmen, Kontrol serilerinin donatılarında meydana gelen gerçek ağırlık kayıplarının, mineral katkı ile üretilen numunelere göre oldukça fazla olduğu görülmüştür.
- Deneylerden sonra yapılan ölçümlerde plastik mafsal boylarının yaklaşık olarak 14 cm ile 19 cm arasında değiştiği görülmüştür. Korozyon hasarlı numunelerin plastik mafsal boyları genel olarak 15 cm uzunluğunda iken, korozyon hasarsız numunelerde 18 cm uzunluğunda görülmüştür ve korozyonun etkisi ile plastik mafsal boyları bir miktar azalmıştır. Bu değerler TBDY-2018'de yapısal elemanlar için tanımlanan $l_p = 0.5h$ değerine oldukça yakındır.
- Deneylerde deneysel elemanlara düşey yükün etkisi ihmal edilmiştir. Literatürde yapılan benzer çalışmalar incelendiğinde, düşük eksenel yük düzeylerinde kolonların karşılıklı etki diyagramlarına bağlı olarak moment kapasitelerinde bir miktar artış olduğu dolayısıyla yatay yük taşıma kapasitesini de bir miktar artırdığı, ancak deplasman sünekliliklerinin azaldığı görülmüştür(Yıldız, 2009; Ma ve ark., 2012). Dengeli yükten daha fazla eksenel yük verilirse yatay yük taşıma kapasitelerinin de azalacağı açıktır. Bu çalışmada ise laboratuvar imkânları dolayısıyla eksenel yük ihmal edilmiştir. Tüm numuneler özdeş olduğu için mineral katkı türü ve miktarının korozyon hasarlı betonarme elemanların yatay yük altındaki davranışlarına etkisi incelenmiştir.

5.2 Öneriler

Bu çalışma ile elde edilen sonuçlar ışığında, ileride yapılacak olan çalışmalar için aşağıdaki önerilerde bulunulabilir:

- Literatürde yapılan çalışmalar genellikle 1/2 ölçekli olduğundan, bu tez çalışmasında da 1/2 ölçek kullanılmıştır. 1/1 ölçek ile 1/2 ölçek arasındaki davranış farklılıkları incelenebilir.
- Bu çalışmada kullanılan mineral katkıların dışında silis dumanı, tras ve öğütülmüş pirinç kabuğu külü, metakaolin vb. gibi yapay puzolanlar volkanik tüf veya volkanik cam gibi doğal puzolanların korozyon ve döngüsel yatay yük altındaki davranışlara etkisi incelenebilir.
- Bu çalışmada iki farklı korozyon hasar düzeyi parametre olarak seçilmiştir. İleride yapılacak olan çalışmalarda bu seviyeler artırılarak korozyona bağlı dayanım kayıpları incelenebilir.
- Yapılan deneysel çalışmada laboratuvar şartlarındaki eksikliklerden dolayı düşey yük etkisi ihmal edilmiştir. Döngüsel yatay yük altında test edilen kolon sonuçları, literatürde benzer çalışmalarda olduğu gibi, özdeş referans numuneler üretilerek, bu numuneler ile bir kıyaslama yapılmıştır (Altın ve ark., 2008). Yatay yükleme düzeneğinden bağımsız olan ve ölçümleri etkilemeyen bir eksenel yük düzeneği oluşturularak, eksenel yükün korozyon hasarlı numune davranışına olan etkisinin incelenmesi faydalı olacaktır.
- Bu çalışma kapsamında, beton kalitesini ve geçirimliliğini iyileştirmeye yönelik bir yöntem denenmiştir. Bunun yanında donatı ile ilgili iyileştirme (korozyona karşı dayanıklı donatılar) kullanılarak hem ekonomiklik hem de dayanım özellikleri bakımından karşılaştırma yapılabilir.
- Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar ile korozyon hasarlı bir kolonun çeşitli yöntemlerle güçlendirilmesi sonrasındaki dayanım ve maliyet giderleri karşılaştırılabilir.
- Bu tez çalışması kapsamında test edilen deney elemanlarının, bazı sonlu elemanlar programları ile ayrıntılı analizlerinin yapılması ve elde edilen sonuçların deney sonuçları ile karşılaştırılması, analitik modellemenin etkinliğini göstermesi açısından faydalı olacaktır.

KAYNAKLAR

- Akın, A., 2011, Ön üretimli Beton Panellerle Güçlendirilmiş Dolgulu Betonarme Çerçevesinin Deprem Davranışının Deneysel ve Analitik Olarak İncelenmesi, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Konya*.
- Altın, S., Anil, O. ve Kara, M. E., 2008, Strengthening of RC nonductile frames with RC infills: An experimental study, *Cement & Concrete Composites*, 30 (7), 612-621.
- ASTM_C618-08, 2008, Standard specification for coal fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use in concrete. vol. 4.02.
- ASTM_C1202-19, 2019, Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration. ABD, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Bahadır, D., 2008, Korozyonun Betonarme Kolonların Deprem Performansına Etkisi, Yüksek Lisans, *İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ* İstanbul.
- Balık, F. S., 2012, Betonarme Dolgu Duvarla Güçlendirilmiş Deprem Davranışı Yetersiz Betonarme Çerçevesinin Davranışına Pencere Boşluklarının Etkisi, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Konya*.
- Boğa, A., R., 2010, Yüksek Fırın Cürufu ve Korozyon İnhibitörü Kullanımının Beton İçerisindeki Donatı Korozyonuna ve Beton Özelliklerine Etkileri, Doktora Tezi, *OGÜ*, Eskişehir.
- Boğa, A. R. ve Topçu, I. B., 2012, Influence of fly ash on corrosion resistance and chloride ion permeability of concrete, *Construction and Building Materials*, 31, 258-264.
- Bousias, S., Spathis, L., Triantafillou, T. ve Fardis, M., 2002, Seismic Retrofitting of Corrosion-damaged RC Columns, *12th European Conference on Earthquake Engineering*, 9-13.
- Di Carlo, F., Meda, A. ve Rinaldi, Z., 2017, Numerical evaluation of the corrosion influence on the cyclic behaviour of RC columns, *Engineering Structures*, 153, 264-278.
- Doğan, M., 2009, Betonarme yapılarıdaki deprem hasarlarına korozyonun etkisi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22 (1), 147-168.
- Du, Y. G., Cullen, M. ve Li, C. K., 2013, Structural performance of RC beams under simultaneous loading and reinforcement corrosion, *Construction and Building Materials*, 38, 472-481.
- Ersoy, G. v. Ö., G., 2016, Betonarme/Temel İlkeler, Evrim Yayınevi, İstanbul,, p.
- Ghaffari, P., Kalyoncuoglu, A., Goksu, C., Ilki, A. , 2013, An attempt to repair corrosion damaged reinforced concrete columns using a low cost method. Vienna Congress

on Recent Advances in Earthquake Engineering and Structural Dynamics (VEESD 2013). Vienna, Austria Paper No. 547.

- Göksu, C. ve İlki, A., 2016, Seismic Behavior of Reinforced Concrete Columns with Corroded Deformed Reinforcing Bars, *Acı Structural Journal*, 113 (5), 1053-1064.
- Guo, A. X., Li, H. T., Ba, X., Guan, X. C. ve Li, H., 2015, Experimental investigation on the cyclic performance of reinforced concrete piers with chloride-induced corrosion in marine environment, *Engineering Structures*, 105, 1-11.
- Hossain, K. M. A. ve Lachemi, M., 2004, Corrosion resistance and chloride diffusivity of volcanic ash blended cement mortar, *Cement and concrete research*, 34 (4), 695-702.
- Kalyoncuoglu, A., Ghaffari, P., Goksu, C. ve Ilki, A., 2013, Rehabilitation of corrosion-damaged substandard RC columns using FRP sheets, *Advanced Materials Research*, 1096-1103.
- Koçer, M., Öztürk, M. ve Arslan, M. H., 2019a, Determination of moment, shear and ductility capacities of spiral columns using an artificial neural network, *Journal of Building Engineering*, 26, 100878.
- Koçer, M., Öztürk, M. ve Boğa, A. R., 2019b, Analytical Study on the Effect of Corrosion to the Construction Performance, *Natural and Engineering Sciences*, 4(1), 11-20.
- Lee, H.-S., Kage, T., Noguchi, T. ve Tomosawa, F., 2003, An experimental study on the retrofitting effects of reinforced concrete columns damaged by rebar corrosion strengthened with carbon fiber sheets, *Cement and concrete research*, 33 (4), 563-570.
- Li, D. W., Wei, R., Xing, F., Sui, L. L., Zhou, Y. W. ve Wang, W. Y., 2018a, Influence of Non-uniform corrosion of steel bars on the seismic behavior of reinforced concrete columns, *Construction and Building Materials*, 167, 20-32.
- Li, J. B., Gong, J. X. ve Wang, L. C., 2009, Seismic behavior of corrosion-damaged reinforced concrete columns strengthened using combined carbon fiber-reinforced polymer and steel jacket, *Construction and Building Materials*, 23 (7), 2653-2663.
- Li, Q., Niu, D. T., Xiao, Q. H., Guan, X. ve Chen, S. J., 2018b, Experimental study on seismic behaviors of concrete columns confined by corroded stirrups and lateral strength prediction, *Construction and Building Materials*, 162, 704-713.
- Liu, X. F. ve Li, Y., 2018, Experimental study of seismic behavior of partially corrosion-damaged reinforced concrete columns strengthened with FRP composites with large deformability, *Construction and Building Materials*, 191, 1071-1081.
- Liu, X. J., Jiang, H. J. ve He, L. S., 2017, Experimental investigation on seismic performance of corroded reinforced concrete moment-resisting frames, *Engineering Structures*, 153, 639-652.

- Ma, Y., Che, Y. ve Gong, J. X., 2012, Behavior of corrosion damaged circular reinforced concrete columns under cyclic loading, *Construction and Building Materials*, 29, 548-556.
- Ma, Y. F., Guo, Z. Z., Wang, L. ve Zhang, J. R., 2017, Experimental investigation of corrosion effect on bond behavior between reinforcing bar and concrete, *Construction and Building Materials*, 152, 240-249.
- Meda, A., Mostosi, S., Rinaldi, Z. ve Riva, P., 2014, Experimental evaluation of the corrosion influence on the cyclic behaviour of RC columns, *Engineering Structures*, 76, 112-123.
- Öztürk, M., 2010, Deprem Dayanımı Yetersiz Betonarme Çerçevelerin Bağ Kirişli Dış Perde Duvar Uygulaması İle Güçlendirilmesi, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi*, Konya.
- Park, R., 1988, Ductility evaluation from laboratory and analytical testing. Proceedings of the 9th World Conference on Earthquake Engineering. Tokyo-Kyoto, Japan: vol. 8.
- Paulay, T., 1993, Simplicity and Confidence in Seismic Design: The Fourth Mallet-Milne Lecture, SECED, p.
- Priestley, M., 2000, Performance based on seismic design Proceeding of 12th World Conference on Earthquake Engineering– 12WCEE. Auckland, New Zealand: 2831.
- Rajput, A. S. ve Sharma, U. K., 2018, Corroded reinforced concrete columns under simulated seismic loading, *Engineering Structures*, 171, 453-463.
- Rajput, A. S., Sharma, U. K. ve Engineer, K., 2019, Seismic retrofitting of corroded RC columns using advanced composite materials, *Engineering Structures*, 181, 35-46.
- SAP2000, 2016, Structural Analysis Program. Inc. Berkeley, CA, USA.
- Sideris, K. K. ve Savva, A. E., 2005, Durability of mixtures containing calcium nitrite based corrosion inhibitor, *Cement & Concrete Composites*, 27 (2), 277-287.
- Song, H. W. ve Saraswathy, V., 2006, Studies on the corrosion resistance of reinforced steel in concrete with ground granulated blast-furnace slag - An overview, *Journal of Hazardous Materials*, 138 (2), 226-233.
- Tapan, M. ve Aboutaha, R. S., 2011, Effect of steel corrosion and loss of concrete cover on strength of deteriorated RC columns, *Construction and Building Materials*, 25 (5), 2596-2603.
- TBDY, 2018, Türkiye Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, *Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı*.

- Topçu, I. B. ve Boğa, A. R., 2010, Effect of ground granulate blast-furnace slag on corrosion performance of steel embedded in concrete, *Materials & Design*, 31 (7), 3358-3365.
- TS500, 2000, TS 500 Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları. Ankara, Türk Standartları Enstitüsü.
- TS708, 2016, Çelik - Betonarme için - Donatı çeliği. Ankara, Türk Standartları Enstitüsü.
- TS-EN197-1, 2012, Cement-Part 1: Composition, specifications and conformity criteria for common cements.
- TS-EN12390-3, 2019, Beton-Sertleşmiş beton deneyleri. Bölüm 3: Deney numunelerinde basınç dayanımının tayini. Ankara, Türk Standartları Enstitüsü.
- TS-EN12390-6, 2010, Beton-sertleşmiş beton deneyleri. Bölüm 6: Deney numunelerinin yarmada çekme dayanımının tayini. Ankara, TSE.
- Vu, N. S. ve Li, B., 2018, Seismic Performance of Flexural Reinforced Concrete Columns with Corroded Reinforcement, *Acı Structural Journal*, 115 (5), 1253-1266.
- Yang, S. Y., Song, X. B., Jia, H. X., Chen, X. ve Liu, X. L., 2016, Experimental research on hysteretic behaviors of corroded reinforced concrete columns with different maximum amounts of corrosion of rebar, *Construction and Building Materials*, 121, 319-327.
- Yıldız, H., 2009, Düşük Dayanımlı Bindirmeli Betonarme Kolonların Farklı Eksenel Yükler Altında Yapı Performansına Etkisinin İncelenmesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Mustafa Koçer
Uyruğu : T.C
Doğum Yeri ve Tarihi : Konya - 25.07.1987
Telefon : 03322232016
Faks :
E-Posta : mkocer@ktun.edu.tr

EĞİTİM

Derece	Adı	İlçe	İl	Bitirme Yılı
Lise	: Meram 75.Yıl Lisesi, Meram, Konya			2006
Üniversite	: Selçuk Üni.-Müh.-Mim. Fak. İnşaat Mühendisliği Bölümü, Selçuklu, KONYA			2011
Yüksek Lisans	: Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuklu, KONYA			2016
Doktora	: Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Selçuklu, KONYA			2016-Devam ediyor

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2011	Eser Mühendislik	Proje Mühendisi
2012	Konya Büyükşehir Belediyesi	Kontrol mühendisi
2012	Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi	Arş.Gör.
2013	Selçuk Üniversitesi	Arş.Gör.
2018	Konya Teknik Üniversitesi	Arş.Gör

UZMANLIK ALANI

Betonarme Yapılar, Yapay Zeka, Yapısal Analiz

YABANCI DİLLER

İngilizce-72.5 (YDS)

YAYINLAR

SCI, SCI-expanded, SSCI, AHCI Indexleri kapsamında yayımlanmış

1. Koçer, M., Öztürk, M., & Arslan, M. H. (2019). Determination of moment, shear and ductility capacities of spiral columns using an artificial neural network. *Journal of Building Engineering*, 26, 100878.(*Yüksek Lisans Tezinden*)

Diğer Indexlerde taranan dergilerde yayımlanmış

1. Koçer, M., Nakipoğlu, A., Öztürk, B., Al-Hagri, M. G., & Arslan, M. H. (2018). Deprem Kuvvetine Esas Spektral İvme Değerlerinin TBDY 2018 ve TDY 2007'ye Göre Karşılaştırılması, *Selçuk-Teknik Dergisi*, 17(2), 43-58.
2. Koçer, M., Öztürk, M., & Boğa, A. R. (2019), Analytical Study on the Effect of Corrosion to the Construction Performance, *Natural and Engineering Sciences*, 4(1), 11-20.
3. Kocer, M., Ozturk, M., & Arslan, M. H. (2016). Determination of Moment Capacities of Spiral Columns with Artificial Neural Networks. *Journal of Selcuk University Natural and Applied Science*, 4(4), 33-45. (**Yüksek Lisans Tezinden**)

Uluslararası Etkinliklerde sunulan ve tam metni yayımlanmış

1. Kocer, M., Ozturk, M., Boğa, A.R., 2019, Korozyon Hasarına Maruz Kalan Kolonların Tersinir Tekrarlanır Yatay Yük Altındaki Davranışlarının Araştırılması, *Ereğli International Science and Academic Congress'xx19 I (3)*, 107(İnsac2019) (**Doktora Tezinden**)

Uluslararası Etkinliklerde sunulan ve özeti yayımlanmış

1. Koçer, M., Nakipoğlu, A., Öztürk, B., Al-Hagri, M. G., & Arslan, M. H., (2018). "Investigation of Displacement Demands in Reinforced Concrete Buildings in The Context of The Changed Seismic Code, 3. *Uluslararası Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Kongresi*.
2. Koçer, M., Nakipoğlu, A., Öztürk, B., Al-Hagri, M. G., & Arslan, M. H. (2018). Comparison of Seismic Load Based Spectral Acceleration Values According to TBSC 2018 and TSC 2007, 3. *Uluslararası Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Kongresi*.
3. Kocer, M., Ozturk, M., Boğa, A.R., 2018, Analytical Study on The Effect of Corrosion to The Construction Performance, *The XV. International Corrosion Symposium (KORSEM 2018)*.
4. Kocer, M., Ozturk, M., Arslan, M.H., 2017, Determination of shear capacity of spiral columns with artificial neural network, *3rd International Researchers, Statisticians and Young Statisticians Congress. (Yüksek Lisans Tezinden)*