



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



**PREFABRİKE TEMEL – KOLON
BİRLEŞİMİNDE YENİ BİR BAĞLANTI
TÜRÜNÜN TERSİNİR – TEKRARLANIR
YÜKLER ALTINDA İNCELENMESİ**

Mehmet UZUN

DOKTORA TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Mart-2021
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Mehmet UZUN tarafından hazırlanan “PREFABRİKE TEMEL – KOLON BİRLEŞİMİNDE YENİ BİR BAĞLANTI TÜRÜNÜN TERSİNİR – TEKRARLANIR YÜKLER ALTINDA İNCELENMESİ” adlı tez çalışması 26/03/2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. Mehmet KAMANLI

.....

Danışman

Doç. Dr. Mustafa Tolga ÇÖĞÜRCÜ

.....

Üye

Doç. Dr. Sadık Alper YILDIZEL

.....

Üye

Prof. Dr. Mahmud Sami DÖNDÜREN

.....

Üye

Prof. Dr. Murat BİKÇE

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN
Enstitü Müdürü

Bu tez çalışması Konya Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Koordinatörlüğü (BAP) tarafından 20110759 sayılı proje ve TÜBİTAK tarafından 120M378 sayılı 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.

İmza

Mehmet UZUN

26/03/2021

ÖZET

DOKTORA TEZİ

PREFABRİKE TEMEL – KOLON BİRLEŞİMİNDE YENİ BİR BAĞLANTI TÜRÜNÜN TERSİNİR – TEKRARLANIR YÜKLER ALTINDA İNCELENMESİ

Mehmet UZUN

Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Mustafa Tolga ÇÖĞÜRCÜ

2021, 232 Sayfa

Jüri

Doç. Dr. Mustafa Tolga ÇÖĞÜRCÜ
Prof. Dr. Mehmet KAMANLI
Doç. Dr. Sadık Alper YILDIZEL
Prof. Dr. Mahmud Sami DÖNDÜREN
Prof. Dr. Murat BİKÇE

Prefabrik yapıların hızlı yapım tekniği, düşük maliyet gibi birçok avantajı bulunmaktadır. Bu nedenle özellikle hızlı üretim gereken işlerde çok fazla tercih edilmektedir. Hızlı üretimi sağlayan temel sebep ise ana taşıyıcı elemanların bir üretim tesisinde önceden üretilerek şantiye sahasında montajın yapılmasıdır. Üretimin her eleman için ayrı yapılması ise geleneksel betonarme yapı davranışında bir avantaj olan monolitik yapı davranışının sağlanamamasına yol açmaktadır. Prefabrike olarak üretilen elemanlar farklı bağlantı yöntemleri ile şantiye ortamında birbirine bağlanmakta ve montajı gerçekleştirilmektedir. Ancak bu bağlantılar geçmiş yıllarda yaşanan depremlerden elde edilen tecrübe ile çok başarılı olmamaktadır. Özellikle temel-kolon bağlantısı için geliştirilen soket sistemlerinde, montaj sırasında soket ile kolon arasında bırakılan boşluk dolgu betonu ile kapatılmaktadır. Dolgu betonu ise soket ile kolon arasında bir soğuk derz oluşturmaktadır. Bu nedenle deprem esnasında dolgu betonunda meydana gelebilecek bir ezilme, temel-kolon bağlantısında kabul edilen ankastre davranışı ortadan kaldıracak ve yapı elemanlarından neredeyse hiç yararlanmadan göçme mekanizmasına geçecektir. Ayrıca üretim aşamasında ise şantiye de imal edilen temelin priz alma süresi beklendikten sonra temel üzerine soket kalıbı kurularak soketin imalatı yapılmaktadır. Bu imalatında yaklaşık olarak 4 gün içerisinde gerçekleştirildiği düşünülürse önemli bir zaman kaybı ortaya çıkmaktadır. Soket üretimi sonrasında ise kolon montajı sırasında kolonun eksene tam yerleştirilmesi montaj ekibinin kabiliyetine bırakılmakta, kısacası insan faktöründen kaynaklanan hatalara ortam hazırlanmaktadır. Montaj sırasında yapılan hatalar özellikle üst yapı kısmında makas kiriş montajında açıklığın yetersiz gelmesi veya çok fazla olması gibi problemler oluşturmaktadır. Bütün bu dezavantajlar düşünüldüğünde temel-kolon bağlantılarında yenilikçi çözümler sektör tarafından aranmaktadır.

Bu çalışmada, soketsiz bir temel-kolon bağlantısı ankraj çubukları ile sağlanarak imalat sırasında, montaj sırasında ve deprem etkisi altında yapısal davranışta ortaya çıkan olumsuzlukların giderilmesi amaçlanmıştır. Deneysel çalışmalar sonunda soketli birleşime alternatif olabilecek yatay yük taşıma kapasitesi, enerji sönümleme kapasitesi, sünekliliği yüksek bir birleşim türü önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ankrajlı temel-kolon bağlantıları, deprem davranışı, prefabrike yapılar, temel-kolon bağlantısı, tersinir-tekrarlanır yüklemeye.

ABSTRACT

PhD THESIS

INVESTIGATION OF A NEW CONNECTION TYPE IN THE PRECAST FOUNDATION – COLUMN CONNECTION UNDER CYCLING LOADING

Mehmet UZUN

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

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Mustafa Tolga COGURCU

2021, 232 Pages

Jury

**Assoc. Prof. Dr. Mustafa Tolga COGURCU
Prof. Dr. Mehmet KAMANLI
Assoc. Prof. Dr. Sadik Alper YILDIZEL
Prof. Dr. Mahmud Sami DÖNDÜREN
Prof. Dr. Murat BİKÇE**

Prefabricated buildings have many advantages such as rapid construction technique and low cost. Therefore, especially in works that need rapid production is preferred too. The main reason for the rapid production is the production of the main load-bearing elements in a production facility and assembling at the construction site. The fact that the production is done separately for each element leads to the failure to achieve the monolithic structure behavior which is an advantage in traditional reinforced concrete structure behavior. The prefabricated elements are connected in construction site by using different connection methods. However, these connections are not very successful with the experience obtained from the earthquakes in previous years. Especially in socket systems developed for foundation-column connection, the gap left between the socket and the column during installation is covered with filler concrete. The filling concrete forms a cold joint between the socket and the column. Therefore, a crush that may occur in the filling concrete during an earthquake will eliminate the fixed support behavior accepted in the foundation-column connection and will occur the collapse mechanism almost without benefiting from the structural elements. In the production phase, after the foundation manufactured at the construction site is waited, the socket is manufactured on the foundation. Considering that this production is carried out in approximately 4 days, a significant loss of time occurs. After the socket production, the exact placement of the column on the axis during the column assembly is left to the ability of the assembly team, in short, the error caused by human factors is prepared. Errors made during the assembly cause problems such as insufficient or too much opening in the truss beam assembly especially in the upper structure part. Considering all these disadvantages, innovative solutions for foundation-column connections are sought by the industry.

The aim of this study is to provide a foundation-column connection with anchor rods and to eliminate the negativities that occur during the production, during installation and in structural behavior under earthquake. At the end of the experimental studies, a connection type with high lateral load resistance capacity, high energy distribution capacity and high ductility has been proposed as an alternative to the socket connection.

Keywords: Cycling loading, seismic behavior, foundation-column connection, foundation-column connection with anchor bars, precast structures.

ÖNSÖZ

Doktora eğitimi süresince her aşamada bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım, her türlü zorluk karşısında yanımda olan ve yardımlarını esirgemeyen değerli danışman hocam Doç. Dr. M. Tolga Çöğürçü'ye teşekkürlerimi en kalbi duygularıyla sunarım.

Tez çalışmasının deney aşamasında, İnşaat Mühendisliği Bölümü laboratuvar imkanlarından faydalanmamı sağlayan, tez çalışması süresince bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım, Tez İzleme Komitesi üyesi, Konya Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölüm Başkanı Prof. Dr. Mehmet Kamanlı'ya, laboratuvar çalışmalarında yardımcı olan KTO Karatay Üniversitesi Öğretim Üyesi ve Konya İnşaat Mühendisleri Odası Başkanı Dr. Öğr. Üyesi S. Kamil Akın'a, Arş. Gör. Dr. Mustafa Koçer'e, Arş. Gör. M. Akif Arslan'a, laboratuvar sorumlusu Yüksel Çiftçi'ye teşekkürlerimi sunuyorum.

Tez çalışması sırasında, özellikle bağlantı betonunun geliştirilmesi sırasında bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen, Tez İzleme Komitesi üyesi Doç. Dr. S. Alper Yıldızel'e teşekkür ederim.

Deneysel çalışmalarda kullanılan numuneleri hazırlayan Presan Prefabrik firması yetkilisi İnş. Yük. Müh. Ahmet Büyükyüzbaşıgil ve firmasına şükranlarımı sunuyorum.

Doktora eğitimim boyunca desteklerini esirgemeyen 27. dönem Hatay Milletvekili İnş. Yük. Müh. Lütfi Kaşıkçı'ya ve İnş. Yük. Müh. Fatih Karataş'a teşekkürlerimi sunuyorum.

Bu tez çalışması TÜBİTAK ve Konya Teknik Üniversitesi BAP Koordinatörlüğü tarafından desteklenmiştir. TÜBİTAK ve Konya Teknik Üniversitesi BAP Koordinatörlüğü'ne desteklerinden dolayı teşekkür ediyorum.

Bugünlere gelmemde büyük emekleri olan annem Dudu Uzun ve rahmetli babam Mevlüt Uzun'a, doktora eğitimim boyunca yanımda olan sabırla, süreç boyunca desteklerini esirgemeyen eşim Latife Uzun'a ve çocuklarım Mevlüt Uzun ve Betül Uzun'a teşekkürlerimi sunuyorum. Bu tez çalışmasını, hayatı boyunca yanımda duran, desteğini hiç esirgemeyen doktora eğitimim sırasında kaybettiğim babam Mevlüt Uzun'a ithaf ediyorum.

Mehmet UZUN
KONYA-2021

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	x
1. GİRİŞ	1
1.1. Prefabrike Sektöründeki Gelişmeler	2
1.2. Prefabrike Yapıların Avantajları ve Dezavantajları.....	4
1.2.1. Prefabrike yapıların avantajları.....	4
1.2.2. Prefabrike yapıların dezavantajları	6
1.3. Prefabrike Taşıyıcı Elemanlar	8
1.3.1. Çubuk elemanlar	9
1.3.2. Düzlemsel elemanlar.....	16
1.3.3. Kabuk elemanlar	20
1.3.4. Bağ elemanları	20
1.4. Prefabrike Yapıların Sınıflandırılması	21
1.4.1. Kullanılan malzemeye göre sınıflandırması	21
1.4.2. Yapı ağırlığına göre sınıflandırması	21
1.4.3. Üretim ve pazarlamaya göre sınıflandırılması	22
1.4.4. Taşıyıcı sisteme göre sınıflandırılması	23
1.5. Prefabrike Elemanların Birleşim Türleri	30
1.5.1. Birleşimlerde yük katsayıları	30
1.5.2. Çubuk eleman birleşimleri.....	31
1.5.3. Moment aktarabilen birleşimler.....	34
1.5.4. Birleşimi yapılan elemanlara göre birleşim türleri	35
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	42

3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	62
3.1. Önerilen Bağlantı Türünün Detayları	63
3.2. Numunelerin Hakim Eğilme Davranışına Göre Tasarlanması	66
3.3. Numunelerin Özellikleri	68
3.3.1. Malzeme özellikleri	73
3.4. Numunelerin Üretilmesi	74
3.5. Kolonların Temel Üzerine Montajı.....	82
3.6. Bağlantı Betonunun Hazırlanması	84
3.7. Deney Düzeneği.....	91
3.7.1. Ölçüm tekniği	93
3.7.2. Deneylerde kullanılan yükleme programı.....	96
3.8. Ölçümlerin İncelenmesi	96
3.8.1. Yük geçmişi ve yer değiştirme geçmişi grafiklerinin elde edilmesi.....	97
3.8.2. Yük-yer değiştirme eğrisi ve dayanım zarfının elde edilmesi	98
3.8.3. Rijitlik değişim grafiğinin elde edilmesi	99
3.8.4. Enerji tüketim grafiğinin elde edilmesi	100
3.8.5. Numunelerin sünekliklerinin hesaplanması.....	103
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	105
4.1. Deney Sonuçları.....	105
4.1.1. KN1 numunesi deney sonuçları	105
4.1.2. KN2 numunesi deney sonuçları	115
4.1.3. SN3 numunesi deney sonuçları.....	124
4.1.4. AN4 numunesi deney sonuçları	134
4.1.5. AN5 numunesi deney sonuçları	144
4.1.6. AN6 numunesi deney sonuçları	154
4.1.7. AN7 numunesi deney sonuçları	164
4.1.8. AN8 numunesi deney sonuçları	175
4.1.9. AN9 numunesi deney sonuçları	186
4.2. Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması	196
4.2.1. Bağlantı türüne göre numunelerin karşılaştırılması	197
4.2.2. Öngerilmenin numunelerde etkisinin karşılaştırılması	201

4.2.3. Ankraj Boşluklarındaki dişlerin numunelerin davranışına etkisinin karşılaştırılması.....	206
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	210
5.1. Sonuçlar.....	210
5.2. Öneriler.....	214
KAYNAKLAR.....	216
ÖZGEÇMİŞ.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

- δ_1 : İtme çevrimindeki maksimum yatay yüke karşılık gelen yer değiştirme
 δ_1 : Çevrimdeki ardışık herhangi bir yük değerine karşılık gelen yer değiştirme
 δ_2 : Çekme çevrimindeki maksimum yatay yüke karşılık gelen yer değiştirme
 δ_2 : Çevrimdeki ardışık herhangi bir yük değerine karşılık gelen yer değiştirme
 δ_n : Çevrimdeki n. yük değerine karşılık gelen yer değiştirme
 δ_{n-1} : Çevrimdeki (n-1). yük değerine karşılık gelen yer değiştirme
 δ_u : Limit durumda kolona etki eden yatay kuvvete karşılık gelen yer değiştirme
 δ_y : Akma anında kolona etki eden yatay kuvvete karşılık gelen yer değiştirme
 μ : Süneklik
 $\Delta_{net,tepe}$: Kolonun net tepe yer değiştirmesi
 ΣA : İtme ve çekme çevriminde histeresis eğrisi arasında kalan toplam alan
 Φ : Donatı çapı
 Φ_e : Enine donatı çapı
 \emptyset : Rijitlik
 b : Kolon kesitinde kısa kenar
 b_k : Enine donatı eksenleri arasındaki uzaklık
 b_w : Kolon kesitinde kısa kenar
 d : Kolon kesitinin paspayı düşülmüş etkin yüksekliği
 d' : Paspayı
 dA : Çevrimdeki ardışık okunan iki yük değeri arasında kalan alan
 dB : Çevrimdeki ardışık iki yük değerinin arasında boşaltma eğrisi altında kalan alan
 f_1 : Çevrimde kaydedilen herhangi bir ardışık yük
 f_2 : Çevrimde kaydedilen herhangi bir ardışık yük
 f_c : Beton basınç dayanımı
 f_{ck} : Beton karakteristik basınç dayanımı
 f_{ct} : Beton eksenel çekme dayanımı
 f_n : Çevrimdeki n. yük değeri
 f_{n-1} : Çevrimdeki (n-1). yük değeri
 f_y : Boyuna donatı akma dayanımı
 f_{yw} : Enine donatı akma dayanımı
 h : Kolon kesitinde uzun kenar
 h_k : Enine donatı eksenleri arasındaki uzaklık
 l_n : Net açıklık
 s : Enine donatı aralığı
 A_1 : İtme çevriminde histeresis eğrisi arasında kalan alan
 A_2 : Çekme çevriminde histeresis eğrisi arasında kalan alan
 A_c : Beton brüt kesit alanı
 A_s : Boyuna donatı kesit alanı
 A_{sw} : Enine donatı kesit alanı
 E_c : Beton elastisite modülü
 E_s : Donatı elastisite modülü
 F_1 : İtme çevriminde maksimum yatay yük

F_2	: Çekme çevriminde maksimum yatay yük
M_y	: Akma momenti
N_d	: Kolon üzerindeki tasarım eksenel yükü
V_c	: Kesme dayanımına betonun katkısı
V_{cr}	: Kolon kesitinin kesmede çatlama dayanımı
V_d	: Tasarım kesme kuvveti
V_{max}	: Kolona etki eden maksimum kesme kuvveti
V_r	: Kolon kesme kuvveti taşıma kapasitesi
V_u	: Limit durumda kolona etki eden kesme kuvveti
V_y	: Akma anında kolona etki eden kesme kuvveti
V_w	: Kesme dayanımına kesme donatısı katkısı

Kısaltmalar

ABAQUS	: Sonlu elemanlar analiz programı
ACI 374.1-05 and commentary	: Acceptance criteria for moment frames based on structural testing
ACI-550.2R-13	: Design Guide for Connections in Precast Jointed Systems
BIBM	: Bruea International du Beton Manufacture
CEM I 42.5 R	: Portland çimentosu
CEM II 42.5 R	: Portland kompoze çimento
LVDT	: Potansiyometrik cetvel
TBDY-2018	: Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği-2018
TDY-2007	: Türk Deprem Yönetmeliği-2007
TPB	: Türkiye Prefabrike Birliği
TS-500	: Betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları
TS-708	: Beton çelik çubukları
TS-802	: Beton karışım tasarımı hesap esasları
TS 9967	: Yapı elemanları, taşıyıcı sistemler ve binalar - prefabrike betonarme ve önerilmeli betondan - hesap esasları ile imalat ve montaj kuralları
TS-3114-ISO-4012	: Beton-Deney numunelerinin basınç dayanımı tayini
TS-EN 197-1	: Çimento-Bölüm 1: Genel çimentolar- Bileşim, özellikleri ve uygunluk kriterleri
TS-EN480-10	: Kimyasal katkıları-Beton, harç ve şerbet için-Deney metotları-Bölüm 10: Suda çözünbilir klorür muhtevası tayini
TS-EN 12350-5	: Beton-Taze beton deneyleri-Bölüm 5: Yayılma tablası deneyi
TS-EN12390-1	: Beton-Sertleşmiş beton deneyleri-Bölüm 1: Deney numunesi ve kalıplarının şekil, boyut ve diğer özellikleri
TS-EN12390-2	: Beton-Sertleşmiş beton deneyleri-Bölüm 2:Dayanım deneylerinde kullanılacak deney numunelerinin hazırlanması ve küre tabi tutulması

1. GİRİŞ

Prefabrikasyon, yapıların imalatında kullanılan elemanların bir fabrikada önceden üretilmesi ve bu elemanların ihtiyaç duyacakları kür (bakım) işlemlerinin tam anlamıyla gerçekleştirilmesi sonrasında şantiyeye nakledilerek belli bir plan çerçevesinde montajlarının yapılmasıdır. Bu sayede üretimde ekonomiklik, yüksek dayanım, hızlı üretim gibi birçok fayda sağlanmaktadır (Gedik, 2014). Sağladığı kolaylıklar sayesinde, başta endüstri yapıları olmak üzere, otopark yapıları, ticaret merkezleri, kültür merkezleri, konut, yurt, otel gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Martin ve Korkosz, 1982).

Prefabrikasyonda üretimin her eleman için ayrı ayrı yapılması ise geleneksel betonarme yapı davranışında bir avantaj olan monolitik yapı davranışının sağlanamamasına yol açmaktadır. Prefabrike olarak üretilen elemanlar farklı bağlantı yöntemleri ile şantiye ortamında birbirine bağlanmakta ve montajı gerçekleştirilmektedir. Ancak bu bağlantılar geçmiş yıllarda yaşanan depremlerden elde edilen tecrübe ile çok başarılı olmamaktadır. Özellikle temel-kolon bağlantısı için geliştirilen soket sistemleri, montaj sırasında soket ile kolon arasında bırakılan boşluğun dolgu betonu ile doldurulması sonucu kapatılmaktadır. Dolgu betonu ise soket ile kolon arasında bir soğuk derz oluşturmaktadır. Bu nedenle deprem esnasında dolgu betonunda meydana gelebilecek bir ezilme temel-kolon bağlantısında kabul edilen ankastre davranışı ortadan kaldıracak ve yapının elemanlarından neredeyse hiç yararlanmadan göçme mekanizması gerçekleşecektir. Ayrıca üretim aşamasında ise şantiye de imal edilen temelin priz alma süresi beklendikten sonra temel üzerine soket kalıbı kurularak soketin imalatı yapılmaktadır. Bu imalatında yaklaşık olarak 4 gün içerisinde gerçekleştirildiği düşünülürse önemli bir zaman kaybı ortaya çıkmaktadır. Soket üretimi sonrasında ise kolon montajı sırasında kolonun eksene tam yerleştirilmesi montaj ekibinin kabiliyetine bırakılmakta kısacası insan faktöründen kaynaklanan hatalara ortam hazırlanmaktadır. Montaj sırasında yapılan hataların üst yapı montajında özellikle makas kiriş montajında açıklığın yetersiz gelmesi veya çok fazla olması problemi sürekli yaşanmaktadır. Kolonun aksına oturtulması sonrasında ise soket ile kolon arasındaki boşluğun oluşturacağı eksen kaymalarını önlemek için beton priz alana kadar takozlar ile durdurulmaktadır. Dolgu betonu priz alırken de eksen kaymaları meydana gelebilmektedir. Bütün bu dezavantajlar düşünüldüğünde temel-kolon bağlantılarında yenilikçi çözümler sektör tarafından aranmaktadır. Yapılacak bu çalışma da soketsiz bir temel-kolon bağlantısı ankraj çubukları ile sağlanarak imalat sırasında, montaj sırasında

ve deprem altında yapısal davranışta ortaya çıkan olumsuzlukların giderilmesi amaçlanmıştır. Yapılan çalışmada başlangıçta önerilen bağlantı detayında bir donatı planı kabul edilerek toplamda 7 adet numune ile deneyler yapılmıştır. Ancak kabul edilen donatı planında boyuna donatıda yapılan pilye şeklinde donatının bükülmesi işlemi numunelerin mekanik davranışını olumsuz yönde etkilemiştir. Görülen bu eksiklik sonucu boyuna donatı planında pilye yapılmadan 2 adet daha numune üretilerek deneylere devam edilmiştir. Çalışma kapsamında sonradan üretilen numuneler ile beraber 9 adet numune üretimi yapılmıştır.

Kullanılacak temel-kolon bağlantısı Ülkemiz çalışma sistemine uygun, hata toleransına sahip, tamamen yerli olarak üretilen, milli bir çalışmadır. Temel-kolon bağlantıları için yurt dışında çeşitli çalışmalar ile çeşitli aparatlar ve yöntemler üretilmiş ise de elde edilen yöntem ve aparatlar ülkemizde çalışan montaj ekipleri düşünüldüğünde hata toleransı olmayan çok profesyonel bir çalışma gerektiren sistemlerdir. Çalışma kapsamında geliştirilen bağlantı sistemi ise ülkemizde çalışan montaj ekiplerinin bilgi ve birikimi hata yapma eğilimleri gibi dezavantajlar düşünülerek bu hatalara tolerasyon gösterebilecek şekilde üretilmiştir. %100 yerli üretim ile yapılması ise çalışmanın milli ve yerli üretime katkısını ortaya koymaktadır. Günümüzde geliştirilen bağlantılar içerisinde tamamen yerli bir bağlantı türü olmamakla birlikte yurtdışı bağlantılı kullanılan bağlantı türleri mevcuttur. Bu bağlantı türlerinin kullanımı ise ülkemizi bu konuda yurt dışına bağımlı hale getirmektedir. Ayrıca geliştirilen yöntemler üretimde ek maliyete neden olduğundan dolayı üretici firmalar tarafından tercih edilmemektedir. Bu tez çalışması kapsamında geliştirilen bağlantı sisteminde ise mevcut yapım tekniğinde elde edilen maliyetin altında bir maliyet ile çözüm yöntemi üretilmesi düşünülmektedir. Çalışma sonucunda elde edilen yöntem sayesinde yerli ve milli imkanlar ile bir çözüm üretilmiş olacak ve üreticilerin maliyetlerini artırmadan yeni bir üretim tekniği sektöre kazandırılacaktır.

1.1. Prefabrike Sektöründeki Gelişmeler

Prefabrikasyonda bilinen ilk gelişmeler 19. yüzyılda başlamıştır. 1836 yılında konu ile ilgili ilk teknik makale olarak kabul edilen George Godwin tarafından kaleme alınan makale İngiltere’de yayımlanmıştır. Bu makale sayesinde Godwin, Royal Institute of British Architects (RIBA) tarafından madalya ile ödüllendirilmiştir (Tümer, 2006; Gedik, 2014).

1844 yılına gelindiğinde Frederick Ranson tarafından Prefabrike Yapılar konusunda ilk patent alınmıştır. Takip eden yıllarda François Coignet (1895), W. Henry Lascelles (1875) gibi konu ile ilgili birçok teknik elemanın patentler aldığı bilinmektedir (Tümer, 2006; Gedik, 2014).

İkinci Dünya Savaşı yıllarına gelindiğinde ise ortaya çıkan ekonomik krizler, uzman personel bulmakta yaşanan sıkıntılar gibi nedenlerle uzman personele ihtiyaç duymadan üretim yapma konusunda gelişmeler yaşanmıştır. Özellikle şantiyede bulunan eleman fazlalığı ve denetimin getirdiği maliyet artışları bu çalışmalarını körüklemiştir. Bu sayede fabrika ortamında daha az işçilik ile üretimin yapıldığı, seri üretim sayesinde maliyetlerin azaldığı ve savaş sonrasında artan nüfusun konut ihtiyacını karşılayacak hızlı üretim teknikleri geliştirilmiştir (Hamzaçebi, 2011).

Ülkemizde ise 1960'lı yıllarda başlayan prefabrike sektöründe yanlış tespitler ve başlangıçta yapılan denemelerde başarılı olunamaması gibi sebeplerle yaygınlaşma sağlanamamıştır. 1970'li yıllarda ekonomik güçlüklerden dolayı üretim maliyetini düşürücü farklı çözüm yöntemleri aranması prefabrikasyonun önünü açmıştır. Yapılan yatırımlar ve teknolojik gelişmeler prefabrikasyonda hızlı bir gelişme ortaya çıkarmıştır. 1980'li yıllara gelindiğinde ise gelişim hızla devam ederken Türkçe kaynak eksikliği üretim ve montaj aşamalarının çerçevesini çizen standartların eksikliği hissedilmeye başlanmıştır. Bu eksikliklerin giderilmesi ve prefabrikasyonun yaygınlaştırılması amacıyla 1984 yılında Türkiye Prefabrike Birliği (TPB) kurulmuştur. Prefabrike yapı elemanlarının birleşimi monolitik sistemlerden farklı olarak montaj sırasında teşkil edildiği için genel anlamda daha zayıf bir bağlantıya sahip olmaktadır. Deprem bölgelerinde ise birleşimlerden dolayı prefabrike yapılar daha düşük bir performans göstermektedir. Ülkemizin ise neredeyse tamamının deprem bölgesinde olmasından dolayı Prefabrike yapılar konusunda bir standarda ihtiyaç ortaya çıkmıştır. Bu ihtiyacı karşılamak amacıyla 1992 yılında “Yapı Elemanları, Taşıyıcı Sistemler ve Binalar-Prefabrike Betonarme ve Öngerilmeli Betondan Hesap Esasları ile İmalat ve Montaj Kuralları” adıyla TS 9967 standardı yayımlanmıştır. Bu sayede ülkemiz dünya standartlarında prefabrikasyon üretiminde yerini almıştır. 1997 yılında “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik” adıyla yayımlanan deprem yönetmeliğinde de prefabrike yapılar hakkında bazı bilgiler “3.12. Prefabrike Binalara İlişkin Özel Koşullar” başlığı altında verilmiştir (Tümer, 2006; Gedik, 2014).

Ülkemizde gerçekleşen atılımlar sayesinde 1994 yılında Türkiye Prefabrike Birliği, Uluslararası Prefabrike Beton Üreticileri Bürosuna (Bruea International du Beton Manufacture-BIBM) kabul edilmiştir.

Prefabrike konusundaki hızlı ilerleme ve üretilen eleman çeşitlerinin artması sayesinde sektör, şantiyede yerinde dökme betondan kurtulmuştur. Bu sayede bazı meslek gruplarına (beton tesviyecisi, demir işleri ustası, kalıp işleri ustası v.b.) ihtiyaç azalmıştır. Bunların yanı sıra inşaat yapım süresi de önemli ölçüde kısalmıştır. Ayrıca fabrikasyon üretim ve iyi bir denetim sayesinde daha yüksek dayanımlara ulaşan beton elemanlar elde edilmiştir. Hava koşullarının inşaat sürecine etkisi ise minimuma indirilmiştir (Kaplan, 1998).

1999-2002 yıllarında Türkiye Prefabrike Birliği başkanının BIBM başkanlığına seçilmesi ile 17.Uluslararası BIBM teknik kongresi Türkiye’de yapılmıştır. Bu kongre, beton prefabrikasyonu konusunda Türkiye’de yapılan ilk uluslararası kongredir. Bu sayede Türkiye Prefabrike Birliği uluslararası saygınlığa sahip referans gösterilebilir bir kuruluş haline gelmiştir (Gedik, 2014).

2018 yılında ise yayımlanan yeni deprem yönetmeliğinde “8. Deprem Etkisi Altında Önüretimli Betonarme Bina Taşıyıcı Sistemlerinin Tasarımı için Özel Kurallar” başlığı altında prefabrike yapılar için bir bölüm düzenlenmiştir. Bu bölümde özellikle günümüzde artık kullanımı yaygınlaşan birleşim türleri için hesap esaslarından bahsedilmiştir (TBDY-2018, 2018).

1.2. Prefabrike Yapıların Avantajları ve Dezavantajları

Prefabrike yapılar tercih edilmesine neden olacak birçok olumlu özelliğe sahiptirler. Bu özelliklerini iyi bilerek projelendirme ve montaj aşamasında çok daha dikkatli olunması gerekmektedir.

1.2.1. Prefabrike yapıların avantajları

Prefabrikasyonun avantajları genel olarak aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Yapının imalatı çok kısa sürede gerçekleştirilir. Geleneksel betonarme yapılarda olduğu gibi kalıbın kurulması, donatının projeye uygun kalıba yerleştirilmesi,

beton döküm işlemi, kalıp alma sürelerinin beklenmesi gibi vakit kaybettirecek detaylar olmamaktadır (Hartland, 1975).

- Kalıp, işçilik, destek kullanılması gibi aşamaların olmaması nedeniyle genel olarak maliyette azalma olacaktır (Hartland, 1975).
- Prefabrike yapı elemanlarında kalıp kurma işlemi bir kez yapıldıktan sonra aynı kalıp ile tekrar tekrar üretim yapılabilir. Bu sayede kalıp kurma maliyeti azaltılmış olur (Şentürer, 1983; Akısan, 1984).
- Kalıplar için ilk yatırım maliyeti yüksek olsa da aynı kalıbın kullanımının tekrarı giderek maliyeti azaltacaktır.
- Mevsim değişikliklerinden etkilenmezler. Özellikle kış şartlarında geleneksel yapım tekniklerinde işler durma noktasına gelirken prefabrike elemanlar fabrikada üretildiği için kış şartlarından etkilenmezler (Ersoy, 1997; Toprak, 2002).
- Üretimin hızlı olması nedeniyle yapının teslim süresi kısaltmakta ve bu sayede yatırımın geri dönüş süresi azalmaktadır (Eşiyok, 2000).
- Üretimin hızlı olması nedeniyle enflasyondan daha az etkilenmektedir (Gedik, 2014).
- Projede belirlenen malzemelerin önceden temin edilebilmesi ve stok yapılabilmesi sayesinde inşaat sürecindeki enflasyondan en az derecede etkilenilir.
- Prefabrikasyonda inşaat kalitesi makine kullanımı ile sağlanırken geleneksel inşaatlarda işçi uzmanlığına dayalı olmaktadır (Sorguç, 1989).
- Yoğun makine kullanımı sayesinde iş gücünün artırılması ve üretimin hızlandırılması sağlanmaktadır.
- Prefabrike elemanlar üretim sonrası şantiyeye nakledilmeden önce kontrol edilebilirler. Bu sayede yapı elemanın yetersiz olduğu veya kusurlu olduğu görülürse yenisi imal edilebilir (Tümer, 2006).
- Üretimde süreklilik ve tekrar sayesinde işçilik hataları en aza indirilerek uzmanlaşma sağlanır (Eşiyok, 2000).
- Elektrik ve mekanik tesisat gereçleri prefabrike elemanların içinde bırakılan boşluklardan geçirilebilir.
- Elektrik ve su tesisatı gibi elemanlar için ek olarak şaft boşluklarına ihtiyaç duymadan yapısal elemanlar içerisindeki boşluklardan geçirilebilir (Tümer, 2006).

- İnşaat sahası montaj için hazır olmasa bile fabrikada üretimlere başlanarak inşaat sahasının hazır olması için gereken süre değerlendirilmiş olur (Gedik, 2014).
- Fabrikada üretim sayesinde betonun dayanım kazanmasındaki en önemli etkenlerden biri olan kür şartları en iyi şekilde sağlanır (Şentürer, 1983).
- Fabrikasyon üretim sayesinde daha küçük kesitlerle daha büyük açıklık geçilebilmektedir. Bu da malzeme maliyetini daha aşağı çekmektedir.
- Kalite kontrolünün tam olarak sağlanması ile istenilen standartta üretim yapılabilir.
- Fabrikasyon üretim sayesinde betonda daha yüksek mukavemet değerlerine ulaşılabilir.
- Öngerilme tekniklerine olanak sağlaması sayesinde büyük açıklıkların daha küçük kesitlerle geçilmesi sağlanmaktadır. Kesitlerin küçülmesi sayesinde beton ve çelikten de malzeme tasarrufu sağlanmaktadır (Gedik, 2014).
- Modüler yapısı ile sürdürülebilirlik özelliği elde edilir (Gedik, 2014).
- Yüzey dokusu geleneksel yöntemlere göre daha kaliteli olmaktadır ve renk seçeneği sağlanmaktadır (Eşiyok, 2000).
- Yapı sektöründeki firmalara düşük maliyet sayesinde rekabet gücü kazandırmaktadır (Eşiyok, 2000)
- Prefabrike mevcut yapılarda yapısal elemanlar ihtiyaç duyulduğunda ayrılabilir, birleştirilebilir veya mevcut yapıya ek yapı yapılabilir (Tümer, 2006).
- Prefabrikasyonda üretimlerde genelde tipik elemanlar kullanıldığı için (kalıp türlerine göre) üretim ve projelendirme aşaması çok hızlı bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir.
- Prefabrikasyonda kullanılan kalıplar çelik olduğu için kereste kullanımı neredeyse yok gibidir. Bu sayede hem kalıp maliyeti azalmakta hem de ülke ormanları korunmaktadır.

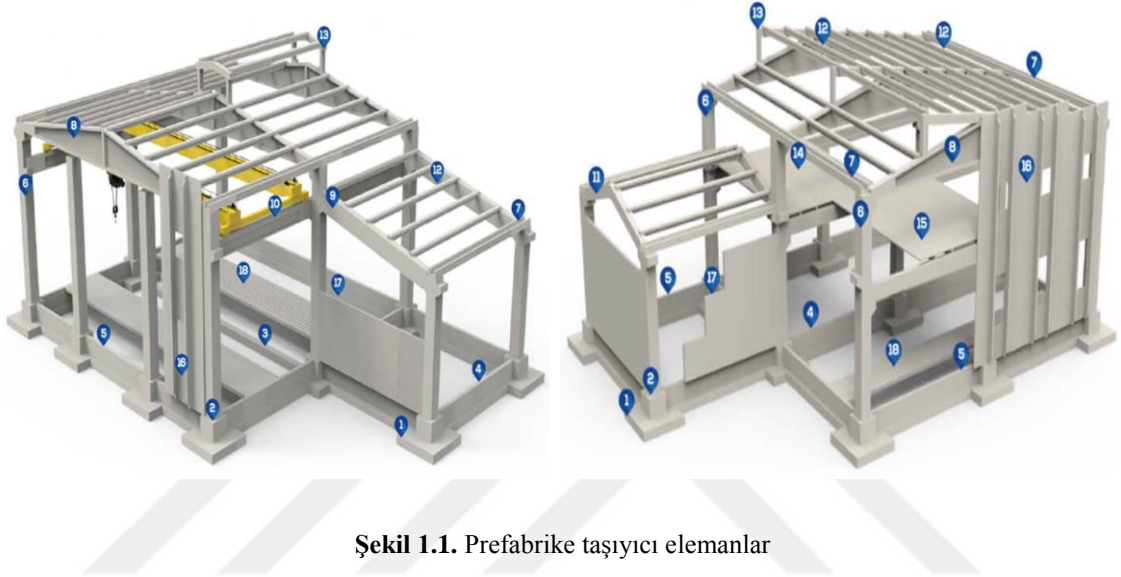
1.2.2. Prefabrike yapıların dezavantajları

Prefabrike yapılar önceki bölümde belirtildiği gibi birçok avantaja sahiptir. Ancak bu avantajlarının yanında bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Prefabrike yapıların dezavantajları aşağıda verilmiştir:

- Prefabrike yapılarda en önemli problem bağlantı bölgelerinin yatay yükler altındaki dayanımlarının kötü olması ve bu bölgelerin yatay yüklere maruz kaldığında ciddi hasarlar görmesidir.
- Özellikle bağlantı bölgeleri hava koşullarından etkilenir ve korozyona maruz kalabilir.
- Prefabrike elemanların üretimindeki hız prefabrikasyonun bir avantajı olsa da projelendirmede yapılacak hatalar geri dönüşü olmayan sonuçlar doğurabilmektedir.
- Prefabrike elemanların üretiminde sadece yapısal görevleri değil aynı zamanda nakliye, montaj gibi durumlarda düşünülerek bazı ilaveler yapılması gerekmektedir (Tümer, 2006).
- Özellikle prefabrikasyondaki makineleşme ve sanayileşmenin etkisi ile işçi ihtiyacı azalacak ve buna bağlı olarak işsizlik oranlarının artmasına neden olacaktır (Eşiyok, 2000).
- İlk yatırım maliyetinin yüksek olması ülke ekonomisinde yatırım yıllarında ekonomik sorunlara yol açacaktır.
- Üretim ve montaj ekipleri arasındaki koordinasyonun yetersiz olması durumunda sorunlar ortaya çıkmaktadır (Gedik, 2014).
- Mimari proje detaylarının elde edilip edilemeyeceğinin önceden belirlenmesi gerekmektedir. Prefabrikasyonda üretimin tipik olması mimari açıdan olumsuz etki yaratabilmektedir.
- Yangın dayanımı zayıftır.
- Deprem etkisi altında düşük performans göstermektedir.
- Yapı elemanlarının çok büyük olması durumunda depolama, nakliye gibi problemler ortaya çıkabilir.
- Karmaşık bir mimariye sahip yapılarda uygulanması ekonomik değildir. Bu tip yapılarda tekrar eden eleman sayısı azaldığı için üretim maliyetleri artacaktır.
- Nakliye, depolama ve montaj unsurları değerlendirilerek boyutlar belirlenmelidir. Bu durumlar dikkate alınınca prefabrike elemanların boyutları sınırlanmaktadır.

1.3. Prefabrike Taşıyıcı Elemanlar

Prefabrike elemanlar tamamen fabrika ortamında hazır kalıplar yardımı ile üretilen elemanlardır. Prefabrike elemanlar çok fazla çeşitlilik göstermektedir. Bunlardan bazıları Şekil 1.1’de verilmiştir.



Şekil 1.1. Prefabrike taşıyıcı elemanlar

Şekil 1.1’de verilen numaralandırmaya göre prefabrike elemanların isimleri aşağıda sıralanmıştır:

- 1- Temel
- 2- Soket
- 3- Deprem bağ hatlı
- 4- Perde altı hatlı
- 5- Perde
- 6- Kolon
- 7- Oluk kirişi
- 8- Çatı kirişi (Makas kirişi)
- 9- Sundurma kirişi
- 10- Kreyn kirişi
- 11- V kirişi
- 12- Aşık kirişi
- 13- Fener kirişi

- 14- Döşeme kirişi
- 15- Döşeme paneli
- 16- Dikey duvar paneli
- 17- Yatay duvar paneli
- 18- Mazgal

Prefabrike elemanlar genel olarak beş grupta toplanabilir. Bunlar çubuk elemanlar, düzlemsel elemanlar, kabuk elemanlar, bağ elemanları ve kompozit elemanlardır.

1.3.1. Çubuk elemanlar

Üçüncü boyutu diğer iki boyutuna göre daha büyük olan elemanlardır (Gedik, 2014). Çubuk elemanlar kirişler ve kolonlar olmak üzere iki gruba ayrılırlar.

1.3.1.1. Kirişler

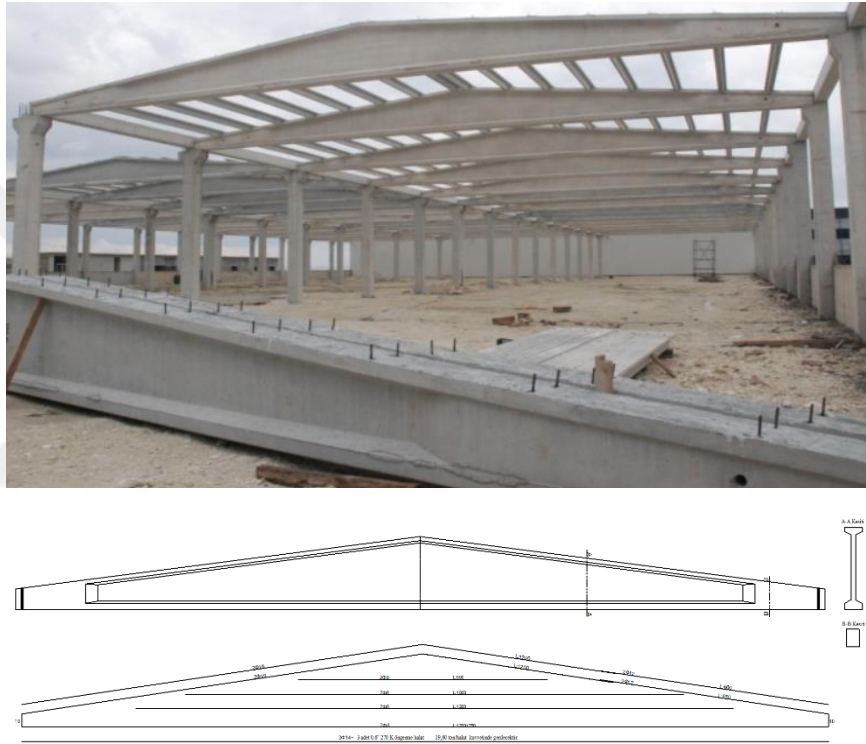
Taşıyıcı sistemde kolonlar arasındaki bağlantıları sağlayarak yük aktarımının devamlılığını, bir başka deyişle sürekliliğini sağlayan elemanlardır. Kirişlerin boyutlandırılması, gelen tasarım yüküne göre tasarım mühendisi tarafından yapılır. Hesaplar sırasında TS-500, TBDY-2018 ve TS-9967 yönetmelikleri kullanılmaktadır. Kirişlerin kirişlere ya da kirişlerin kolonlara bağlantıları mafsallı veya rijit olarak yapılabilmektedir. Konu ile ilgili TS-9967’de bağlantı türleri ve hesap esasları verilmiştir.

Kiriş kesitleri ve özellikleri kullanılacağı yere göre değişiklik göstermektedir. Genel olarak dikdörtgen kesit tercih edilirken çatıda, kaplama altında, döşeme altında değişik kesitler kullanılabilir.

1.3.1.1.1. Aşık kirişi

Yapının üstünü örten kaplamanın ve dışarıdan gelen rüzgar, kar gibi dış etkilerin çatı makas kirişlerine aktarılmasını sağlayan elemanlardır. Bu elemanlar genel olarak “T” kesitli tasarlanırlar. Makas kirişine oturacak uç kısımlarında ise kesit yüksekliği azaltılmaktadır. Bu nedenle TS-500 inceltmiş uç olarak tabir edilen bu bölgede ek güvenlik önlemleri getirmiştir (TS-500, 2000). Askı donatıları ile kesme güvenliğinin

bölgesinde eğilmeden dolayı oluşan normal gerilmeler maksimum olurken, kiriş kesitinin ortasında ise kesmeden dolayı oluşan kayma gerilmeleri maksimum olmaktadır. Bu nedenle makas kirişleri kritik kesme bölgesi dışında Şekil 1.3’de görüldüğü gibi “I” kesit olarak tasarlanmaktadır. Bu durum aynı zamanda kirişin zati ağırlığını da azaltmaktadır. Özellikle sanayi yapılarında büyük açıklıklar istenmesi durumunda kesit yükseklikleri çok fazla artmaktadır. Bunu önlemek için büyük açıklıkların geçileceği hollerde kullanılacak makas kirişleri öngerilmeli olarak imal edilebilmektedir. TS-9967 esaslarına göre öngerilmeli üretim hesapları yapılabilmektedir (TS-9967, 1992).



Şekil 1.3. Çatı kirişi (makas) kesiti ve detayları

1.3.1.1.3. Sundurma kirişi

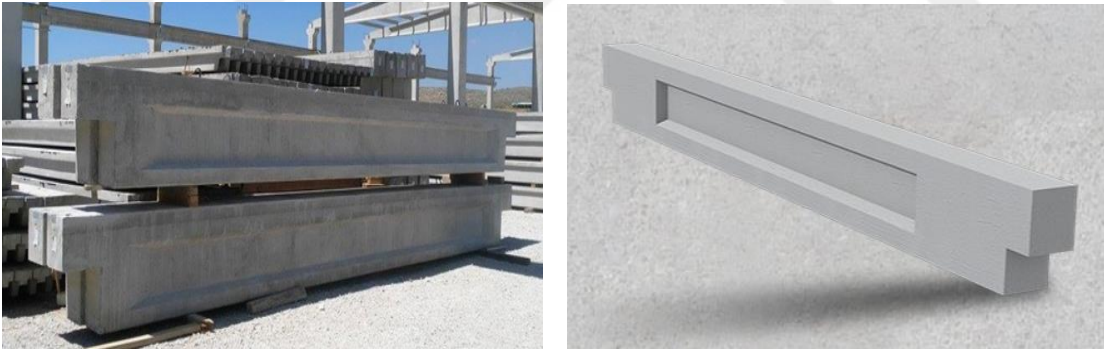
Büyük açıklıkların geçilmesinde ilave kiriş gibi kullanılan kirişlerdir. Şekil 1.4’te görüldüğü gibi çatı eğiminin oluşturulmasına yardımcı olur.



Şekil 1.4. Sundurma kirişi

1.3.1.1.4. Kreyin kirişi

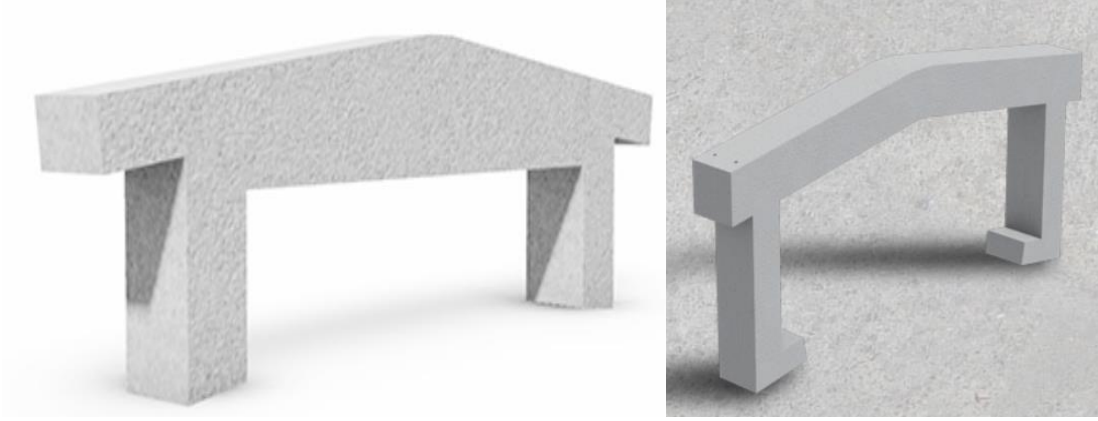
Kreyin vinçlerinin güzergahına yol olarak yerleştirilen kirişlerdir. Bu kirişler genelde öngerilmeli olarak imal edilirler. Kreyin kirişleri, vinçlerin taşıma kapasitesi, yavaşlama ivmesi (fren kabiliyeti) düşünülerek tasarlanır. Kreyin kirişlerinin detayları Şekil 1.5'te verilmiştir.



Şekil 1.5. Kreyin kirişi

1.3.1.1.5. Fener kirişi

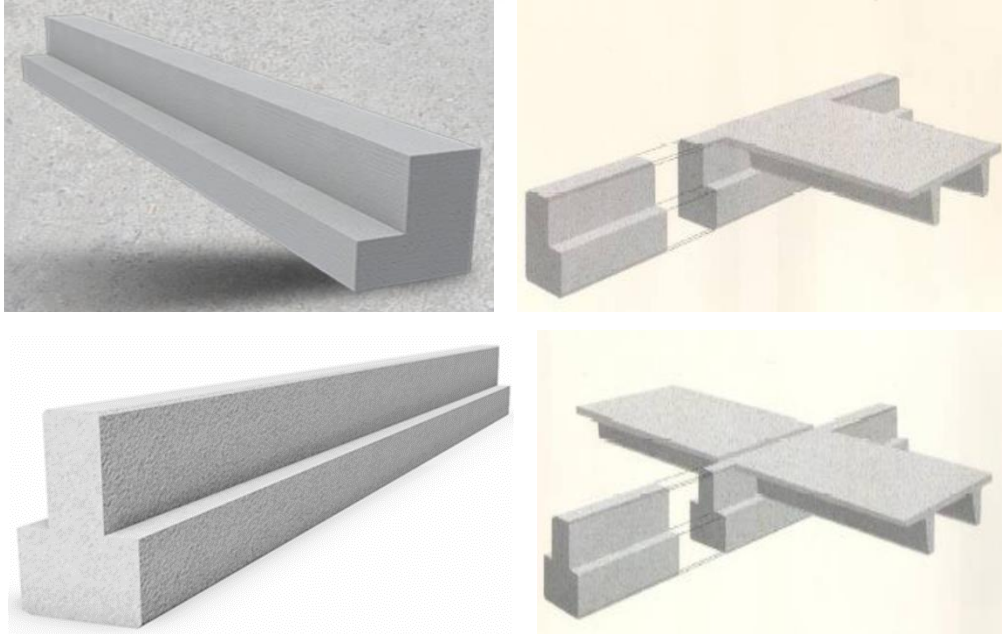
Çatıların mahya hizalarında mahya boyunca devam eden, yapının ışık ve hava almasını sağlayan boşlukların oluşturulmasında kullanılan kiriş türüdür. Şekil 1.6'da fener kirişi detayları verilmiştir.



Şekil 1.6. Fener kirişi

1.3.1.1.6. Döşeme kirişi

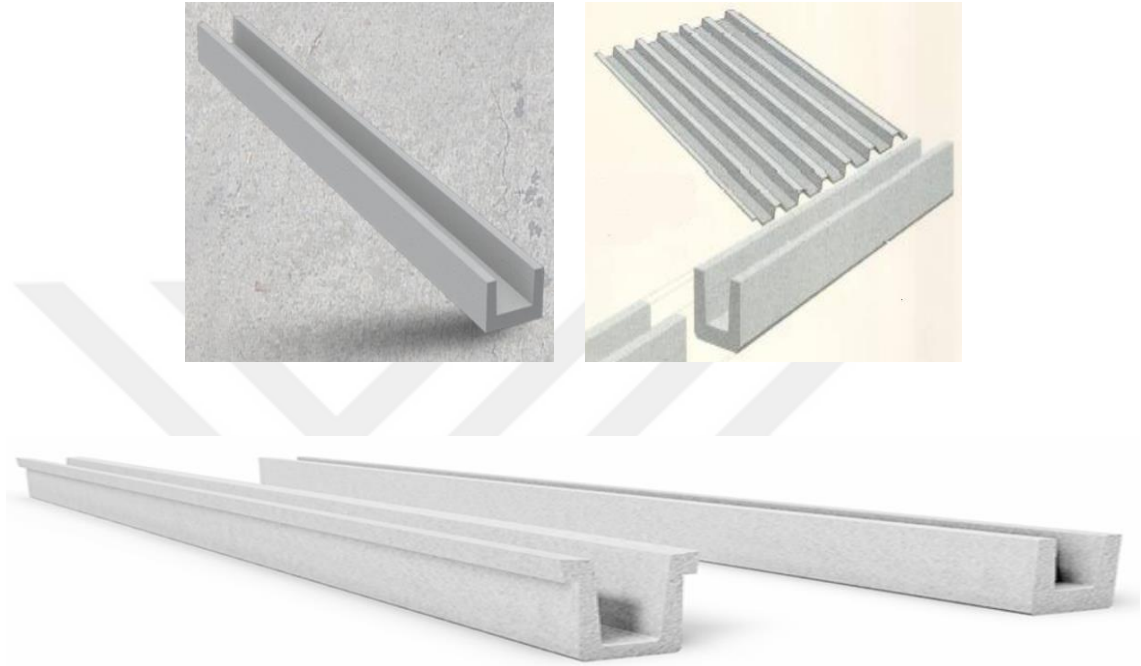
Döşeme kirişleri üzerine gelecek döşemelerin bağlantılarının yapıldığı kirişlerdir. Döşeme üzerindeki kalıcı ve hareketli yüklerin döşeme etrafındaki kirişlere dağıtılması ile elde edilen yüklere göre tasarlanır. Şekil 1.7’de görüldüğü gibi kenar kirişleri “L” kesitli, orta kirişler ters “T” kesitli olarak üretilir.



Şekil 1.7. Döşeme kirişi

1.3.1.1.7. Oluk kirişi

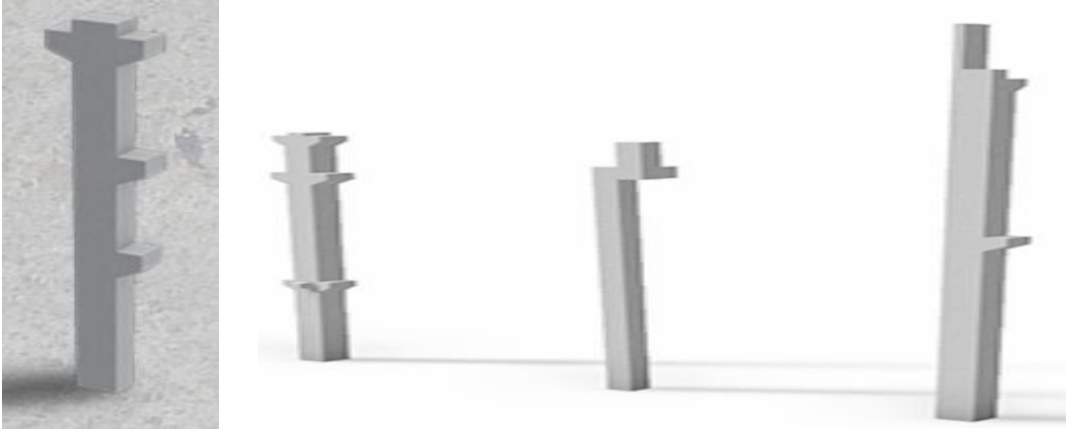
Makas kirişlerine dik yönde teşkil edilen oluk kirişleri yağmur suyunun drenajını sağlar. Aynı zamanda bu kirişler kenar aşığı görevini de yerine getirir. Şekil 1.8’de oluk kirişi ile ilgili detaylar verilmiştir.



Şekil 1.8. Oluk kirişi

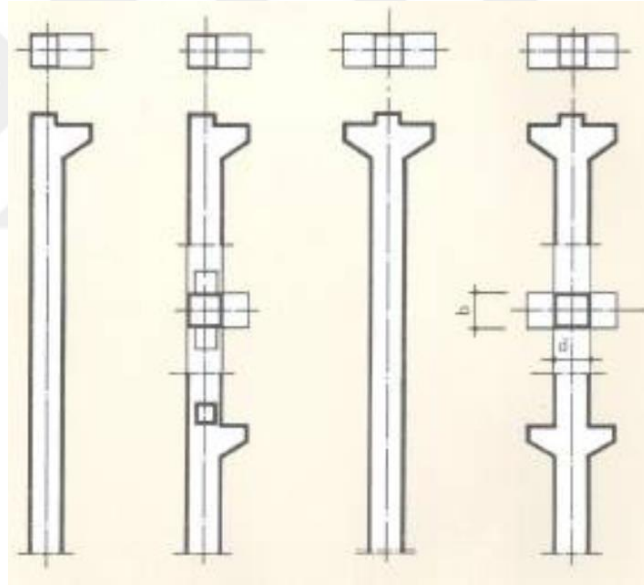
1.3.1.2. Kolonlar

Yapıya etki eden yüklerin güvenle temele aktarılmasını sağlayan elemanlardır. Kirişlerden aktarılan yüklerin yanı sıra rüzgar, deprem veya varsa yanal itkilerin temele aktarılmasını da sağlar. TS-500 ve TBDY-2018 esaslarına göre boyutlandırılmaları proje mühendisi tarafından yapılır (TS-500, 2000; TBDY-2018, 2018). Kolonların detayları Şekil 1.9’da verilmiştir.



Şekil 1.9. Kullanım yerine göre farklı kolon türleri

Kolonlarda Şekil 1.10’da görüldüğü gibi makas kirişi, kreyn kirişi, oluk kirişi montajı yapılabilmesi için inceltilmiş uçlu konsollar imal edilir.



Şekil 1.10. Kolonlarda inceltilmiş uçlar

Kolonların tasarımı sırasında minimum koşullar ile ilgili TS-9967’de de bilgiler verilmektedir. Uyulması gereken minimum koşullar Çizelge 1.1’de ve Çizelge 1.2’de verilmiştir.

Çizelge 1.1. Kolonlarda uyulması gereken minimum kesit koşulları (TS-9967, 1992)

Kesit Türü	En az kesit boyutu (cm)
Dikdörtgen ve benzeri kesitlerde	20
Profilli kesitlerde	
Başlık ve gövde kalınlığı	7
Başlık genişliği	20

Çizelge 1.2. Kolonlarda uyulması gereken minimum boyuna donatı koşulları (TS-9967, 1992)

Donatı Malzemesi	En az boyuna donatı çapı (mm)
S220	14
S420	12

Kolonların tasarımında mümkün olduğu kadar tek tip kesit kullanılması kalıp maliyetini azaltacak ve imalatın hızlanmasını sağlayacaktır.

1.3.2. Düzlemsel elemanlar

Düzlemsel elemanlar döşeme (yatay) ve duvar (düşey) düzlemsel elemanlar olarak iki gruba ayrılır.

1.3.2.1. Döşeme panelleri

Döşeme panelleri için TS-9967'de aşağıdaki türler tanımlanmıştır (TS-9967, 1992).

1. Bir hacmi tümüyle kaplayan döşeme panolarının kenarlarından kiriş veya duvar gibi taşıyıcı elemanlara oturtulmasıyla oluşturulabilir.
2. Bir doğrultuda çalışan, TT, fi, T ya da kaset veya benzeri bir biçimdeki nervürlü döşeme panolarının yan yana oturtulması ve birleştirilmesiyle oluşturulabilir.
3. Bir doğrultuda çalışan sabit kalınlıklı, dolu veya boşluklu döşeme panolarının yan yana oturtulması ve birleştirilmesiyle oluşturulabilir.
4. Genişliği en fazla 150 cm olan prefabrike ince döşeme (fligran) panolarının üzerine yerinde beton dökülmesiyle oluşturulabilir.
5. Prefabrike kirişlerin üzerine yerinde beton dökülmesiyle oluşturulabilir.
6. Bunlar dışında 2. ve 3. maddelerdeki döşeme elemanları üzerine yerinde beton dökülmesiyle oluşturulabilir.

Bunlar dışında bazı boyut koşulları da TS-9967’de tanımlanmıştır. Ayrıca hesap esaslarının TS-500’e uygun olacağı yönünde atıf yapılmıştır (TS-9967, 1992).

İki taraftan kiriş üzerine oturan “TT” döşemeleri Şekil 1.11’de verilmiştir.



Şekil 1.11. “TT” döşeme

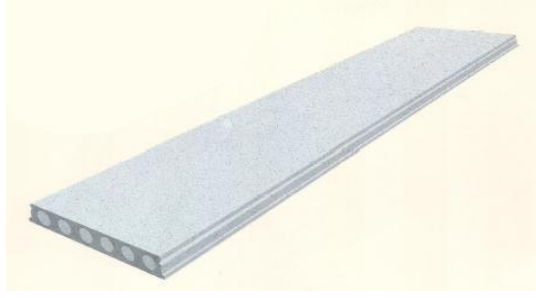
Bu tip döşemeler için hiçbir güvenlik önlemi alınmamış ise mesnet genişlikleri aşağıdaki gibi olmalıdır (TS-9967, 1992):

- Tuğla duvarlara oturan döşemelerde 100 mm
- Çelik ve beton mesnetlere oturan döşemelerde 75 mm

Eğer döşeme mesnetlerinde bir bağ çubuğu ile yerinde dökme beton ile bir bağ oluşturulmuşsa ve döşeme serbest açıklığı $l_n \leq 6.00$ m ise aşağıdaki koşullar geçerlidir (TS-9967, 1992):

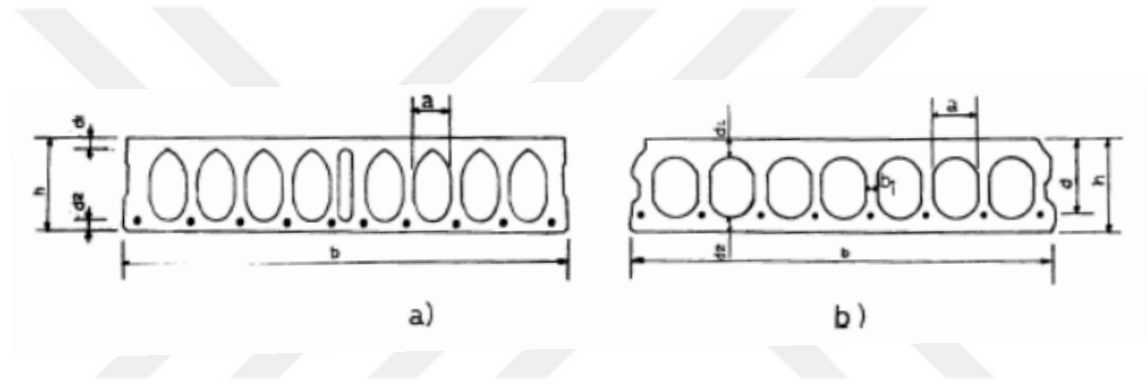
- Sürekli mesnetlerde 30 mm
- Karşılıklı iki kenarından serbestçe oturan döşemelerde 50 mm
- Üç veya dört kenarından serbestçe oturan döşemelerde 40 mm

Boşluklu döşemeler ise genel olarak döşeme içerisinde boşluk oluşturmak suretiyle döşeme üzerindeki kalıcı yükleri azaltarak daha az kalınlıklarla daha büyük açıklık geçmeye olanak sağlamaktadır. Bu döşemelerde öngerilme uygulaması da yapılmaktadır. Şekil 1.12’de boşluklu döşeme örneği verilmiştir.



Şekil 1.12. Boşluklu döşeme

Boşluklu döşemeler için hesap ayrıntıları detaylı bir şekilde TS-9967’de tanımlanmıştır. Minimum boyut koşulları ise Şekil 1.13’te verilen kesit üzerindeki notasyonlara bağlı olarak Çizelge 1.3’te verilmiştir.



Şekil 1.13. Boşluklu döşeme kesiti (TS-9967, 1992)

Çizelge 1.3. Boşluklu döşeme için minimum boyut koşulları (TS-9967, 1992)

h kalınlığı	Betonarme Döşemelerde	Öngerilmeli Beton Döşemelerde
Kat döşemelerinde	≥ 6 cm	≥ 8 cm
Üzerlerine onarım ve temizlik için çıkılan çatı döşemelerinde	≥ 5 cm	≥ 8 cm
d_1 kalınlığı	$\geq h/4$	≥ 1.8 cm
d_2 kalınlığı	$\geq h/5$	≥ 2 cm
$b_w (b_w = b - \Sigma a)$	$\geq b/3$	$\geq b/4$

1.3.2.2. Duvar panelleri

Düşey düzlemsel yapı elemanları olarak kabul edilen duvar panelleri işlevlerine göre aşağıdaki gibi belirtilmiştir (TS-9967, 1992):

1. Taşıyıcı duvarlar: Düşey yükleri taşıyan duvarlarla, yatay yükleri karşılayan ve eni kalınlığının 4 katından fazla olan panellerdir.

2. Rijitlik duvarları: Taşıyıcı duvarların burkulmasını engellemek amacıyla kullanılan duvarlardır.
3. Taşıyıcı olmayan duvarlar: Yalnız kendi ağırlıklarını taşıyan ve yüzeylerine etkiyen yatay yükleri taşıyıcı elemanlara aktaran duvarlardır.

Duvar paneli örneği Şekil 1.14'te verilmiştir.



Şekil 1.14. Duvar paneli

Duvar panelleri için minimum boyut koşulları Çizelge 1.4'te verilmiştir.

Çizelge 1.4. Duvar paneli minimum boyut koşulları (TS-9967, 1992)

Duvar Tipi	Boyut
Dolu kesitli panellerde	
➤ Tek katlı, yükü hafif binalarda	120 mm
➤ Diğerlerinde	150 mm veya $h_s/25$
Profilli veya boşluklu panellerde	
➤ En dar kesitte	50 mm veya $a/10$

* h_s = Panelin alt ve üst kenarındaki yatay mesnetler arasındaki uzaklık.

* a = En kısa panelin nervür veya giriş aralığı.

Duvar panellerinde kullanılacak minimum donatı koşulu ise Çizelge 1.5'te verilmiştir.

Çizelge 1.5. Duvar panelleri için minimum donatı koşulları (TS-9967, 1992)

Konum	S220-S420	S500
Alttan bina yüksekliğinin üçte birinde donatı yüzdesi	0.002	0.0015
Daha üst katlarda	0.0015	0.00133
Minimum donatı çapı		
➤ Düşeyde	10 mm	-
➤ Yatayda	6 mm	-
Maksimum donatı aralığı	25 cm	15 cm

1.3.3. Kabuk elemanlar

Kabuk elemanlar kalınlıkları diğer boyutlarına göre çok küçük olan eğrisel yüzeyli elemanlardır. Üzerine gelen yükleri yüzeylerine paralel olarak taşıyarak taşıyıcı görevlerini yerine getirirler (Tümer, 2006). Bir başka deyişle membran gerilmeleri oluştururlar. Kalınlıkları çok az olduğu için hafiftirler ve malzeme tasarrufu sağlarlar (Gedik, 2014). Kabuk elemanların üretiminde kullanılacak kalıpların maliyetinin çok yüksek olmasından dolayı kabuk elemanlar oldukça pahalı ürünlerdir. Bu yüzden bir ülkede kabuk eleman kullanımının fazla olması o ülkenin refah seviyesinin yüksek olduğunu göstermektedir (Ayaydın, 1989).

1.3.4. Bağ elemanları

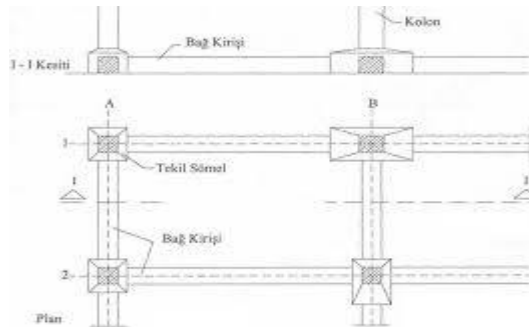
Prefabrike yapılarda gerektiğinde monolitik davranışı sağlamak için yatay ve dikey bağ elemanları oluşturmak gerekmektedir.

1.3.4.1. Yatay bağ hatılları

Yatay bağ hatılları;

- Birden fazla panelden oluşan kat döşemesinin çevresinde,
- Yatay yük taşıyan perdelerin çevresinde,
- Panelli sistemlerde, taşıyıcı duvar ve rijitlik duvarları, çerçeve sistemlerde taşıyıcı ve rijitlik sağlayan kirişler üzerinde kullanılmalıdır (TS-9967, 1992).

Yatay bağ hatılları tekil temellerin birbirine bağlanması amacıyla Şekil 1.15'te görüldüğü gibi deprem bağ hatılı olarak da kullanılmaktadır.



Şekil 1.15. Deprem bağ hatılı

1.3.4.2. Yatay bağ çubukları

Döşeme elemanlarını mesnetlere bağlamak için kullanılırlar. Bu elemanlar üzerine gelen çekme kuvvetini doğrudan, kesme kuvvetini ise kesme sürtünmesi ile mesnetlere aktarırlar (TS-9967, 1992).

1.3.4.3. Düşey bağ hatılları

Yapıya etki edebilecek düşey çekme kuvvetlerini temele aktarırlar. Pencere, kapı gibi boşlukların etrafında veya panellerin kenarlarında alt ve üst elemanlardan çıkan filizler sayesinde bağlanırlar (TS-9967, 1992).

1.4. Prefabrike Yapıların Sınıflandırılması

Prefabrike sistemleri çok çeşitli sınıflara ayırmak mümkündür. Bunlardan bazıları aşağıdaki gibidir (Ayaydın, 1989).

1.4.1. Kullanılan malzemeye göre sınıflandırması

Kullanılan malzeme cinsine göre toplamda üç sınıfa ayrılırlar:

- Prefabrike betonarme
- Prefabrike ahşap
- Prefabrike çelik

1.4.2. Yapı ağırlığına göre sınıflandırması

Yapıda kullanılan malzemenin özgül ağırlığının düşük ya da yüksek olmasına göre sınıflandırılabilir.

1.4.2.1. Hafif prefabrike yapılar

Hafif beton ya da plastik, çelik gibi malzemeler kullanıldığı için yapı ağırlığının daha düşük olduğu yapılardır. Bu tip yapılarda prefabrike elemanlar genelde insan gücü ile taşınabilecek kadar hafif olur.

1.4.2.2. Ağır prefabrike yapılar

Standart beton kullanımı ile elde edilen yapılar bu sınıfa girer. Bu sınıfta üretilen elemanlar genelde insan gücü ile taşınamayacak kadar ağır olur. Şantiye sahasına treyler ile taşınır. Montajlarında ise vinçler kullanılır.

1.4.3. Üretim ve pazarlamaya göre sınıflandırılması

Üretim ve pazarlamaya göre üç grupta sınıflandırma yapılabilir.

1.4.3.1. Kapalı sistemler

Bir yapıya özel olarak yapı elemanlarının üretildiği yapı türüdür. Bu tür yapılar belirli bir büyüklüğün üzerinde değilse prefabrike üretim sistemi ekonomik olma özelliğini kaybedecektir. Böyle yapıların yapılması mümkün olmasına rağmen bir yapı için özel olarak üretim tekniği geliştirilerek özel bir tasarım ve özel bir montaj yöntemi geliştirilmesi gerekecektir.

1.4.3.2. Yarı Kapalı Sistemler

Yapının belirli bir fonksiyona hizmet eden bileşenlerinin kendi içlerinde “kapalı” olmalarına rağmen, diğer fonksiyonel elemanların yerinde yapılmasına veya başka üretim merkezlerinin piyasaya sundukları bileşenlerle tamamlanmasına imkân verildiği sistemlerdir. Bu sistemde açık prefabrikasyonda kullanılan sistemlerle uyumluluk söz konusudur. Bu sayede açık prefabrikasyona benzemektedir. Ancak belirli bir firmanın teknolojisine ve üretim biçimine bağımlılık yönünden ise kapalı sistemleri andırmaktadır.

1.4.3.3. Açık Sistemler

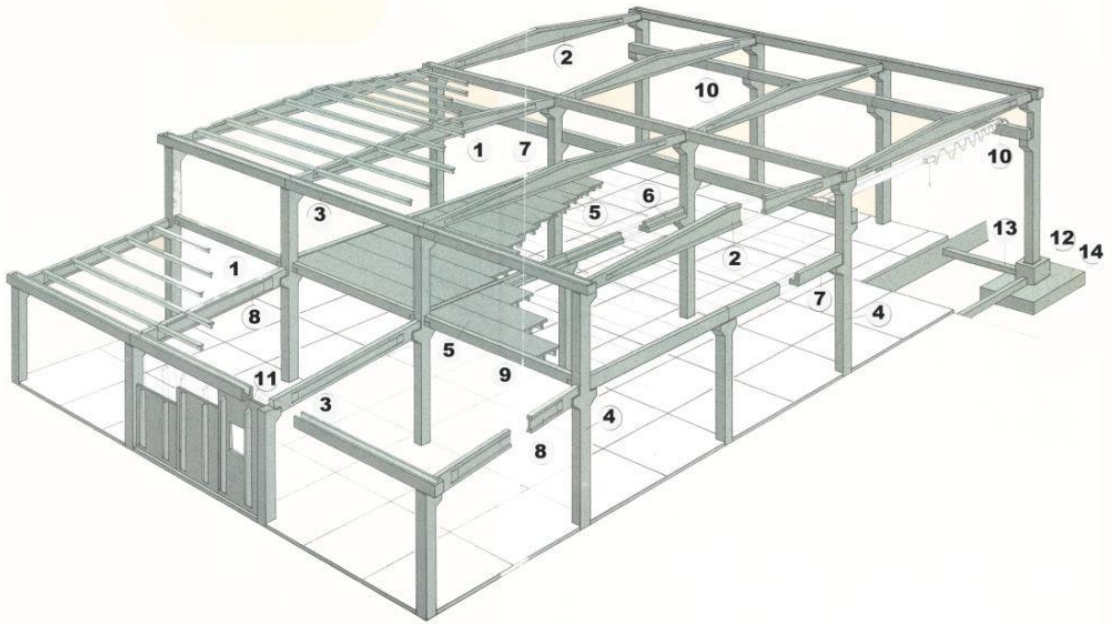
Yapının piyasada bulunabilen ve birbirinden bağımsız üreticiler tarafından üretilen elemanların şantiyede bir araya getirilerek inşa edilebildiği yapı türüdür. Bu tip yapı elemanları üretici firmada listeler halinde bulunur. Fiyatı projeye bağlı değildir. Eleman ya stokta hazır olarak bulunur ya da kolaylıkla üretilebilir. Burada yapı sahibinin firmaya olan bağımlılığı azalmakta bu sayede daha ekonomik fiyatlara inşa işlemi gerçekleştirilebilmektedir.

1.4.4. Taşıyıcı sisteme göre sınıflandırılması

Prefabrike elemanlar kullanılarak, çok çeşitli taşıyıcı sistemler kurmak mümkündür. Bu sistemler kullanılan prefabrike elemanların cinsine, birleştirme tarzına veya davranışına göre çeşitli sınıflara ayrılabilirler.

1.4.4.1. Çerçeve sistemler

Çerçeve sistemlerde yapıya etki edecek kuvvetler kolonlar ve kirişler yardımıyla zemine aktarılır. Bu sistemlerde taşıyıcı sistemler ile bölme duvarlar birbirinden ayrıdır. Bölme duvarlar taşıyıcı olarak düşünülmez. Ancak yatay kuvvet taşıma gereksinimi duyulduğunda bölücü elemanlar yerine taşıyıcı panellerde kullanılabilir. Genel olarak taşıyıcı sistemde panellerin olmaması nedeniyle endüstri yapılarında tercih edilmektedirler. Çünkü endüstri yapıların bölücü duvar ihtiyacı daha azdır. Tipik bir çerçeve sistemi Şekil 1.16'da verilmiştir.



Şekil 1.16. Tipik bir prefabrike çerçeve sistem

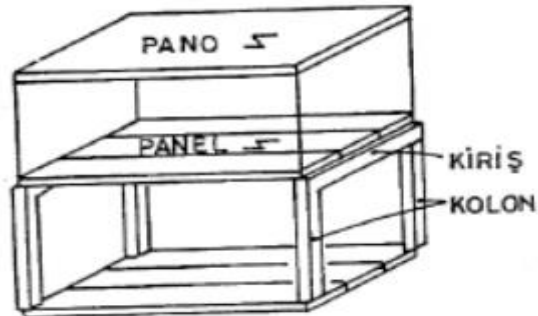
Şekil 1.16'da verilen çerçeve sistemini oluşturan yapı elemanları aşağıda sıralanmıştır:

- 1- Aşık
- 2- Çatı makası

- 3- Oluk kirişi
- 4- Kolon
- 5- Çift T kirişi
- 6- Ters T kirişi
- 7- L kirişi
- 8- I kirişi
- 9- Hatıl kirişi
- 10- Kreyn kirişi
- 11- Çift T cephe paneli
- 12- Soket
- 13- Bağ hatılı
- 14- Temel

1.4.4.1.1. Kolon-kiriş sistemler

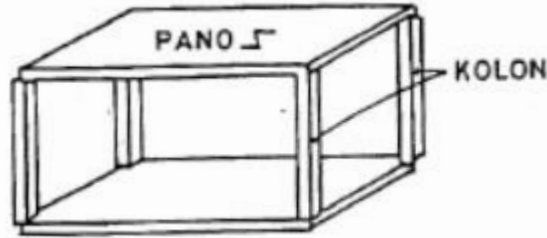
Prefabrike kolon ve kirişlerden oluşan, bağlantıları mafsallı ya da rijit olarak oluşturulabilen sistemlerdir. Bu sistemlerde gerekli olduğunda yatay yükleri alması için perde ve prefabrike duvar panelleri oluşturulabilir. Prefabrike çok katlı çerçeve sistemlerde, endüstriyel ve konut türü yapılarda yaygın olarak kullanılır. Bölme duvarları az olan endüstriyel yapılarda bu sistemin kullanımı daha etkilidir. Çubuk elemanlardan meydana gelen çerçeve sistemlerde, birleşimler önemli olmayan bölgelerde düzenlenerek bir avantaj elde edilebilmektedir. Şekil 1.17’de bir kolon-kiriş sistemi örneği verilmiştir.



Şekil 1.17. Kolon-kiriş sistemi

1.4.4.1.2. Kolon-döşeme sistemler

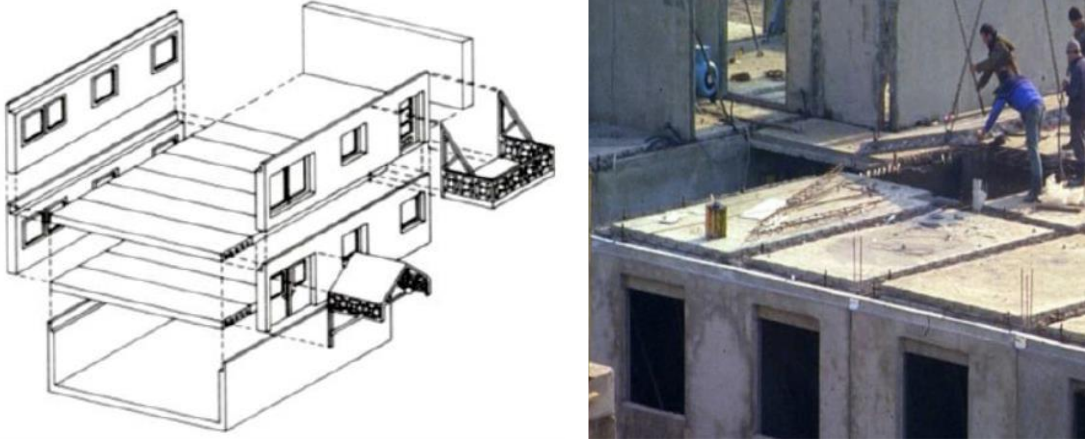
Döşemelerin doğrudan düşey taşıyıcı elemanlar olan kolonlar, perdeler veya duvar panellerine oturduğu sistemlerdir. Bu sistemde döşemelerin rijit diyafram olarak yatay yükleri düşey taşıyıcı elemanlara aktarmaları çok önemlidir. Özel yapım yöntemleri gerektiren bir sistemdir. Şekil 1.18’de kolon-döşeme sistemi örneği verilmiştir.



Şekil 1.18. Kolon-döşeme sistemi

1.4.4.2. Taşıyıcı duvarlı sistemler

Taşıyıcı duvarlı sistemler daha çok yüksek katlı konut türü yapılarda kullanılır. Sistemin ana taşıyıcı elemanları duvar panelleridir. Panellerin birleşiminin kat hizalarında yapılması daha uygun olur. Taşıyıcı panellerin düşeyde bir başka panel ile birleşmesi yatayda ise diğer bir panel ile birleşmesi sayesinde yaşam alanları (odalar) oluşur. Bu tip taşıyıcı sistemler ülkemizde de yaygın olarak kullanılmaktadır. Yatay panel elemanlar en boy oranlarına göre tek yönlü ya da çift yönlü çalışan döşemeleri oluşturur. Döşeme elemanları birbirleri ile çok iyi bir şekilde bağlanmalıdır. Bu sayede bir diyafram gibi davranarak yatay yüklerin aktarılmasını da sağlar. Tipik bir taşıyıcı duvarlı sistem Şekil 1.19’da verilmiştir.

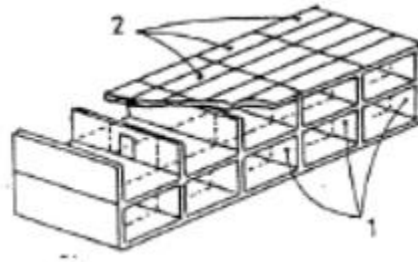


Şekil 1.19. Taşıyıcı duvarlı sistemler (Uçar ve Barka, 2011)

Taşıyıcı duvarlı sistemler genel olarak 3 şekilde uygulanmaktadır.

1.4.4.2.1. Enine duvarlı sistemler

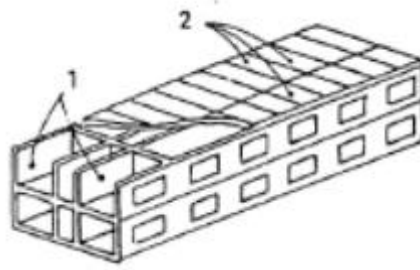
Yapının uzun doğrultusuna dik yönde düzenlenen boşluklu veya boşluksuz panellerden oluşmuştur. Bu paneller tek yönde yük taşıyan döşeme panellerinin mesnetlik ederek düşey yükleri taşıdığı gibi, kendi doğrultusundaki yatay deprem kuvvetlerini de taşıyacak şekilde tasarlanır. Yapının uzun doğrultusuna paralel olarak düzenlenen panellerle elde edilen taşıyıcı duvarlar ise sadece yatay kuvvetler alabilmektedir. Çünkü düşey yükler dik yöndeki paneller tarafından taşınmaktadır. Şekil 1.20’de enine duvarlı sistem örneği verilmiştir.



Şekil 1.20. Enine duvarlı sistem (1-duvar elemanı;2-döşeme elemanı) (Ayaydın, 1981)

1.4.4.2.2. Boyuna duvarlı sistemler

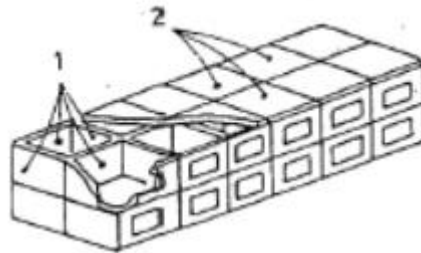
Kısa yönde duvarlı sistemlerin tersine yapının uzun doğrultusuna paralel olarak düzenlenen paneller, döşeme panellerinden aktarılan düşey yüklerle, yatay deprem kuvvetlerini taşımaktadır. Buna dik yöndeki duvarlar ise sadece yatay kuvvetlerin etkisi altındadır. Şekil 1.21’de boyuna duvarlı bir sistem örneği verilmiştir.



Şekil 1.21. Boyuna duvarlı sistem (1-duvar elemanı;2-döşeme elemanı) (Ayaydın, 1981)

1.4.4.2.3. İki yönde duvarlı sistemler

Bu tip sistemlerde paneller yapının uzun doğrultusuna paralel ve dik olmak üzere her iki yönde de düzenlenir. Paneller, çift yönde yük taşıyan döşeme elemanlarından aktarılan düşey yükleri ve kendi yönündeki deprem kuvvetlerini taşıyacak şekilde tasarlanır. Şekil 1.22’de iki yönde duvarlı sistem örneği verilmiştir.



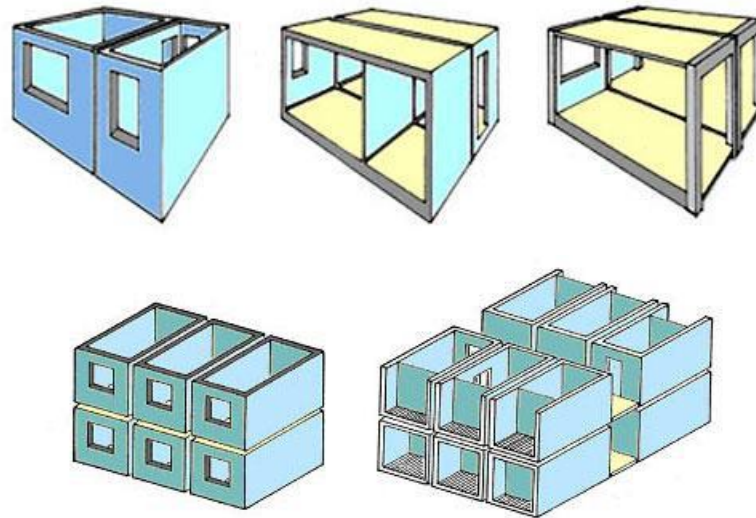
Şekil 1.22. İki yönde duvarlı sistem (1-duvar elemanı;2-döşeme elemanı) (Ayaydın, 1981)

1.4.4.3. Hücre sistemler

Prefabrikasyonun en ileri seviyelerinden olan hücre sistemlerde taşıyıcı paneller ve döşemeler ayrı ayrı üretilip şantiyede montajının yapılması yerine monolitik olarak

oluşturulması esasına dayanır (Gedik, 2014). Üretilen her bir hücre için tesisat armatürleri, kapı, pencere, cam, duvar ve döşeme kaplamaları gibi bütün işçilikleri de üretim aşamasında yapıldıktan sonra şantiyeye sevk edilir (TS-9967, 1992). Bu sayede sistem çok daha hızlı ilerler. Hücre sistemler üst üste veya yan yana yerleştirilerek özel bağlantı yöntemleri ile birlikte çalışacak şekilde birleştirilir.

Bu sistem endüstrileşmeyi artırmak ve şantiyedeki yapılacak işleri en aza indirmek amacı ile işlemleri tamamen bitmiş bir prefabrikasyon sistemidir. Hücre sistemde üretilen elemanlar genel olarak diğer sistemlerden çok daha ağırdır. Bu nedenle nakliye ve vinç kaldırma problemleri yaşanmaması için çok iyi tasarlanmalıdır. Ayrıca bu sistemde eleman ağırlıklarının fazlalığından dolayı elemanın yapı içerisinde alacağı yükten daha fazlası montaj aşamasına kadar olan nakliye ve vinç ile kaldırma işlemlerinde oluşmaktadır. Bu nedenle nakliye ve vinçle kaldırma işlemlerinde çok dikkat edilmesi gerekmektedir. Üretim alanı ile şantiye sahasının birbirine uzaklığı ekonomik açıdan problemler yaratabilecektir. Şekil 1.23'te hücre sistem örneği verilmiştir.



Şekil 1.23. Hücre sistem

Sistem içerisinde kullanılan döşemeler, boyutlarına göre tek veya çift yönlü olarak çalışmakta ve deprem kuvvetleri her iki yöndeki duvarlar yardımı ile temel sistemine aktarılmaktadır. Bu sistem genel anlamı ile Şekil 1.24'te görüldüğü gibi çok katlı yapılarda da başarı ile uygulanabilmektedir.

Hücre sistemlerde kutular arasında oluşan yatay derzlerde, kutular arasında yatay yükleri aktarmanın tek yolu sürtünmedir. Uygulamada kutu elemanlar köşe noktalarından

birbirine lamalar yardımıyla kaynaklanır. Kutu sistemlerin deprem anında yatay birleşim derzlerinin kaymaması için kutu elemanlar köşelerinden geçen son gerilme elemanları ile birbirlerine bağlanmalıdır. Bu gerilme çubukları kutuların cidarları tarafından sarıldıkları için üzerinde burkulma etkisi oluşmamaktadır. Gerilme çubukları basınç etkisi yanında deprem sırasında çekme gerilmesine de maruz kalmaktadır. Bu çubuklarda deprem sonrası aynı şekillerinde kalabilmesi için aşırı deformasyon olmamalıdır. Bu yüzden hesapları sırasında akma gerilmesinin altında kalacak şekilde boyutlandırması yapılmalıdır (Tümer, 2006).



Şekil 1.24. Çok katlı hücre sistemler (Uçar ve Barka, 2011)

1.4.4.4. Karma sistemler

Karma sistemler diğer üç yapı sisteminin tamamının veya bir kısmının bir araya gelmesi ile oluşan sistemlerdir. Bu sistem türünde yapının bazı taşıyıcı elemanları kolon ve kirişlerden oluşurken bazı taşıyıcı elemanları deprem gibi yatay yükleri alması için panellerden oluşur veya bazı odaları banyo, tuvalet, asansör boşluğu gibi zaman tasarrufu amacı ile tamamen fabrikada tüm işlemleri yapılarak hücre sisteminde olabilmektedir.

1.5. Prefabrike Elemanların Birleşim Türleri

Prefabrike elemanlar arasında veya prefabrike elemanlarla yerinde dökme betonarme elemanlar arasındaki birleşimlerin ve mesnetlerin projelendirilmesinde aşağıdaki hususlara dikkat edilmelidir (TS-9967, 1992):

1. Birleşim veya mesnet, etkisi altındaki normal kuvvet, kesme kuvveti, eğilme ve burulma momenti gibi zorlamaları güvenlikle birleşen elemanların birinden ötekine aktarabilmelidir.
2. Birleşim veya mesnetteki dönme, yer değiştirme ve deformasyonlarla, birleşen elemanların birbirlerine göre deformasyonları kabul edilebilir sınırlar içinde olmalıdır.
3. Birleşimin süneklik katsayısı en az dört olmalıdır. Bu madde elastik deformasyon sınırındaki birim deformasyonun göçme anındaki birim deformasyona oranını ifade etmektedir (Gedik, 2014).
4. Birleşim ve mesnet hesaplarında rötre, sıcaklık değişimi ve sünme etkileri hesaba katılmalı ve bu hesaplar TS-500'deki esaslara uygun olarak yapılmalıdır.
5. Birleşim ve mesnetlerdeki elemanların tolerans sınırları içinde farklı olabilecekleri göz önüne alınmalıdır.
6. Birleşim ve mesnetler kolayca kontrol edilebilmeli ve gerekiyorsa düzeltme yapılabilmelidir.
7. Birleşim ve mesnetler korozyona karşı korunmalı ve yangına dayanıklı olmalıdır.

1.5.1. Birleşimlerde yük katsayıları

Birleşimlerde güvenlik oldukça önemlidir. Çünkü yapının birleşimlerden hasar alması yapı elemanlarının görevini yerine getiremeden göçme modunun oluşmasına neden olacaktır. Bunu önlemek için aşağıdaki esaslara dikkat edilmelidir (TS-9967, 1992):

- Birleşimlere gelen, katsayıyla artırılmış “hesap yükü” ayrıca en az 4/3 değerindeki ek katsayı ile artırılmalıdır.
- Neopren gibi mesnet ara malzemelerinin hesabında katsayıyla arttırılmamış yükler kullanılmalıdır.

- Korniyer, kaynak gibi malzemelerle gerçekleştirilen bazı özel birleşimlerde malzeme katsayıları da artırılmalıdır.
- Eğilme etkisindeki elemanların mesnetlerinde yatay yük varsa ve bu yükün değeri hesapla bulunmamışsa, düşey yükün en az 1/10'u yatay yük olarak hesaba katılabilir.

1.5.2. Çubuk eleman birleşimleri

Kolon kiriş gibi elemanların birleşimleri ve mesnetlenmeleri çubuk eleman birleşim esaslarına göre yapılmaktadır.

1.5.2.1. Basınç birleşimleri

Bir prefabrike elemandan diğerine veya yerinde dökme betonarme elemana aktarılan kuvvetin esas olarak basınç kuvveti olduğu birleşimlerdir. Bu tip birleşimler yatay prefabrike elemanların mesnetlenmesinde ve kolonların taşıyıcı duvarlarla mesnetlenmesinde kullanılır. Basınç birleşimlerinde gerilme yığılmasını önlemek ve basıncın istenilen bölgeye aktarılmasını sağlamak esas amaçtır (Gedik, 2014). Bu birleşimler için;

- Basınç kuvveti ile birlikte birleşime genellikle düzleminde etkiyen ikinci derecedeki kuvvetlerin etkisi,
- Birleşimin boyutuyla birlikte imalat ve montaj toleransları, göz önüne alınmalıdır (TS-9967, 1992).

Basınç birleşimlerinde iki elemanın temas yüzeyi arasına bir malzeme koyulması önerilmektedir. Bu malzeme sayesinde basınç kuvveti istenilen bölgeye yayılacaktır. Ancak ara malzeme kullanmadan birleşim yapmak da mümkündür.

1.5.2.1.1. Ara malzemesiz basınç birleşimleri

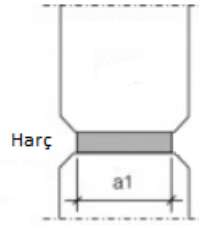
Ara malzeme kullanılmadan yapılan birleşimlerde İki elemanın yüzeyi birbirine doğrudan temas eder. Bu tip birleşimler;

- Aktarılan mesnet kuvvetinin yarattığı gerilmenin 0.1 N/mm^2 'den küçük olması durumunda,

- Mesnette eğilme dönmesi ve ötelenmelerinin ihmal edilebilir boyutta olması durumunda,
- Oturma yüzeylerinin düzlemsel ve temasın tam olması durumunda,
- Çatı plaklarının aşıklara ve aşıkların makaslara oturtulması durumunda kullanılmaktadır (TS-9967, 1992).

1.5.2.1.2. Ara malzemesi harç olan basınç birleşimleri

Bu birleşim türünde iki elemanın temas yüzeyleri arasına harç koyularak sınırlı düzeyde yatay kuvvet taşıma kapasitesi elde edilmiş olur. Yine de sistem genel anlamıyla basınç kuvveti aktarmak için kullanılmalıdır. Bu çeşit birleşimlerde harç için ara malzeme kalınlığı (d), $10 \text{ mm} \leq d \leq 40 \text{ mm}$ olmalıdır (TS-9967, 1992). Ayrıca birleşim güvenliği için mesnete etkiyecek basınç kuvveti mesnetin taşıyabileceği basınç kuvvetinden küçük olmalıdır. Ara malzemesi harç olan basınç birleşimi örneği Şekil 1.25'te verilmiştir.



Şekil 1.25. Ara malzemesi harç olan basınç birleşimi

1.5.2.1.3. Elastomerik ara malzemeli birleşimler

Elastomerik ara malzemeli basınç birleşimleri yatay ve düşey yer değiştirme ve dönmeye sınırlı ölçüde imkân veren birleşimlerdir. Dikdörtgen prizma, silindir veya şerit şeklinde olan elastomerik malzemeler, taşıdıkları etkilerin boyutuna göre teçhizatsız veya teçhizatlı olarak teşkil edilebilirler (TS-9967, 1992). Genel olarak tabii kauçuk, kloropen plakalar ve çelik plakaların yüksek ısı ve basınç altında birleştirilmesi ile oluşur. Elastomerik ara malzemeli birleşim örneği Şekil 1.26'da verilmiştir.



Şekil 1.26. Elastomerik ara malzemeli birleşim

1.5.2.2. Mafsallı birleşimler

Bu tür birleşimde iki eleman arasında normal kuvvet ve kesme kuvveti aktarılırken eğilme momenti aktarımı gerçekleşmez. Bu yüzden mafsallı birleşimler moment sıfır noktalarında yapılmalıdır. Mafsallı bağlantıların kullanılacağı çok katlı yapılarda perdelerin olması gerekmektedir. Yatay konumlu taşıyıcı elemanların başka bir elemana bağlantısız mesnetlenmemesi gerekir. Bu durumda yatay taşıyıcı elemanların oturdukları mesnetlerde oluşacak sürtünme kuvveti göz ardı edilir. Mafsallı birleşim yapılması durumunda birleşimde plaka kullanılmayacaksa en az 10 mm kalınlığında elastomer yastık kullanılması gerekir. Mafsallı bağlantılarda devrilme stabilitesi büyük önem taşımaktadır. Bu konuda gerekli hesapların yapılması gerekmektedir. Mafsallı birleşim örnekleri Şekil 1.27’de verilmiştir.



Şekil 1.27. Mafsallı birleşimler

1.5.3. Moment aktarabilen birleşimler

Bu birleşimlerde monolitik birleşime yakın sonuçlar elde etmek esas amaçtır. Endüstrileşmenin etkisi ile giderek yaygınlaşan prefabrikasyon sistemi uzun yıllar tek katlı yapılarda ve basit birleşim detaylarında uygulanmıştır. Çok katlı yapılarda prefabrikasyon sistemi ise moment aktarabilen sistemlerin gelişmesi ile mümkün olmaya başlamıştır (Ersoy, 1997). Deprem bölgelerinde yapılacak prefabrike sistemler için de moment aktaran sistemler daha uygun olmaktadır. Bu yüzden ülkemizde deprem bölgelerinde yapılacak prefabrike yapılarda mafsallı birleşimlerin kullanılabilmesi şartı ancak deprem hareketinin yerinde dökme betonarme perdeler ile karşılanabilmesi durumunda uygun olmaktadır (TDY-2007, 2007).

Moment aktarabilen birleşim bölgelerinin tasarım ilkeleri aşağıdaki gibidir (ACI-550.2R-13, 2013):

- Yapılacak bağlantı sistem ile ilişkilendirilmeli,
- Eksantrisite oluşmasından kaçınılmalı,
- Yapılacak birleşimin yeterliliğine bakılırken kapasite tasarımı kullanılmalı,
- Sistemde yükün izlediği yol sağlanmalı,
- Yapı elemanlarında süneklik sağlanmalı,
- İnşa edilebilir yani uygulanabilir bir birleşim seçilmelidir.

1.5.3.1. Kuru (kaynaklı-bulonlu) birleşimler

Kaynaklı birleşimler şantiye sahasında uygulanabilirlikleri ile tercih edilmektedir. Bu tür birleşimler genel olarak üretim sırasında bırakılan çelik parçanın şantiyede montaj esnasında bir diğer elemandaki çelik parçaya kaynatılması suretiyle elde edilir. Ayrıca oluşturulan bulonların cıvata ile sıkılması suretiyle de elde edilebilir. Özellikle bulonlu sistemde bulonun plastik deformasyon seviyesine ulaşması ya da cıvatanın bulondan sıyrılması gibi durumlar sistemin en zayıf ve tehlikeli yanlarıdır. Bu birleşim sistemi üretim sırasında zorluklar getiren donatı filizleri gerektirmediği için birleşimin bekleme olmaksızın kuvvet aktarabilir hale gelmesinden dolayı avantajlıdır. Ancak korozyon tehlikesi, montaj sırasında kontrol güçlüğü, daha hassas bir üretim ve montaj gerektirmesi, derzlerin harç ile doldurulması zorunluluğu gibi dezavantajlara sahiptir.

1.5.3.2. Islak birleşimler

Genellikle yerinde birleşim bölgesine beton doldurulması ile elde edilen birleşim türüdür. Bu bağlantı tipi Avrupa'nın birçok ülkesinde hala geçerliliğini korumaktadır. Geleneksel yapım yöntemine yakın bir çözüm sunduğu için tercih edilmektedir. Ses yalıtımı ve yangın dayanımı yüksek bir birleşim türüdür. Ölçü sapmalarında tolerans sağlamaktadır. Korozyon sorunu yaşanmamaktadır. Bu sistem de dolgu için kullanılan betonun dayanım kazanmasını beklemek, eleman ile dolgu betonu arasında soğuk derz oluşması ve bileşen yüzeylerinin kirliliğinden kaynaklı kenetlenmenin zayıflaması dezavantajlardan bazılarıdır.

1.5.4. Birleşimi yapılan elemanlara göre birleşim türleri

Prefabrike yapı sistemlerinde en büyük problemlerden biri birleşim bölgelerinin deprem sırasında hasar alması sonucu sünek davranışın tam olarak sağlanamamasıdır. Birleşim bölgelerinde monolitik elemanlardaki gibi bir davranış elde etmek için birçok birleşim yöntemi geliştirilmiştir. Bu birleşim yöntemleri öncelikli olarak birleşimin kapasitesinin eleman kapasitesinin üstünde olması amacı ile tasarlanmaktadır. Bu sayede birleşim bölgesi hasar almadan elemanda hasar oluşmakta ve plastik bir davranış elde edilerek yapının enerji sönmleme kapasitesi artırılmaktadır. Birleşim türleri hangi eleman arasında yapılacağına göre de farklılıklar göstermektedir. Bu bölümde temel-kolon, kolon-kolon, kolon-kiriş gibi birleşim türleri ele alınmıştır.

1.5.4.1. Temel-kolon birleşimleri

Ülkemizde temel üzerine imal edilen yuvaya kolonun oturtulması şeklinde tanımlanabilen soketli birleşim kullanılmaktadır. Yuvalı sistemlerde temele aktarılacak kesme kuvveti, kolon temel arasında sürtünme ve kolon etrafındaki yuvanın kesme kapasitesi sayesinde taşınmaktadır. Eğilme momenti de yine temel yuvası tarafından taşınmaktadır. Bu nedenle temel yuvasının yatay kuvvetlere ve momente karşı yeterli dayanımda olması çok önemlidir. Kolonun yuva içerisinde tam ankastre olarak çalışmasının sağlanabilmesi için yuva derinliğinin en az kolon uzun kenarının 1.6 katı olması gerekmektedir. Yuvalı temele yerleştirilen kolonun etrafına beton doldurularak

mukavemet alması beklenir. Birleşim montajdan sonra hemen yük aktarır hale gelmez. Yuvalı temel örneği Şekil 1.28’de verilmiştir.



Şekil 1.28. Yuvalı temel-kolon birleşimi

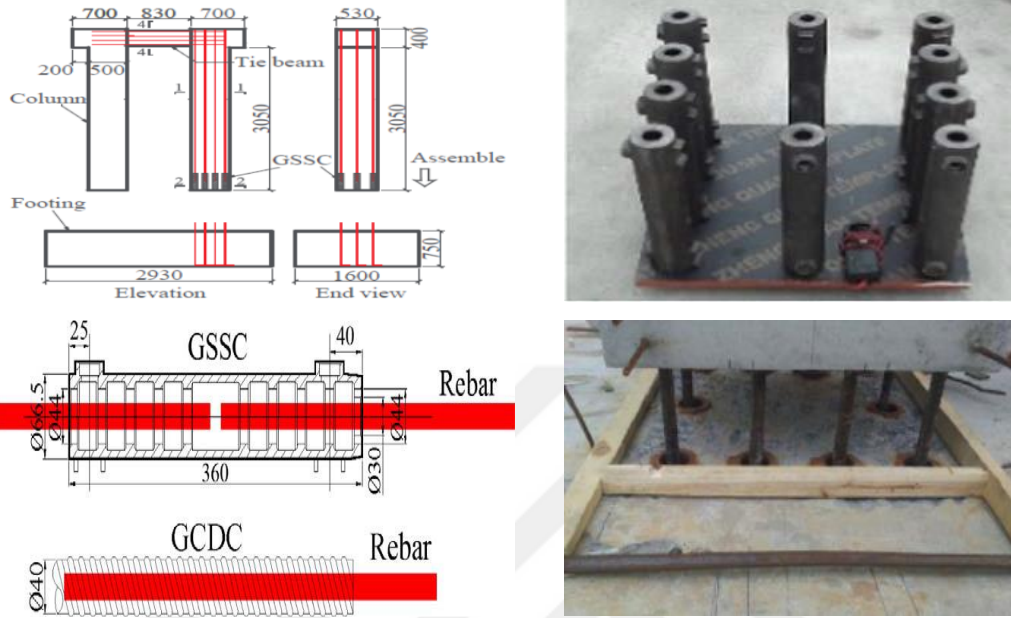
Temel-kolon birleşimlerde bir diğer birleşim türü ise bulonlu birleşimdir. Bu tip birleşimlerde çok fazla farklı birleşim şekli geliştirilmiştir. Bunlardan bazıları aşağıdaki gibidir:

- Temelde bırakılan ankraj bulonlarının ucuna diş açılır. Kolon tabanına yerleştirilen çelik plakalar bu bulonlar üzerine yerleştirildikten sonra cıvata yardımıyla sıkılır. Bu bağlantı türünde ankraj boyu, cıvatanın sıyrılma ihtimali, ankrajın akma sınırını aşması gibi durumlar son derece önemli kritik durumlardır. Şekil 1.29’da plakalı birleşim için bir örnek verilmiştir.



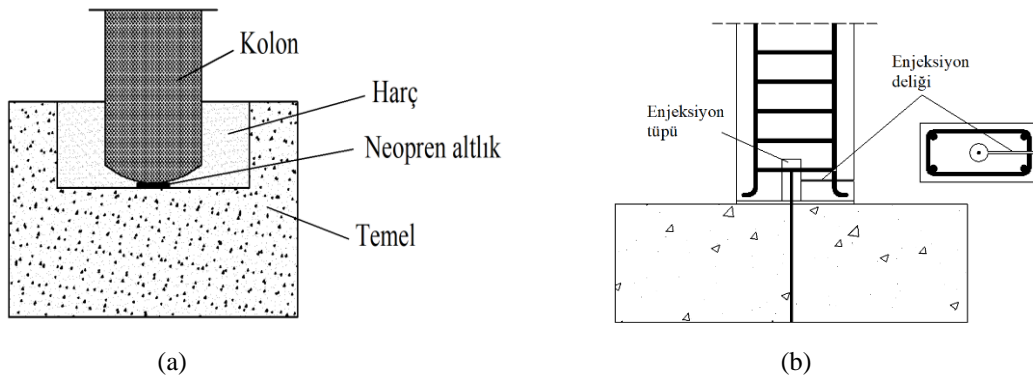
Şekil 1.29. Plakalı temel-kolon birleşimi (Peikko, 2018)

- Temelde bırakılan ankraj bulonunun, kolon içerisine yerleştirilen bir tüpe oturtulması ve tüpün grout ile doldurulması ile elde edilen sistemdir. Şekil 1.30'da sistemin detayları ve örneği verilmiştir.



Şekil 1.30. Temel-kolon tüplü birleşim (Qu ve ark., 2018)

- Temel-kolon birleşimi mafsallı olarak da tasarlanabilir. Temel üstüne elastomer bir parça yerleştirilerek kolonun üzerine oturtulması ve etrafının harç ile doldurulması ile elde edilebilir. Temeldeki bir pim üzerine kolonun oturtulması ile de elde edilebilir. Şekil 1.31'de mafsallı birleşim için örnekler verilmiştir (Gedik, 2014).



Şekil 1.31. Mafsallı temel-kolon birleşimi a) Elastomer tabanlı, b) Çelik pimli

1.5.4.2. Kolon-kolon birleşimleri

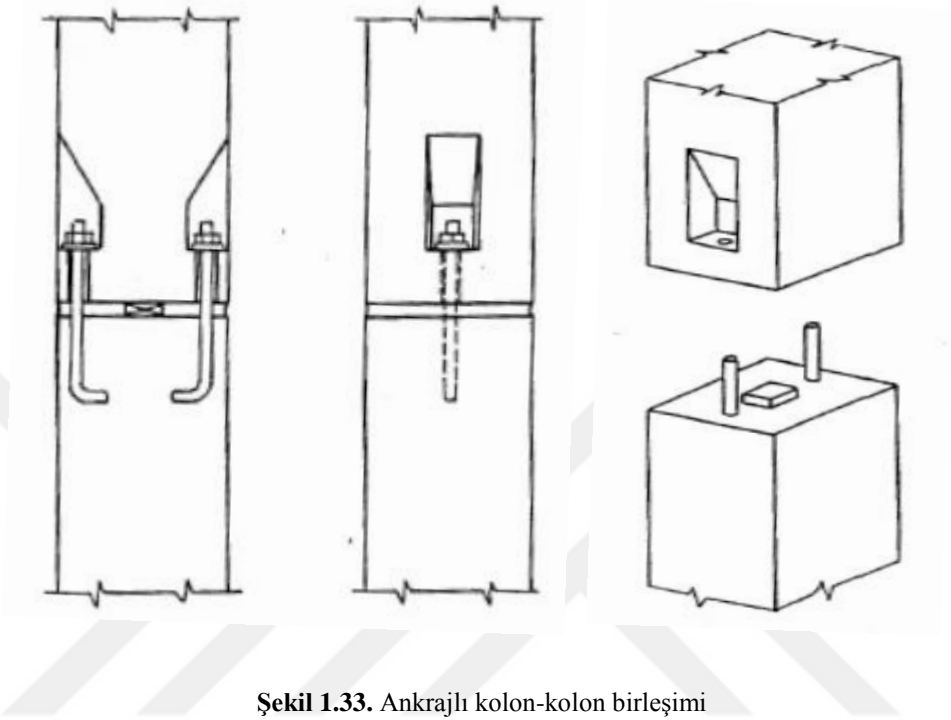
Kolon-kolon birleşimleri genelde moment sıfır noktasında yapılabilmektedir. Deprem etkisinin düşük olduğu bölgelerde tercih edilmektedir.

- Kolon-kolon birleşimleri alttaki kolondan çıkan filizlerin üstteki kolonda açılan kanallara oturması ve sonrasında kanalın harç ile doldurulması ile elde edilebilir. Şekil 1.32’de bu tip bir birleşim örneği verilmiştir.



Şekil 1.32. Kolon-kolon tüplü birleşim (Tullini ve Minghini, 2016)

- Kolon-kolon birleşimlerinde alttaki kolonda bir ankraj bulonu oluşturularak üstteki kolondaki kanaldan bu bulonun geçmesi ve cıvata sıkılmasıyla da elde edilebilir. Şekil 1.33'te ankrajlı kolon-kolon birleşimi verilmiştir.



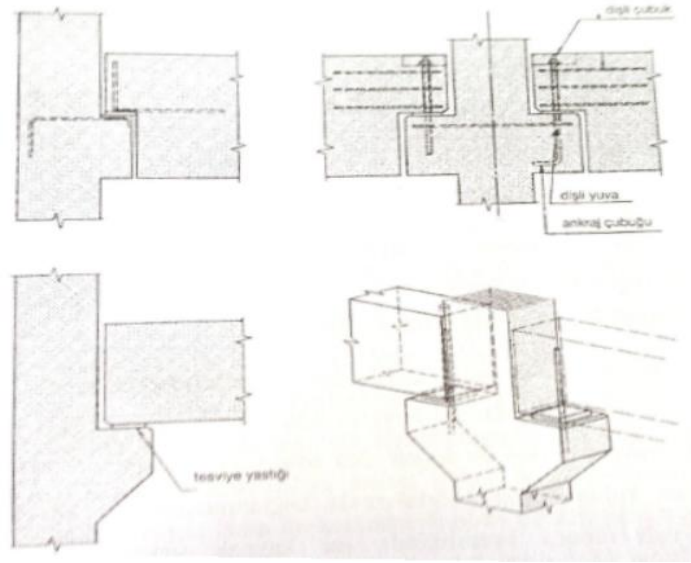
Şekil 1.33. Ankrajlı kolon-kolon birleşimi

1.5.4.3. Kolon-kiriş birleşimleri

Kolon-kiriş bağlantılarının mafsallı veya rijit olarak tasarlanması mümkündür. Mafsallı bağlantılar prefabrike sistemin doğasına çok uygun bir birleşim türüdür. Ama diğer taraftan yüksek yapılarda ve deprem etkisinin fazla olduğu bölgelerde rijit bağlantılar yaparak eğilme momentinin bir kısmının kolonlara da aktarılması daha küçük kesitli kirişler elde etmek için ideal olacaktır (Ayaydın, 1989).

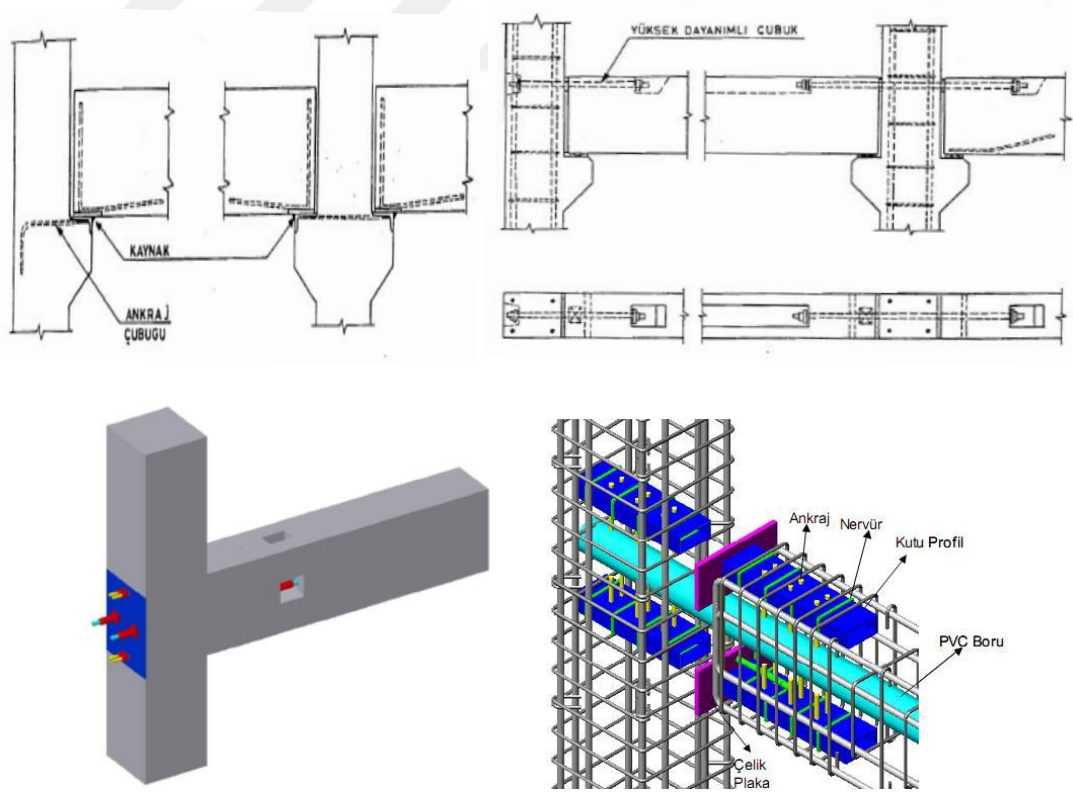
Kolon-kiriş birleşimleri eğer mafsallı imal edilecekse yapıya etki edecek yatay yüklerin tamamının perdeler tarafından taşınması gerekmektedir (Gedik, 2014).

Kolon-kiriş birleşimlerinde kolonda bir konsol oluşturularak kirişin bu konsola oturması türü en yaygın kullanım türüdür. Bu tip bağlantılarda konsol üzerine pim yapılması, kirişin konsola kaynaklanması ya da elastomer parça ile birleşimin sağlanması gibi şekillerde uygulanabilmektedir. Şekil 1.34'te bu tip birleşimlere örnekler verilmiştir.



Şekil 1.34. Mafsallı kolon-kiriş birleşimleri (Gedik, 2014)

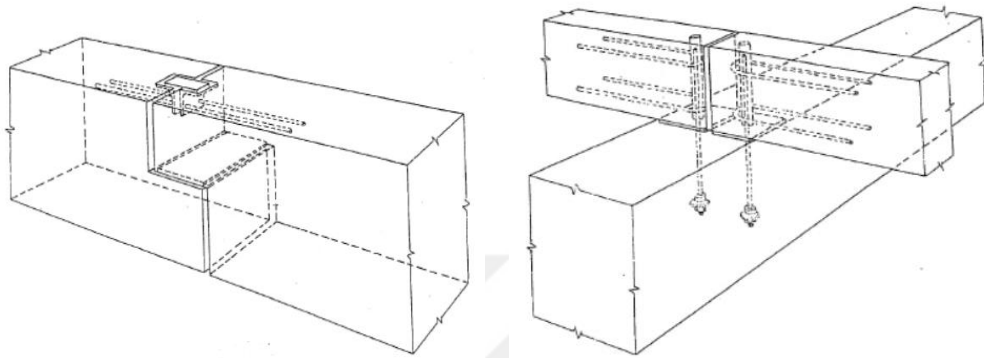
Moment aktarabilen kolon kiriş birleşimlerinde ise kaynaklı ya da bulonlu birleşimler yapılabilmektedir. Bununla ilgili birkaç örnek Şekil 1.35'te verilmiştir.



Şekil 1.35. Moment aktarabilen kolon-kiriş bağlantıları (Özden ve Ertaş, 2007) (Atalay, 2010)

1.5.4.4. Kiriş-kiriş birleşimleri

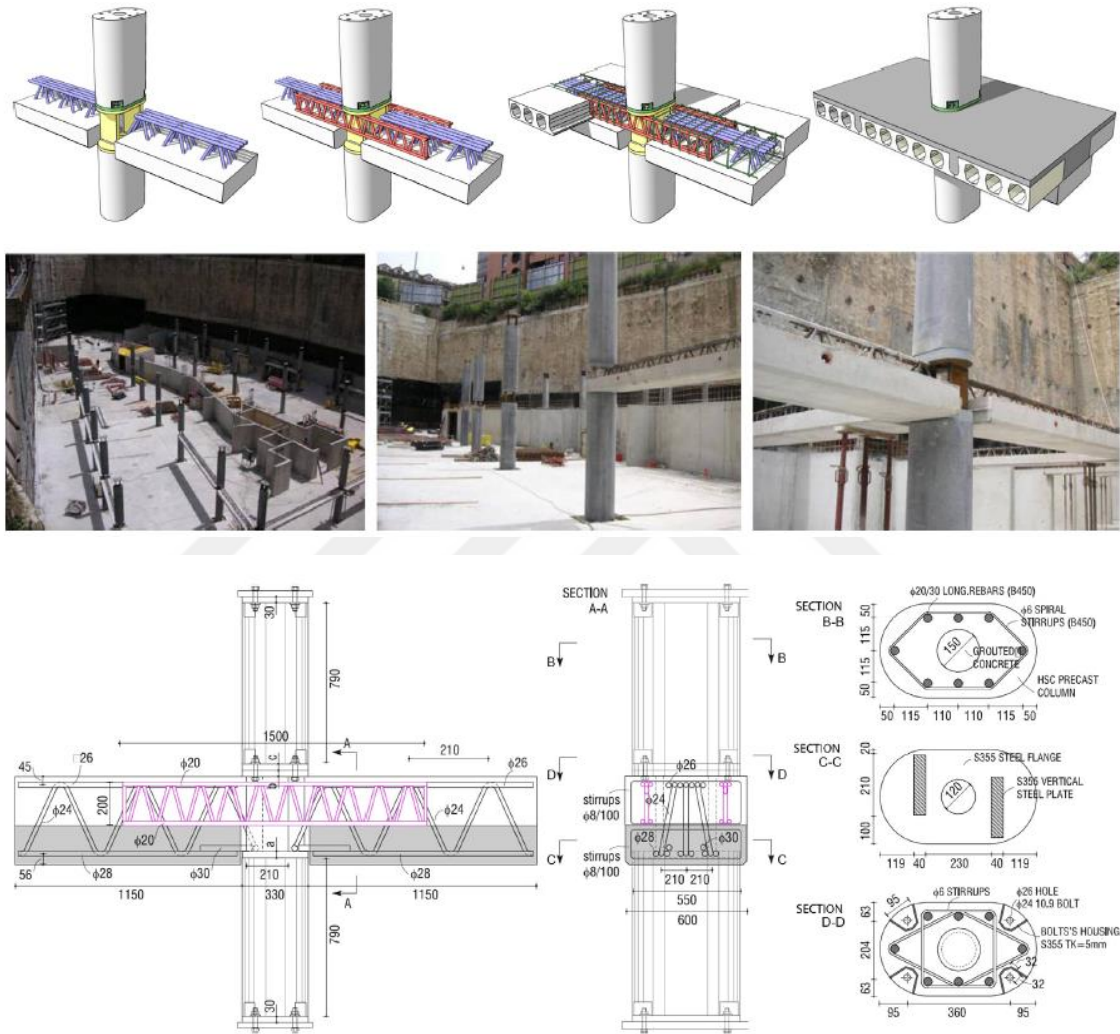
Kiriş-kiriş birleşimlerinde inceltilmiş uç ile bindirme, bulonlu birleşim, kaynaklı birleşim gibi birçok değişik yöntem bulunmaktadır. Bunlardan bazıları Şekil 1.36'da verilmiştir.



Şekil 1.36. Kiriş-kiriş birleşim türleri

farklılaşmaya başlamıştır. Bağlantı için kullanılan donatıların çapı 16 mm'den 25 mm'ye çıkarken bağlantının taşıma kapasitesi de %36 civarında artmıştır (Kataoka ve ark., 2017).

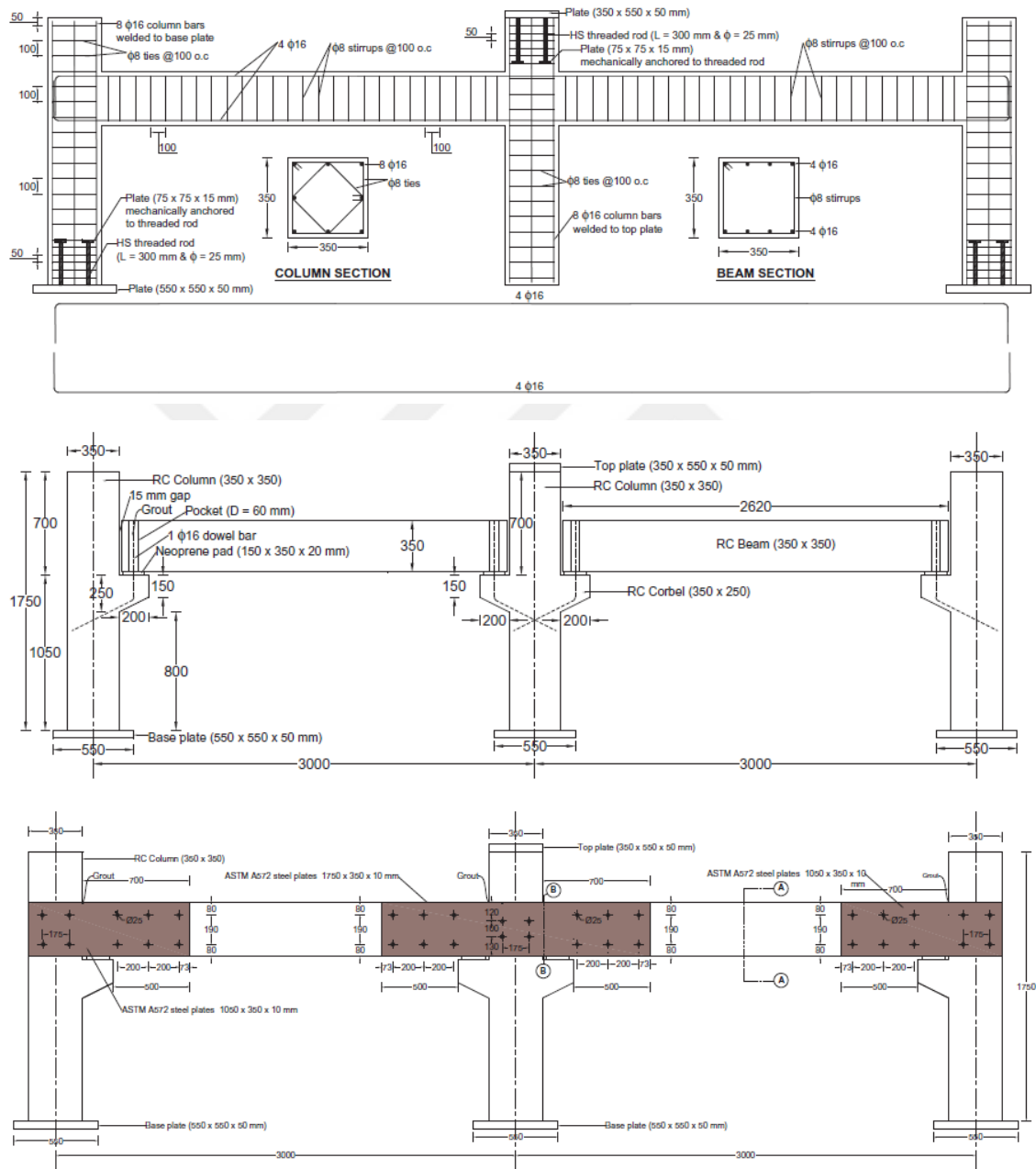
Huang ve ark. geliştirdikleri kolon-kiriş bağlantısını tersinir-tekrarlanır yatay yüklemeye altında test etmişlerdir. Huang ve ark. tarafından geliştirilen bağlantı detayları Şekil 2.2'de verilmiştir.



Şekil 2.2. Bağlantı detayları (Huang ve ark., 2017)

Yapılan çalışmada bağlantı plakası kalınlığı ve bağlantı için kullanılan donatının çapına bağlı olarak farklı numuneler elde edilmiştir. Sonuç olarak kolon tabanına CFRP güçlendirmesi yapılmamış D2 numunesi hariç bütün numuneler sünek davranmıştır. Kullanılan donatı çapının artması ile dayanımın arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca kullanılan çelik plakaların davranıştan ödün vermeden daha ince kesit boyutlarında seçilmesinin mümkün olacağı bildirilmiştir (Huang ve ark., 2017).

Salloum ve ark. kolon-kiriş birleşim bölgesini güçlendirerek iki açıklıklı bir sistem için düşey yük ile davranışı incelemiştirler. Monolitik bir numune, geleneksel prefabrike bir numune ve kolon-kiriş bölgesinin çelik plakalar ile güçlendirildiği bir numune ile testler yapılmıştır. Numune detayları Şekil 2.3'te verilmiştir (Al-Salloum ve ark., 2018).



Şekil 2.3. Numune detayları (Al-Salloum ve ark., 2018)

Yapılan testler sonucunda güçlendirme plakaları dışında kalan bölgede kesme hasarları oluşmuştur. Yine de taşıma gücü kapasitesinde ve enerji sönümlenme kapasitesinde önemli bir artış sağlandığı vurgulanmıştır (Al-Salloum ve ark., 2018).

Khaloo ve Doost tarafından yapılan çalışmada, betonarme bir kolonun çelik kirişler ile bağlantısı test edilmiştir. Toplamda dört farklı bağlantı tipi incelenmiştir. Yapılan çalışmada kolonlarda değişken aksenal yükler kullanılmıştır. Aksenal yükün artması sonucu ise yatay yük taşıma kapasitesinde artış gözlemlenmiştir. Geliştirilen bağlantı türleri ile yatay yük taşıma kapasitesinde %31'den %76'ya varan artışlar gözlemlenmiştir (Khaloo ve Doost, 2018).

Lu ve ark. tarafından yapılan çalışmada, kolon kiriş birleşimleri için bir bağlantı türü önerilmiştir. Toplamda 7 adet numune üretilmiştir. Numuneler kolona yüklenen farklı aksenal yük seviyeleri ve kolon-kiriş bağlantı bölgesinde kullanılan malzeme türüne göre çeşitlendirilmiştir. Numunelerin hiçbirinde birleşim bölgesinde kesme hasarları görülmemiş ve sünek davranış ile göçme gerçekleşmiştir. Önerilen bağlantı türünde monolitik bağlantıya benzer bir davranış çıkmıştır. Özellikle enerji sönümlenme, histeretik davranış ve rijitlikteki azalmalar monolitik numune ile oldukça benzer çıkmıştır. Bu durum dikkate alınarak önerilen bağlantının kullanılabilir olduğu bildirilmiştir (Lu ve ark., 2018).

Magliulo ve ark. yaptıkları çalışmada, bir kolon-kiriş bağlantısının deneysel ve analiz modeli üzerinden sonuçlarını incelemişlerdir. Elde edilen sonuçlarda deneysel numune ile analiz modeli sonuçlarının büyük ölçüde aynı olduğunu vurgulamışlardır. Ayrıca teorik olarak literatürde bulunan formülasyonlar ile yapılan hesap sonuçlarının da deneysel ve analiz modeli sonuçları ile örtüştüğünü bildirmişlerdir (Magliulo ve ark., 2014).

Aninthaneni ve ark. kolon-kiriş bağlantısı için kolonun çelik plakalar ile desteklendiği bir bağlantı türü önermişlerdir. Yapılan çalışmada yatay yük etkisi altında önerilen bağlantının monolitik bağlantı ve geleneksel prefabrike bağlantı ile aynı histeretik davranışı gösterdiğini bildirmişlerdir. Bağlantının kiriş taşıma gücünden daha yüksek dayanıma sahip olarak tasarlanmasının bütün sistemin davranışını olumlu yönde etkilediğini bildirmişlerdir (Aninthaneni ve ark., 2018).

Lago ve ark. prefabrike panellerin birbirine bağlanması için kullanılan bir bağlantı türünü incelemişlerdir. Yapılan çalışmada sayısal model oluşturularak deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmıştır (Dal Lago ve ark., 2017).

Parastesh ve ark. kolon-kiriş birleşimi için farklı beton dayanımına sahip prefabrike elemanlar ve farklı birleşim bölgesi beton dayanımına sahip birleşimlerden oluşan 8 adet numune üretmişlerdir. Önerilen bağlantılar monolitik bağlantıya göre eğilme mukavemeti daha yüksek ve başlangıç rijitliği daha yüksek bir davranış sergilemişlerdir (Parastesh ve ark., 2014).

Ghayeb ve ark. kolon-kiriş birleşimi 3 farklı bağlantı tipi, monolitik birleşim ve prefabrike birleşim ile beraber 5 adet numune üretmişlerdir. Önerilen bağlantı tipleri diğer numunelere göre önemli ölçüde artan eğilme dayanımı göstermişlerdir. Geliştirilen bağlantıların sünekliği %25 civarında artırdığı bildirilmiştir (Ghayeb ve ark., 2020).

Esmaeili ve Ahooghalandary kolon-kiriş birleşim bölgesinde kullanılması için bir çelik kutu tasarlamışlardır. Monolitik bağlantı ve geliştirilen bağlantının yatay yük etkisi altında davranışını incelemişlerdir. Önerilen bağlantının ACI 374.1-05 yönetmeliğinde kabul edilebilir sınırlar içinde olduğunu bildirmişlerdir (ACI-374.1-05, 2005). Ayrıca önerilen bağlantının diğer kuru birleşim türlerine göre süneklik açısından 1.08 kat, enerji sönümlenme açısından 1.30 kat daha güçlü olduğu bildirilmiştir (Esmaeili ve Ahooghalandary, 2020).

Senturk ve ark. önerdikleri kolon-kiriş bağlantısı için 6 adet numune üretmişlerdir. Üretilen numuneler bağlantı tipi, boyuna donatı oranı, kiriş açıklığı gibi farklı parametreler içermektedir. Önerilen bağlantı diğer bağlantı türleri ile kıyaslandığında %34'e kadar süneklik artışı sergilerken nihai dayanımda bir kayıp yaşanmamıştır (Senturk ve ark., 2020).

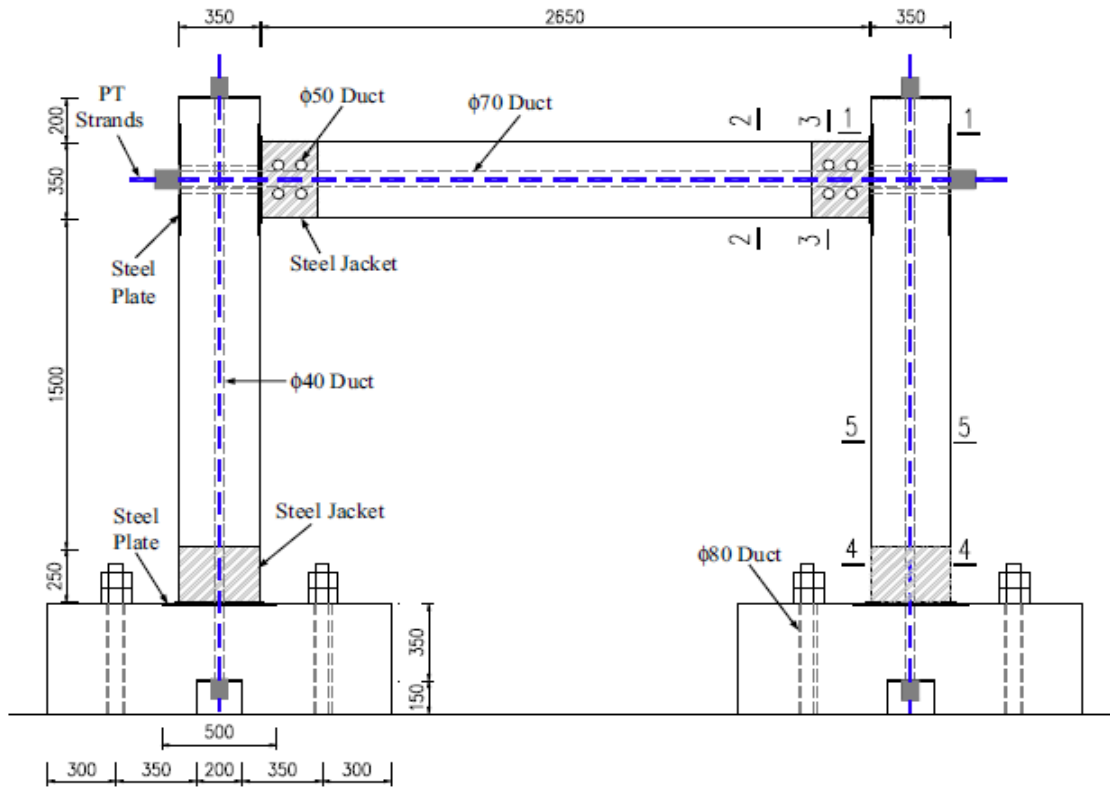
Zhang ve ark. önerdikleri kolon-kiriş birleşimi için 7 adet numune üretmişlerdir. Numunelerin üretiminde birleşim bölgelerinde çelik plakalar kullanılmıştır. Bütün numunelerde birleşim bölgesinde kesme hasarları oluşmuştur. Önerilen bağlantının genel olarak dayanım, rijitlik ve enerji sönümlenme kapasitesinde artışlar olduğu bildirilmiştir (Zhang ve ark., 2020b).

Wu ve ark. kolon-temel bağlantısı için bir bağlantı türü önermişlerdir. Geliştirilen bağlantıda, temelde bırakılan ankraj çubukları, kolonda bırakılan tüpler içerisine oturmakta ve grout enjekte edilmektedir. Referans numunesine kıyasla süneklik ve enerji sönümlenme kapasitesinde azalma olduğu gözlenmiştir. Ancak bu azalma Çin Yönetmeliğine göre kabul edilebilir sınırlar içerisindedir. Bağlantı çubuklarındaki gerininin akma öncesi iyi düzeyde olduğu ancak akma sonrasında bazı farklılıkların ortaya çıktığı bildirilmiştir (Wu ve ark., 2020).

Fan ve ark. kolon-kiriş bağlantısı için bir bağlantı türündeki eğilme donatısı uzunluğu, eğilme donatısı alanındaki değişiklikler ile 6 adet numune üretmişlerdir. Eğilme donatısının uzaması enerji sönümlenme kapasitesinde artışı sağlamıştır. Ayrıca eğilme donatısı alanındaki artışın eğilme dayanımını %24 civarında artırdığı bildirilmiştir (Fan ve ark., 2020).

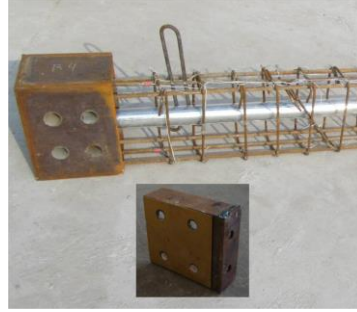
Zhang ve ark. kolon-temel bağlantısı için bir bağlantı türü önermişlerdir. Yapılan çalışmada 4 farklı numune hazırlanmıştır. Soket yuvasına ve soket içerisinde kalacak kolon yüzeyine dişler oluşturulmuştur. Bu dişler yüksek performanslı bir beton ile doldurulmuştur. Göçme modu ve hasar gelişimindeki küçük farklılıklar harici referans numune ile benzer sonuçlar elde edilmiştir. Yuva derinliği kolon genişliğinin 0.8 katına eşit olduğunda referans numune ile aynı davranışı elde etmenin mümkün olduğu vurgulanmıştır (Zhang ve ark., 2020a).

Song ve ark. tarafından 2015 yılında yapılan çalışmada, bir çerçeve sistemin kolon-kiriş bağlantıları ve kolon temel bağlantıları Şekil 2.4'teki gibi değiştirilmiştir.



Şekil 2.4. Deney numunesi (Song ve ark., 2015)

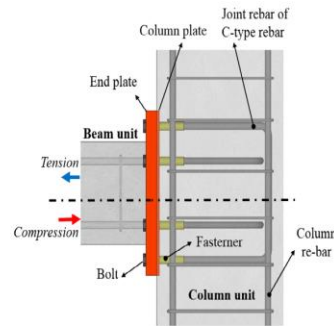
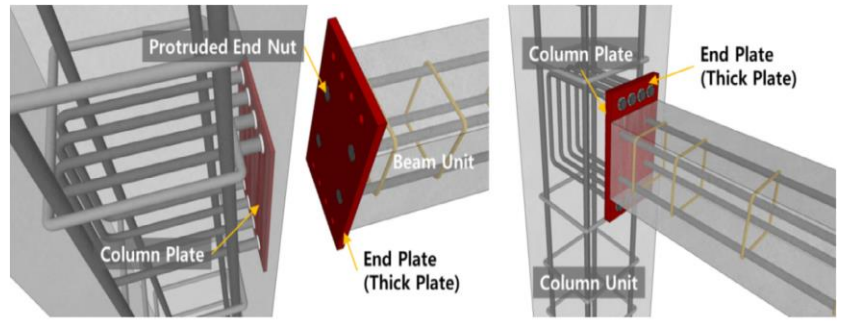
Temel altında bırakılan boşluk sayesinde kolon içerisindeki bağlantı elemanı temele bağlanmıştır. Kiriş içerisine Şekil 2.5'te görülen bağlantı elemanı yerleştirilerek kolon kiriş bağlantısı sağlanmıştır.



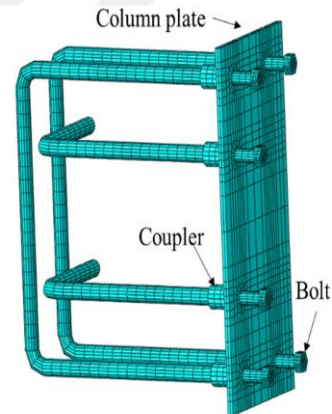
Şekil 2.5. Kolon-kiriş bağlantı elemanı (Song ve ark., 2015)

Yapılan tersinir tekrarlanır yükleme testi sonucunda kiriş bağlantısında kullanılan çelik giydirmenin performansı artırdığı ancak performans seviyesinin kullanılan bulonlara bağlı olduğu belirtilmiştir (Song ve ark., 2015).

Nzabonimpa ve ark. tarafından 2017 yılında yapılan çalışmada, kolon-kiriş birleşimlerinde levha ve bulon bağlantısı kullanılmış ve numunelerin öncelikle ABAQUS analizi daha sonra ise laboratuvar analizi yapılmıştır. Çalışmada plaka kalınlığı, bulon sayısı, bulonların yerleşimi ve bulon boyutlarının önemli parametreler olduğu vurgulanmıştır. Numune özellikleri Şekil 2.6'da verilmiştir.



(a) Fabricated C-type re-bars for experiment

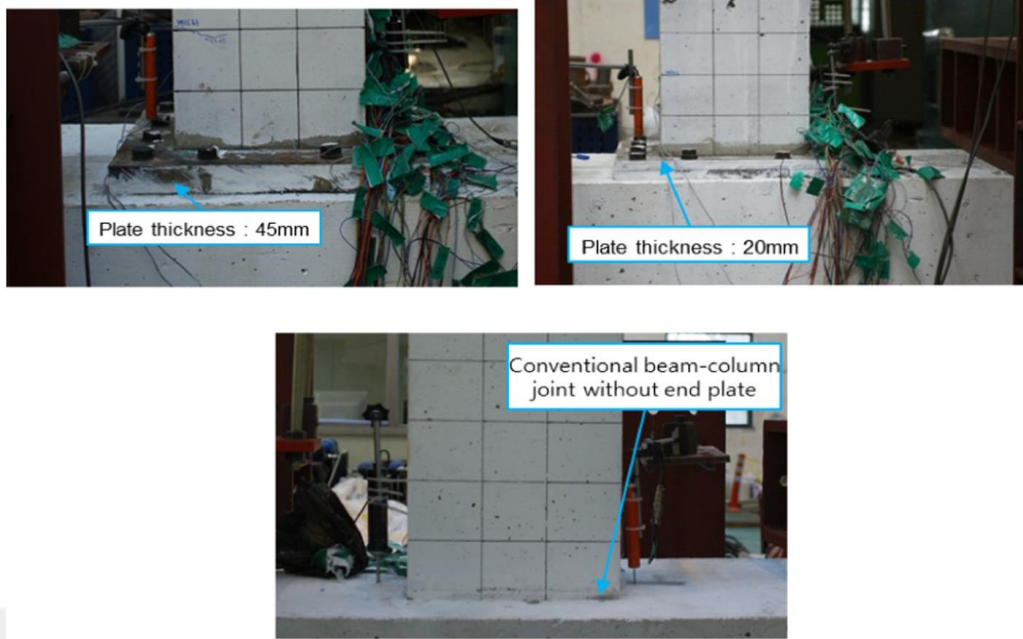


(b) 3D mesh model for C-type re-bars

Şekil 2.6. Kolon-kiriş birleşim detayı (Nzabonimpa ve ark., 2017)

ABAQUS programında çok iyi bilinen iki metot ile analiz yapılmıştır: Bulaşmış çatlak modeli ve hasarlı plastisite modeli. Bulaşmış çatlak modeli numunenin basınç altında göçme durumuna geldiğini kabul eder. Mikro çatlaklar gözlenmeden çökme olduğu varsayılır. Diğer yöntemde ise çekme kırılması ve basınç ezilmesi iki büyük göçme mekanizması olarak kabul edilir. Bu durumda gerilme-şekil değiştirme ilişkisi göçme durumuna kadar lineer elastik davranır.

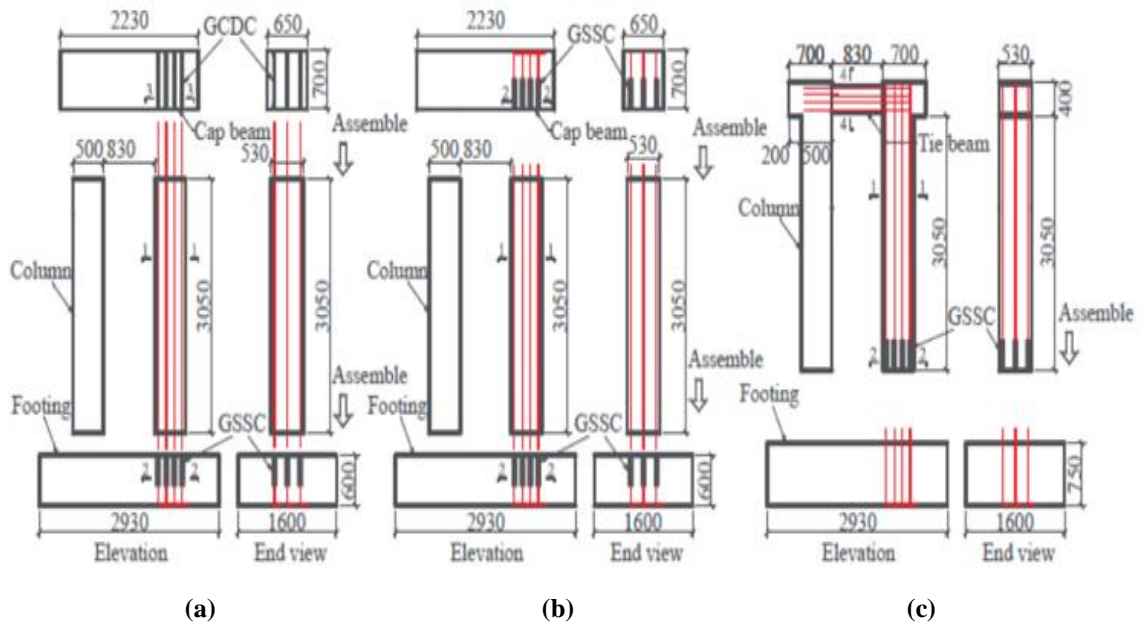
Laboratuvar numunelerinde ise plaka kalınlığı değiştirilmiş 2 numune ile plakasız yani monolitik bir numune olmak üzere üç numune hazırlanmıştır. Sırasıyla numuneler 45 mm, 20 mm ve plakasız için B1, B2 ve B3 olarak adlandırılmıştır. Numuneler Şekil 2.7’de verilmiştir.



Şekil 2.7. Deney numuneleri ve plaka kalınlıkları (Nzabonimpa ve ark., 2017)

Test sonuçlarında ise B1 ve B3 numunelerinin benzer davranış gösterdiği yani plakanın tam olarak çalıştığı, B2 numunesinde ise basınç gerilmelerinin plakada yığıldığı ve tam olarak birleşimin çalışmadığı gözlemlenmiştir (Nzabonimpa ve ark., 2017).

Qu ve ark. tarafından 2018 yılında yapılan çalışmada, 3 farklı bağlantı türünün sismik davranışları incelenmiştir. Numuneler Şekil 2.8’de verilmiştir.



Şekil 2.8. 3 numunenin kesitleri ve bağlantı özellikleri (Qu ve ark., 2018)

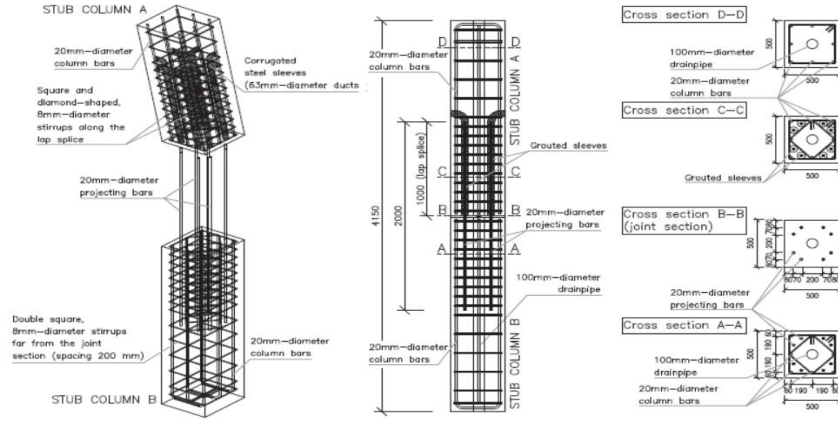
Temele yerleştirilen tüpler kolondan gelen filizlerin tüp içerisine yerleştirilmesi sonrasında yüksek mukavemetli dolgu harçları ile doldurulmaktadır. Tüpler diğer bir numunede ise kolon tabanına yerleştirilmiştir. Tüplerin kalıp içerisine teşkili ise Şekil 2.9'da verilmiştir (Qu ve ark., 2018).



Şekil 2.9. Tüplerin teşkil edilmesi aşamaları (Qu ve ark., 2018)

Deney sonucunda a ve b numunelerinin aynı performansı gösterdiği görülmüştür. İlerleyen yük seviyelerinde her iki numune için de donatı sıyrılması olmuştur. Farklı bir bağlantı türünde üretilen c numunesi ise daha düşük enerji sönümleme kapasitesine sahiptir. Ayrıca enerji sönümleme, rijitlik katsayısı ve yer değiştirme konusunda c numunesi diğerlerine göre daha zayıf çıkmıştır. Sıyrılma bağlantı noktalarına yakın gerçekleşmiştir. Gömülü bağlantı olmasına rağmen bağlantı noktalarında yüksek gerilmeler ortaya çıkmamıştır. Bağlantı bütünlüğü korunmuştur (Qu ve ark., 2018).

Tullini ve Minghini tarafından 2016 yılında yapılan çalışmada, kolon-kolon grout bağlantı tipinin davranışı incelenmiştir. İnceleme yapılan kolonun donatı şeması ve kesitleri şekil 2.10'da verilmiştir.



Şekil 2.10. Kolon kesit ve donatı şeması (Tullini ve Minghini, 2016)

Çalışmada toplamda 5 adet numune test edilmiştir. Bu numuneler doğrudan çekme deneyi, dört nokta eğilme deneyi, tekrarlanır eğilme deneyi, eğilme ve normal kuvvet deneyi, kesme deneyi gibi deneylere tabi tutulmuşlardır. Çekme ve eğilme deneyleri için grout 1 tipi malzeme kullanılırken, diğer deneyler için grout 2 tipi malzeme kullanılmıştır. Tüplerin montajı Şekil 2.11’de gösterildiği gibi yapılmıştır.



Şekil 2.11. Tüplerin kolon içine montajı (Tullini ve Minghini, 2016)

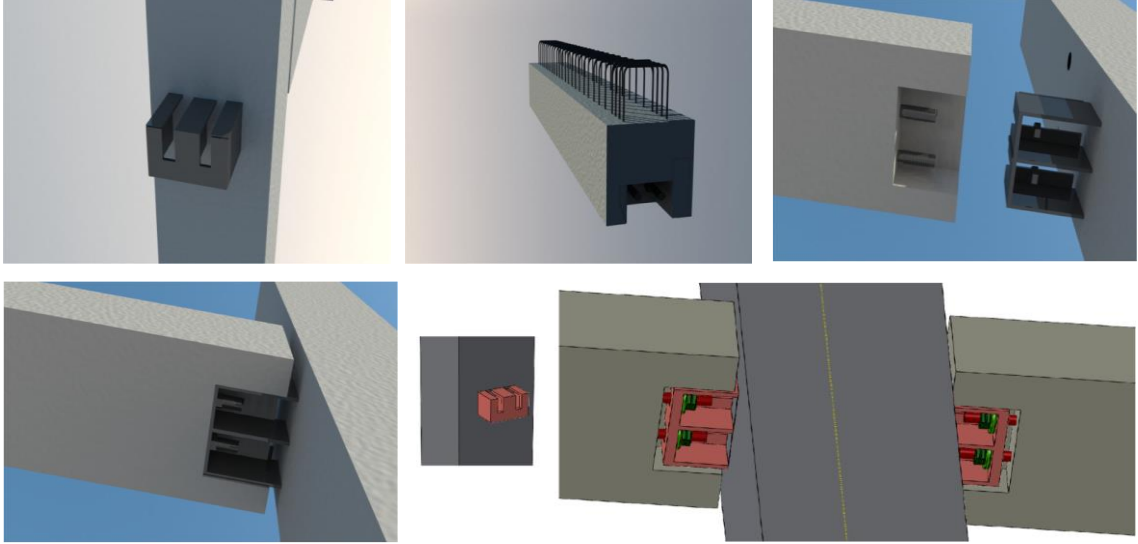
Kolonların birbirine montajı ise Şekil 2.12’de verilmiştir.



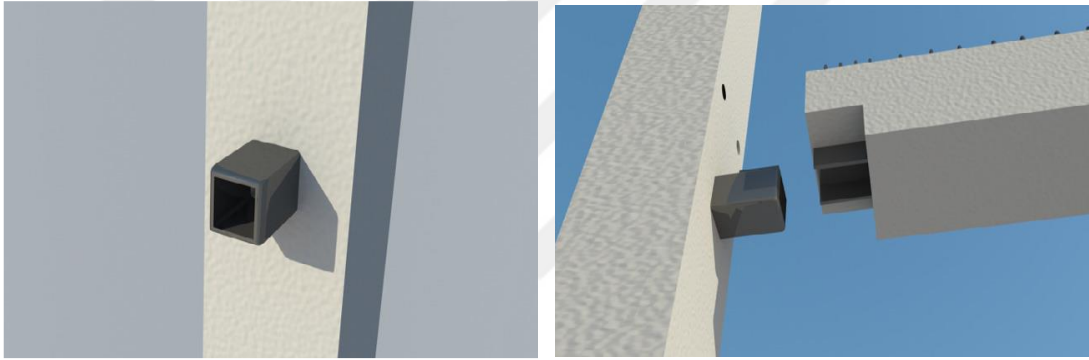
Şekil 2.12. Kolonların montajının yapılması (Tullini ve Minghini, 2016)

Çalışma kapsamında standart bir numune incelemek yerine malzeme test sonuçlarına göre standart numune sonuçları teorik hesap ile elde edilmiştir. Çekme testinde hasarlar birleşim bölgesinin uzağında gerçekleşmiştir. Birleşim bölgesinde yük aktarımı başarılı olarak gerçekleşmiştir. Normal kuvvet ve eğilme deneyinde ve sadece eğilme deneyinde sırası ile standart monolitik bir kolona göre 1.69 ve 1.35 kat daha iyi dayanımlar elde edilmiştir. Kesme testinde hasar birleşim bölgesinde gerçekleşmiştir. Hatta kesme kuvveti tamamen bağlantı noktasına etki ediyormuş gibi tamamen bağlantı filizleri tarafından taşınmıştır. Sonuç olarak görülmektedir ki bağlantı sistemi geleneksel bir döküm sistem kadar başarılı olmuştur. Yazar bu sistemin temel-kolon bağlantısında da denenmesini tavsiye etmiştir (Tullini ve Minghini, 2016).

Bahrami ve ark. tarafından 2017 yılında yapılan çalışmada, iki farklı bağlantı türü incelenmiştir. Kolon-kiriş bağlantısı olarak çalışmada PC1 ve PC2 adlı numuneler ve ABAQUS modeli olarak MC oluşturulmuştur. Test için iki farklı normal kuvvet seviyesi belirlenmiştir. Bağlantı detayları Şekil 2.13 ve 2.14'te verildiği gibidir.



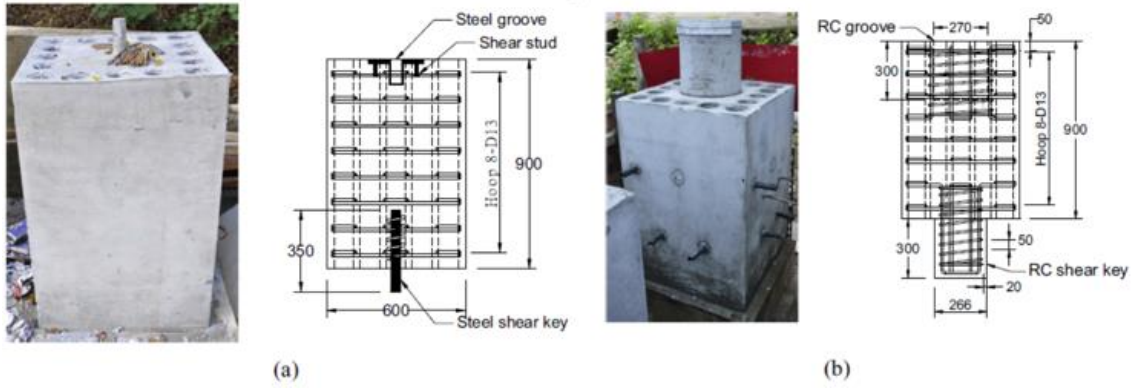
Şekil 2.13. Birinci bağlantı türünün detayı (Bahrami ve ark., 2017)



Şekil 2.14. İkinci bağlantı türünün detayı (Bahrami ve ark., 2017)

Monolitik kolona göre bağlantı tiplerinin rijitlik oranı normal kuvvet seviyesine bağlı olarak 0.8 ve 0.9 arasında değişmektedir. Enerji sönümlenme ve süneklik konusunda monolitik kolona göre %80-90 civarında başarı elde edilmiştir. ABAQUS programında her ne kadar bütün veriler tanımlanamasa da deneysel sonuçlara yeterli oranda yaklaşan sonuçlar elde edilmiştir (Bahrami ve ark., 2017).

Hung ve ark. tarafından 2017 yılında yapılan çalışmada toplamda yedi numune oluşturulmuştur. Birinci numune yerinde dökme bağlantısız kolondur. Diğer numuneler ise iki gruba ayrılmaktadır. Birinci grup kolon kesitinde çelik kesme dişi olan kolon, ikinci grup ise beton kesme dişi olan kolondur. Gruplardaki numuneler ise farklı normal kuvvet seviyelerini ifade etmektedir. Numunelerde kullanılan kesme anahtarı olarak tabii edilen sistem Şekil 2.15'te verilmiştir.



Şekil 2.15. (a) çelik kesme anahtarı, (b) beton kesme anahtarı (Hung ve ark., 2017)

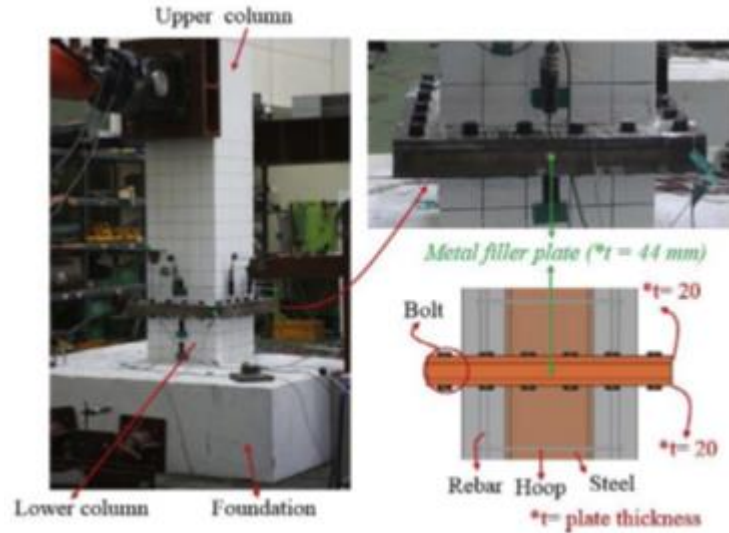
Yük yer değiştirme eğrileri kontrol numunesi ile üzerinde normal yük olmayan numunelerde benzerdir. Ancak süneklik açısından kesme dişi olan numuneler daha iyidir. Genel olarak monolitik üretilen numuneye göre diğer numunelerde daha az hasar oluşmuştur. Çünkü bağlantı noktalarındaki açıklıklar sayesinde deprem enerjisinin bir kısmı sönmülmüştür (Hung ve ark., 2017).

Nzabonimpa ve Hong tarafından 2018 yılında yapılan çalışmada üç adet numune ile deneyler yapılmıştır. C1 numunesi kolon-kolon birleşiminde metal dolgu plakası olmayan altta ve üstte 45 mm metal plakalar olan numunedir. C2 numunesi kolon-kolon birleşiminde 44 mm metal dolgu plakası kullanılan numunedir. Alt ve üst plakalar ise 20 mm'dir. Deneyler statik çevrimsel yüke maruz bırakılmıştır. Numunelerde kullanılan bağlantı detayları ve kolon boyutları Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Numune özellikleri (Nzabonimpa ve Hong, 2018)

Kolon Numunesi	Boyutlar (mm)
C1 için plakalar	Üst Plaka: 700x700x45 Alt Plaka: 700x700x45
C2 için plakalar	Üst Plaka: 700x700x20 Dolgu Plakası: 700x700x44 Alt Plaka: 700x700x20
C1 ve C2'de kullanılan civatalar	M22 (Yükseklik 22 mm)
C1 ve C2 için bulonlar	M22-F10T
Bütün numuneler için kolon donatıları	25
Kolon kesitleri	500x500

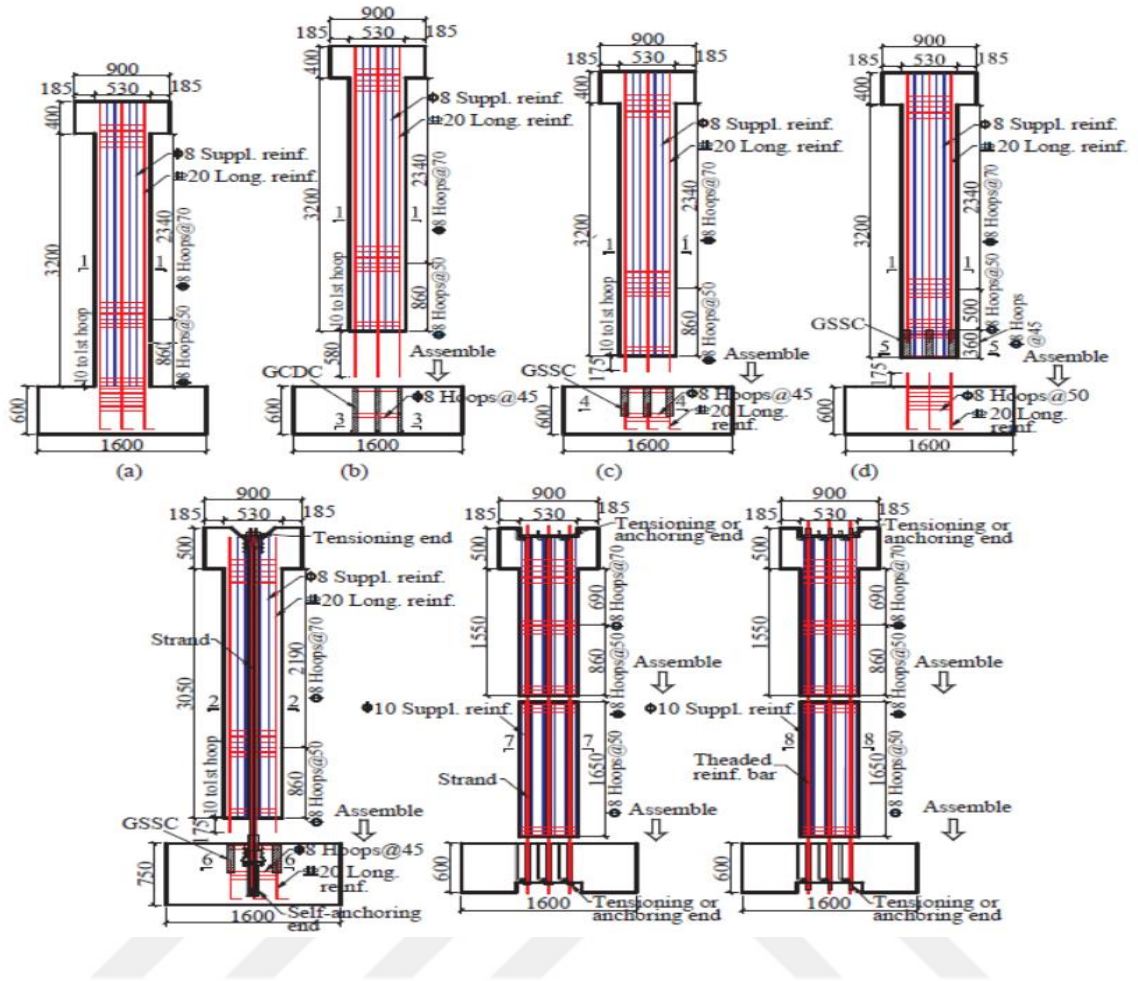
Birleşimlerde toplamda sekiz adet bulon kullanılmıştır. Numunelerin birleşim detayı Şekil 2.16'da verilmiştir.



Şekil 2.16. Numunelerin birleşim detayı (Nzabonimpa ve Hong, 2018)

Plaka ile birleşim yapılan kolonlarda monolitik numune ile benzer sonuçlar elde edilmiştir. Yeterli rijitlik sağlanmıştır. C1 numunesinin birleştirme plakalarında hasar oluşmadığı gözlemlenmiştir. Moment aktarımının başarılı olduğu vurgulanmıştır. Plakaları birleştiren bulonların basınç tarafında kesme yüzeyinden gelen kesme kuvvetlerini tek başına taşıyabilmesi gerektiği vurgulanmış ve bununla ilgili bir eşitsizlik verilmiştir. C2 numunesinde esneklik kapasitesi C1 numunesine göre %52 azalmıştır. C2 numunesinde dayanım düşmesinin nedeni bağlantı bulonlarındaki civataların yer değiştirmeleri olarak tanımlanmıştır. Sonuçlara göre yuvalı temel yerine bu sistemin kullanılabilceği bildirilmiştir. Kapasitenin yeterli olduğu gösterilmiştir. Kolon içinde kalan donatılara açılan dişlerin yeterli olması civatanın sıyrılmaması için gerekli olduğu vurgulanmıştır (Nzabonimpa ve Hong, 2018).

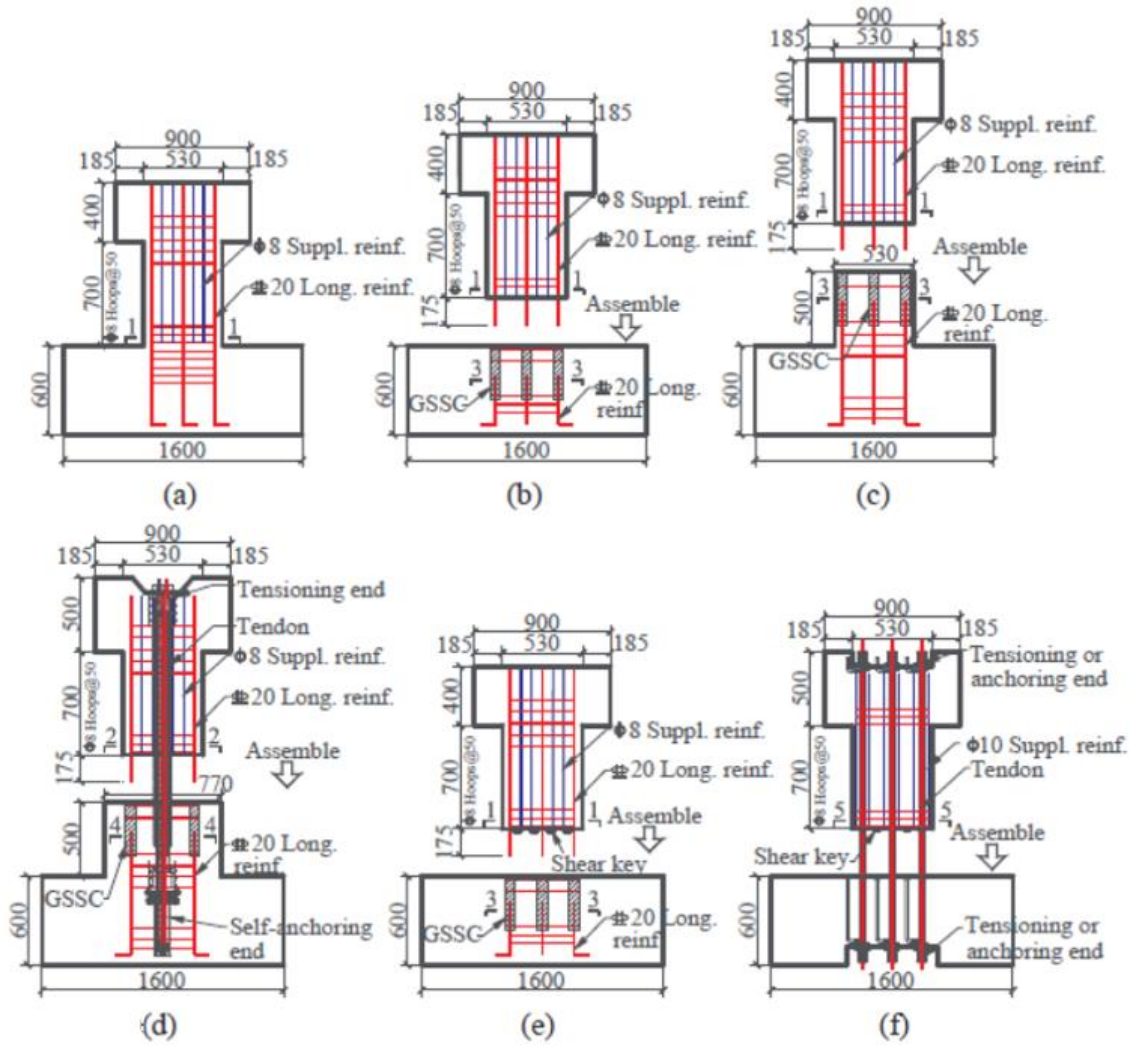
Wang ve ark. tarafından 2018 yılında yapılan çalışmada 7 adet numune üretilmiştir. Numunelerde farklı temel-kolon birleşimleri denenmiştir. Birleşim detayları Şekil 2.17’de verilmiştir.



Şekil 2.17. Farklı birleşim detayları (Wang ve ark., 2018)

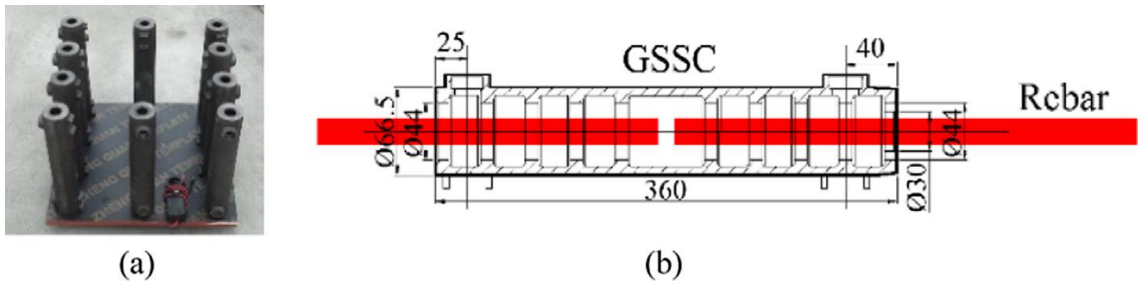
2 ve 4 nolu numuneler, 1 nolu referans numuneye benzer davranışlar sergilemişlerdir. 5 nolu numunenin taşıma gücü önemli ölçüde artmıştır. Aynı zamanda sünekliği ve yer değiştirmesi azalmıştır. 6 ve 7 nolu numunelerin taşıma gücü artarken yer değiştirme ve enerji sönümlenmesi azalmıştır. Genel olarak bütün bağlantı türleri referans numune ile benzer sonuçlar göstermiştir (Wang ve ark., 2018).

Li ve ark. tarafından 2018 yılında yapılan çalışmada 6 adet numune hazırlanmıştır. Numunelerin detayları Şekil 2.18'de verilmiştir.



Şekil 2.18. 6 adet numunenin bağlantı detayları (Li ve ark., 2018)

Bağlantı için kullanılan tüplerin detayları ve kesiti Şekil 2.19’da verilmiştir.



Şekil 2.19. Bağlantı tüpü detay ve kesiti (Li ve ark., 2018)

2 ve 5 nolu numuneler aynı hasar seviyesine ulaşmışlardır. İki numunenin de deprem performansı benzerdir ve yüksek sismik bölgelerde kullanılabilirler. 4 ve 6 nolu

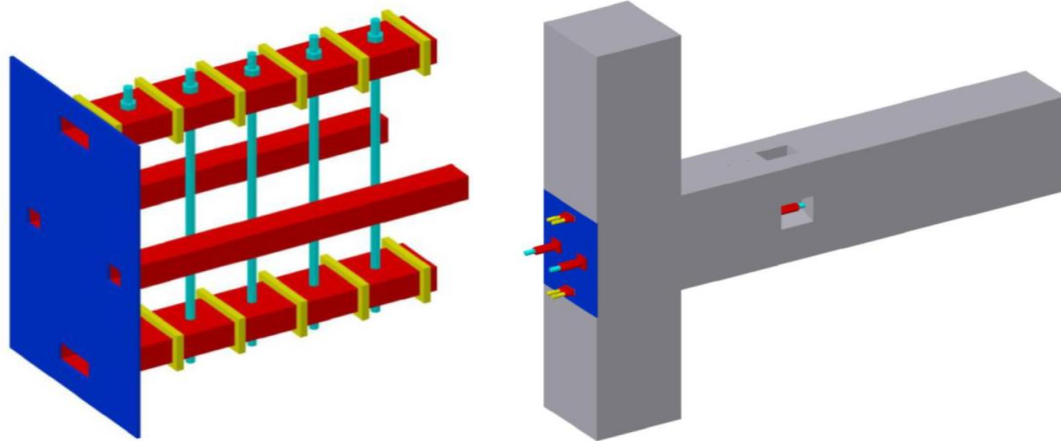
numunelerde ise kesme kapasitesinde bir artış olmuştur. Eğer bu bağlantılarda yer değiştirme kabiliyeti gerekli ise özel eklentiler yapılmak zorundadır (Li ve ark., 2018).

Atalay 2010 yılında yaptığı çalışmada 6 adet deney numunesi üretmiştir. Monolitik bağlantılı bir numune üretilmiştir. Prefabrike numunelerde ise bağlantıda kullanılacak donatının çapı ve ard-germe kuvvetinin farkına göre diğer 5 numune üretilmiştir. Üretilen numunelerin detayları Çizelge 2.2’de verilmiştir.

Çizelge 2.2. Deney numunelerinin özellikleri (Atalay, 2010)

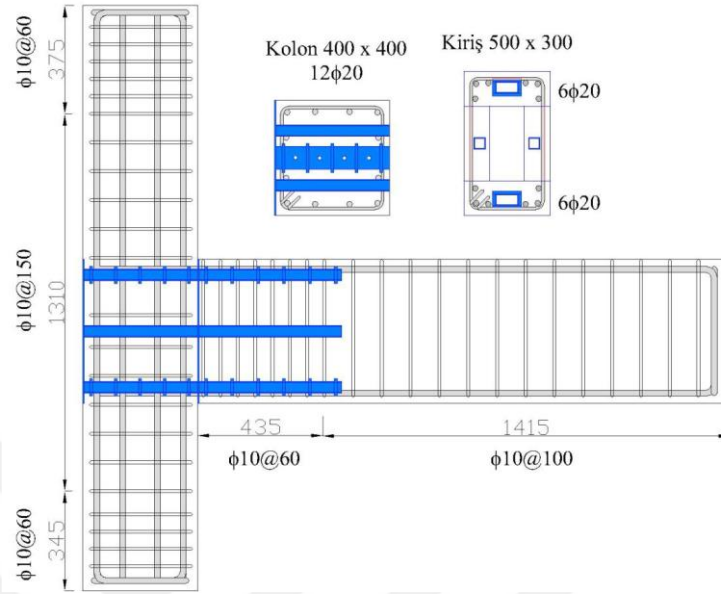
Numune	Deney Adı	Başlangıç Ard-germe Miktarı	Açıklama	Aderansız Boy (Serbest Boy)
Monolitik	MONO_0	0	Birleşimde altta ve üstte %0.7 oranında donatı mevcuttur.	0
Hibrid	HBD_10_0	0	2φ19 yüksek dayanımlı ard-germe bulonu (PT), alt ve üstte 2φ10 yumuşak donatı (MS) mevcuttur. $M_{ms}/M_r = 0.22$	PT – 1150 mm MS – 100 mm (10φ)
Hibrid	HBD_16_0	0	2φ19 yüksek dayanımlı ard-germe bulonu (PT), alt ve üstte 2φ16 yumuşak donatı (MS) mevcuttur. $M_{ms}/M_r = 0.40$	PT – 1150 mm MS – 130 mm (8φ)
Hibrid	HBD_16_20	135 kN	2φ19 yüksek dayanımlı ard-germe bulonu (PT), alt ve üstte 2φ16 yumuşak donatı (MS) mevcuttur. $M_{ms}/M_r = 0.40$	PT – 1150 mm MS – 130 mm (8φ)
Hibrid	HBD_16_20_C	135 kN	2φ19 yüksek dayanımlı ard-germe bulonu (PT), alt ve üstte 2φ16 yumuşak donatı (MS) mevcuttur. $M_{ms}/M_r = 0.40$	PT – 1150 mm MS – 130 mm (8φ)

Prefabrike elemanlarda kullanılan bağlantı modeli ve bağlantı elemanı Şekil 2.20’de verilmiştir.



Şekil 2.20. Bağlantı tipi ve bağlantı elemanı (Atalay, 2010)

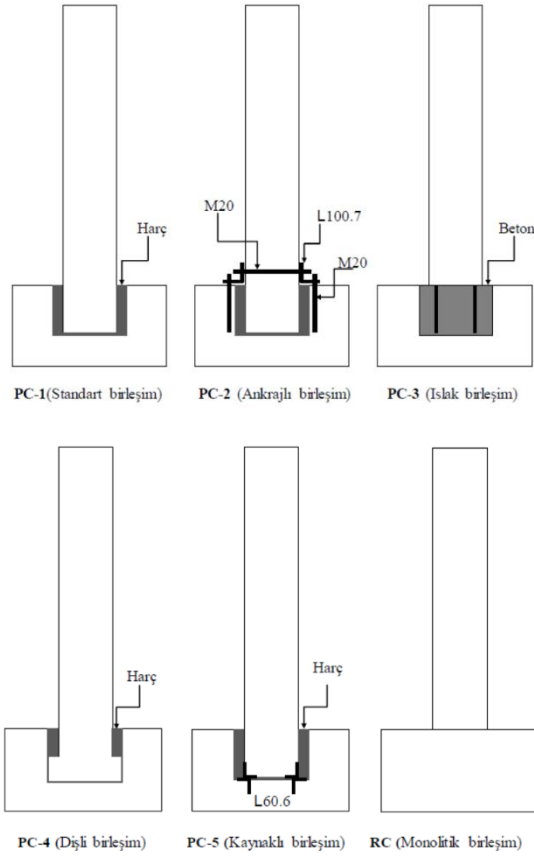
Kolon ve kirişte kullanılan donatı detayları ve kiriş kolon kesitleri Şekil 2.21’de verilmiştir.



Şekil 2.21. Kolon ve kiriş donatı detayları (Atalay, 2010)

Sonuç olarak HBD_16_20_C numunesinin enerji sönümleme kapasitesi monolitik numuneye yakın gerçekleşmiştir. Geliştirilen bağlantı türünün prefabrike yapılarda güvenli bir şekilde kullanılabilceği vurgulanmıştır (Atalay, 2010).

Hamzaçebi tarafından 2011 yılında gerçekleştirilen çalışmada 6 adet numune üretilmiştir. Referans numunesi olarak monolitik bir numune üretilmiştir. Diğer numunelerde ise farklı bağlantı türleri denenmiştir. Bağlantı türlerini gösteren şematik çizim Şekil 2.22’de verilmiştir.



Şekil 2.22. Bağlantı türlerinin şematik gösterimi (Hamzaçebi, 2011)

Çevrimsel yatay yüklemeye tabi tutulan kolonlarda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Standart prefabrike elemanda dolgu harcı ezilmeden yuva üzerinden mafsallaşma ve sıyrılma görülmüştür.
- Deney numuneleri dayanım açısından aynı sonuçları vermiştir.
- Ankrajlı birleşimli PC2 numunesi temel üstünden mafsallaşmıştır. Sıyrılma olmamıştır.
- PC-3 ıslak birleşiminde ise kırılma soğuk derzin olduğu dolgu betonunda parçalanma ile gerçekleşmiştir. Kırılma anında filizlerin akıp akmadığı belirlenememiştir. Kolonda herhangi bir hasar görülmemiştir.
- PC-4 tipi birleşimde ise dolgu harcında ezilme olmuştur. Temel yuvasından sıyrılma ya da plastik mafsallaşma olmamıştır.
- PC-5 birleşiminde dolgu harcı ezilmesi ve temel üst seviyesinden mafsallaşma gerçekleşmiştir. Yatay yük taşıma kapasitesi ve süneklik adına en iyi PC5 numunesi olduğu söylenebilir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Prefabrikte yapılarda yatay yük etkisi altında karşılaşılan problemlerin başında birleşim detayları gelmektedir. Geleneksel betonarme yapılardan farklı olarak birleşimlerin monolitik olmaması yatay yük etkisi altında birleşimlerde çok ciddi hasarlar oluşmasına neden olmaktadır. Bu nedenle taşıyıcı elemanların taşıma gücü kapasiteleri kullanılmadan birleşim bölgesi hasarları ile taşıyıcı sistemler göçme mekanizması durumuna gelmektedir.

Günümüzde prefabrikte yapıların hızlı ve düşük maliyetli üretimi çok büyük bir avantaj sağlasa da birleşim bölgelerinin zayıflığı yüksek katlı yapılarda kullanımına engel olmaktadır. Bu nedenle birleşim bölgelerinde farklı birleşim yöntemleri denenerek monolitik yapı davranışına benzer davranış elde edilmeye çalışılmaktadır. Dünya genelinde bununla ilgili çalışmalar devam etmekle birlikte deneysel olarak olumlu sonuç alınarak uygulamada kullanılan birleşim yöntemleri de mevcuttur. Ancak bu yöntemler tamamen yabancı firmalar elinde olan yöntemlerdir. Ülkemizde de bu yöntemler için yurt dışı bağlantısı sağlayan firmalar mevcuttur. Kısacası bu konuda dışa bağımlı durumda olan bir ülkeyiz. Bu çalışma kapsamında geliştirilecek yöntem ile yerli bir üretim tekniği ülkemize kazandırılmış olacaktır. Ayrıca her tekniğin insan gücüne bağlı olması ve ülkemizdeki işçi profili düşünüldüğünde yurt dışı kaynaklı kullanılacak yöntemlerin sonucunun olası depremlerde facialara yol açabileceği işçilik hatalarının toleransının olmadığı gözlemlenmiştir. Çalışma kapsamında geliştirilen yöntemde ise işçilik hataları ve ülkemiz genel işçi profili düşünülerek sistemde bu hatalara karşı önlemler alınmıştır. Bu sayede ülkemiz üretim tekniğine ve bilgi birikimine uygun olarak yerli bir üretim tekniği kazanılmış olacaktır.

Yapılacak çalışma ile prefabrikte yapılarda birleşim bölgelerinin mümkün olduğu kadar taşıma gücünü artırmak monolitik yapı davranışına benzer bir davranış elde etmeye çalışmak en önemli amaçtır. Yapılacak çalışmada geliştirilen bağlantı türü ile üretilmiş numunenin çevrimsel yatay yük etkisi altında davranışı incelenerek monolitik numune ve geleneksel soketli sistem numune ile kıyaslaması yapılmıştır. Monolitik numuneye ve geleneksel soketli numuneye göre davranış açısından ne kadar yaklaşıldığı veya ne kadar fazla davranış adına iyileştirme sağlandığı kontrol edilerek amaçlanan hedeflere ulaşılmaya çalışılmıştır. Davranış açısından incelemelerde ise yatay yük etkisi altında numunelerin yatay yer değiştirmeleri, yatay yük taşıma kapasiteleri, numunelerin sünekliği, rijitlik, enerji sönümle kapasiteleri kıyaslanmıştır.

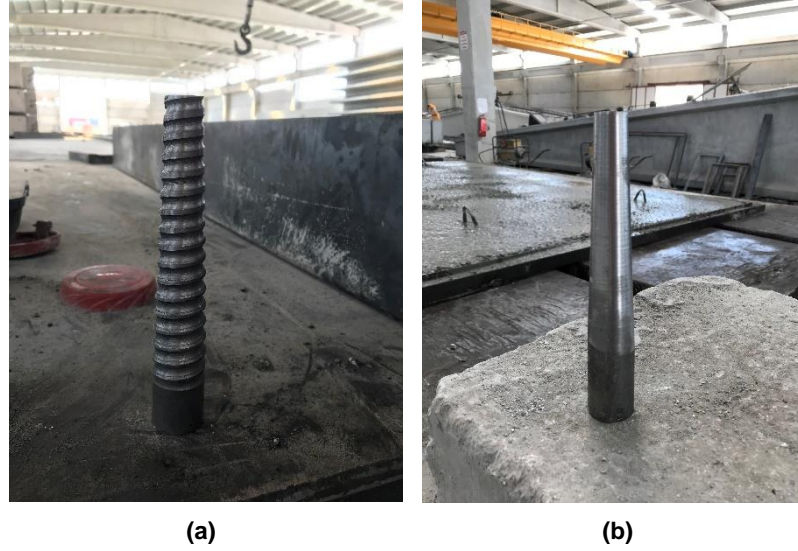
Bu çalışmada, kontrol numuneleri de dahil olmak üzere toplamda 9 adet numune üretilmiştir. Numunelerin genel özellikleri Çizelge 3.1’de verilmiştir. Çalışma başlangıcında Çizelge 3.1’de verilen KN1, KN2, SN3, AN4, AN5, AN6 ve AN7 numunelerinin üretimi planlanmıştır. Ancak deneysel aşamada karşılaşılan sorunlar nedeniyle AN8 ve AN9 numunelerinin üretimine karar verilmiştir. AN8 ve AN9 numuneleri önerilen bağlantı detayı aynı olmasına rağmen AN4, AN5, AN6 ve AN7 numunelerinden farklı olarak donatı planı değiştirilmiştir. Kullanılan donatı miktarı aynı iken donatının yerleşim planı değiştirilmiştir. AN4, AN5, AN6 ve An7 numunelerinde boyuna donatının pilye gibi bükülmesi yatay yük taşıma kapasitesi başta olmak üzere birçok parametrede kayıplara yol açmıştır. AN8 ve AN9 numunelerinde ise boyuna kolon tabanına kadar düz indirilerek meydana gelen eksikliklerin giderilmesi amaçlanmıştır.

Çizelge 3.1. Numunelerin genel özellikleri

Numune Adı	Kesit Boyutları (cm)	Yükseklik (Temel Dahil)(cm)	Beton Sınıfı	Donatı Sınıfı	Temel-Kolon Bağlantı Tipi	Öngerilme Miktarı (kN)	Ankraj Boşluklarının Özellikleri
KN1	20/30	217.5	C30	B420C	Monolitik	-	-
KN2	20/30	217.5	C30	B420C	Soketli	-	-
SN3	20/30	217.5	C30	B420C	Soketli	180	-
AN4	20/30	217.5	C30	B420C	Ankrajlı	-	Dişli
AN5	20/30	217.5	C30	B420C	Ankrajlı	180	Dişli
AN6	20/30	217.5	C30	B420C	Ankrajlı	-	Dişsiz
AN7	20/30	217.5	C30	B420C	Ankrajlı	180	Dişsiz
AN8	20/30	217.5	C30	B420C	Ankrajlı	-	Dişsiz
AN9	20/30	217.5	C30	B420C	Ankrajlı	180	Dişsiz

3.1. Önerilen Bağlantı Türünün Detayları

Önerilen bağlantı için öncelikle hazırlanan bir şablon ile temel içine ankraj donatıları yerleştirilmektedir. Bu ankraj çubuklarının uç kısmına civata sıkılabilmesi için diş açılmaktadır. Kolon kalıbı içerisine Şekil 3.1’de gösterilen konik aparatlar yerleştirilerek kolon içerisinde ankraj çubuklarının geçeceği bir boşluk bırakılmaktadır.

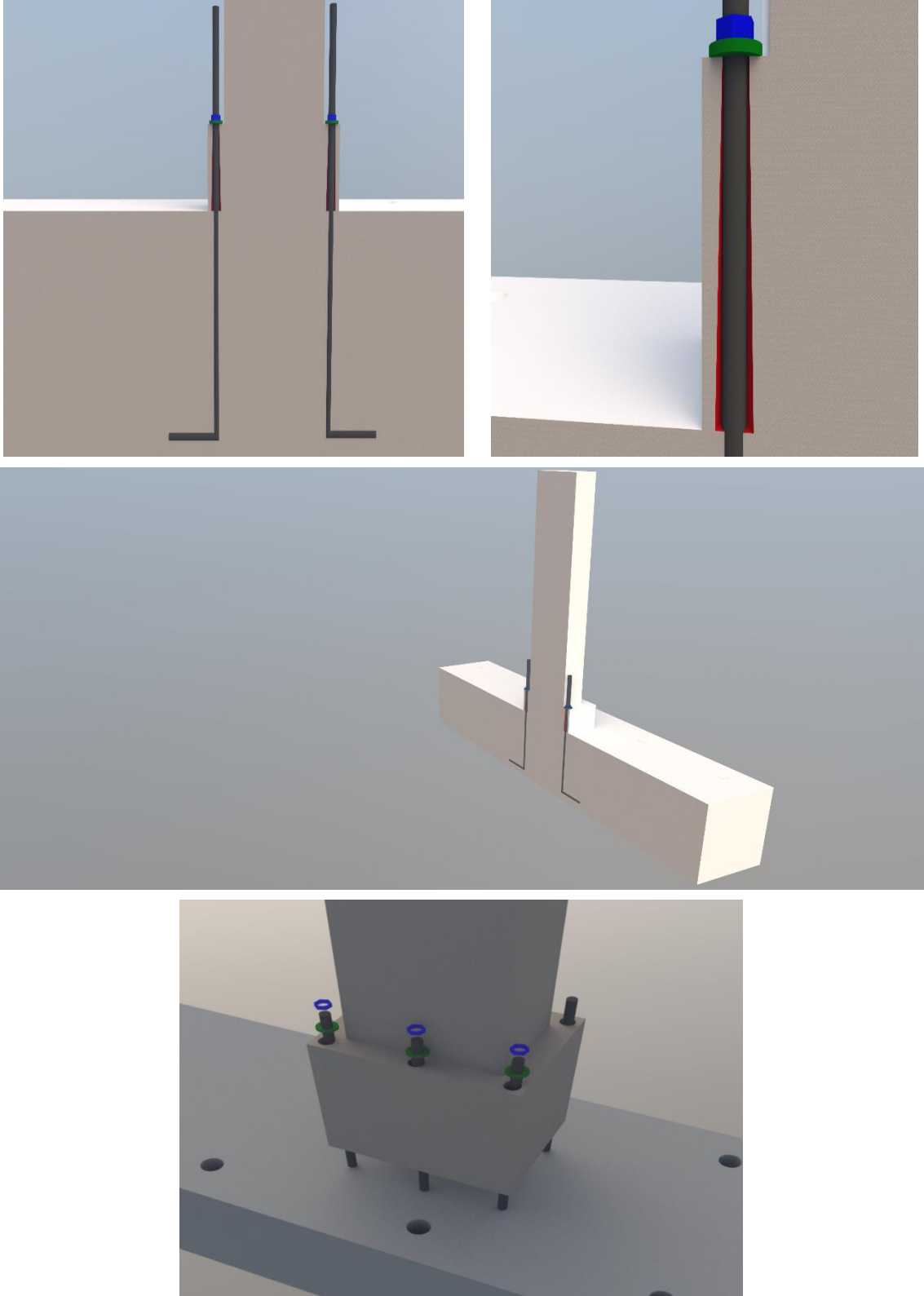


Şekil 3.1. Boşluk bırakmak için kullanılan aparatlar: a) dişli aparat, b) dişsiz aparat

Boşluk bırakmak için kullanılan konik aparatlar öncelikle ankraj çubuğu ile kolon arasında aderansı sağlamak için yüzeyinde dişler olacak şekilde tasarlanmıştır. Ancak konik bir parça üzerine diş açma maliyetinin yüksek olması nedeniyle dişli ve dişsiz boşluklar oluşturmanın performans etkilerini incelemek amacıyla iki tür aparatta çalışma kapsamında kullanılmıştır. Kolonun temele montajı ve ankraj çubuğunun detayları şematik olarak Şekil 3.2’de verilmiştir. Kolon deneylerinde, kolon davranışının tam olarak sağlanabilmesi için kolon üzerinde belirli miktarda eksenel yükün bulunması gerekmektedir. Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları (TS-500), Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği’nde (TBDY-2018) verilen minimum eksenel kuvvet miktarının hesaplanması ile ilgili formül aşağıda verilmiştir (TS-500, 2000; TBDY-2018, 2018).

$$N_d \leq 0.1A_c f_{ck} \quad (3.1)$$

Kolon boyutları ve beton sınıfı verilen numuneler için uygulanması gereken minimum eksenel yük 180 kN olarak hesaplanmıştır. Bu yükün kolon üzerine uygulanmasının zor olacağı düşünülerek numunelere bu eksenel yük değerini sağlayacak kadar öngerilme uygulanmıştır. Bu sayede prefabrike sektöründe çok sık yaşanan eksenel yükün az olması durumu için bir öneri sunulması planlanmıştır.



Şekil 3.2. Önerilen bağlantı detayları

3.2. Numunelerin Hakim Eğilme Davranışına Göre Tasarlanması

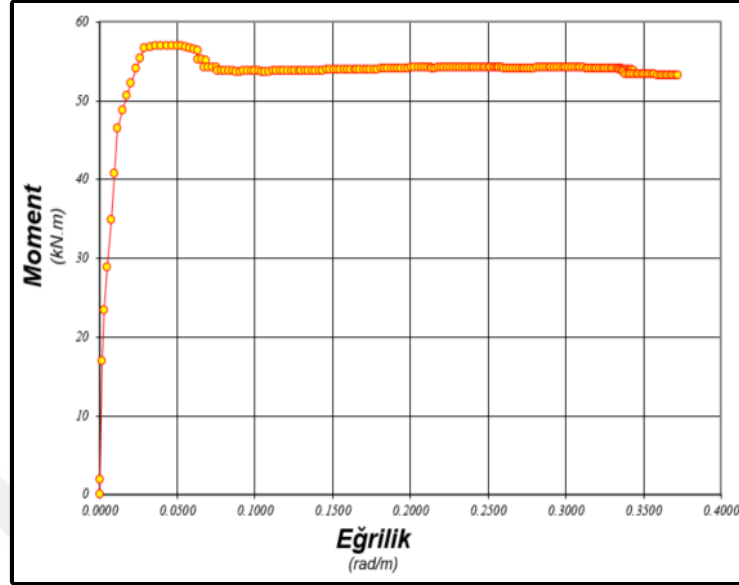
Laboratuvarda bulunan yük hücresinin kapasitesi, kreyn kirişinin taşıma kapasitesi gibi detaylar nedeniyle numuneler genel olarak 1/2 ve 1/3 ölçekli olarak üretilmektedir. Bu nedenle üretilecek numunenin boyu da kısalmaktadır. Numune boyunun kısılması, kolon davranışında kesme etkisini artırmaktadır. Üretilen numunelerin eğilme etkisi altında sünek bir davranış sergilemesi için numune tasarımında moment taşıma kapasitesi ve kesme kuvveti taşıma kapasitelerinin bilinmesi gerekmektedir. Numunelerin akma momentlerinin hesaplanmasında Ersoy ve Özcebe tarafından “Betonarme/Temel İlkeler” adlı kitapta verilen hesap yöntemi kullanılmıştır (Ersoy ve Özcebe, 2016). Hesaplama için gerekli olan parametreler aşağıda verilmiştir:

- $b=200$ mm
- $h=300$ mm
- $f_c=30$ MPa
- $f_y=420$ MPa
- $f_{yw}=420$ MPa
- $d'=25$ mm
- $E_c = 3250\sqrt{f_{ck}} + 14000=31800$ MPa (TS-500, 2000)
- $E_s=200000$ MPa
- $A_s=113.04$ mm² (6Φ12)
- $\Phi_e=8$ mm
- $s=100$ mm
- $b_k=150$ mm
- $h_k=250$ mm
- $N_d=180$ kN

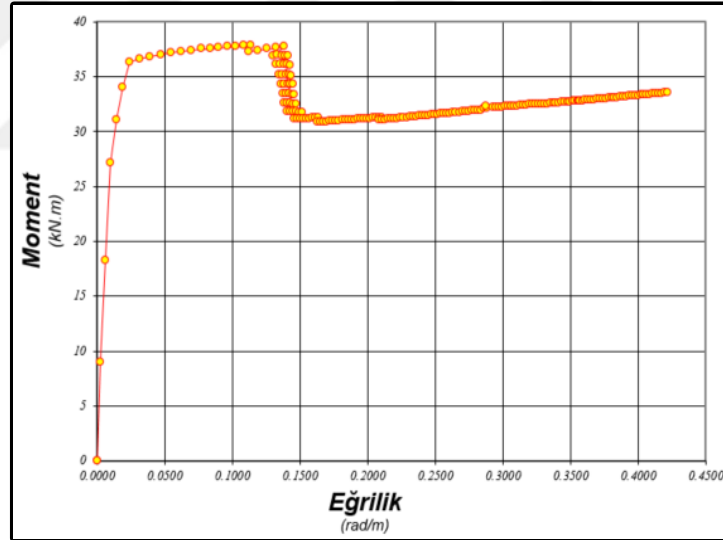
Kullanılan değerler doğrultusunda elde edilen moment-eğrilik ilişkisi Şekil 3.3'te verilmiştir. Hazırlanan numunelerin akma momentleri öngerilmeli ve öngerilmemiş numuneler için sırasıyla $M_y=56.74$ kN.m ve $M_y=36.83$ kN.m olarak bulunmuştur. Deney sırasında uygulanacak yatay yük kolon tabanından 1.575 m yukarıdan uygulanacağı için kolona etki edecek olan kesme kuvveti öngerilmeli numuneler için Denklem 3.2 ve öngerilmemiş numuneler için Denklem 3.3'de hesaplanmıştır.

$$V_d = M_y/l_n = 56.74/1.575 = 36.03 \text{ kN} \quad (3.2)$$

$$V_d = M_y/l_n = 36.83/1.575 = 23.38 \text{ kN} \quad (3.3)$$



(a)



(b)

Şekil 3.3. Moment-eğrilik ilişkisi, (a) öngerilmeli numuneler, (b) öngerilmesiz numuneler

Numunelerin kesme kuvveti taşıma kapasitesi ise TS-500'de verilen hesaplama yöntemine göre aşağıdaki gibi yapılmıştır (TS-500, 2000):

$$V_r = V_c + V_w \quad (3.4)$$

$$V_c = 0.8V_{cr} \quad (3.5)$$

$$V_{cr} = 0.65f_{ct}b_wd \quad (3.6)$$

$$V_w = \frac{A_{sw}}{s}f_{yw}d \quad (3.7)$$

Verilen formüller yardımı ile numunelerin kesme kuvveti taşıma kapasitesi öngörülmesi ve öngörülmesiz numuneler için aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$V_{cr} = 0.65 \times 1.27 \times 200 \times 275 = 45402.5 \text{ N} = 45.4 \text{ kN} \quad (3.8)$$

$$V_w = \frac{2 \times 50}{100} \times 365 \times 275 = 100375 \text{ N} = 100.4 \text{ kN} \quad (3.9)$$

$$V_c = 0.8V_{cr} = 0.8 \times 45.4 = 36.32 \text{ kN} \quad (3.10)$$

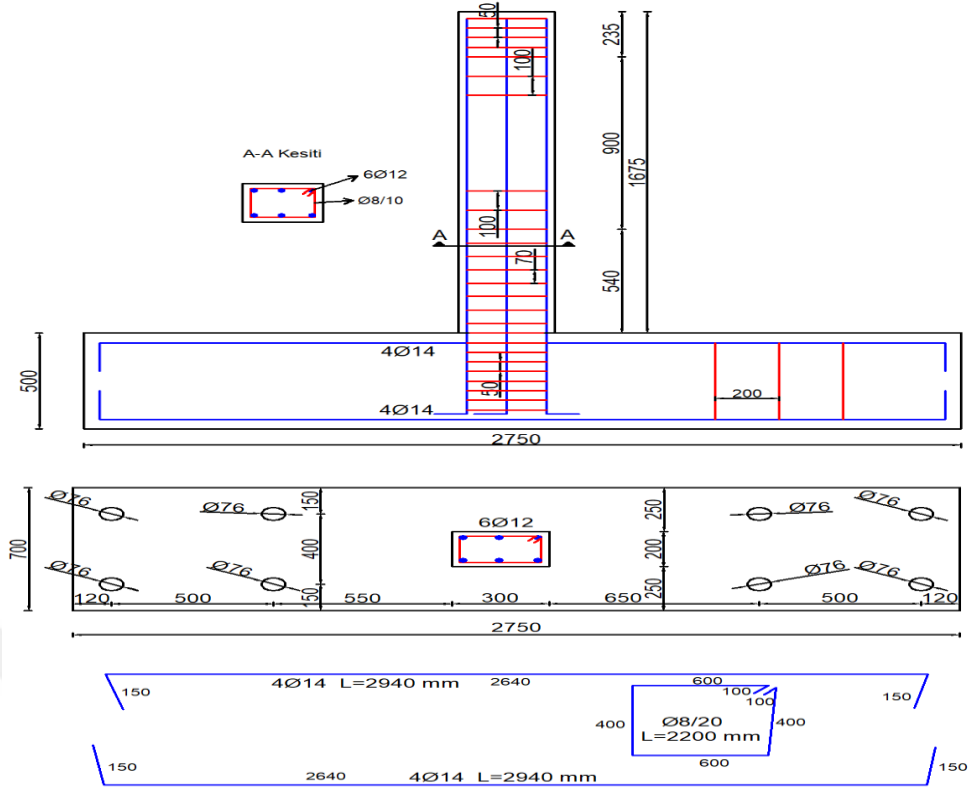
$$V_r = V_c + V_w = 36.32 + 100.4 = 136.72 \text{ kN} \quad (3.11)$$

$$V_r = 136.72 \text{ kN} \geq V_d = 36.03 \text{ kN} \text{ olduğundan uygundur.} \quad (3.12)$$

Öngörülmesi ve öngörülmesiz numuneler için kesme kuvveti taşıma kapasitesi yeterli olduğundan numunelerde eğilme hasarlarının olması beklenmektedir.

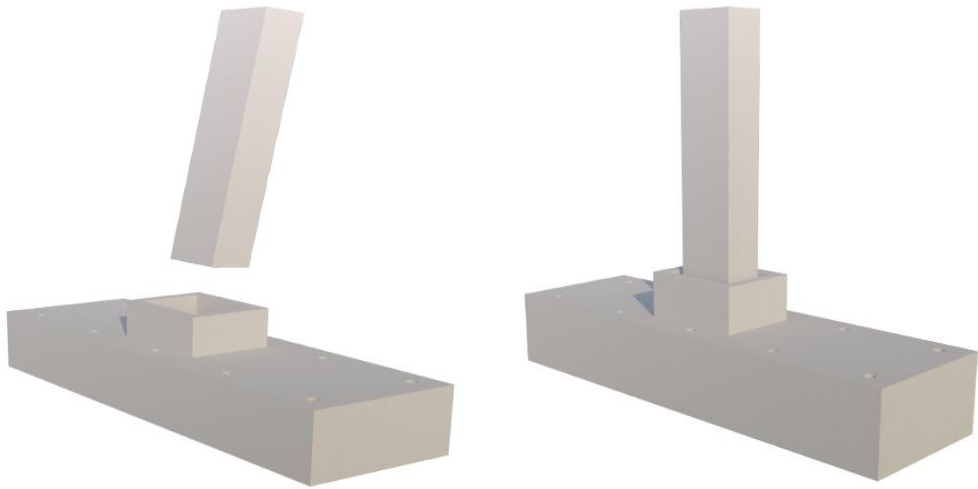
3.3. Numunelerin Özellikleri

Numuneler prefabrike sektörde genel olarak tercih edilen 40x60 boyutlarına uygun olarak ½ ölçekli seçilmiştir. Kolon boyları 167.5 cm olarak seçilmiştir. TBDY-2018 yönetmeliğinde minimum beton sınıfı prefabrike yapılar için C30 olduğundan dolayı beton sınıfı C30 olarak alınmıştır (TBDY-2018, 2018). Temelde oluşabilecek dönme ve oturmaları ihmal etmek için 50x70x275 cm boyutlarında rijit bir temel seçilmiştir. Kolonlarda 6Φ12 boyuna donatı kullanılmıştır. Numunelerde bağlantı türü özelliklerine göre donatı yerleşimi de değişiklik göstermektedir. KN1 numunesi monolitik olarak tasarlanmıştır. KN1 numunesi için donatı ve kalıp planı Şekil 3.4'te verilmiştir.



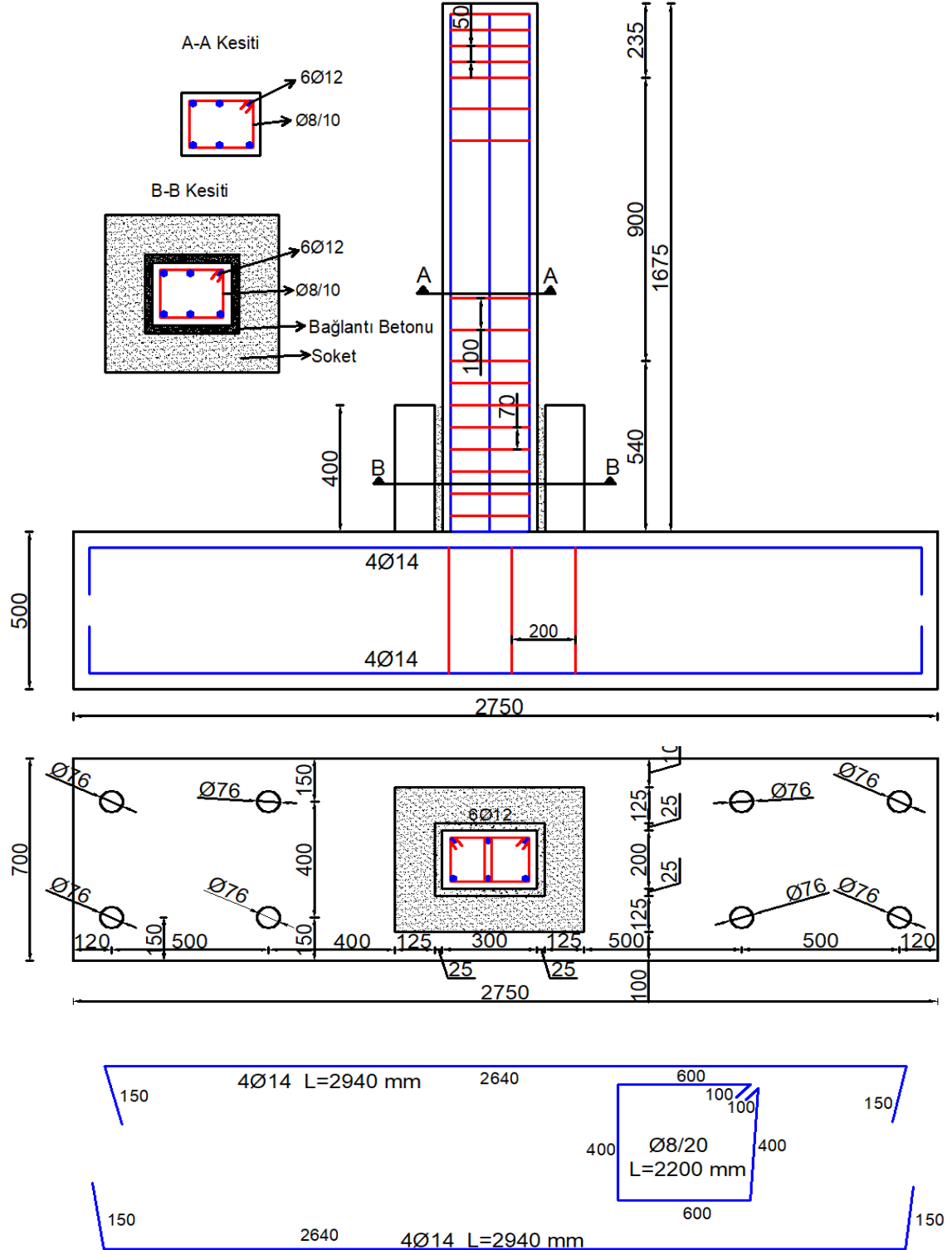
Şekil 3.4. KN1 numunesi kalıp ve donatı planı

KN2 ve SN3 numuneleri soketli bağlantı olarak tasarlanmıştır. SN3 numunesi KN2 numunesinden farklı olarak öngerilmeli tasarlanmıştır. Sektörde standart üretim şartlarına uygun olarak üretilen prefabrike kolonlar ile aynı şartlarda üretilmiştir. KN2 ve SN3 numunesinin şematik görünümü Şekil 3.5'te verilmiştir.



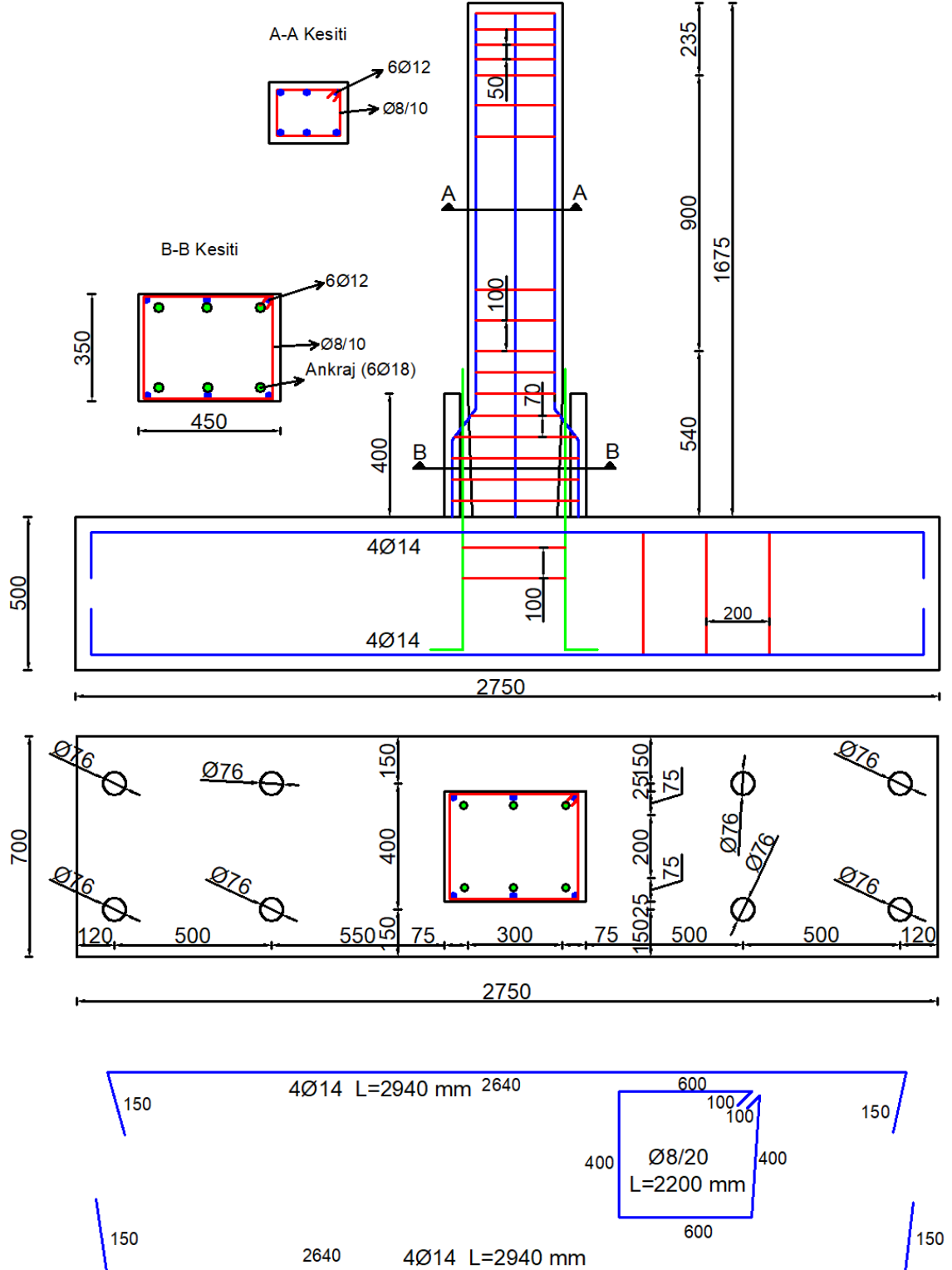
Şekil 3.5. KN2 ve SN3 numunesi şematik görünüşü

KN2 ve SN3 numuneleri de KN1 numunesi ile aynı düşey ve yatay donatı düzeninde olacak şekilde tasarlanmıştır. KN2 ve SN3 numunesinin kalıp ve donatı planı Şekil 3.6'da verilmiştir.



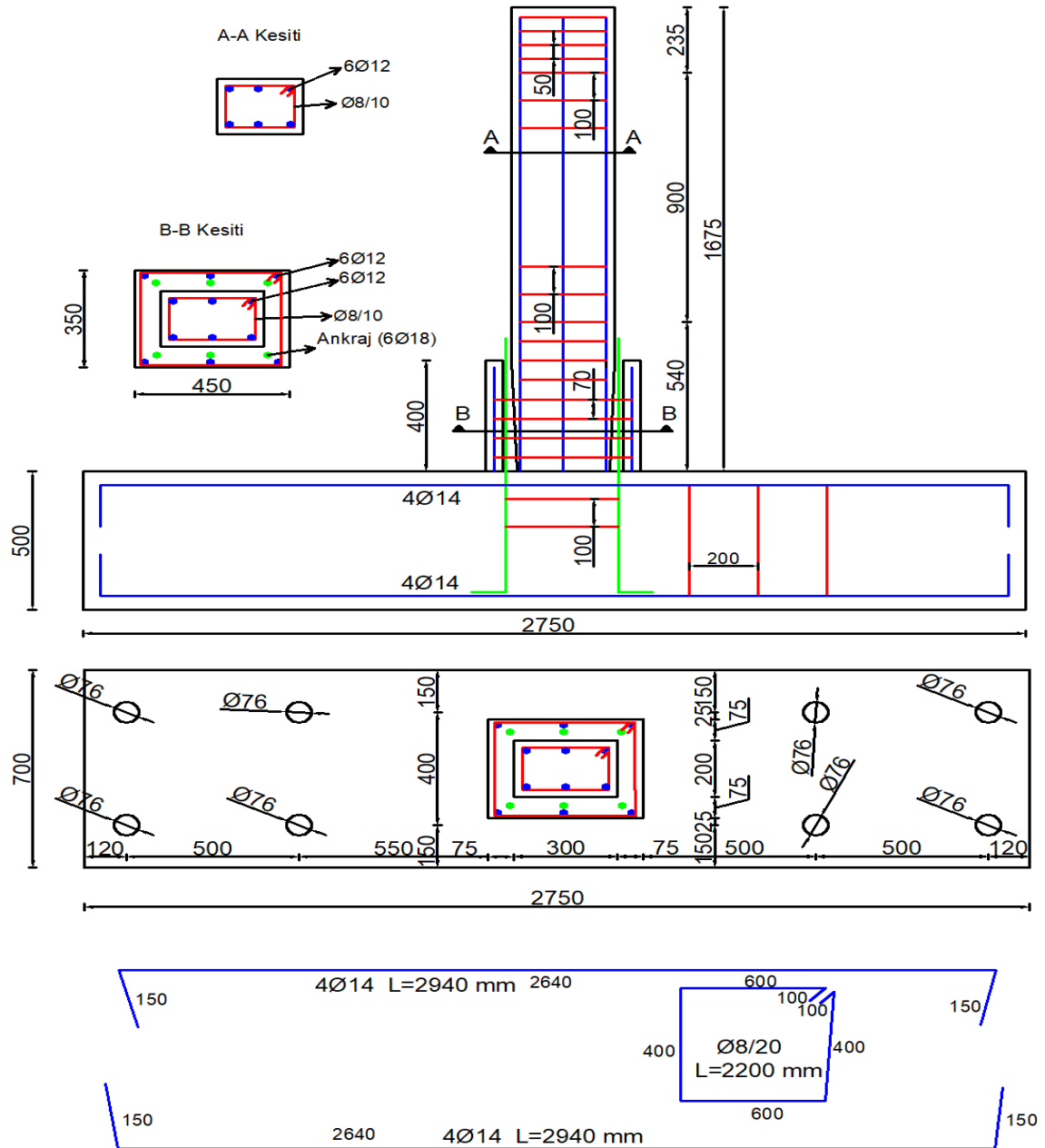
Şekil 3.6. KN2 ve SN3 numuneleri kalıp ve donatı planı

AN4, AN5, AN6 ve AN7 numuneleri önerilen bağlantı türü ile tasarlanmıştır. Kolonlarda düşey ve yatay donatı miktarları kontrol numuneleri ile aynı alınmıştır. AN4, AN5, AN6 ve AN7 numuneleri için kalıp ve donatı planı Şekil 3.7’de verilmiştir.



Şekil 3.7. AN4, AN5, AN6 ve AN7 numuneleri kalıp ve donatı planı

AN8 ve AN9 numuneleri ankrajlı olarak tasarlanmıştır. Ancak diğer ankrajlı numunelerden farklı olarak donatı planında değişikliğe gidilmiştir. AN4, AN5, AN6 ve AN7 numunelerinde kullanılan donatı planı deneyler sırasında görülen olumsuzlar nedeniyle istenilen başarıya ulaşmamıştır. AN4, AN5, AN6 ve AN7 numunelerinde karşılaşılan sorunlar “4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA” bölümünde detaylı bir şekilde verilmiştir. Yaşanan problemlerin çözümü olarak AN8 ve AN9 numunelerinde donatı planında değişiklik yapılarak sorunun çözülmesi amaçlanmıştır. AN8 ve AN9 numuneleri için kalıp ve donatı planı Şekil 3.8’de verilmiştir.



Şekil 3.8. AN8 ve AN9 numuneleri kalıp ve donatı planı

3.3.1. Malzeme özellikleri

3.3.1.1. Çimento

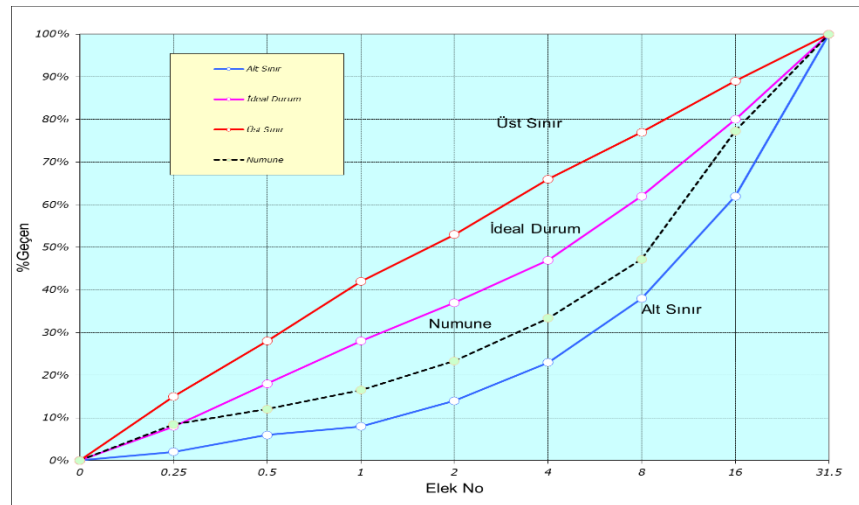
Kolon ve temellerin üretiminde CEM I 42.5 R çimento kullanılmıştır. Kullanılan çimento TS-EN 197-1 standartlarına uygun olarak üretilmiş bir çimentodur (TS-EN197-1, 2012). Çimentonun kimyasal bileşimi Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Çimentonun kimyasal bileşimi

Kimyasal Bileşen	İçerik (%)
SiO ₂	20.83
Al ₂ O ₃	5.14
Fe ₂ O ₃	3.01
CaO	63.87
MgO	2.47
SO ₃	2.5
Na ₂ O	0.15
TiO ₂	-
Cr ₂ O ₃	-
K ₂ O	-

3.3.1.2. Agrega

Beton üretiminde kırma taş agrega kullanılmıştır. Agrega granülometrisi TS-802’ye göre belirlenmiştir (TS-802, 2016). Kullanılan agreganın granülometri eğrisi Şekil 3.9’da verilmiştir.



Şekil 3.9. Agrega granülometri eğrisi

3.3.1.3. Akışkanlaştırıcı

Karışımında süper akışkanlaştırıcı olarak Sefar Conslumper 5252 HZ süper akışkanlaştırıcı beton katkısı kullanılmıştır. Kullanılan akışkanlaştırıcının teknik özellikleri Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Akışkanlaştırıcı teknik özellikleri

Renk	Koyu Kahverengi
Yoğunluk	1.06
Kullanım Dozajı	0.8-2.0
Ph Değeri	3.8

3.3.1.4. Beton karışım oranları

Numuneler için hazırlanan betonda C30 beton sınıfı hedeflenerek karışım hesapları yapılmıştır. Numunelerin üretilmesinde kullanılan beton karışım oranı Çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.4. Beton karışım oranı (1 m³ için)

Çimento (kg)	Su (kg)	Su/Çimento	Hiper Akışkanlaştırıcı (kg)	Agrega (kg)		
				0-5	7-15	15-25
330	157	0.48	8	1120	390	385

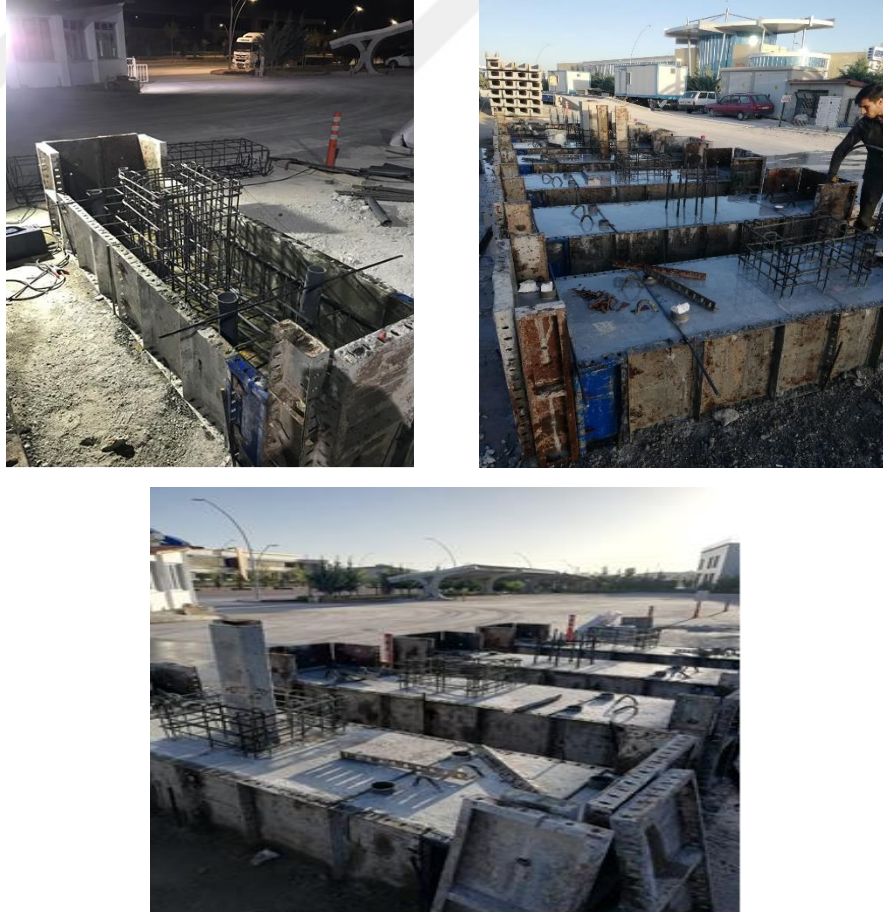
3.4. Numunelerin Üretilmesi

Bütün numunelerin üretimi Presan Prefabrik firmasında gerçekleştirilmiştir. Numunelerin üretiminde monolitik olan KN1 numunesi hariç diğerleri temel ve kolonlar ayrı ayrı üretilmiştir. Temel üretimi için üstte ve altta 4Φ14 donatı kullanılmıştır. Etriye olarak 20 cm ara ile Φ8 etriyeler kullanılmıştır. Monolitik numunenin üretimi Şekil 3.10'da verilmiştir.



Şekil 3.10. KN1 numunesinin üretimi

Soketli numunelerde temel betonu dökümü sırasında soket donatıları da yekpare olarak temel içine yerleştirilmiştir. Temel betonu döküldükten bir gün sonra da Şekil 3.11’de görüldüğü gibi soket için kalıp kurularak soket betonu dökülmüştür.



Şekil 3.11. Soketli temel üretim aşamaları

Önerilen bağlantı için temel üretiminde temele ankraj çubukları yerleştirilmektedir. Ankraj çubuklarının uçlarına diş açılmaktadır. Temel donatısı soketli temel ile aynı şekilde yerleştirilmiş ve ankraj donatıları bir şablon yardımıyla temel içerisine Şekil 3.12’de görüldüğü gibi yerleştirilmiştir.



Şekil 3.12. Ankrajlı birleşimde temel üretim aşamaları

Kolonların üretimi için Şekil 3.13’te görüldüğü gibi plywood malzemesinden kolon kalıpları yapılmıştır. Ankrajlı birleşim için kolon kalıbında genişleyen bölgelere delikler açılarak boşluk bırakmak için kullanılan aparatların oturacağı delikler elde edilmiştir.



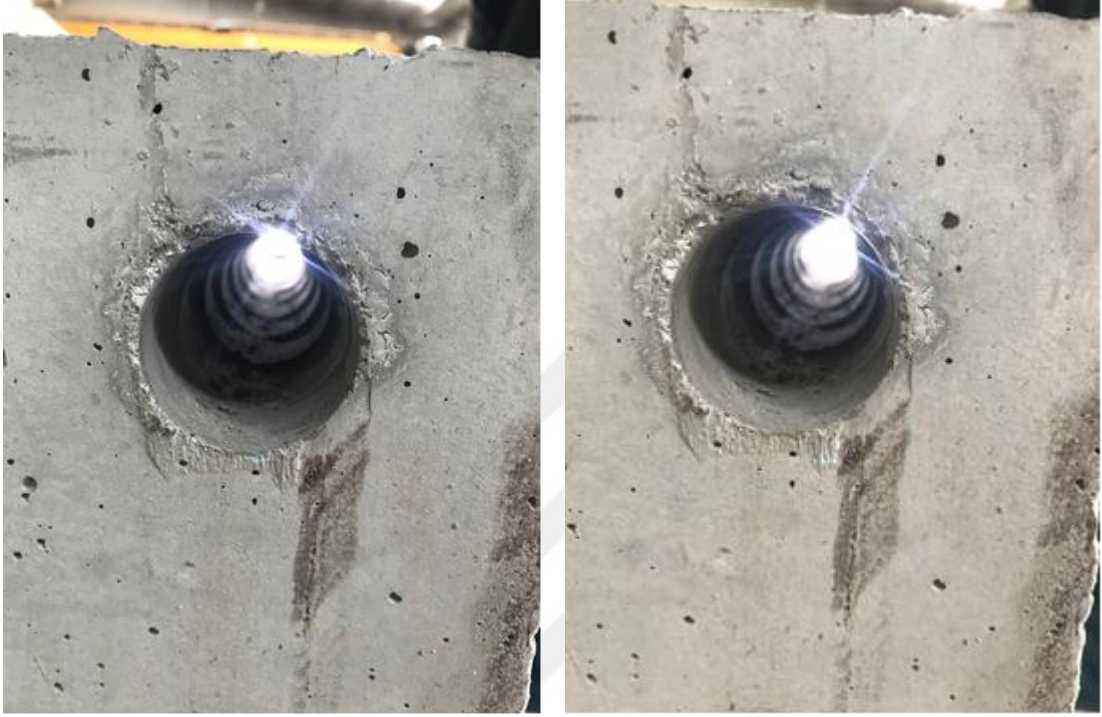
Şekil 3.13. Kolon kalıbı imalatı

KN2 ve SN3 numunelerinin kolonları aynı kalıp ile üretilmiştir. Donatı düzenleri ve diğer bütün özellikleri aynıdır. Sadece SN3 numunesine öngerilme uygulanmıştır. KN2 ve SN3 numunelerinin üretim aşamaları Şekil 3.14’te verilmiştir.



Şekil 3.14. KN2 ve SN3 numuneleri üretim aşamaları

Ankrajlı numunelerde üretim aşamasında boşluk bırakmak için dişli ve dişsiz yüzeylere sahip iki tip aparat kullanılmıştır. Dişli aparat sayesinde boşluk bırakılan beton yüzeyinde dişler oluşturulmuştur. Dişli aparat ile açılmış bir boşluk Şekil 3.15'te verilmiştir.



Şekil 3.15. Beton içinde oluşturulan diş

AN4, AN5, AN6 ve AN7 numuneleri aynı donatı düzeninde üretilmiştir. AN5 ve AN7 numuneleri diğerlerinden farklı olarak öngerilmeli üretilmiştir. AN4 ve AN6 numuneleri için üretim aşamaları Şekil 3.16'da verilmiştir. Öngerilmeli olarak üretilen AN5 ve AN7 numunelerinin üretim aşamaları ise Şekil 3.17'de verilmiştir.



Şekil 3.16. AN4 ve AN6 numunelerinin üretim aşamaları



Şekil 3.17. AN5 ve AN7 numunelerinin üretim aşamaları

AN8 ve AN9 numuneleri farklı donatı düzeninde üretilmiştir. AN8 numunesi öngerilmemiş, AN9 numunesi öngerilmeli olarak üretilmiştir. AN8 ve AN9 numunelerinin üretim aşamaları Şekil 3.18’de verilmiştir.



Şekil 3.18. AN8 ve AN9 numunelerinin üretim aşamaları

Numunelerin üretimi sırasında kullanılan C30 beton sınıfı için üretilmiş betondan alınan küp numuneler Şekil 3.19’da verilmiştir. Alınan küp numuneler ve üretimi yapılan temel ve kolonlar 28 gün boyunca kür edilmiştir. Beton dökümü iki aşamada tamamlandığı için toplamda 18 adet küp numune alınmıştır. Küp numunelerin 28. gün sonunda basınç testi yapılmıştır. Basınç test sonuçları Çizelge 3.5’te verilmiştir. Küp numunelerin sonuçları 0.8 katsayısı ile çarpılarak silindir numune sonuçları elde edilmiştir. Ortalama silindir basınç dayanımı 31.27 MPa olarak bulunmuştur.

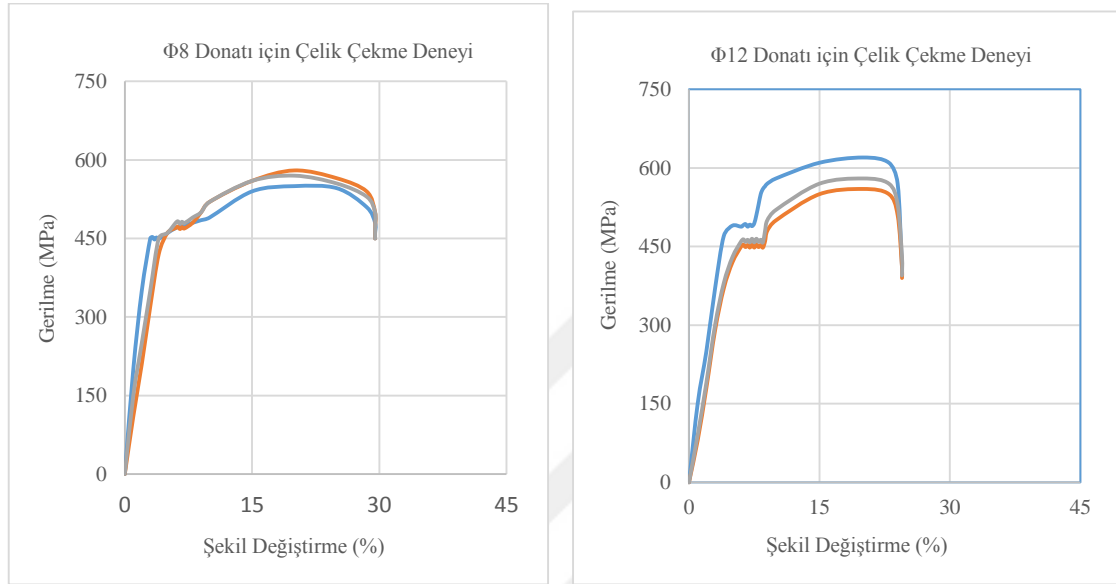


Şekil 3.19. Küp numunelerin alınması, kür edilmesi, basınç testi aşamaları

Çizelge 3.5. Küp numunelerin basınç test sonuçları

Deney No	Yük (kN)	Numune Kesit Alanı (cm ²)	Küp Numune Basınç Dayanımı (MPa)	Ortalama Küp Numune Basınç Dayanımı (MPa)	Silindir Numune Basınç Dayanımı (MPa)	Ortalama Silindir Numune Basınç Dayanımı (MPa)
1	903.15	225	40.14		32.11	
2	884.93	225	39.33		31.46	
3	849.15	225	37.74		30.19	
4	865.80	225	38.48		30.78	
5	860.40	225	38.24		30.59	
6	895.73	225	39.81		31.85	
7	885.15	225	39.34		31.47	
8	898.88	225	39.95		31.96	
9	914.40	225	40.64		32.51	
10	831.60	225	36.96	39.08	29.57	31.27
11	866.48	225	38.51		30.81	
12	898.88	225	39.95		31.96	
13	864.68	225	38.43		30.74	
14	889.65	225	39.54		31.63	
15	877.50	225	39.00		31.20	
16	882.68	225	39.23		31.38	
17	912.15	225	40.54		32.43	
18	847.80	225	37.68		30.14	

Kolonlar için $\Phi 12$ düşey ve $\Phi 8$ yatay donatı kullanılmıştır. Donatı çeliği çekme deneyi için üçer adet kupon alınarak çelik çekme deneyi yapılmıştır. Deney sonucunda elde edilen gerilme – şekil değiştirme grafikleri Şekil 3.20’de verilmiştir. Deney sonuçlarının TS-708’de verilen B420C çelik sınıfına uygun olduğu görülmüştür (TS-708, 2010).



Şekil 3.20. Donatı çeliği gerilme – şekil değiştirme eğrisi

3.5. Kolonların Temel Üzerine Montajı

Üretimleri tamamlanan numuneler Konya Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Deprem Araştırma Laboratuvarına nakledilmiştir. Temel ve kolonlar ayrı ayrı getirilmiştir. Soketli bağlantı sisteminde, kolonlar soket içerisine yerleştirilerek bir su terazisi yardımıyla dengeye getirilmiştir. Dengeye getirilen kolon ile soket arasında ahşap takozlar yerleştirilerek sabitlenmiştir. Soket ile kolon arasındaki boşluğa ince agregaya ile hazırlanmış beton doldurulmuştur. Doldurulan beton prefabrike sektöründe kolon montajında kullanılan standart C20 sınıfı kolon montaj betonu ile aynıdır. Soketli bağlantı için montaj aşamaları Şekil 3.21’de verilmiştir.



Şekil 3.21. Soketli bağlantı montaj aşamaları

Ankrajlı bağlantı türünde kolonlar temel üzerindeki ankrajlara oturtularak montaj yapılmıştır. Su terazisi ile dengeye alma işlemi gerekmemektedir. Temel üzerine kolonun yerleştirilmesinden sonra Ankraj çubukları ile kolon arasındaki aderansı sağlamak ve kolondan yükün aktarılması için bağlantı yüzeyi oluşturmak amacıyla boşluk içine beton enjekte edilmiştir. Ancak bu betonun hızlı priz alan, mukavemeti yüksek, akışkanlığı yüksek bir beton olması gerekmektedir. Bu nedenle bağlantı betonu için ayrıca bir beton çalışması gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmanın detayları “Bağlantı Betonunun Hazırlanması” bölümünde verilmiştir. Betonun boşluğa doldurulması sonrasında ankraj uçlarına pul yerleştirilerek civata sıkılmıştır. Civatalar ankraj çubuğunda bir çekme gerilmesi oluşturmamak amacıyla çok fazla sıkılmamıştır. Boşluk alınacak şekilde sıkılarak bırakılmıştır. Ankrajlı bağlantı için montaj aşamaları Şekil 3.22’de verilmiştir.



Şekil 3.22. Ankrajlı bağlantı montaj aşamaları

3.6. Bağlantı Betonunun Hazırlanması

Bağlantı betonu hazırlanırken kullanılan çimento CEM II 42.5 R portland çimentodur. Kullanılan çimentonun özgül kütlesi 3.2 g/cm^3 'tür. Kullanılan çimentonun kimyasal bileşimi Çizelge 3.6'da verilmiştir.

Çizelge 3.6. Bağlantı betonu için kullanılan çimentonun kimyasal bileşimi

Kimyasal Bileşen	(%)
CaO	54-62
Al ₂ O ₃	3.5-5.7
SO ₃	2.2-3.5
Cl	0-0.17
MgO	0.8-2.3
Na ₂ O	0.2-0.7
SiO ₂	20-26
Fe ₂ O ₃	2.1-3.7
K ₂ O	0.2-0.8

Agrega olarak karışımda silis kumu kullanılmıştır. Silis kumunun özgül kütlesi 2.54 g/cm^3 'tür. İçeriğinde %92.5 SiO₂ bulunmaktadır. Silis kumunun kimyasal bileşimi Çizelge 3.7'de verilmiştir.

Çizelge 3.7. Bağlantı betonu için kullanılan silis kumunun kimyasal bileşimi

Kimyasal Bileşen	(%)
SiO ₂	92.5
TiO ₂	0.087
CaO	2.16
Al ₂ O ₃	1.63
SO ₃	0.0228
Cr ₂ O ₃	0.178
MgO	0.145
ZnO ₂	0.0176
BaO	0.00548
Fe ₂ O ₃	1.65
K ₂ O	0.348
Na ₂ O	0.027

Karışımda akışkanlığı sağlamak için süper akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Kullanılan akışkanlaştırıcı çimento ağırlığının %0.5'i kadar karışıma ilave edilmiştir. Süper akışkanlaştırıcının teknik özellikleri Çizelge 3.8'de verilmiştir.

Çizelge 3.8. Bağlantı betonu için kullanılan süper akışkanlaştırıcının teknik özellikleri

Süper Akışkanlaştırıcının Teknik Özellikleri	Değer
Renk	Sütlü kahve
Kaynama noktası	95-105 °C
Isısal ayrışma	> 720 °C
Yoğunluk	1.25 g/cm ³
Ph değeri	9.2-12.0
Suda çözünürlük	Suda çözünebilir

Karışımda iki farklı tip priz hızlandırıcı kullanılmıştır. Kullanılan priz hızlandırıcıların teknik özellikleri Çizelge 3.9’da verilmiştir.

Çizelge 3.9. Bağlantı betonu için kullanılan priz hızlandırıcının teknik özellikleri

Priz Hızlandırıcının Teknik Özellikleri	Tip 1	Tip 2
Malzeme yapısı	Sodyum alüminat bazlı	Polikarboksilik eter bazlı
Renk	Beyaz	Açık kahve
Yoğunluk	1.2±0.05 kg/m ³	1.13±0.05 kg/litre
Erime noktası	> 380 °C	-
Parlama noktası	-	-
pH değeri	6.5-7.5	-
Klor içeriği % (TS-EN480-10, 2010)	-	<0.1
Alkali içeriği % (TS-EN480-10, 2010)	-	<3

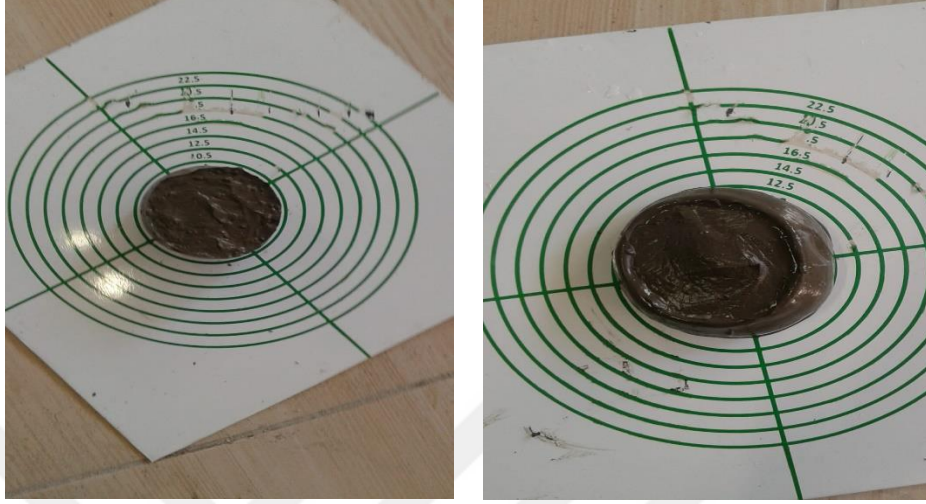
Karışımda priz hızlandırıcı miktarları değiştirilerek 9 farklı karışım hazırlanmıştır. Priz hızlandırıcı miktarı karışımdaki çimento miktarının %0.5, %0,75, %1.0 ve %1.25’i olarak seçilmiştir. Beton karışım oranları 0.6 m³ beton için Çizelge 3.10’da verilmiştir.

Çizelge 3.10. Bağlantı betonu karışım oranları (0.6 m³)

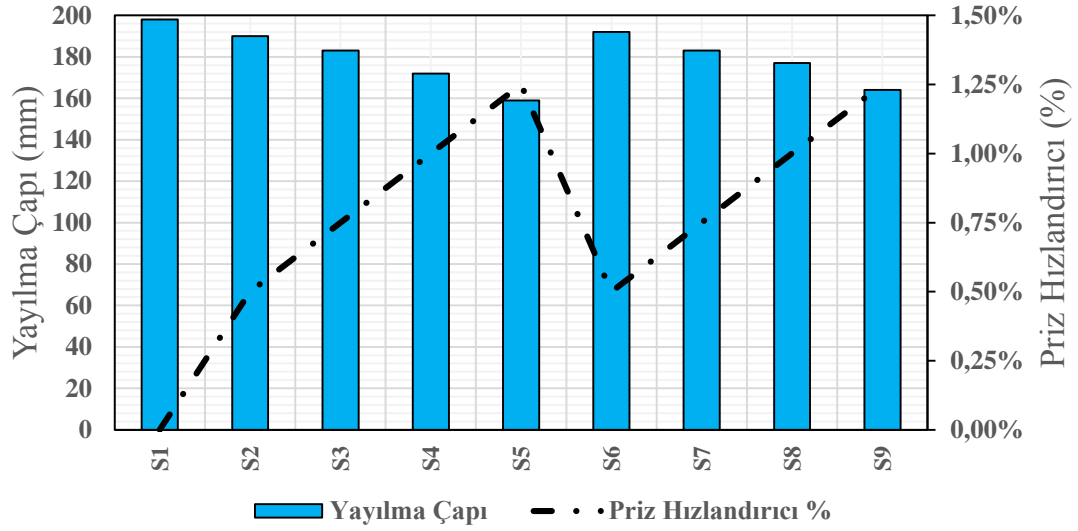
Numune No	Su (kg)	Çimento (kg)	Silis kumu (kg)	Süper akışkanlaştırıcı (kg)	Priz hızlandırıcı (kg)	
					Tip 1	Tip 2
S1	155	480	500	2.4	-	-
S2	155	480	500	2.4	2.4	-
S3	155	480	500	2.4	3.6	-
S4	155	480	500	2.4	4.8	-
S5	155	480	500	2.4	6.0	-
S6	155	480	500	2.4	-	2.4
S7	155	480	500	2.4	-	3.6
S8	155	480	500	2.4	-	4.8
S9	155	480	500	2.4	-	6.0

Hazırlanan karışımlarda taze beton özelliklerini kontrol etmek için yayılma tablası deneyi yapılmıştır. Yayılma tablası deneyi kalıba çimento hamurunun iki katman halinde yerleştirilmesi ile yapılmıştır. Her katman TS-EN 12350-5 ilkelerine uygun olarak 10 defa şişlenmiştir. Tabla üzerine yerleştirilen kalıp yukarı çekilerek çıkarılmıştır. Daha

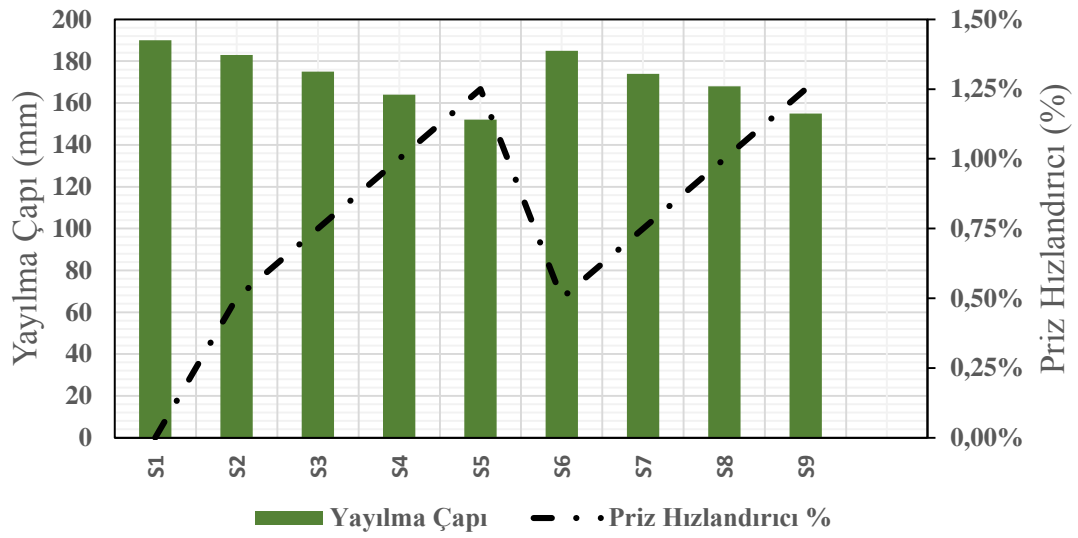
sonra üst tabla 15 defa düşürülerek yayılma çapı Şekil 3.22’de görüldüğü gibi ölçülmüştür (TS-EN12350-5, 2010). Şekil 3.23’te verilen deney sonucu S5 numunesine aittir. Numunelerden elde edilen yayılma çapı sonuçları ise Şekil 3.24’te verilmiştir.



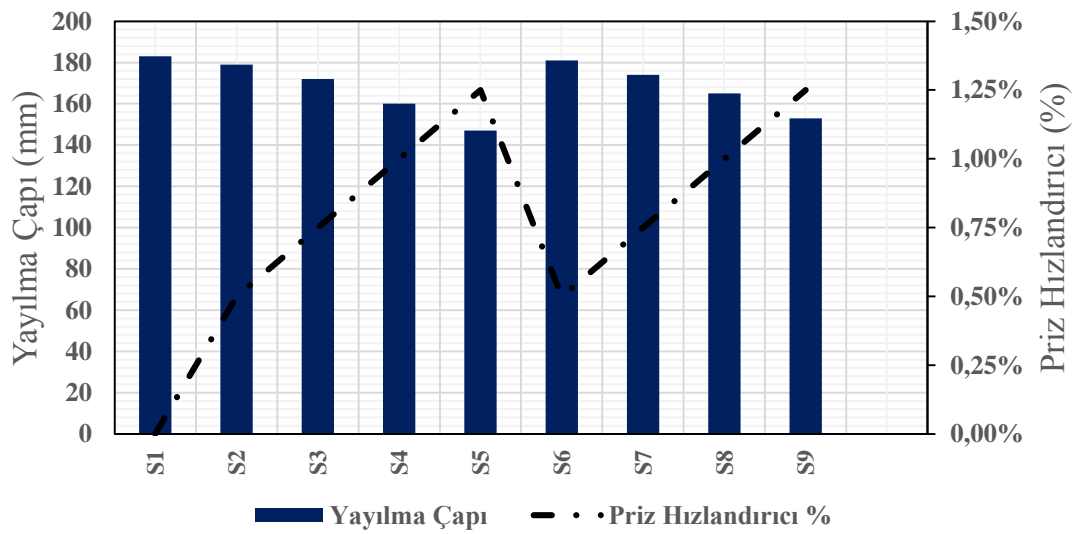
Şekil 3.23. Yayılma tablası deneyi



(a)



(b)

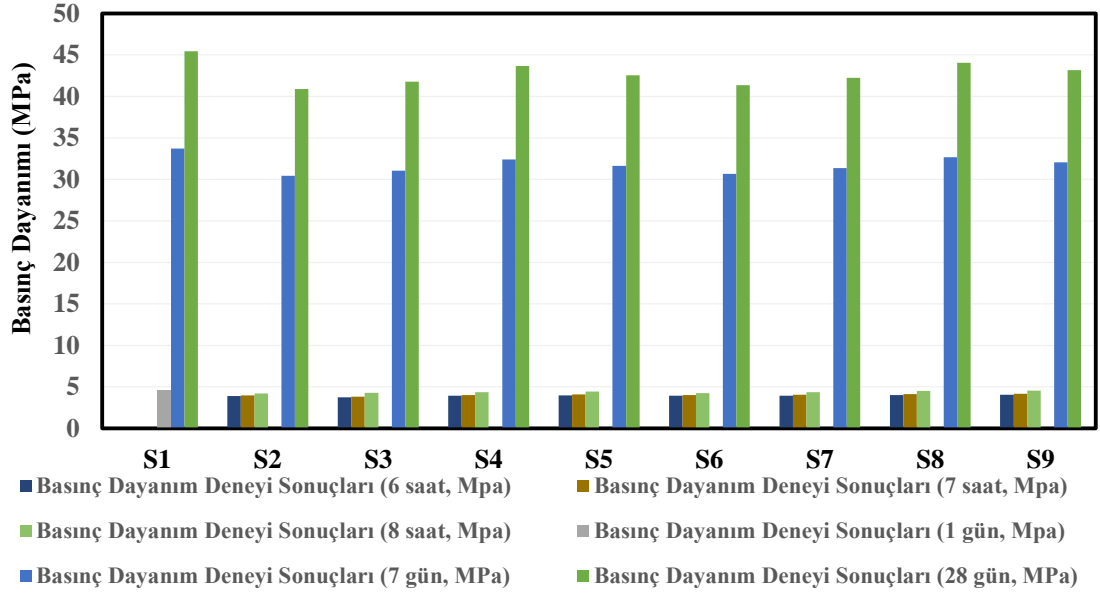


(c)

Şekil 3.24. Yayılma tablası deneyi sonuçları, (a) 6 saat, (b) 7 saat, (c) 8 saat

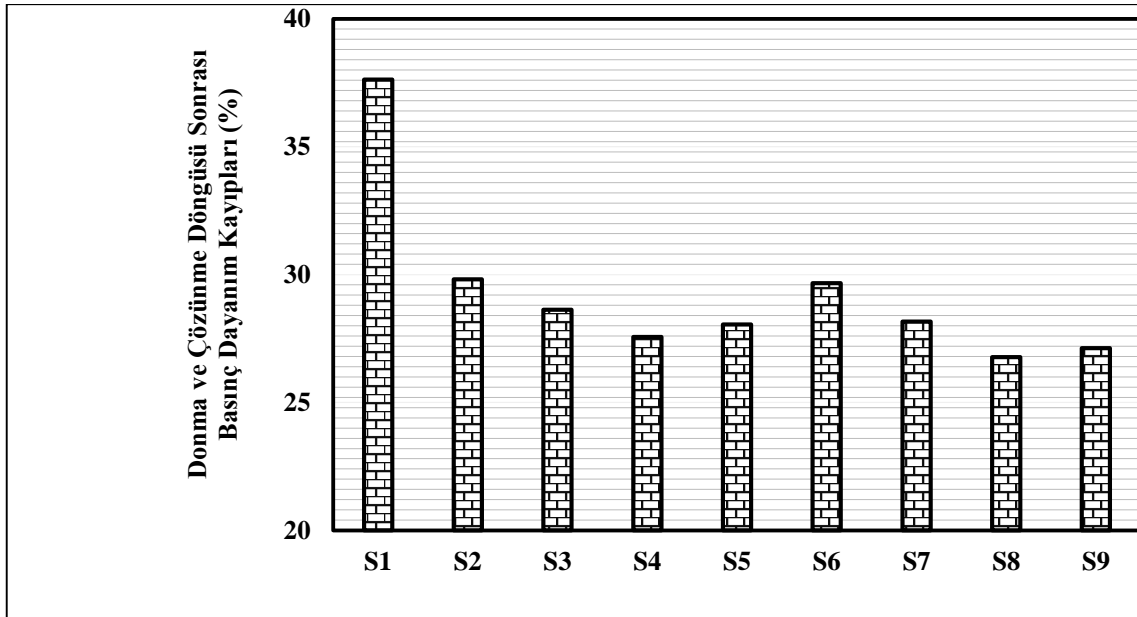
Sonuçlar incelendiğinde polikarboksilik eter tabanlı priz hızlandırıcı, sodyum alüminat tabanlı priz hızlandırıcıya göre daha iyi sonuçlar vermiştir. Priz hızlandırıcı miktarındaki artış ve deney süresinin kısalması yayılma çapının artmasına neden olmaktadır. Sodyum alüminat tabanlı priz hızlandırıcıda yayılma çapının daha düşük çıkması, sodyum alüminatın erken etrenjit oluşumuna katkısından kaynaklanmaktadır. Her iki priz hızlandırıcı için erken etrenjit oluşumu ve C-S-H jel oluşumu karışımın plastikliğini erken kaybetmesine neden olmaktadır. Genel olarak sonuçlar literatür ile uyushmaktadır (Salvador ve ark., 2020).

Basınç dayanımı deneyleri için her karışımından 6 saat, 7 saat, 8 saat, 1, 7 ve 28 günlük deneyler için üçer adet basınç dayanım deneyi numuneleri alınmıştır. Deney numuneleri için 15x15x15 cm boyutlarında kalıplar kullanılmıştır (TS-EN12390-1, 2013). Numuneler kalıba iki katman halinde yerleştirilmiştir. Her katman bir çelik çubuk yardımıyla 25 defa şişlenmiştir. Deney numuneleri 16 saat kalıp içinde durduktan sonra 20 °C sıcaklığa sahip kür havuzunda deney zamanına kadar kür edilmiştir (TS-EN12390-2, 2010). Numuneler saniyede 0.6 N/mm² yükleme hızına sahip darbe tesiri yapmayacak şekilde basınç deney cihazında deneye tabi tutulmuştur (TS-3114-ISO-4012, 2003). Numunelerden elde edilen ortalama basınç dayanım sonuçları Şekil 3.25'te verilmiştir. Basınç dayanımı sonuçlarına göre S8 numunesinde en iyi sonuçlar elde edilmiştir. Basınç dayanımından kayıp %3.04 olarak elde edilmiştir. Ayrıca S8 numunesinde 8 saatlik basınç dayanım sonuçları kontrol numunesinin 1 günlük basınç dayanım sonuçlarını yakalamıştır. Priz hızlandırıcıların C-S-H jel oluşumunu hızlandırması betonda erken dayanım gelişimini sağlamaktadır. Ancak C-S-H jel oluşumunun hızlı olması, nihai C-S-H jel miktarının azalmasına neden olmaktadır. Sonuç olarak priz hızlandırıcı kullanımı erken dayanımı geliştirmesine rağmen nihai dayanımda bir miktar kayıp oluşmasına neden olmaktadır. Elde edilen basınç dayanım deneyi sonuçları literatürdeki sonuçlarla da örtüşmektedir (Ikumi ve ark., 2019).



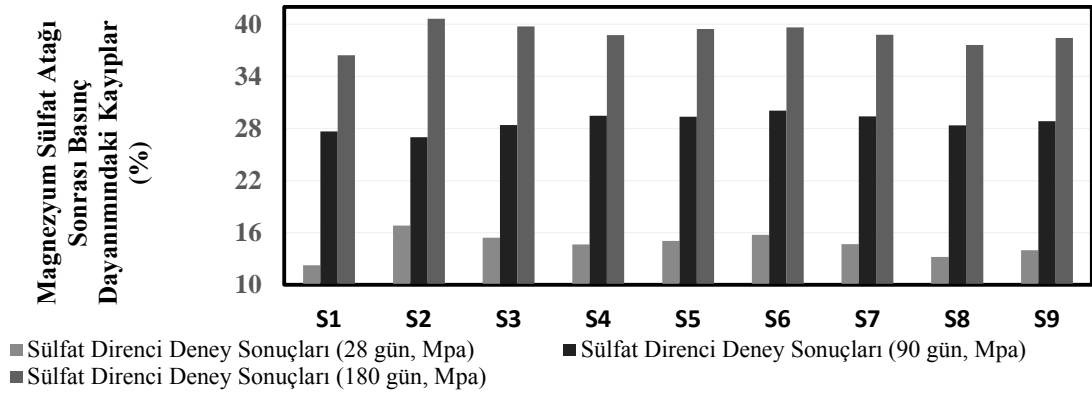
Şekil 3.25. Basınç dayanım deneyi sonuçları

Hazırlanan karışımların donma-çözünme deneyleri için alınan numuneler öncelikle -20°C 'de donmaya bırakılmış, daha sonra 20°C normal kür koşullarına getirilmiştir. Bu döngü 100 kere tekrarlandıktan sonra numuneler basınç deneyine tabi tutulmuştur. Deney sonucunda karışımlarda meydana gelen basınç dayanımı kayıpları Şekil 3.26'da verilmiştir. Donma-Çözünme deneylerinde betonun içerisinde bulunan boşluklar su ile dolmaktadır. Boşluklar su ile dolduktan sonra betonun donma etkisine maruz bırakılması boşluklardaki suyun donması ve hacminin genişlemesine neden olmaktadır. Donan suyun hacminin genişlemesi sonucu beton içerisinde ilave iç gerilmeler oluşur. Betonun boşluklu yapısındaki buzun erimesi sonucu ise bu gerilmeler ortadan kalkar. Bu döngünün sürekli tekrarlanması betonda dayanım kayıplarına yol açar. S8 numunesinde basınç dayanımındaki kayıp %26.78 olarak elde edilmiştir. Kontrol numunesi ile kıyaslandığında, %10.85 daha az basınç dayanım kaybı yaşanmıştır. Elde edilen donma-çözünme basınç dayanım kayıpları literatürle paralel sonuçlar çıkarmaktadır (del Bosque ve ark., 2020).



Şekil 3.26. Donma ve çözünme deney sonuçları

Endüstriyel yapılar kullanım amaçlarına bağlı olarak aside maruz kalabilmektedir. Asit ise taze ve sertleşmiş betona zarar vermektedir (Binici ve Aksoğan, 2006). Beton içerisine giren sülfat iyonları betonda dayanım kazanmayı sağlayan C-S-H jel oluşumunu azaltmaktadır. Ayrıca Beton içerisindeki boşlukların etrenjit gibi genişleyen reaksiyon ürünleri ile dolması sonucu betonda mikro çatlaklar meydana gelmektedir. Bu nedenle önerilen bağlantının endüstriyel yapılarda aside maruz kalması düşünülerek sülfat atağı deneyi yapılmıştır. Numuneler %10 MgSO₄ içeren solüsyonda 28, 90 ve 180 gün bekletilerek basınç dayanım deneyine tabi tutulmuşlardır. Magnezyum sülfat atağına maruz kalan betonda basınç dayanım kayıpları gözlemlenmektedir (Neville, 2004). Deney sonucu numunelerdeki basınç dayanımı kayıpları Şekil 3.27’de verilmiştir. Kontrol numunesindeki 180 günlük deney sonucu kayıp %36.42 iken S8 numunesinde %37.63 olarak elde edilmiştir.



Şekil 3.27. Magnezyum sülfat atağı deney sonuçları

Sonuç olarak S8 numunesinin hazırlandığı polikarboksilik eter bazlı priz hızlandırıcının çimentonun ağırlığının %1'i kadar kullanılması nihai dayanımda küçük kayıplara yol açsa da erken dayanımda önemli kazanımlara neden olmaktadır. Bu nedenle tez kapsamında hazırlanan bağlantı betonunda S8 numunesinin hazırlandığı karışım yani 0.6 m³ karışım için 155 kg su, 480 kg çimento, 500 kg silis kumu, 2.4 kg süper akışkanlaştırıcı ve 4.8 kg priz hızlandırıcı kullanılarak hazırlanan karışım kullanılmıştır.

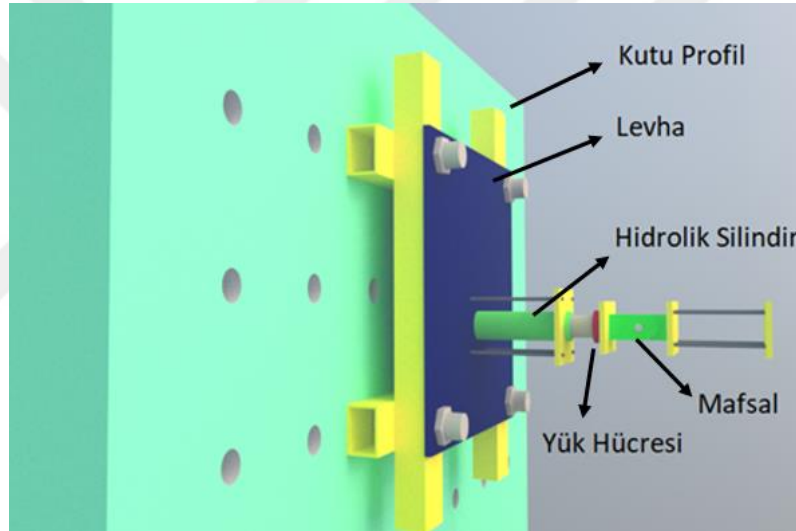
3.7. Deney Düzeneği

Temel üzerine montajı yapılan kolonlar laboratuvar zemininde bulunan delikler sayesinde zemine tijler vasıtasıyla sabitlenmiştir. Yükleme düzeneği ise Şekil 3.28'de gösterilen reaksiyon duvarındaki delikler ile reaksiyon duvarına sabitlenmiştir.



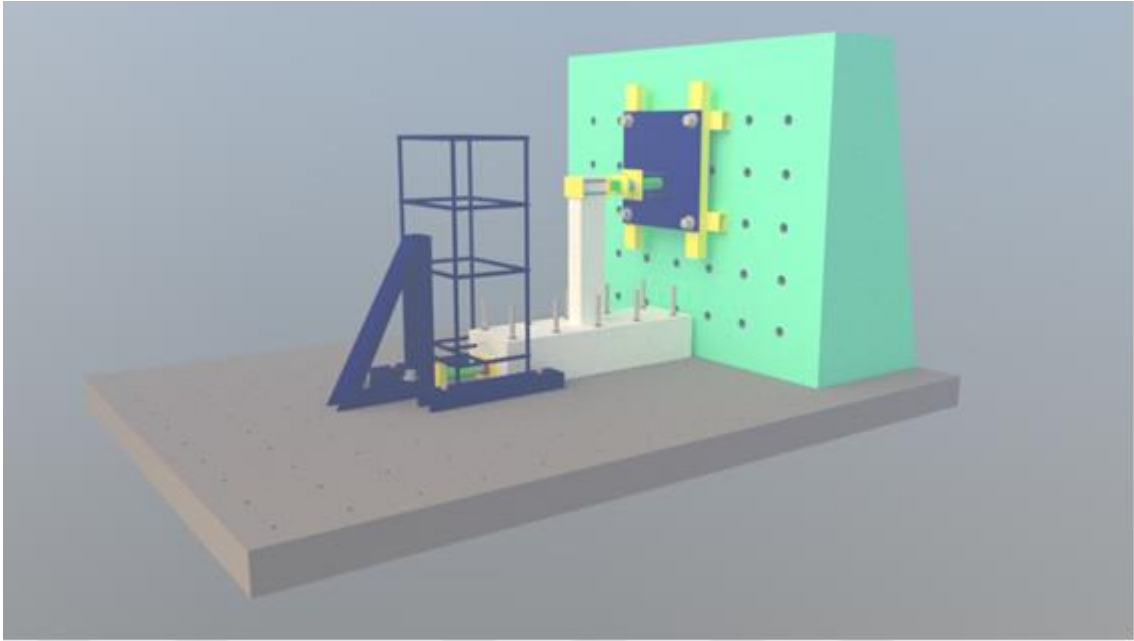
Şekil 3.28. Konya Teknik Üniversitesi, Deprem Laboratuvarı reaksiyon duvarı ve döşeme (Balık, 2012)

Yükleme düzeneğinin reaksiyon duvarına sabitlenebilmesi için duvara 4 adet kutu profil bağlanmıştır. Bu profiller üzerine 4 cm kalınlığında bir levha sabitlenmiştir. Levha üzerine bir hidrolik silindir sabitlenmiştir. Bu hidrolik silindir sayesinde numuneye itme ve çekme kuvveti uygulanmıştır. Hidrolik silindirin itme ve çekme kuvveti vermesini sağlamak için 4 yollu 3 konumlu hidrolik pompa kullanılmıştır. Hidrolik silindirin ucuna 500 kN'a kadar yük ölçümü yapan bir yük hücresi yerleştirilmiştir. Hidrolik pompanın ve diğer yükleme düzeneği elemanlarının zorlanmasını önlemek amacıyla hidrolik pompa ucuna bir mafsal yerleştirilmiştir. Yükleme düzeneğinin şematik görünüşü Şekil 3.29'da verilmiştir. Yükleme düzeneğinin şematik görünüşü için mafsaldan sonrasına 20x20 cm ölçülerinde bir plaka ile kolon yüzeyine yük etki ettirilmiştir. Bu nedenle kolonun etkili boyu 157.5 cm olarak kabul edilmiştir.



Şekil 3.29. Yüklemeye düzeneği

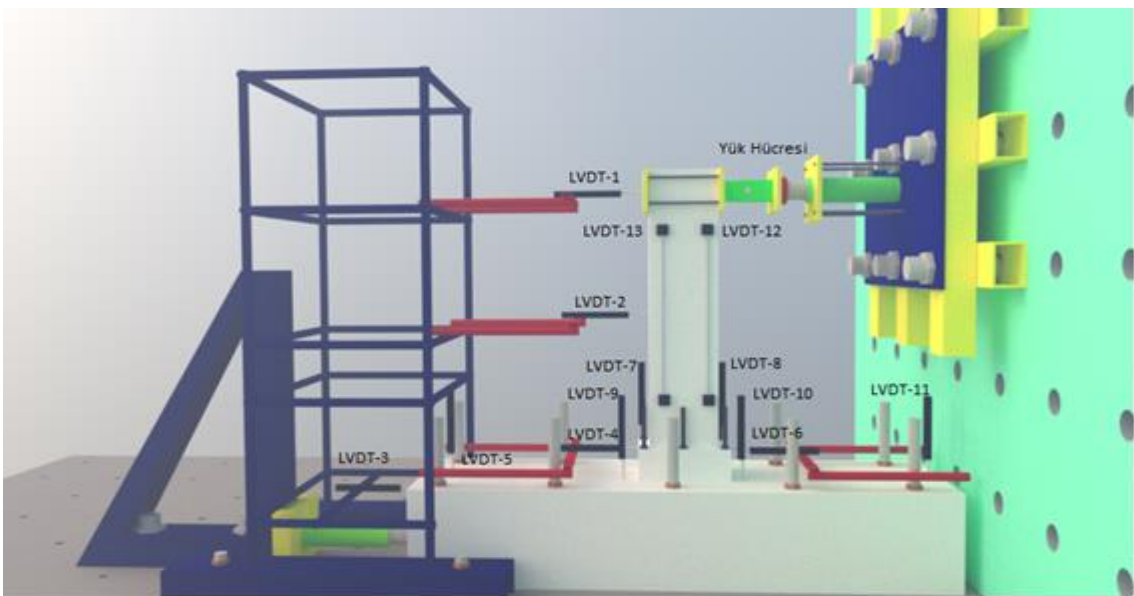
Döşemeye sabitlenen deney numunesinin temelini hareket etmesini önlemek amacıyla iki adet hidrolik silindir ile sıkıştırılmıştır. Reaksiyon duvarının karşısına potansiyometrik cetvellerin (LVDT) yerleştirilmesi için profilden bir kule yapılmıştır. Yüklemeye sistemi şematik olarak Şekil 3.30'da verilmiştir.



Şekil 3.30. Yükleme sistemi şematik görünüm

3.7.1. Ölçüm tekniği

Deneylerde yük ölçümü yük hücresi ile yapılmıştır. Yer değiştirmeler ise 13 adet LVDT kullanılarak ölçülmüştür. LVDT yerleşimleri Şekil 3.31’de verilmiştir. LVDT ve yük hücresinden okunan veriler 2 adet TDG marka veri toplama cihazı aracılığıyla bilgisayar ortamına aktarılmıştır.

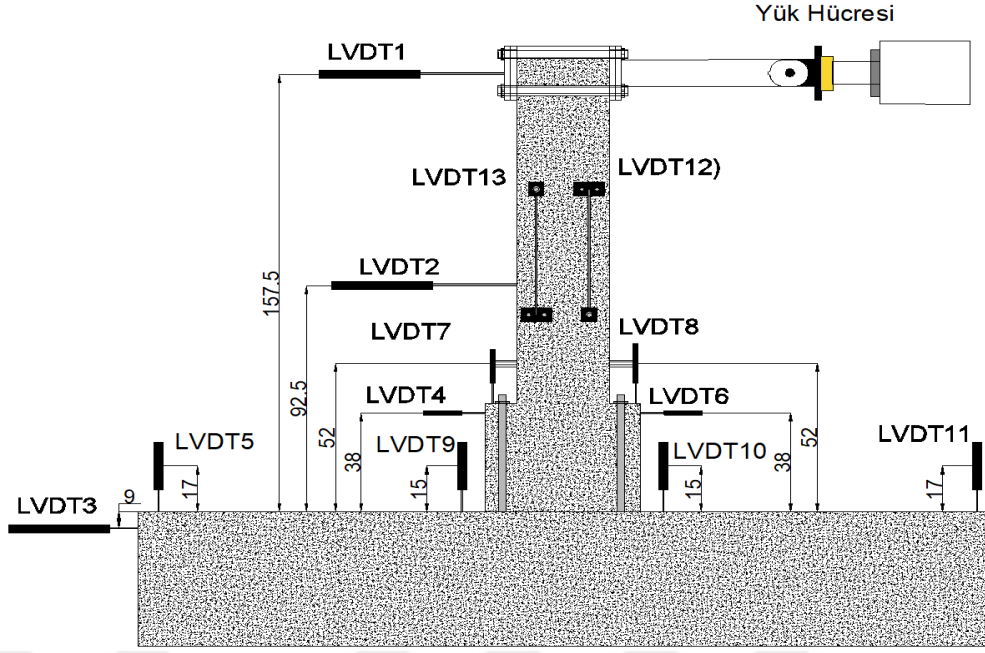


Şekil 3.31. LVDT yerleşimi şematik görünüş

Deney verilerinden numunenin net tepe yer değiştirmesi Denklem 3.13 ile elde edilmiştir.

$$\Delta_{net,tepe} = LVDT1 - LVDT3 \quad (3.13)$$

LVDT-1 kolon tepe noktasından 10 cm aşağıya kolon başlık levhasının ortasına yerleştirilmiştir. Temel üstünden yüksekliği 157.5 cm'dir. LVDT-2 temelden 92.5 cm üste, LVDT-1'den 65 cm aşağıya yerleştirilmiştir. LVDT-3, LVDT-5 ve LVDT-11 temel üzerine, temelde oluşabilecek yer değiştirmeleri ve dönmeleri ölçmek için yerleştirilmiştir. LVDT-3 temel üstünden 9 cm aşağıya, LVDT-5 ve LVDT-11 ise temel üstünden 17 cm yukarıya yerleştirilmiştir. LVDT-7 ve LVDT-8 soket üzerine ve ankrajlı numunelerde kolonun genişlediği bölüme düşey olarak yerleştirilmiştir. Soket üzerinden 12 cm, temel üstünden 52 cm yukarıya yerleştirilmiştir. Kolonda oluşacak dönmeleri ölçmek için yerleştirilmiştir. LVDT-4 ve LVDT-6 sokette ve Ankrajlı numunedeki genişleyen kısımda kolondan farklı yer değiştirmelerin olması durumunda ölçüm yapmak için yerleştirilmiştir. LVDT-4 ve LVDT-6 temel üstünden 38 cm yukarıya yerleştirilmiştir. LVDT-9 ve LVDT-10 soket yanına ve Ankrajlı numunelerde genişleyen kolon kısmı yanına düşey olarak yerleştirilmiştir. Temel üstünden 15 cm yukarıya yerleştirilmiştir. Kolon tabanında oluşacak dönmeleri ölçmek için yerleştirilmiştir. LVDT-12 ve LVDT-13 ise kolon yüzeyindeki eğriliği ölçmek için yerleştirilmiştir. LVDT yerleşim planı ve konumları Şekil 3.32'de verilmiştir. LVDT yerleşimi numune üzerinde Şekil 3.33'te verilmiştir.



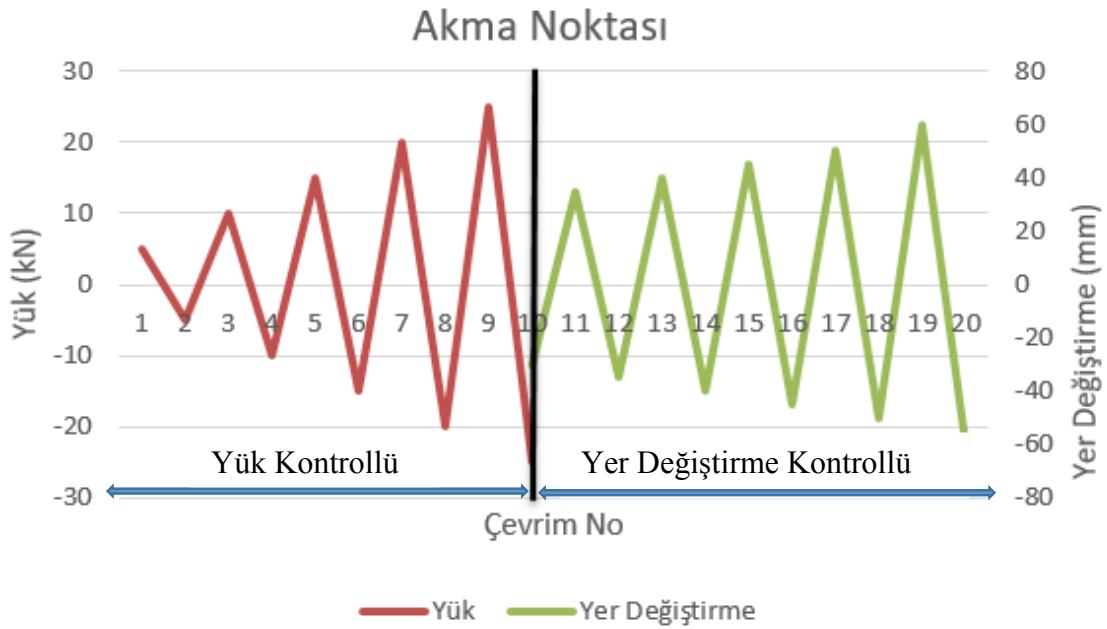
Şekil 3.32. LVDT konumları



Şekil 3.33. Numune üzerinde LVDT yerleşimi

3.7.2. Deneylerde kullanılan yükleme programı

Deneylerin tamamında, numune akma dayanımına ulaşincaya kadar her çevrimde 5 kN yük artışı ile yük kontrollü yükleme yapılmıştır. Numuneler akma dayanımına ulaştıktan sonra, eğer 50 mm yer değiştirmeye daha ulaşılmamışsa her çevrimde 5 mm artışla 50 mm'ye kadar yer değiştirme kontrollü, 50 mm yer değiştirme değerinden sonra ise her çevrimde 10 mm artış ile yer değiştirme kontrollü olarak yüklemeye devam edilmiştir. Numunenin akma dayanımından %20 yük kaybı gösterdiği yer göçme durumu kabul edilmiştir. Ancak numunede oluşacak ileri hasarların gözlemlenmesi için yükleme devam ettirilmiştir. Tipik yükleme geçmişi Şekil 3.34'te verilmiştir.



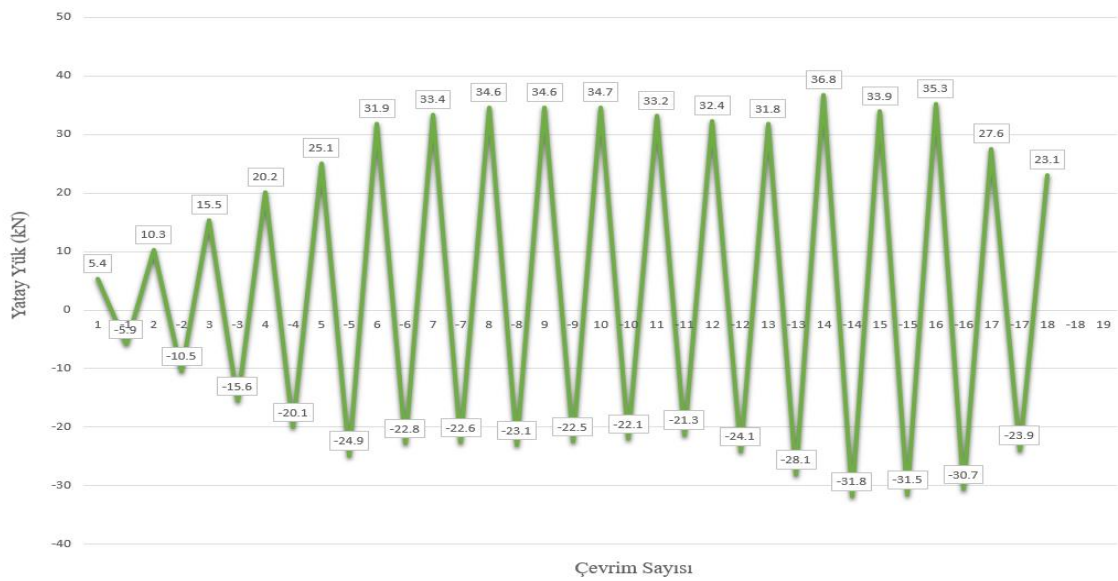
Şekil 3.34. Yükleme geçmişi

3.8. Ölçümlerin İncelenmesi

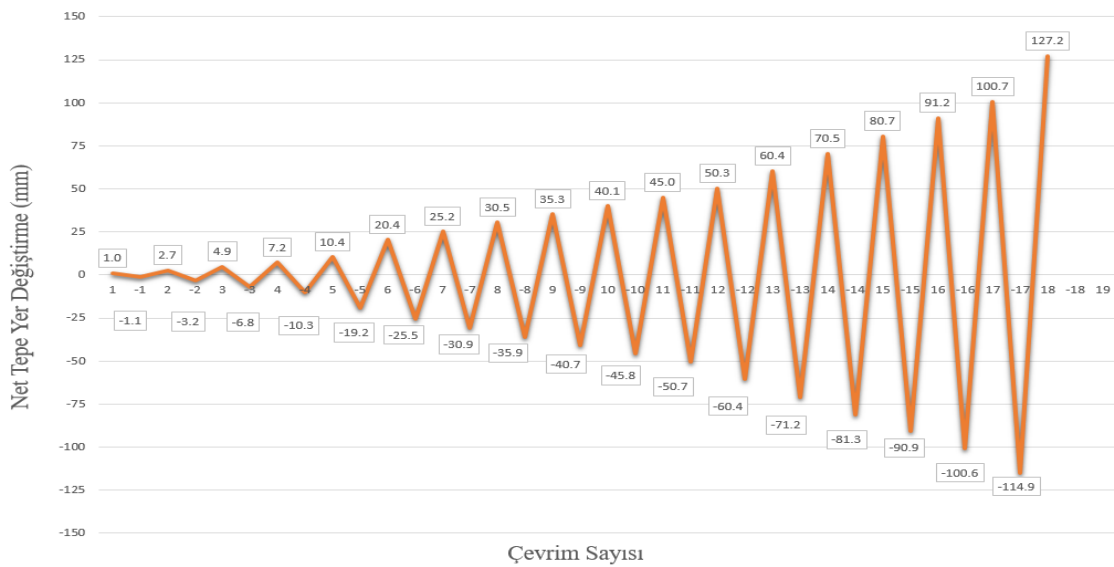
Bu çalışmada, prefabrike yapılar için yeni bir temel-kolon bağlantı türü önerilmiştir. Çalışma kapsamında hazırlanan numuneler tersinir tekrarlanır yatay yük etkisinde incelenmiştir. Numunelerin davranışının incelenmesi için LVDT ve yük hücreleri ile bilgisayar ortamına aktarılan veriler yardımıyla yük-yer değiştirme eğrisi, yük geçmişi, yer değiştirme geçmişi, dayanım zarfı, rijitlik azalması, tüketilen enerji grafikleri elde edilmiştir.

3.8.1. Yük geçmişi ve yer değiştirme geçmişi grafiklerinin elde edilmesi

Deneyle sırasında numunelere itme ve çekme kuvvetleri uygulanmıştır. Bilgisayara aktarılan veriler sayesinde her çevrimde maksimum yük ve maksimum yer değiştirme değerleri elde edilmiştir. Elde edilen veriler yatay eksenini çevrim sayısını gösteren bir grafiğe aktarılarak yük geçmişi ve yer değiştirme geçmişi grafikleri elde edilmiştir. Şekil 3.35'te KN1 numunesine ait yük geçmişi ve yer değiştirme geçmişi grafikleri verilmiştir.



(a)

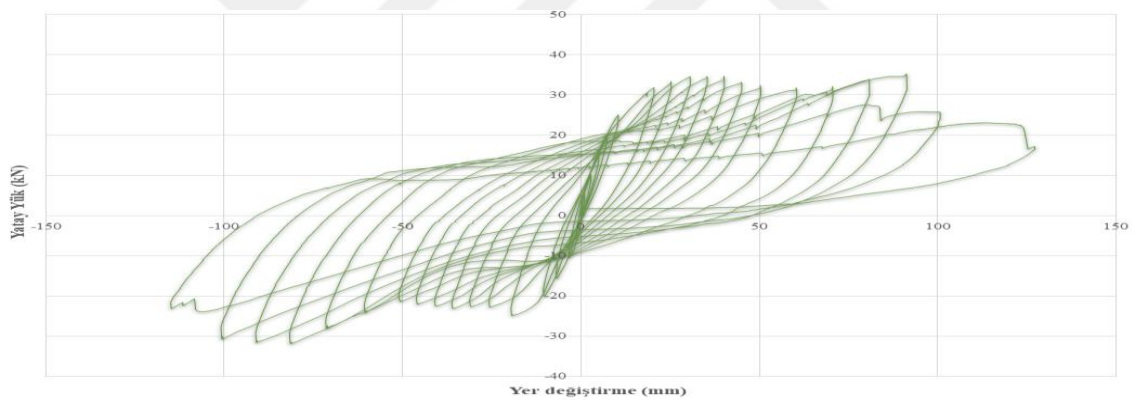


(b)

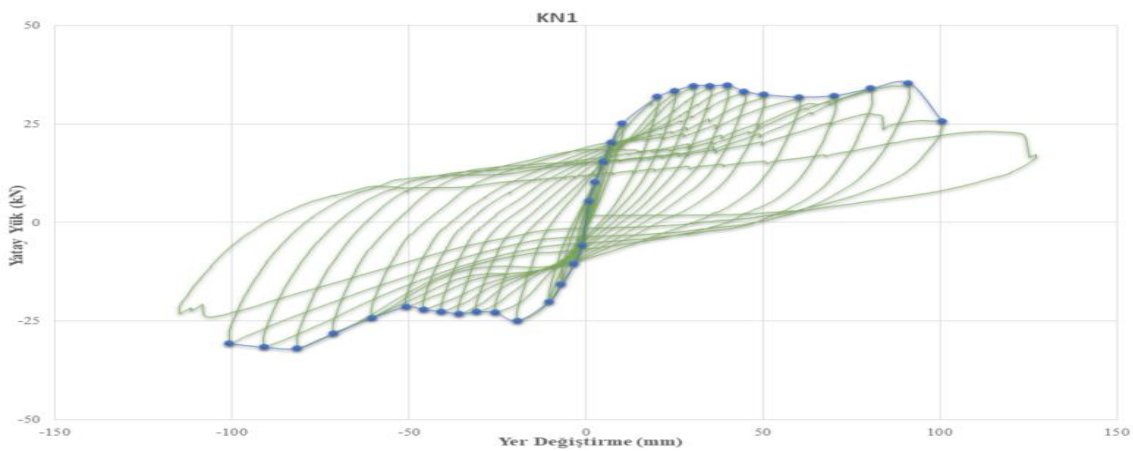
Şekil 3.35. KN1 numunesine ait, (a) yük geçmişi, (b) yer değiştirme geçmişi

3.8.2. Yük-yer değiştirme eğrisi ve dayanım zarfının elde edilmesi

Deney sırasında 0.125 s’de bir okuma yaparak bilgisayar ortamına aktarılan yük ve yer değiştirme değerleri yardımıyla yatay eksenini yer değiştirme dişey eksenini yük olan yük-yer değiştirme eğrisi yani histeresis eğrisi elde edilmiştir. Histeresis eğrisinde pozitif (itme) ve negatif (çekme) yükleri birlikte kullanılmıştır. Histeresis eğrisinde akma noktasına kadar her çevrime maksimum yüke karşılık gelen yer değiştirme, akmadan sonra ise maksimum yer değiştirmeye karşılık gelen yük değerleri belirlenerek bu noktalardan geçen dayanım zarfı elde edilmiştir. Ancak yükleme programında her bir numune için deney göçme noktası sonrasında ilerleyen hasar seviyelerini görmek için devam ettirilmiştir. Bu nedenle dayanım zarfı elde edilirken deney sonuçlarına göre numunenin ulaştığı maksimum yükü %20 kaybettiği nokta olarak kabul edilen göçme noktasına ulaştığı çevrim dikkate alınarak dayanım zarfı elde edilmiştir. Şekil 3.36’da KN1 numunesine ait histeresis eğrisi ve dayanım zarfı verilmiştir.



(a)



(b)

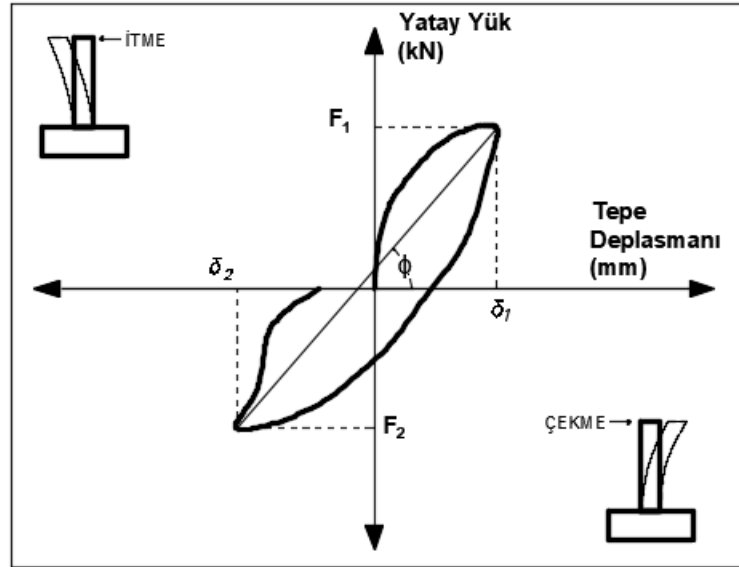
Şekil 3.36. KN1 numunesine ait, (a) histeresis eğrisi, (b) dayanım zarfının elde edişişi

3.8.3. Rijitlik değişim grafiğinin elde edilmesi

Yatay yük etkisi altında kolonda meydana gelen hasarlar nedeniyle her bir çevrimde yatay ötelenmeye karşı rijitlik miktarında azalma meydana gelmektedir. Her bir çevrimdeki itme ve çekmede maksimum yük değeri sırasıyla F_1 ve F_2 , Her bir çevrimde maksimum yüke karşılık gelen yer değiştirme itme ve çekme için sırasıyla δ_1 ve δ_2 olsun. Bu durumda rijitlikte (\emptyset) meydana gelen azalma Denklem 3.14 ile hesaplanmaktadır (Öztürk, 2010; Koçer, 2020).

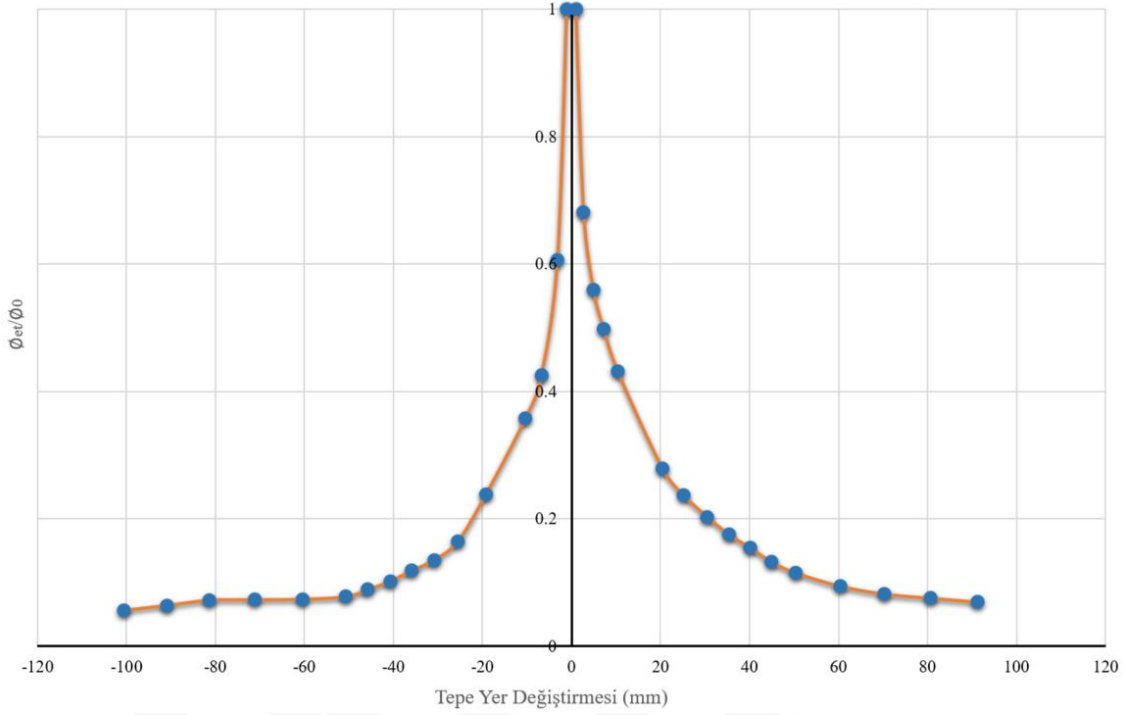
$$\emptyset = \frac{(|F_1|+|F_2|)}{(|\delta_1|+|\delta_2|)} \quad (3.14)$$

Şekil 3.37’de görüldüğü gibi F_1 ve δ_1 değerleri itmede elde edilirken, F_2 ve δ_2 değerleri çekmede elde edilmiştir. Dolayısıyla F_1 ve δ_1 değerleri pozitif, F_2 ve δ_2 değerleri negatiftir. Bu nedenle rijitlik azalma grafiği oluşturulurken grafiğin sol tarafı negatif yer değiştirme değerlerini, sağ tarafı ise pozitif yer değiştirme değerlerini içermektedir.



Şekil 3.37. Rijitlikteki azalmanın hesaplanması (Koçer, 2020)

Artan yer değiştirme seviyelerinde elde edilen etkili rijitliğe (\emptyset_{et}), numunenin başlangıç rijitliği (\emptyset_0) oranlanarak Şekil 3.38’deki gibi farklı yer değiştirme seviyelerine bağlı olarak rijitlik azalma grafiği elde edilmiştir.



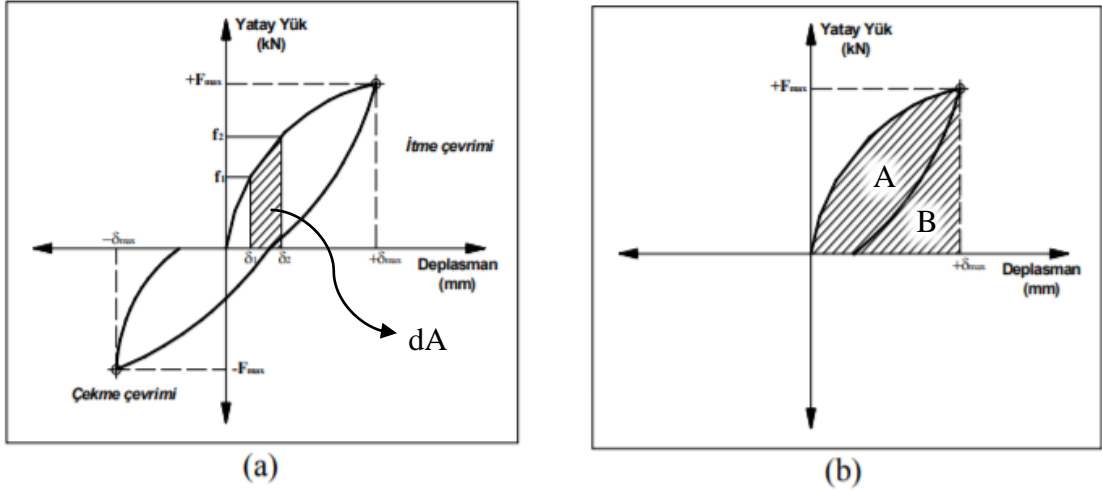
Şekil 3.38. KN1 numunesi rijitlik azalma grafiği

3.8.4. Enerji tüketim grafiğinin elde edilmesi

Bir yapısal elemanın enerji tüketimi yük-yer değiştirme eğrisi altındaki alanı ifade etmektedir. Eğer çevrimsel yükleme yapılıyorsa yükleme ve boşaltma eğrileri arasındaki alanı ifade etmektedir (Altın ve ark., 2004; Wang ve ark., 2018). Şekil 3.39(b)'de verilen A alanının hesaplanması için bu alan sonsuz küçük parçalara bölünerek Şekil 3.39(a)'daki gibi yamuklar elde edilir. Deney sırasında kaydedilen veriler 0.125 s gibi çok küçük zaman aralıklarında kaydedildiği için bilgisayara aktarılan her bir veri aslında böyle bir yamuk alanı oluşturmaktadır. Şekil 3.39(a)'da verilen yamuğun alanı Denklem 3.15 ile hesaplanmaktadır.

$$dA = (\delta_2 - \delta_1) \frac{(f_2 - f_1)}{2} \quad (3.15)$$

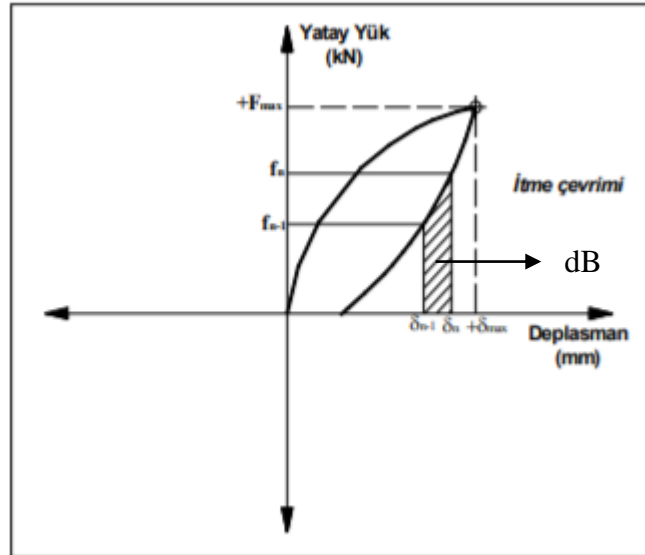
Denklem 3.15 ile elde edilen alanlar her bir çevrim için toplandığında Şekil 3.39(b)'de görülen A+B alanı bulunmaktadır. Ancak çevrimde tüketilen enerji sadece A alanı ile ifade edilmektedir. Sonuç olarak Denklem 3.15 ile elde edilen alanların toplamından B alanının çıkarılması gerekmektedir.



Şekil 3.39. Tüketilen enerjinin hesaplanması (Balık, 2012)

Şekil 3.40'ta B alanının hesaplanması gösterilmiştir. Boşaltma sırasında okunan her bir ardışık değer için elde edilen yamukların alanlarının toplamı B alanını verecektir. B alanı Denklem 3.16 ile hesaplanmaktadır.

$$dB = (\delta_n - \delta_{n-1}) \frac{(f_n - f_{n-1})}{2} \quad (3.16)$$

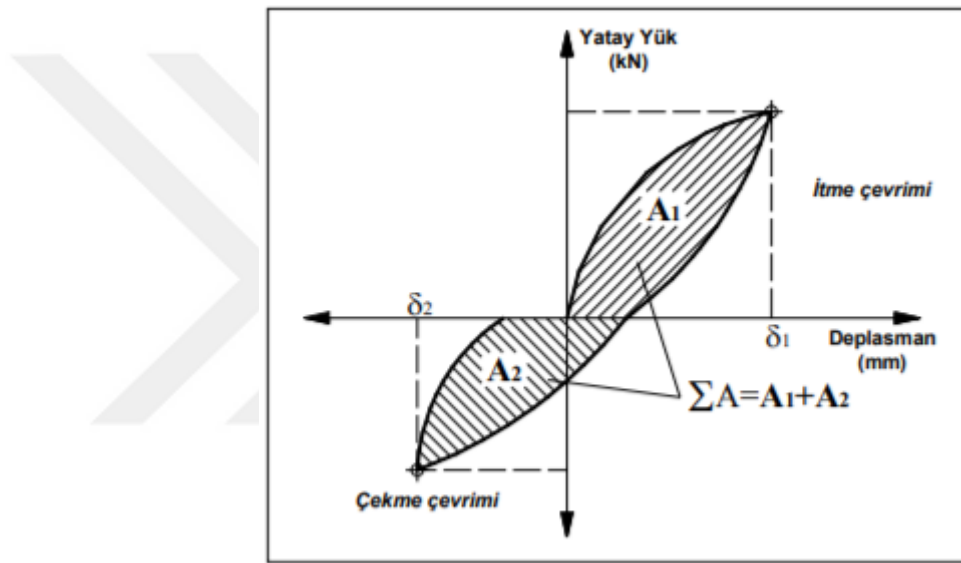


Şekil 3.40. Boşaltma eğrisi altındaki kalan alanın hesaplanması (Balık, 2012)

Bir çevrimde pozitif veya negatif yükleme sırasındaki histeresis eğrisi arasında kalan alan, yükleme eğrisi altında kalan alandan (dA), boşaltma eğrisi altında kalan alanın (dB) çıkarılmasıyla bulunmaktadır. Bu hesaplama Denklem 3.17’de verilmiştir.

$$\int dA - \int dB \quad (3.17)$$

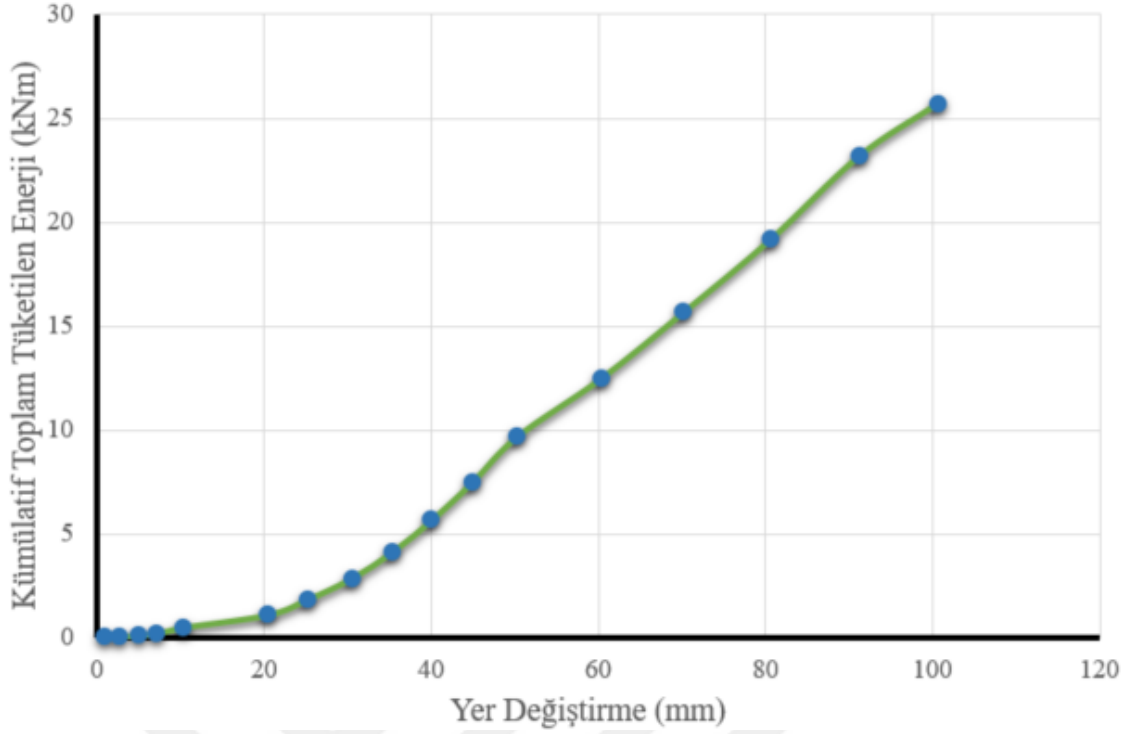
Şekil 3.41’de gösterildiği gibi itme çevrimindeki alan (A_1) ile çekme çevrimindeki alanın (A_2) toplanması çevrimdeki toplam enerjiyi vermektedir. Toplam çevrim enerjisinin hesaplanması Denklem 3.18’de verilmiştir.



Şekil 3.41. Toplam çevrim enerjisinin hesaplanması (Balık, 2012)

$$\Sigma A = A_1 + A_2 \quad (3.18)$$

Bütün numunelerde ilerleyen hasar seviyelerini görmek için göçme noktası sonrasında yapılan yüklemeler dikkate alınmadan maksimum yükün %20 kaybedildiği çevrime kadar olan yüklemelerden elde edilen farklı yer değiştirme seviyelerine bağlı kümülatif enerji tüketim grafikleri elde edilmiştir. KN1 numunesine ait kümülatif enerji tüketim grafiği Şekil 3.42’de verilmiştir.



Şekil 3.42. KN1 numunesi kümülatif toplam tüketilen enerji grafiği

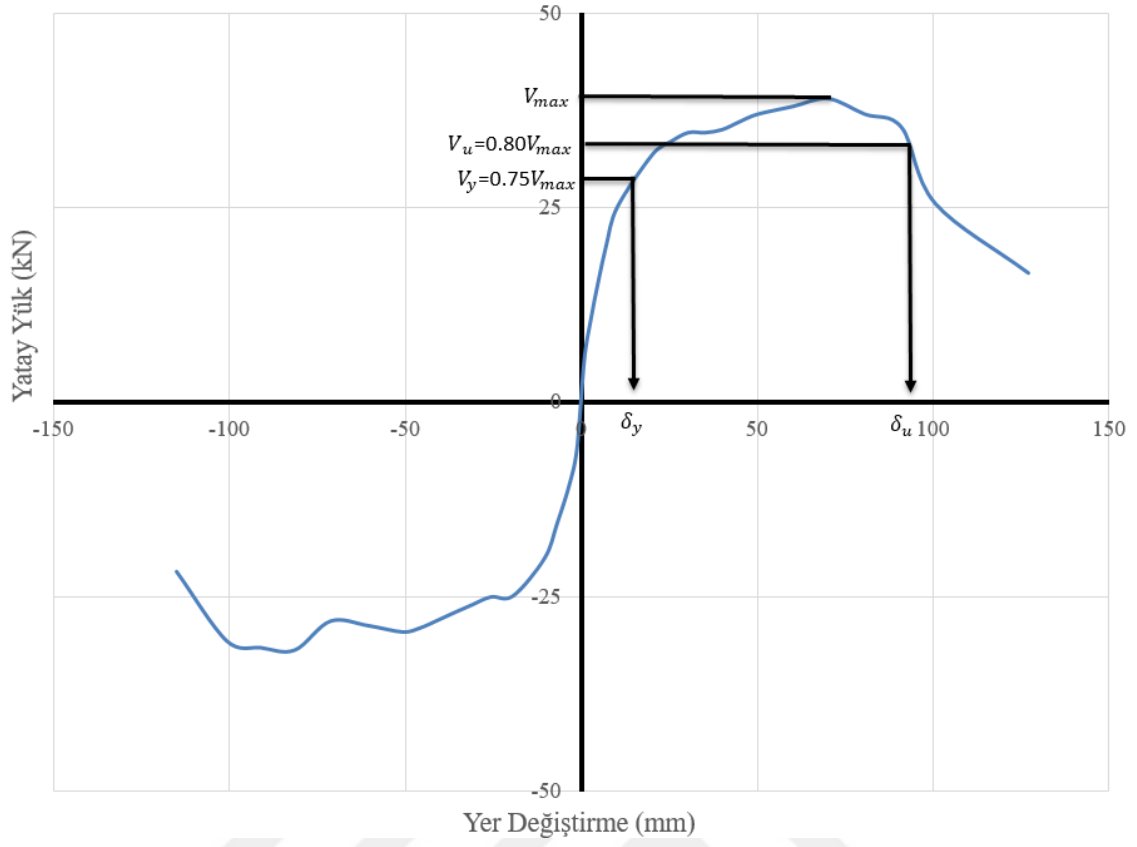
3.8.5. Numunelerin sünekliklerinin hesaplanması

Süneklik, bir yapı elemanının yük taşıma kapasitesinde önemli kayıplar olmadan büyük yer değiştirmeler yapabilme kabiliyetidir. Yapı elemanının limit durumda yaptığı yer değiştirmenin (δ_u), sistem akmaya başladığı anda yaptığı yer değiştirmeye (δ_y) oranı süneklik olarak tanımlanabilir. Limit durumdaki yer değiştirme (δ_u) değeri sistemin maksimum yük değerinin %80 azaldığı yük değerine karşılık gelen yer değiştirme değeridir (Alaedini ve ark., 2016; Li ve ark., 2018; Wang ve ark., 2018). Sistemin akma durumundaki yer değiştirmesi (δ_y) ise sistemin maksimum yük değerinin %75'i olan yük değerine karşılık gelen yer değiştirme değeridir. Sistemin maksimum taşıyacağı yükün %75'ine ulaştığında aktığı kabul edilir (Yüksel ve Polat, 2002; Balık, 2012). Sistemin sünekliğinin hesaplanması Denklem 3.19, 3.20 ve 3.21 yardımıyla Şekil 3.43'teki gibi hesaplanır.

$$V_u = 0.80V_{max} \quad (3.19)$$

$$V_y = 0.75V_{max} \quad (3.20)$$

$$\mu = \delta_u / \delta_y \quad (3.21)$$



Şekil 3.43. Süneklik değerinin hesaplanması

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Çalışma kapsamında bağlantı türleri, öngerilmeli ve öngerilmemiş özelliklere sahip 9 adet kolon numunesi tersinir tekrarlanır yükler altında incelenmiştir. Numuneler deney aşamasında akma noktasına kadar 5kN yük artışı ile yük kontrollü, akma sonrasında ise 50 mm yer değiştirmeye kadar 5 mm artış, 50 mm'den sonra ise 10 mm artış ile yer değiştirme kontrollü olarak yüklenmiştir. Deneylerde elde edilen veriler excel yardımı ile yük geçmişi, yer değiştirme geçmişi, histeresis eğrisi, dayanım zarfı, rijitlikte azalma ve enerji tüketim grafiklerine dönüştürülmüştür. Bu bölümde, öncelikle deney sonuçları her numune için ayrı ayrı verilerek yorumlanmış, daha sonra karşılaştırmalı sonuçlar verilmiştir.

4.1. Deney Sonuçları

4.1.1. KN1 numunesi deney sonuçları

KN1 numunesi monolitik olarak üretilmiş kontrol numunesidir. KN1 numunesinin genel özellikleri Çizelge 4.1'de verilmiştir.

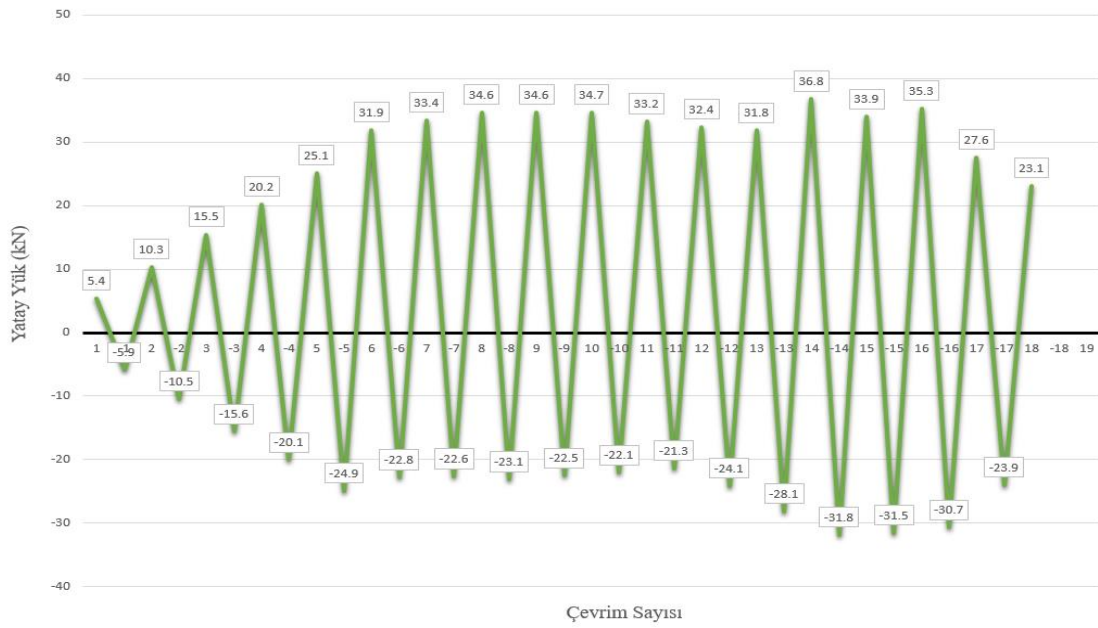
Çizelge 4.1. KN1 numunesi genel özellikleri

Numune Adı	Kesit Boyutları (cm)	Yükseklik (Temel Dahil)(cm)	Beton Sınıfı	Donatı Sınıfı	Temel-Kolon Bağlantı Tipi	Öngerilme Miktarı (kN)	Ankraj Boşluklarının Özellikleri
KN1	20/30	217.5	C30	B420C	Monolitik	-	-

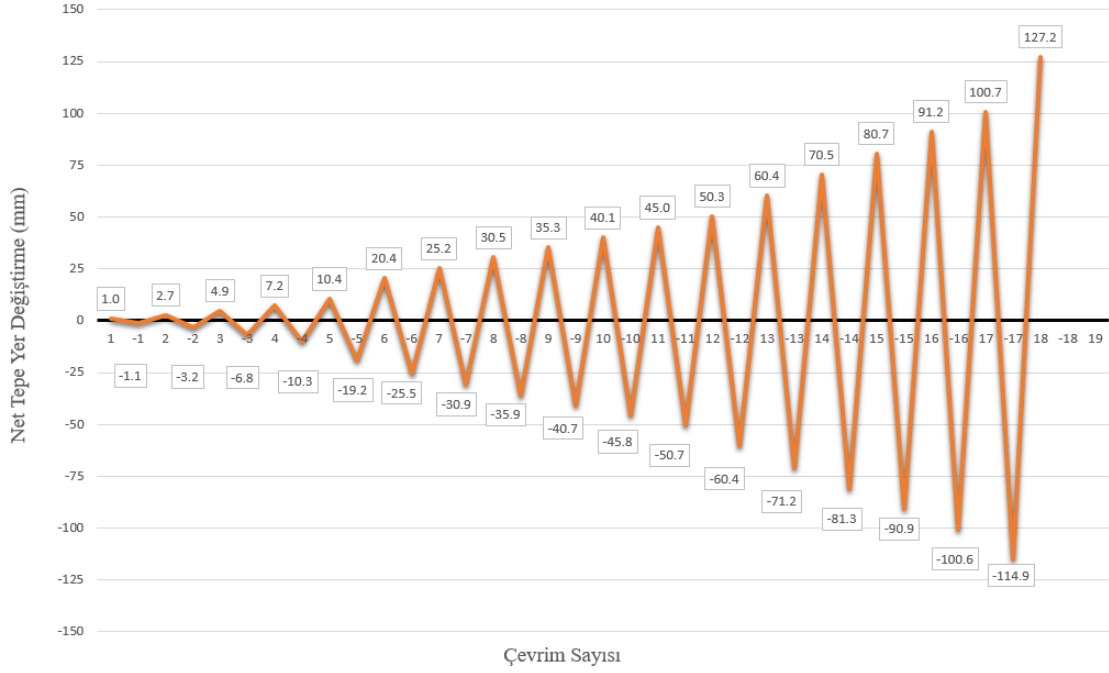
KN1 numunesinin deney düzeneğine yerleştirilmiş hali Şekil 4.1'de verilmiştir. KN1 numunesinin tersinir tekrarlanır yatay yüklemesi sonucu elde edilen yük geçmişi Şekil 4.2'de, yer değiştirme geçmişi ise Şekil 4.3'te numunenin yükleme prosedürü hakkında bilgi vermesi için verilmiştir.



Şekil 4.1. KN1 numunesi deney öncesi



Şekil 4.2. KN1 numunesi yük geçmişi



Şekil 4.3. KN1 numunesi yer değiştirme geçmişi

Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'ten anlaşılacağı gibi KN1 numunesi pozitif 6. çövrime kadar 5kN yük artışı ile yük kontrollü olarak yüklenmiştir. Pozitif 6. çövrimde numune akmış ve yer değiştirme kontrollü yüklemeye geçilmiştir. Pozitif 6. çövrimde numunenin net tepe yer değiştirmesi 20.4 mm olduğu için 50 mm'ye kadar 5 mm artış ile, 50 mm'den sonra 10 mm artış ile yer değiştirme kontrollü yüklemeye devam edilmiştir. KN1 numunesinin deneyi sırasında her çövrimde gözlenen hasarlar Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. KN1 numunesinde deney sırasında gözlenen hasarlar

Çövrüm No (İtme "+", Çekme "-")	Maksimum Yatay Yük (kN)	Maksimum Tepe Yer Değişirme (LVDT-1) (mm)	Numunede Gözlenen Çatlak ve Hasar Oluşumları
+1	5.41	0.97	Hasar ve çatlak oluşumu gözlenmedi.
-1	-5.89	-1.09	Hasar ve çatlak oluşumu gözlenmedi.
+2	10.33	2.71	İlk çatlak oluşumu gözlenmiştir. Temel üst seviyesinden 7 cm, 15 cm, 23 cm, 46 cm, 69 cm, 88 cm, 100 cm ve 120 cm yüksekliklerde 7 tane çatlak oluşmuştur.
-2	-10.45	-3.18	Temel üst seviyesinden 12 cm, 19 cm, 27 cm, 38 cm, 47 cm, 57 cm yüksekliklerde 6 adet çatlak oluşmuştur. İtme çövrümünde oluşan bazı çatlaklar kolon uzun kenarı boyunca çekme de oluşan çatlaklar ile birleşmiştir.
+3	15.46	4.95	Temelden 59 cm üstte bir çatlak oluşmuştur. Mevcut çatlaklar uzamıştır.

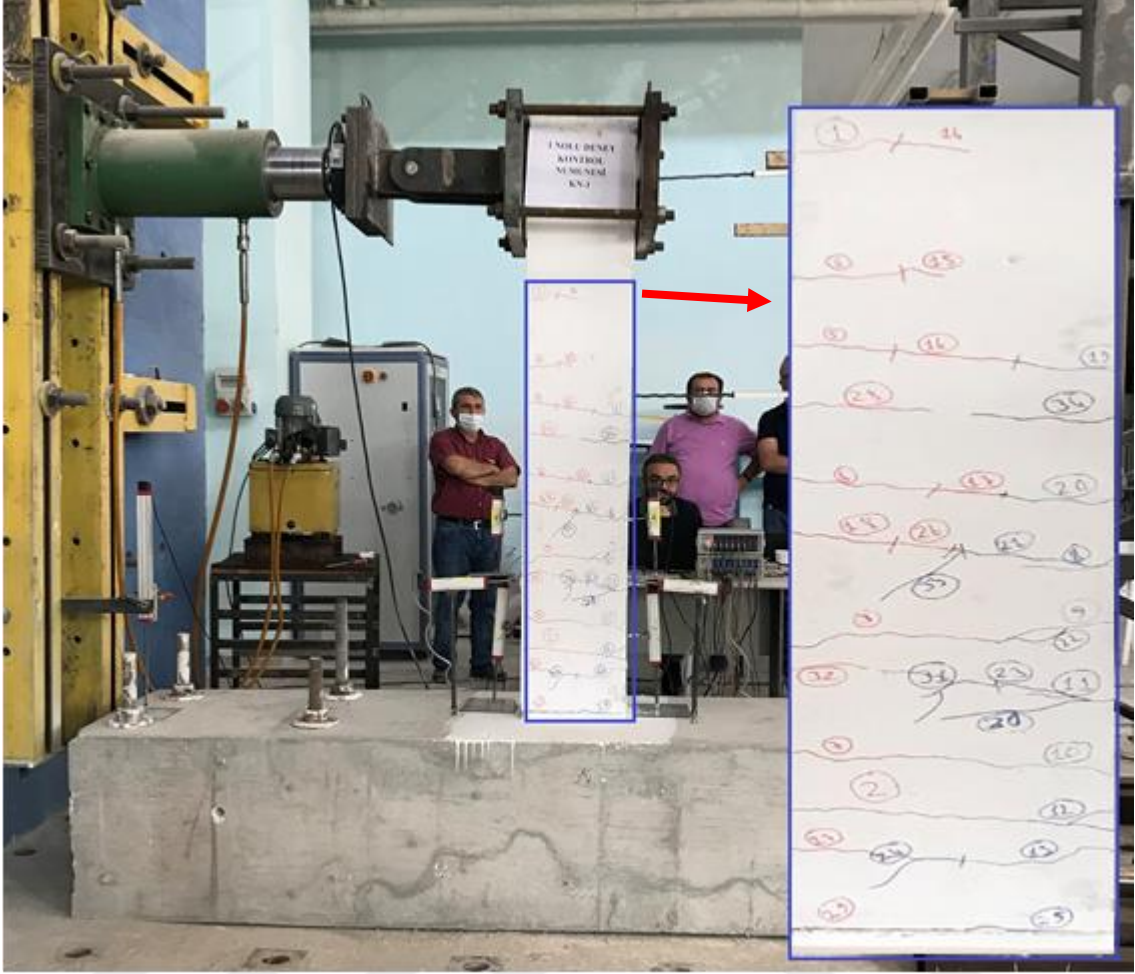
-3	-15.62	-6.77	Temel-kolon birleşiminde çatlaklar oluşmaya başlamıştır. İtme çevriminde oluşan çatlaklar çekme çevriminde kolon uzun kenarı boyunca tamamlanmıştır.
+4	20.18	7.24	Mesnet bölgesindeki çatlaklar kolon çevresi boyunca birleşmiştir. Mevcut çatlaklar uzamıştır.
-4	-20.06	-10.34	Mevcut çatlaklar uzamıştır.
+5	25.12	10.42	Mevcut çatlaklar kolon çevresi boyunca birleşmiştir.
-5	-24.87	-19.23	Temel üstünden 90 cm yukarıda bir çatlak oluşmuştur.
+6	31.87	20.43	Numune akma dayanımına ulaşmıştır.
-6	-22.79	-25.53	Numune akma dayanımına ulaşmıştır. Bazı çatlaklarda açılmalar gözlenmiştir.
Numune akma dayanımına ulaşmıştır. Yer değiştirme kontrollü yüklemeye geçilmiştir.			
+7	33.39	25.23	Mesnet bölgesinde betonda ezilmeler başlamıştır. Kolon temel birleşiminde ayrılmalar oluşmuştur.
-7	-22.64	-30.86	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
+8	34.63	30.52	Bazı çatlaklarda açılmalar olmuştur.
-8	-23.12	-35.89	Temel-kolon birleşiminde ayrılma artmıştır.
+9	34.63	35.33	Temel-kolon birleşiminde ayrılma artmıştır.
-9	-22.52	-40.69	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
+10	34.68	40.09	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
-10	-22.05	-45.78	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
+11	33.21	44.96	Temel seviyesinden 10 cm yukarıda bir çatlak oluşmuştur.
-11	-21.35	-50.65	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
+12	32.37	50.32	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
-12	-24.15	-60.36	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
+13	31.78	60.37	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
-13	-28.11	-71.18	Mesnet bölgesinde beton ezilmesi ile çatlaklar oluşmuştur.
+14	32.12	70.49	Mesnet bölgesinde beton ezilmesi ile çatlaklar oluşmuştur.
-14	-31.83	-81.32	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
+15	33.94	80.70	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
-15	-31.52	-90.90	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
+16	35.27	91.23	Boyuna donatıda mesnet bölgesinde burkulma oluşmuştur.
-16	-30.68	-100.58	Basınç bölgesi kabuk beton dökülmüştür.
+17	25.55	100.69	Çekme bölgesi boyuna donatı kopmuştur.
-17	-21.74	-114.93	Çekme bölgesi boyuna donatı kopmuştur.
+18	16.59	127.22	Çekme bölgesi boyuna donatı kopmuştur. Kolon limit duruma ulaşmış ve deney sonlandırılmıştır.

KN1 numunesinde ilk çatlak oluşumu +2. çevrimde oluşmuştur. Bu çevrimde numuneye etki eden yük 10.33 kN iken yer değıştirme 2.77 mm olarak ölçülmüştür. İlk çatlakların oluştuğu çevrimde numunede oluşan çatlaklar Şekil 4.4'te verilmiştir.



Şekil 4.4. KN1 numunesinde ilk çatlak oluşumu

KN1 numunesi akma dayanımına ± 6 . çevrimde ulaşmıştır. +6. çevrimde +31.87 kN yüke ulaşırken, net tepe yer değıştirme +20.43 mm olarak gerçekleşmiştir. -6. çevrimde ise -22.79 kN yüke ulaşılırken, net tepe yer değıştirme -25.53 mm olarak gerçekleşmiştir. Bu çevrimde temel-kolon birleşiminde ayrılmalar başlamıştır. Kolon yüzünde oluşan simetrik çatlaklar birleşmiş, bazı çatlaklar da çatallaşmaya başlamıştır. KN1 numunesinin akma dayanımına ulaştığındaki hasar durumu Şekil 4.5'te verilmiştir.



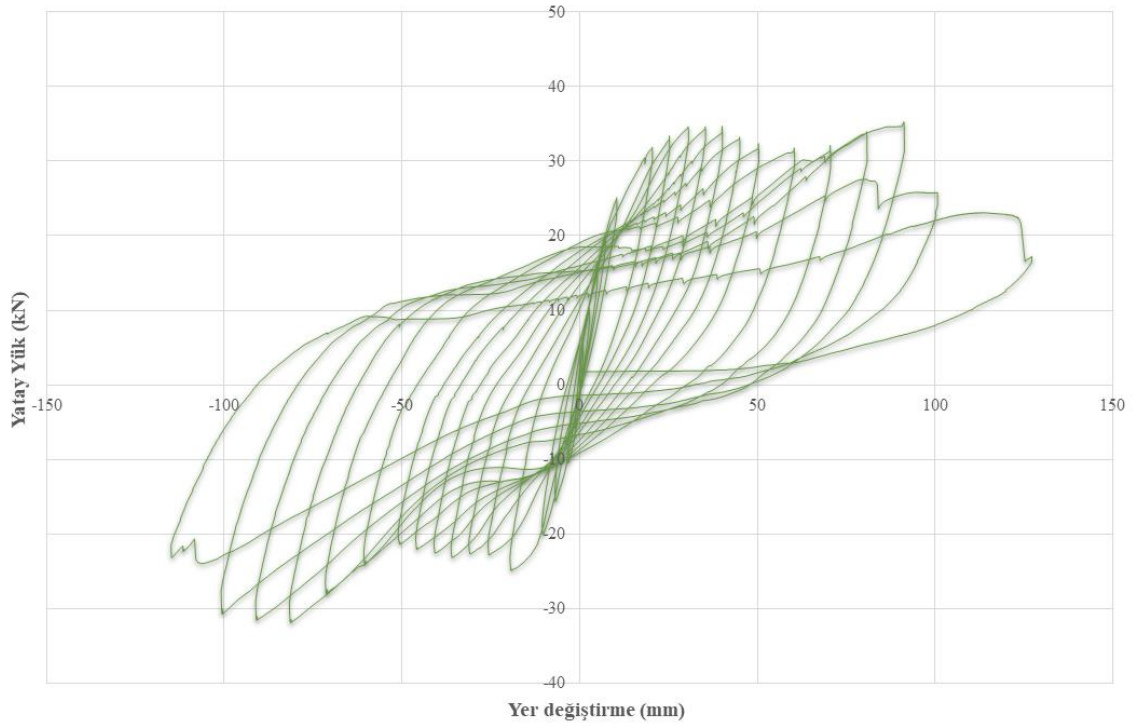
Şekil 4.5. KN1 numunesinin akma dayanımına ulaştığında hasar durumu

KN1 numunesi +18. çevrimde göçme durumuna ulaşmıştır. Bu çevrimde 16.59 kN yük kolona etki ederken, 127.22 mm yer değiştirme gerçekleşmiştir. Göçme durumunda mesnet bölgesindeki kabuk beton dökülmüştür. Basınç bölgesindeki boyuna donatılarda burkulma gerçekleşmiştir. Daha önceki iki çevrimde çekme bölgesinde olan 3 tane boyuna donatı kopmuştur. Numune eğilme davranışı göstermiştir. Plastik mafsal bölgesinde hasarlar yoğunlaşarak göçme durumu oluşmuştur. Plastik mafsal bölgesindeki çatlaklar çatallanarak kolon tabanına ulaşmıştır. KN1 numunesinin göçme durumunda hasar oluşumu Şekil 4.6'da verilmiştir. Genel olarak numune sünek bir davranış göstermiştir. Hasarlar temel-kolon birleşim bölgesine yoğunlaşmıştır.

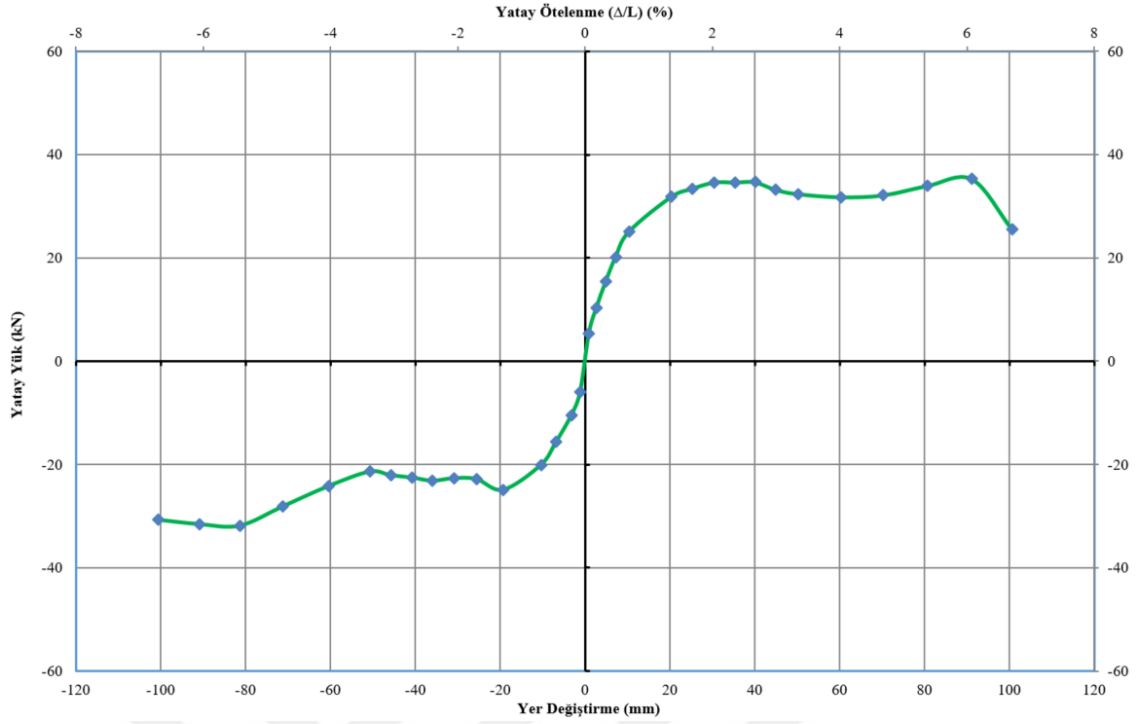


Şekil 4.6. KN1 numunesinin göçme durumuna ulaştığında hasar durumu

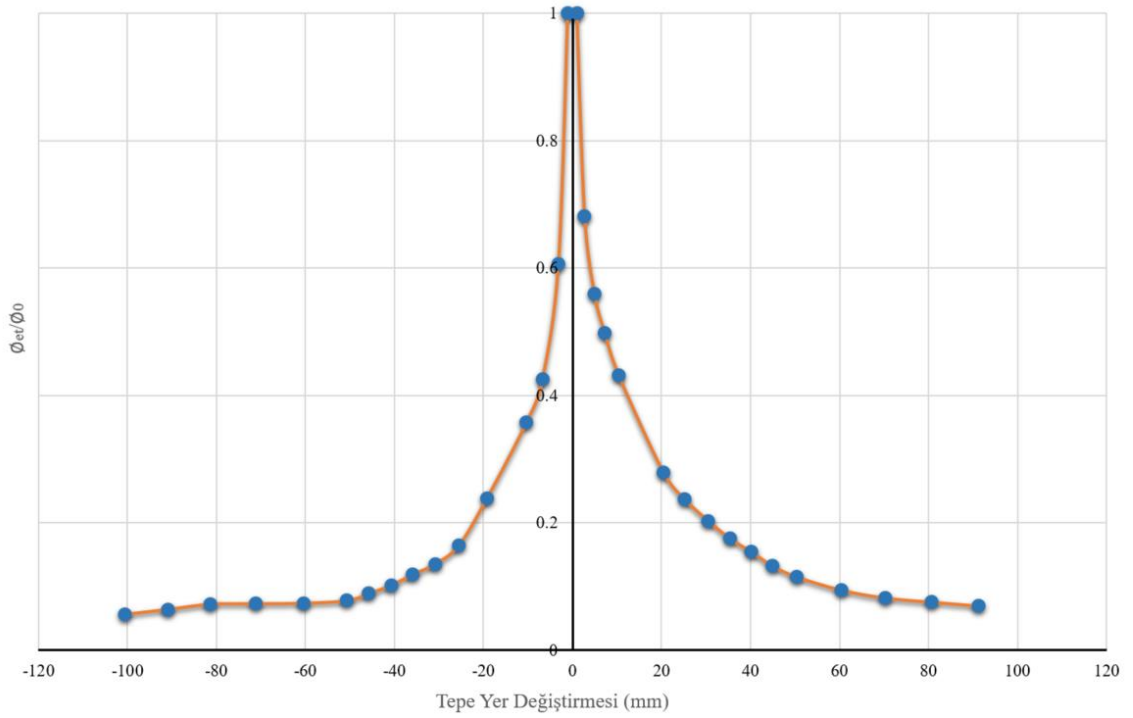
Deney sırasında veri toplayıcı ile bilgisayara aktarılan yük ve yer değıştirme verileri yardımıyla numunelerin davranışını yorumlamaya yardımcı bazı grafikler elde edilmiştir. Şekil 4.7’de okunan yük değerleri ve buna karşılık gelen yer değıştirmeler ile elde edilen histeresis eğrisi verilmiştir. Şekil 4.8’de numune akma dayanımına ulaşana kadar maksimum yüke karşılık gelen yer değıştirme, akma dayanımına ulaştıktan sonra maksimum yer değıştirmeye karşılık gelen yük değerlerinin birleştirilmesi ile elde edilen dayanım zarfı verilmiştir. Şekil 4.9’da numunenin her çevrimde rijitliğindeki azalmayı gösteren düşey eksenli rijitlik azalması, yatay eksenli net tepe yer değıştirmesi olan rijitlik azalma grafiği verilmiştir. Şekil 4.10’da ise numunenin her çevrimde kümülatif tükettiği enerjiyi gösteren grafik verilmiştir.



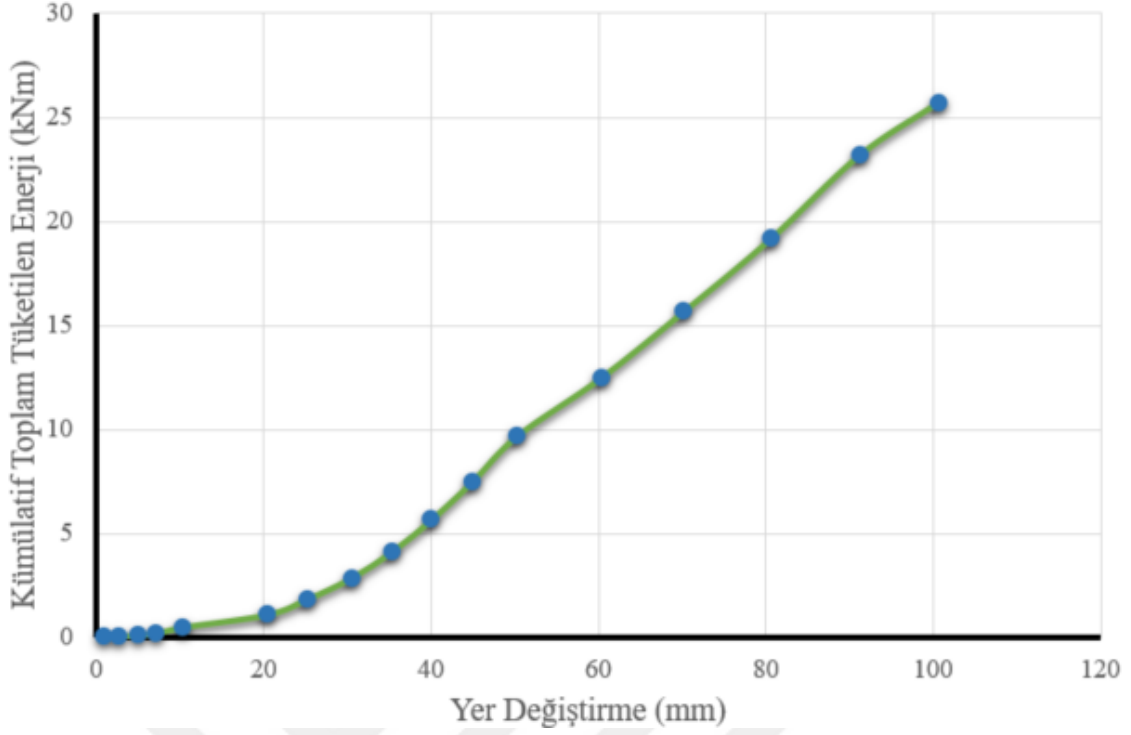
Şekil 4.7. KN1 numunesine ait histeresis eğrisi



Şekil 4.8. KN1 numunesine ait dayanım zarfı



Şekil 4.9. KN1 numunesine ait rijitlik azalması grafiği

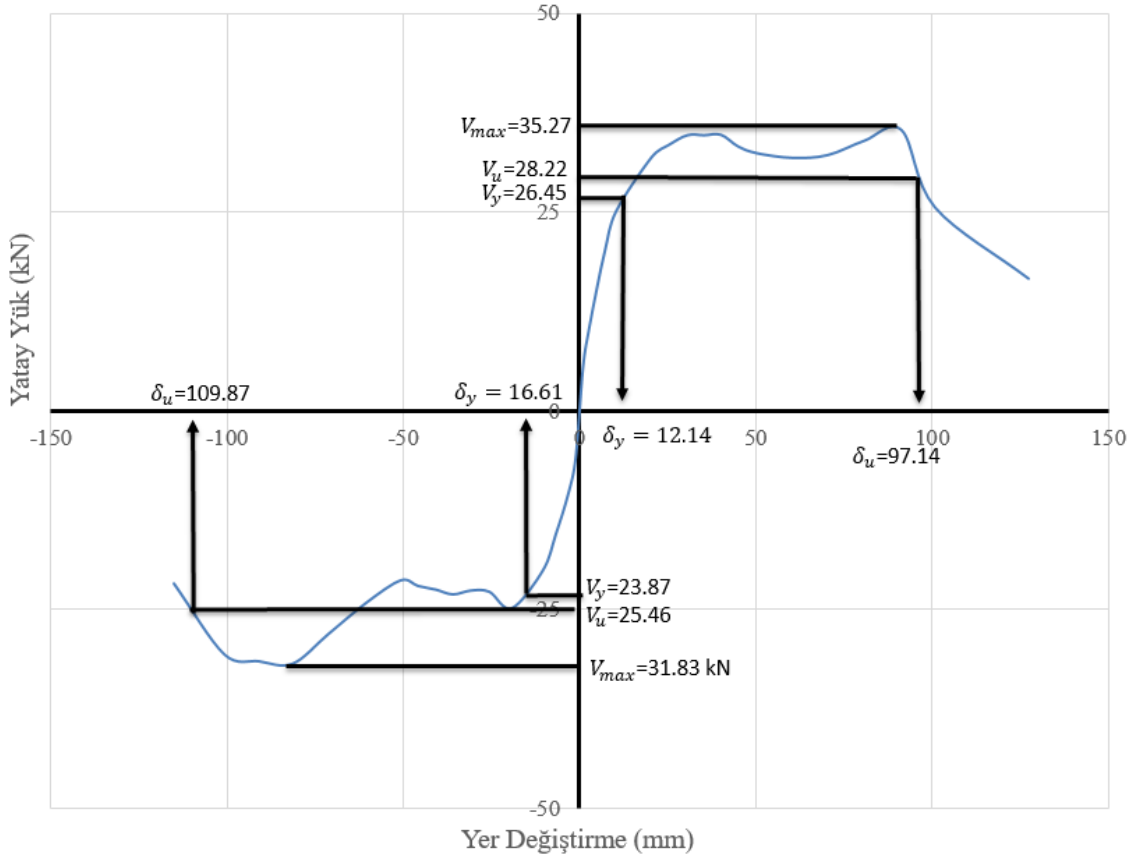


Şekil 4.10. KN1 numunesine ait kümülatif tüketilen enerji grafiği

KN1 numunesinin sünekliğinin hesaplanması için gerekli olan yatay yük değerleri ve Şekil 4.11’de verilen bu yük değerlerine karşılık gelen yer değiştirme değerleri Çizelge 4.3’te verilmiştir.

Çizelge 4.3. KN1 numunesine ait süneklik değerleri

KN1	V_{max} (kN)	V_y (kN)	V_u (kN)	δ_y (mm)	δ_u (mm)	μ	μ_{ort}
İtme	35.27	26.45	28.22	12.14	97.14	8.002	7.309
Çekme	31.83	23.87	25.46	16.61	109.87	6.615	



Şekil 4.11. KN1 numunesinin sünekliğinin hesaplanması

4.1.2. KN2 numunesi deney sonuçları

KN2 numunesi soketli olarak üretilmiş kontrol numunesidir. KN2 numunesinin genel özellikleri Çizelge 4.4'te verilmiştir.

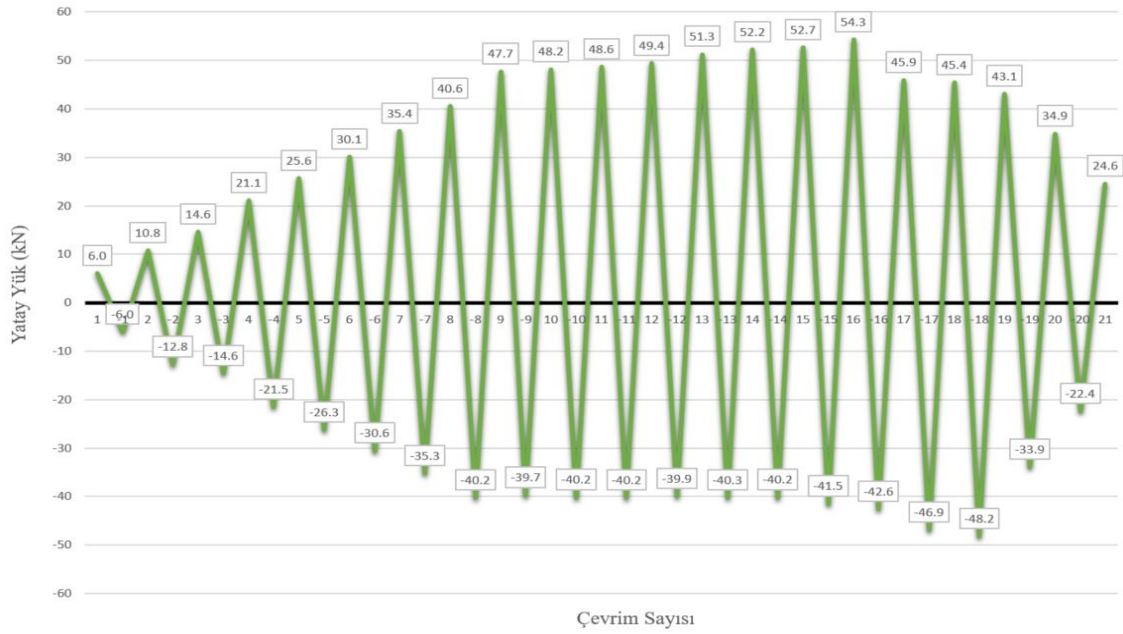
Çizelge 4.4. KN2 numunesi genel özellikleri

Numune Adı	Kesit Boyutları (cm)	Yükseklik (Temel Dahil)(cm)	Beton Sınıfı	Donatı Sınıfı	Temel-Kolon Bağlantı Tipi	Öngerilme Miktarı (kN)	Ankraj Boşluklarının Özellikleri
KN2	20/30	217.5	C30	B420C	Soketli	-	-

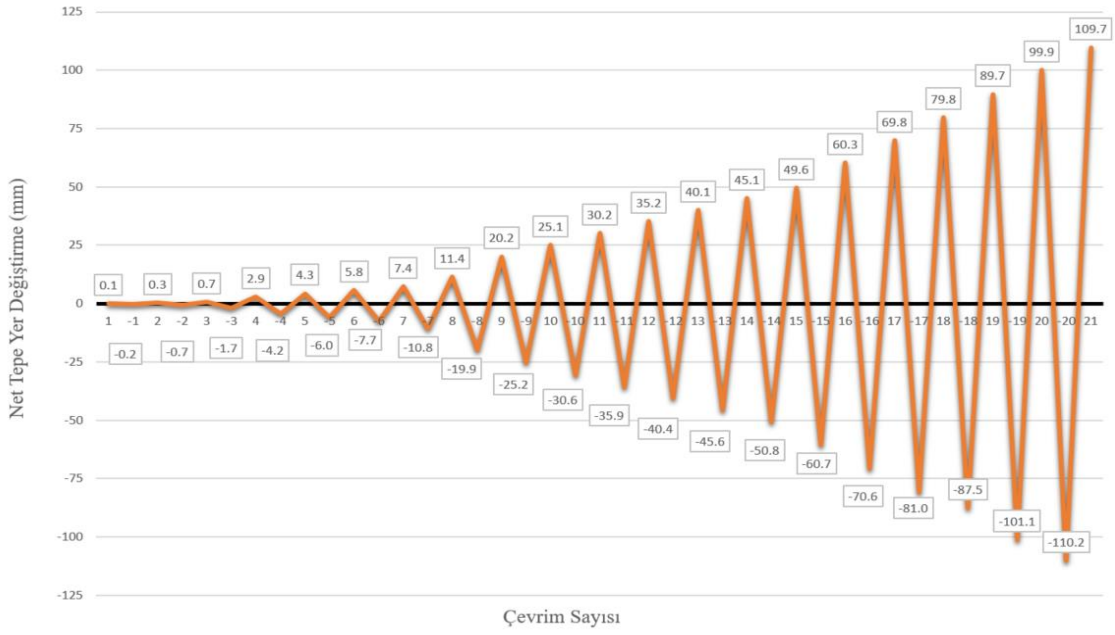
KN2 numunesinin deney düzeneğine yerleştirilmiş hali Şekil 4.12'de verilmiştir. KN2 numunesinin tersinir tekrarlanır yatay yüklemesi sonucu elde edilen yük geçmişi Şekil 4.13'te, yer değiştirme geçmişi ise Şekil 4.14'te numunenin yükleme prosedürü hakkında bilgi vermesi için verilmiştir.



Şekil 4.12. KN2 numunesi deney öncesi



Şekil 4.13. KN2 numunesi yük geçmişi



Şekil 4.14. KN2 numunesi yer değiştirme geçmişi

Yük geçmişi ve yer değiştirme geçmişi grafiklerinden anlaşılacağı gibi KN2 numunesi pozitif 9. çevrime kadar 5kN yük artışı ile yük kontrollü olarak yüklenmiştir. Pozitif 9. çevrimde ve negatif 8. çevrimde numune akmış ve yer değiştirme kontrollü yüklemeye geçilmiştir. Pozitif 9. çevrimde numunenin net tepe yer değiştirmesi 20.2 mm olduğu için 50 mm'ye kadar 5 mm artış ile, 50 mm'den sonra 10 mm artış ile yer değiştirme kontrollü yüklemeye devam edilmiştir. KN2 numunesinin deneyi sırasında her çevrimde gözlenen hasarlar Çizelge 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.5. KN2 numunesinde deney sırasında gözlenen hasarlar

Çevrim No (İtme "+", Çekme "-")	Maksimum Yatay Yük (kN)	Maksimum Tepe Yer Değiştirme (LVDT-1) (mm)	Numunede Gözlenen Çatlak ve Hasar Oluşumları
+1	6.04	0.11	Hasar ve çatlak oluşumu gözlenmedi.
-1	-6.01	-0.21	Hasar ve çatlak oluşumu gözlenmedi.
+2	10.81	0.33	Hasar ve çatlak oluşumu gözlenmedi.
-2	-12.75	-0.70	Hasar ve çatlak oluşumu gözlenmedi.
+3	14.62	0.71	İlk çatlak oluşumu gözlenmiştir. Temel üst seviyesinden 55 cm yükseklikte bir çatlak oluşmuştur.
-3	-14.62	-1.68	İtme çevriminde oluşan çatlağın simetriği oluşarak itme çevrimindeki çatlakla birleşmiştir.
+4	21.14	2.88	Temel üst seviyesinden 45 cm ve 75 cm yüksekliklerde çatlaklar oluşmuştur. Soket-kolon birleşiminde ayrılmalar başlamıştır.

-4	-21.48	-4.21	Temel üst seviyesinden 45 cm ve 75 cm yüksekliklerde çatlaklar oluşmuştur. Bu çatlaklar itme çevriminde oluşan simetrisi ile birleşmiştir.
+5	25.62	4.35	Temel üst seviyesinden 65 cm ve 95 cm yüksekliklerde çatlaklar oluşmuştur.
-5	-26.29	-5.99	Temel üst seviyesinden 50 cm ve 95 cm yüksekliklerde çatlaklar oluşmuştur. Bazı çatlaklar çatallanmıştır.
+6	30.13	5.76	Temel üst seviyesinden 50 cm yükseklikte çatlak oluşmuştur. Bazı çatlaklar uzamıştır.
-6	-30.58	-7.68	Mevcut çatlaklarda açılma olmuştur.
+7	35.37	7.39	Mevcut çatlaklarda açılma olmuştur. Sokette çok küçük yatay hareketler ölçülmüştür.
-7	-35.30	-10.83	Mevcut çatlaklar çatallanmış ve uzamıştır.
+8	40.58	11.42	Temel üst seviyesinden 88 cm ve 117 cm yüksekliklerde çatlaklar oluşmuştur.
-8	-40.24	-19.92	Numune akma dayanımına ulaşmıştır. Soket tabanında açılmalar başlamıştır.
+9	47.72	20.19	Numune akma dayanımına ulaşmıştır.
Numune akma dayanımına ulaşmıştır. Yer değiştirme kontrollü yüklemeye geçilmiştir.			
-9	-39.74	-25.21	Temel üst seviyesinden 114 cm yükseklikte çatlak oluşmuştur. Bazı çatlaklar çatallanmış ve uzamıştır.
+10	48.15	25.13	Soket üst yüzeyinde diyagonal çatlaklar oluşmaya başladı.
-10	-40.19	-30.62	Soket üst yüzeyinde diyagonal çatlaklar oluştu. Soket-kolon birleşiminde ayrılmalar oluştu.
+11	48.65	30.24	Kolon tabanında basınç bölgesinde betonda ezilmeler oluşmaya başladı. Soket-kolon birleşimindeki ayrılmalar arttı.
-11	-40.24	-35.93	Soket üst yüzeyinde oluşan diyagonal çatlaklar açılmaya başladı.
+12	49.42	35.17	Soket üst yüzeyinde oluşan diyagonal çatlaklar soket yan yüzüne ilerlemeye başladı.
-12	-39.93	-40.41	Soket üst yüzeyinde oluşan diyagonal çatlaklar soket yan yüzüne ilerlemeye başladı. Soket temelden ayrılmaya başladı.
+13	51.28	40.05	Soket temelden ayrılmaya başladı.
-13	-40.28	-45.65	Kolon tabanında basınç bölgesinde betonda oluşan ezilmeler arttı.
+14	52.20	45.09	Çekme bölgesindeki kabuk beton döküldü.
-14	-40.19	-50.79	Çekme bölgesindeki kabuk beton döküldü.
+15	52.70	49.55	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
-15	-41.51	-60.71	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
+16	54.31	60.29	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
-16	-42.61	-70.64	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
+17	45.94	69.83	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
-17	-46.87	-81.01	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
+18	45.44	79.84	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
-18	-48.20	-87.50	Basınç bölgesi donatı burkuldu.
+19	43.12	89.72	Basınç bölgesi donatı burkuldu.
-19	-33.91	-101.11	Yük boşalırken donatıda kopma gerçekleşti.
+20	34.87	99.93	Donatı koptu.

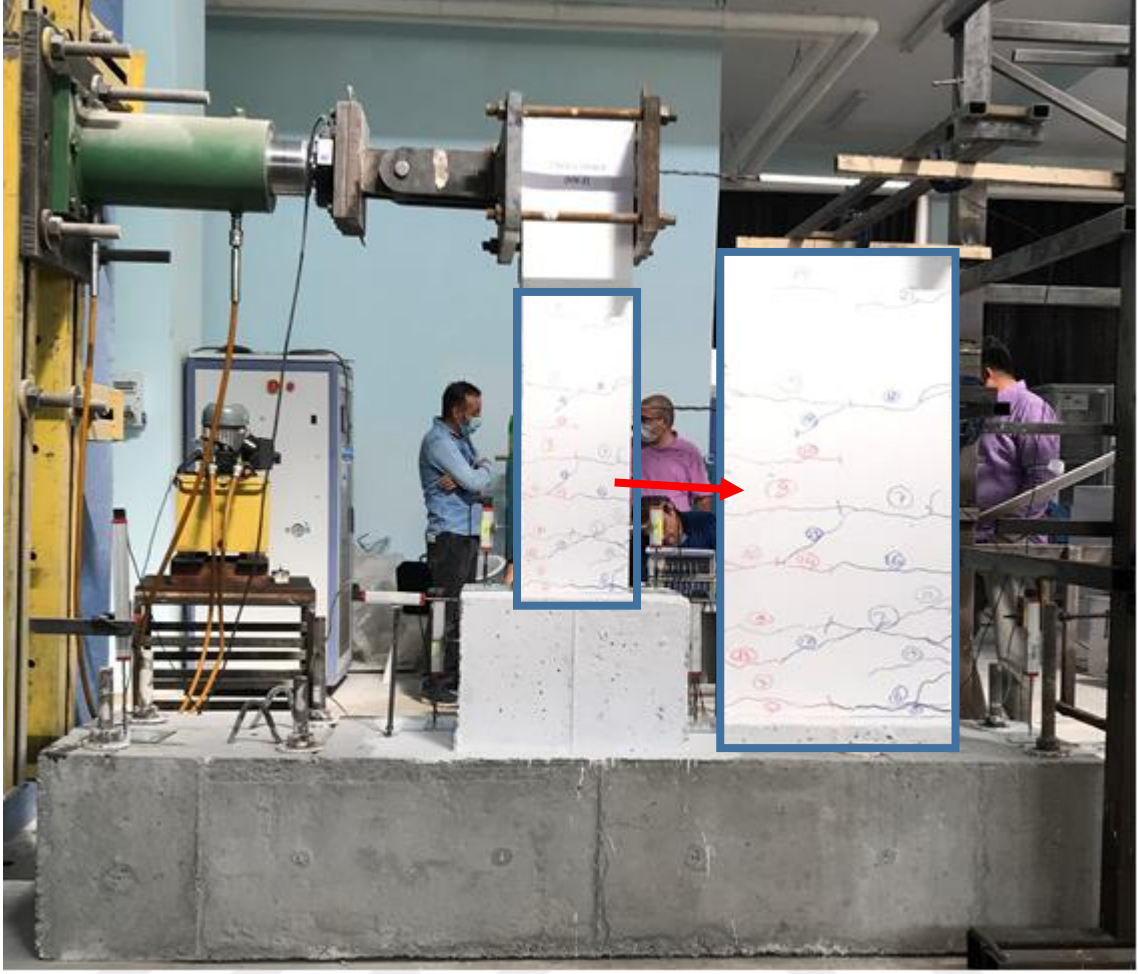
-20	-22.36	-110.22	Donatı koptu.
+21	24.56	109.73	Numune limit duruma ulaştı. Deney sonlandırıldı.

KN2 numunesinde ilk çatlak oluşumu +3. çevrimde oluşmuştur. Bu çevrimde numuneye etki eden yük 14.62 kN iken yer değiştirme 0.71 mm olarak ölçülmüştür. İlk çatlakların oluştuğu çevrimde numunede oluşan çatlaklar Şekil 4.15'te verilmiştir.



Şekil 4.15. KN2 numunesinde ilk çatlak oluşumu

KN2 numunesi akma dayanımına -8. ve +9. çevrimde ulaşmıştır. -8. çevrimde -40.24 kN yüke ulaşırken, tepe yer değiştirme -19.92 mm ve +9. çevrimde +47.72 kN yüke ulaşırken, tepe yer değiştirme +20.19 mm olarak gerçekleşmiştir. Bu çevrimde sokette çok küçük yatay hareketler başlamıştır. Soket-kolon birleşiminde açılmalar oluşmuştur. Kolon yüzeyindeki çatlaklar plastik mafsallarda yoğunlaşmıştır. Numunenin akma dayanımına ulaştığı anda oluşan çatlaklar Şekil 4.16'da verilmiştir.



Şekil 4.16. KN2 numunesinin akma dayanımına ulaştığında hasar durumu

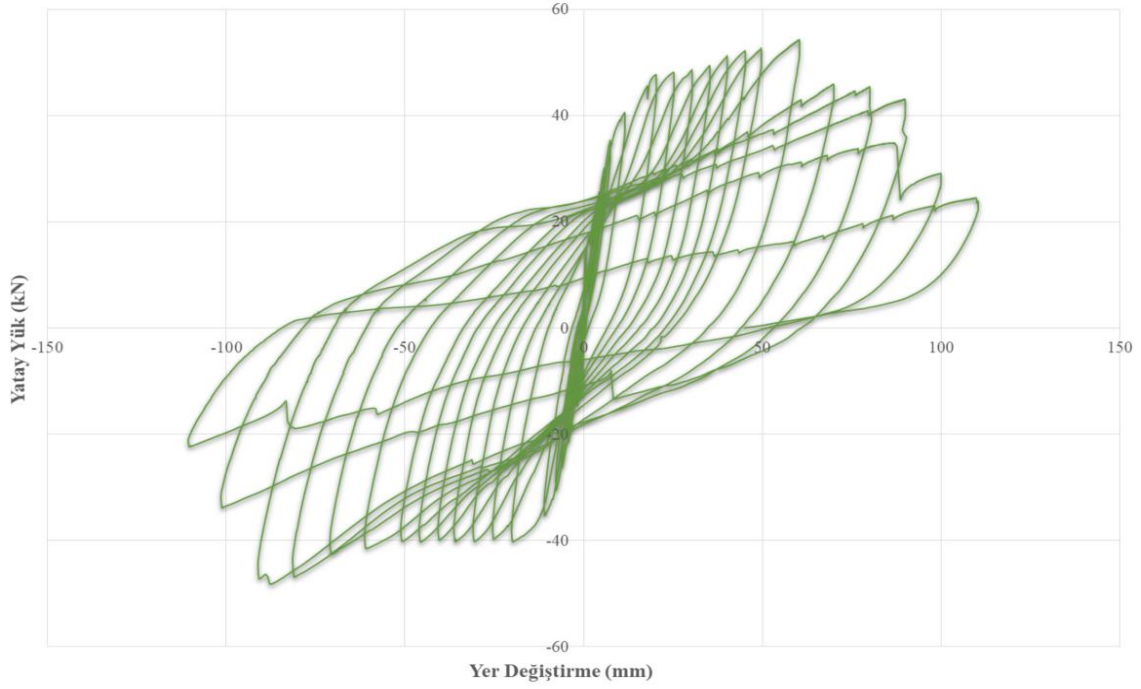
KN2 numunesi +21. çevrimde göçme durumuna ulaşmıştır. Bu çevrimde +24.56 kN yük kolona etki ederken, +109.73 mm yer değiştirme gerçekleşmiştir. Göçme durumunda soket üst yüzeyinde diyagonal çatlaklar oluşmuştur. Soket-kolon birleşiminde ayrılmalar oluşmuştur. Soket-kolon arasındaki betonda ezilmeler gerçekleşmiştir. Kolon plastik mafsallık bölgesindeki kabuk betonlar dökülmüştür. Basınç bölgesinde boyuna donatılarda burkulmalar oluşmuştur. Mesnet bölgesindeki kabuk beton dökülmüştür. Basınç bölgesindeki boyuna donatılarda burkulma gerçekleşmiştir. -20. çevrimde yük boşaltılırken donatıda kopma gerçekleşmiştir. +20. ve -21.çevrimlerde de donatı kopmaları gerçekleşmiştir. KN2 numunesinin göçme durumunda hasar oluşumu Şekil 4.17’de verilmiştir.



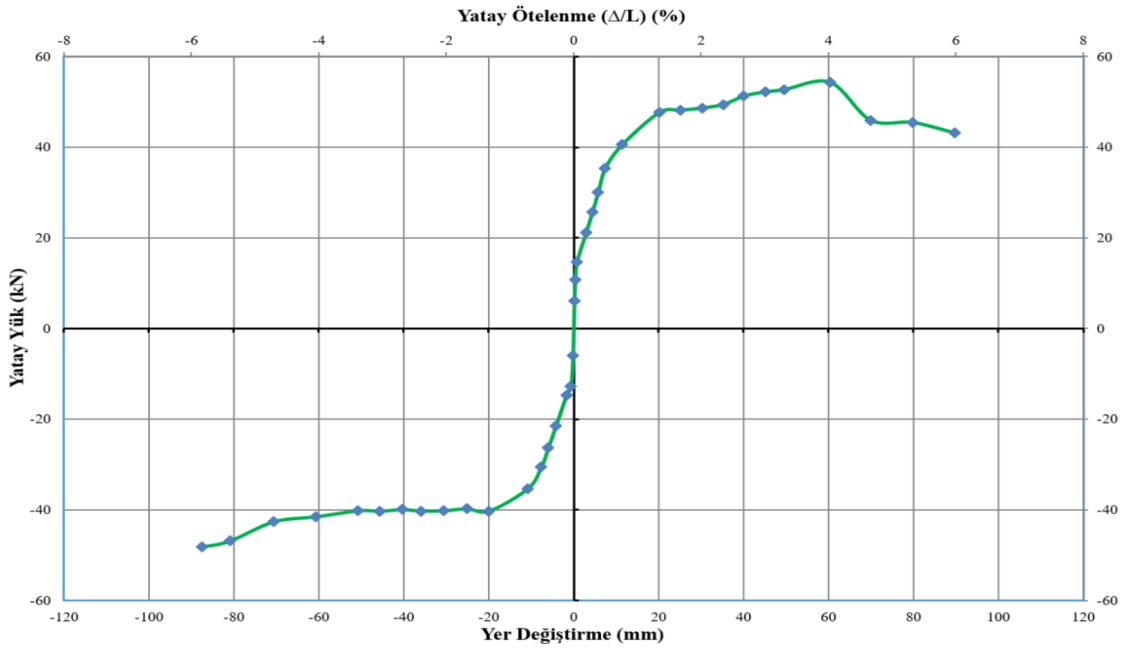
Şekil 4.17. KN2 numunesinin göçme durumuna ulaştığında hasar durumu

Deney sırasında bilgisayara aktarılan veriler yardımıyla numunenin davranışını yorumlamaya yardımcı bazı grafikler elde edilmiştir. Şekil 4.18’de okunan yük değerleri ve buna karşılık gelen yer değiştirmeler ile elde edilen histeresis eğrisi verilmiştir. Şekil 4.19’da numune akma dayanımına ulaşana kadar maksimum yüke karşılık gelen yer değiştirme, akma dayanımına ulaştıktan sonra maksimum yer değiştirmeye karşılık gelen

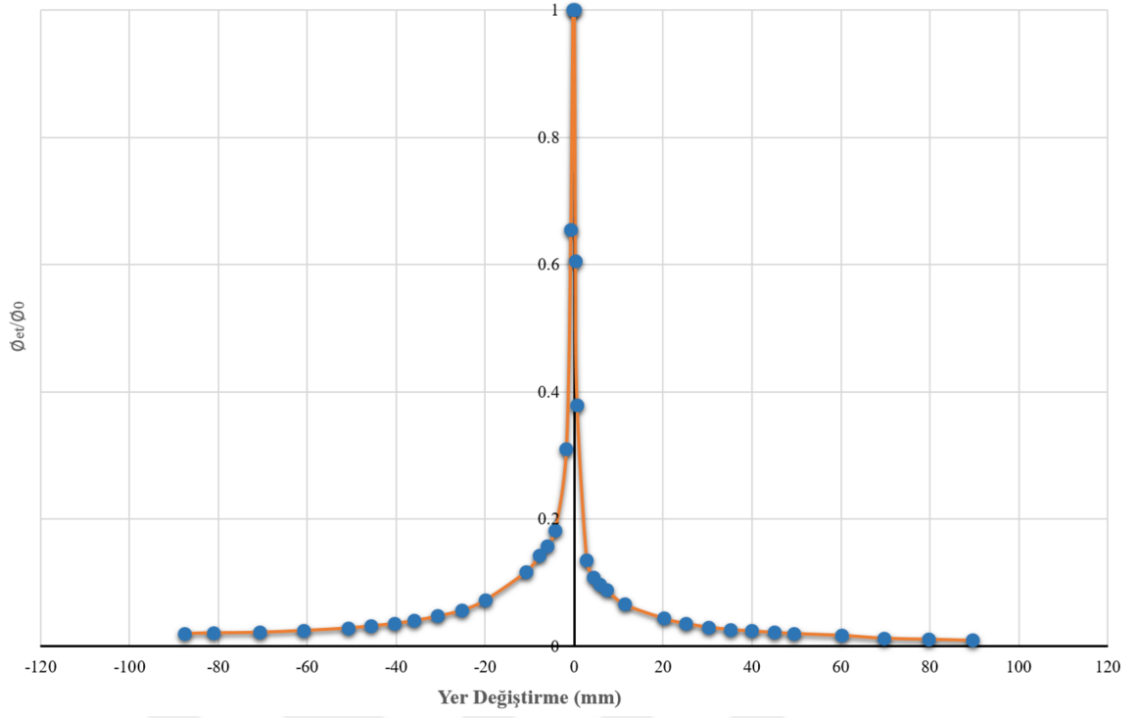
yük değerlerinin birleştirilmesi ile elde edilen dayanım zarfı verilmiştir. Şekil 4.20’de numunenin her çevrimde rijitliğindeki azalmayı gösteren düşey eksen rijitlik azalması, yatay eksen net tepe yer değiştirmesi olan rijitlik azalma grafiği verilmiştir. Şekil 4.21’de ise numunenin her çevrimde kümülatif tükettiği enerjiyi gösteren grafik verilmiştir.



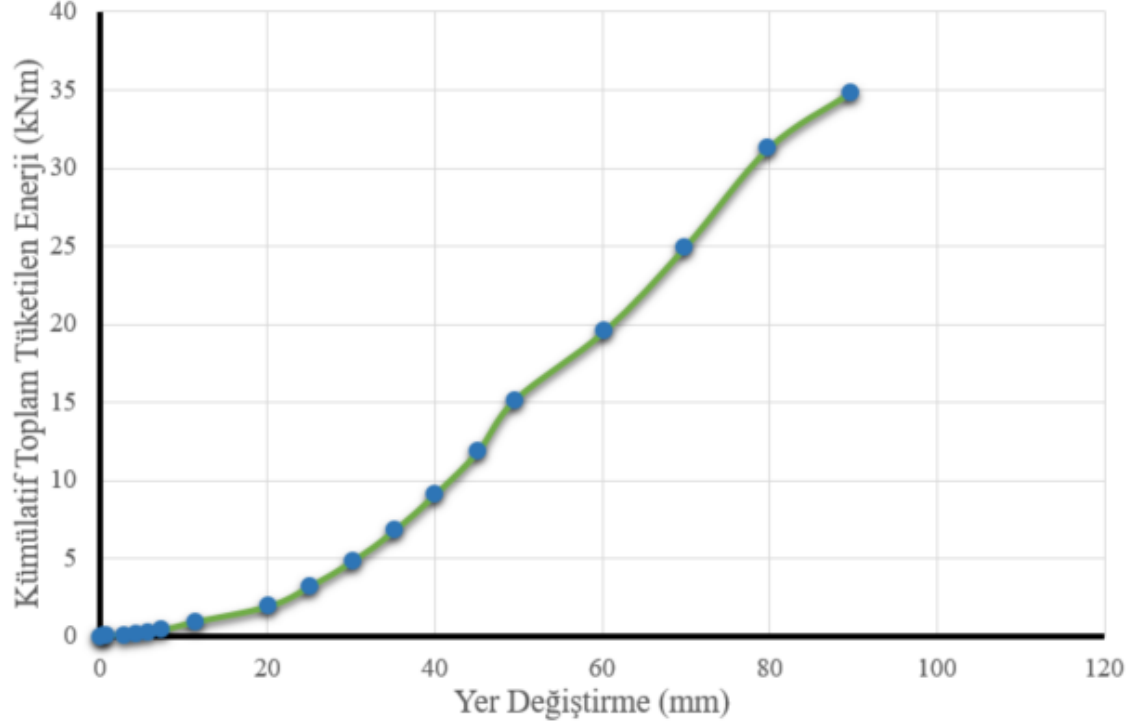
Şekil 4.18. KN2 numunesine ait histeresis eğrisi



Şekil 4.19. KN2 numunesine ait dayanım zarfı



Şekil 4.20. KN2 numunesine ait rijitlik azalması grafiği

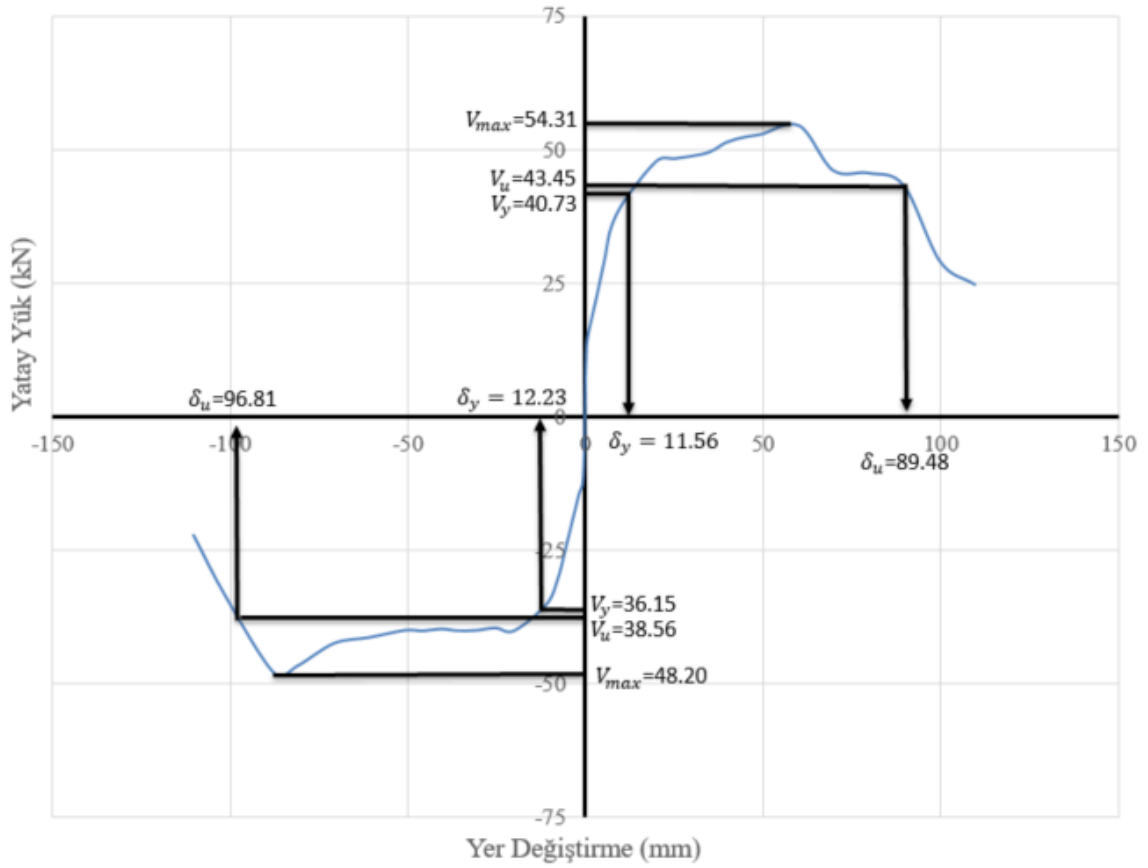


Şekil 4.21. KN2 numunesine ait kümülatif tüketilen enerji grafiği

KN2 numunesinin sünekliğinin hesaplanması için gerekli olan yatay yük değerleri ve Şekil 4.22’de verilen bu yük değerlerine karşılık gelen yer değiştirme değerleri Çizelge 4.6’da verilmiştir.

Çizelge 4.6. KN2 numunesine ait süneklik değerleri

KN2	V_{max} (kN)	V_y (kN)	V_u (kN)	δ_y (mm)	δ_u (mm)	μ	μ_{ort}
İtme	54.31	40.73	43.45	11.56	89.48	7.741	7.829
Çekme	48.20	36.15	38.56	12.23	96.81	7.916	



Şekil 4.22. KN2 numunesinin sünekliğinin hesaplanması

4.1.3. SN3 numunesi deney sonuçları

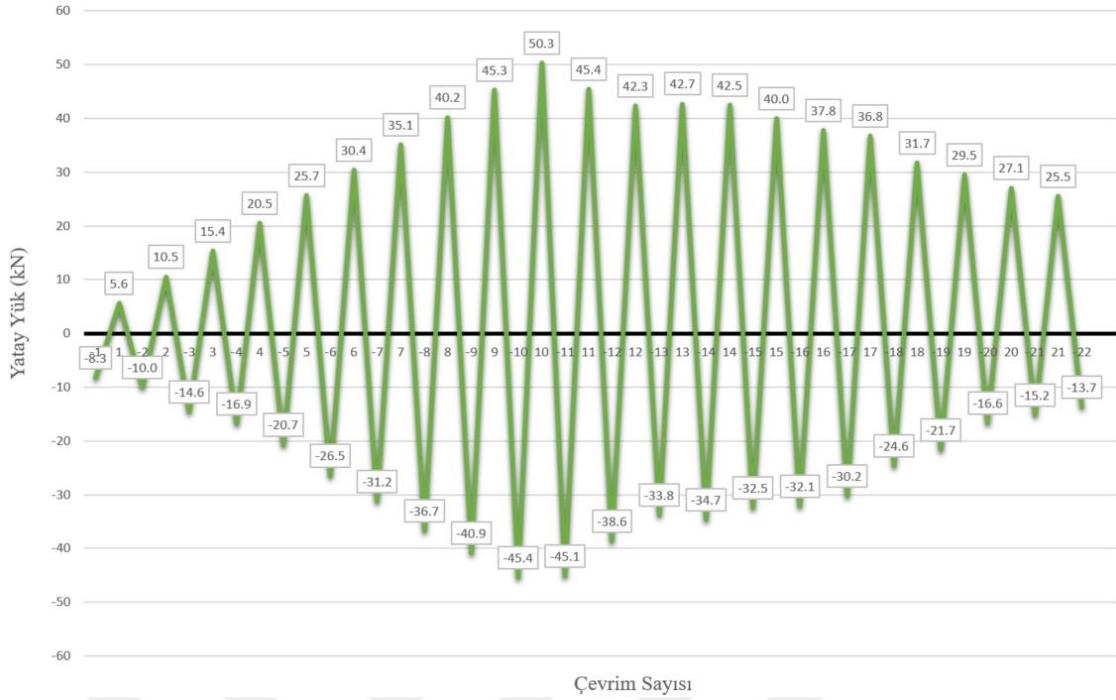
SN3 numunesi soketli bağlantı ile üretilmiştir. SN3 numunesi KN2’den farklı olarak öngerilmeli olarak üretilmiştir. SN3 numunesinin genel özellikleri Çizelge 4.7’de verilmiştir.

Çizelge 4.7. SN3 numunesi genel özellikleri

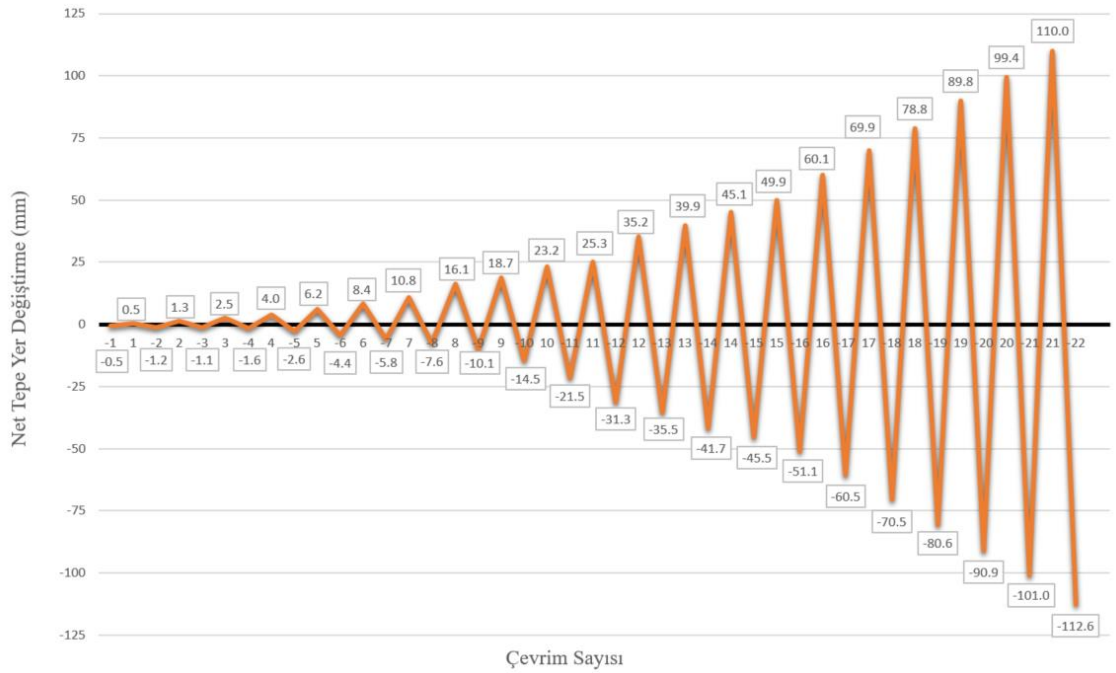
Numune Adı	Kesit Boyutları (cm)	Yükseklik (Temel Dahil)(cm)	Beton Sınıfı	Donatı Sınıfı	Temel-Kolon Bağlantı Tipi	Öngerilme Miktarı (kN)	Ankraj Boşluklarının Özellikleri
SN3	20/30	217.5	C30	B420C	Soketli	180	-

SN3 numunesinin deney düzeneğine yerleştirilmiş hali Şekil 4.23'te verilmiştir. SN3 numunesinin tersinir tekrarlanır yatay yüklemesi sonucu elde edilen yük geçmişi Şekil 4.24'te, yer değiştirme geçmişi ise Şekil 4.25'te numunenin yükleme prosedürü hakkında bilgi vermesi için verilmiştir.

**Şekil 4.23.** SN3 numunesi deney öncesi



Şekil 4.24. SN3 numunesi yük geçmişi



Şekil 4.25. SN3 numunesi yer değiştirme geçmişi

Şekil 4.24 ve Şekil 4.25'te görüldüğü gibi SN3 numunesi pozitif 10. çevrime kadar 5kN yük artışı ile yük kontrollü olarak yüklenmiştir. Pozitif 10. çevrimde numune akmış ve yer değiştirme kontrollü yüklemeye geçilmiştir. Pozitif 10. çevrimde numunenin

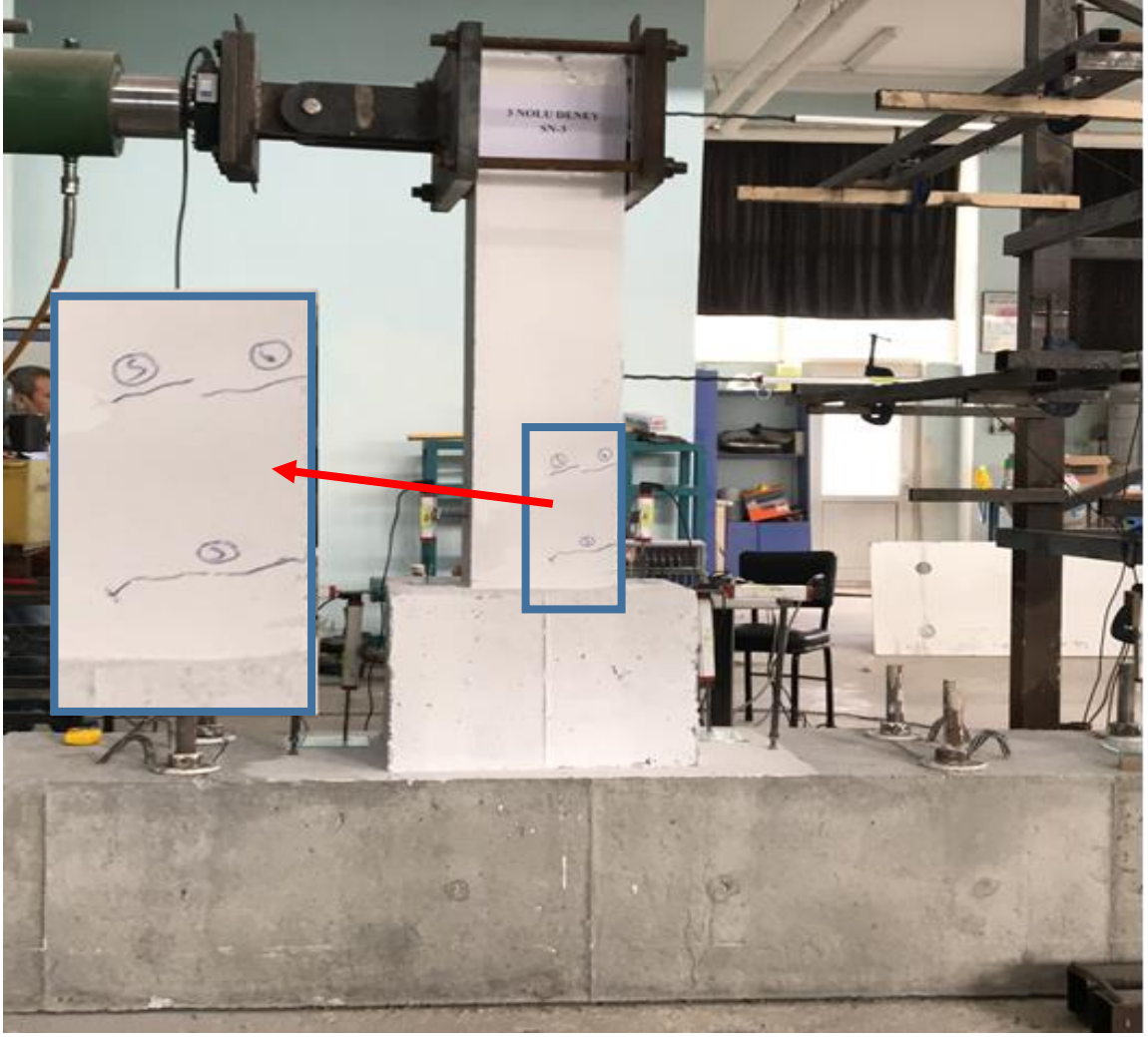
net tepe yer değiştirmesi +23.2 mm olduğu için 50 mm'ye kadar 5 mm artış ile, 50 mm'den sonra 10 mm artış ile yer değiştirme kontrollü yüklemeye devam edilmiştir. SN3 numunesinin deneyi sırasında her çevrimde gözlenen hasarlar Çizelge 4.8'de verilmiştir.

Çizelge 4.8. SN3 numunesinde deney sırasında gözlenen hasarlar

Çevrim No (İtme "+", Çekme "-")	Maksimum Yatay Yük (kN)	Maksimum Tepe Yer Değiştirme (LVDT-1) (mm)	Numunede Gözlenen Çatlak ve Hasar Oluşumları
-1	-8.29	-0.53	Hasar ve çatlak oluşumu gözlenmedi.
+1	5.56	0.47	Hasar ve çatlak oluşumu gözlenmedi.
-2	-9.97	-1.17	İlk çatlak oluşumu gözlenmiştir. Temel üst seviyesinden 47 cm ve 63 cm yüksekliklerde 2 tane çatlak oluşmuştur.
+2	10.54	1.31	Temel üst seviyesinden 43 cm ve 55 cm yüksekliklerde 2 tane çatlak oluşmuştur.
-3	-14.57	-1.15	Mevcut çatlaklar uzamıştır.
+3	15.38	2.52	Mevcut çatlaklar açılmıştır.
-4	-16.85	-1.64	Soket-kolon birleşiminde çatlaklar oluşmuştur.
+4	20.52	4.01	Soket-kolon birleşiminde çatlaklar oluşmuştur.
-5	-20.73	-2.64	Temel üst seviyesinden 55 cm 85 cm yüksekliklerde çatlaklar oluştu.
+5	25.67	6.24	Temel üstünden 75 cm yukarıda bir çatlak oluşmuştur.
-6	-26.46	-4.37	Temel üst seviyesinden 95 cm yukarıda bir çatlak oluşmuştur.
+6	30.39	8.44	Temel üst seviyesinden 95 cm yukarıda bir çatlak oluşmuştur.
-7	-31.23	-5.83	Temel üst seviyesinden 45 cm yukarıda bir çatlak oluşmuştur.
+7	35.06	10.85	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
-8	-36.69	-7.60	Temel üst seviyesinden 110 cm yukarıda bir çatlak oluşmuştur.
+8	40.19	16.13	Temel üst seviyesinden 95 cm yukarıda bir çatlak oluşmuştur.
-9	-40.89	-10.09	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir. Soket üst yüzünde diyagonal çatlaklar oluşmaya başlamıştır.
+9	45.30	18.71	Temel üst seviyesinden 90 cm yukarıda bir çatlak oluşmuştur.
-10	-45.37	-14.49	Soket üst yüzünde diyagonal çatlaklar oluşmaya başlamıştır. Çatlaklar soket yan yüzüne ilerlemiştir.
+10	50.33	23.25	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
Numune akma dayanımına ulaşmıştır. Yer değiştirme kontrollü yüklemeye geçilmiştir.			
-11	-45.13	-21.47	Sokette oluşan çatlaklar uzamaya ve genişlemeye devam etti
+11	45.41	25.29	Soket ön yüzünde düşey çatlaklar oluştu.
-12	-38.63	-31.33	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
+12	42.28	35.21	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
-13	-33.81	-35.53	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.

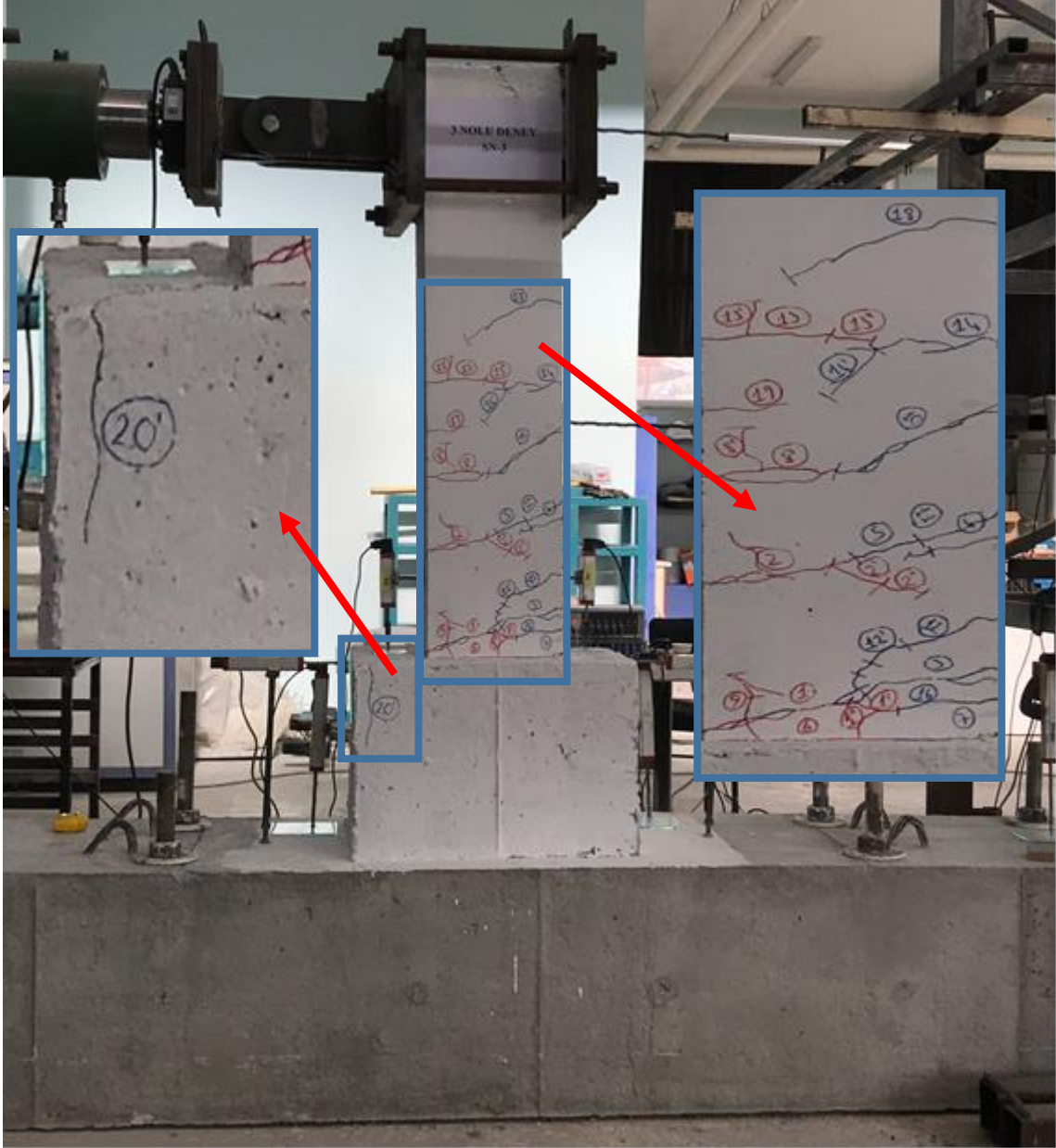
+13	42.71	39.85	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
-14	-34.70	-41.73	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
+14	42.45	45.13	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
-15	-32.45	-45.45	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
+15	39.97	49.92	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
-16	-32.14	-51.06	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
+16	37.75	60.10	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
-17	-30.22	-60.48	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
+17	36.77	69.92	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
-18	-24.59	-70.51	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
+18	31.73	78.82	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
-19	-21.67	-80.60	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
+19	29.52	89.81	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
-20	-16.63	-90.90	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
+20	27.06	99.36	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
-21	-15.15	-100.97	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
+21	25.48	110.05	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
-22	-13.71	-112.58	Numune limit duruma ulaşmıştır. Deney sonlandırılmıştır.

SN3 numunesinde ilk çatlak oluşumu -2. çevrimde oluşmuştur. Bu çevrimde numuneye etki eden yük -9.97 kN iken yer değiştirme -1.17 mm olarak ölçülmüştür. İlk çatlakların oluştuğu çevrimde numunede oluşan çatlaklar Şekil 4.26'da verilmiştir.



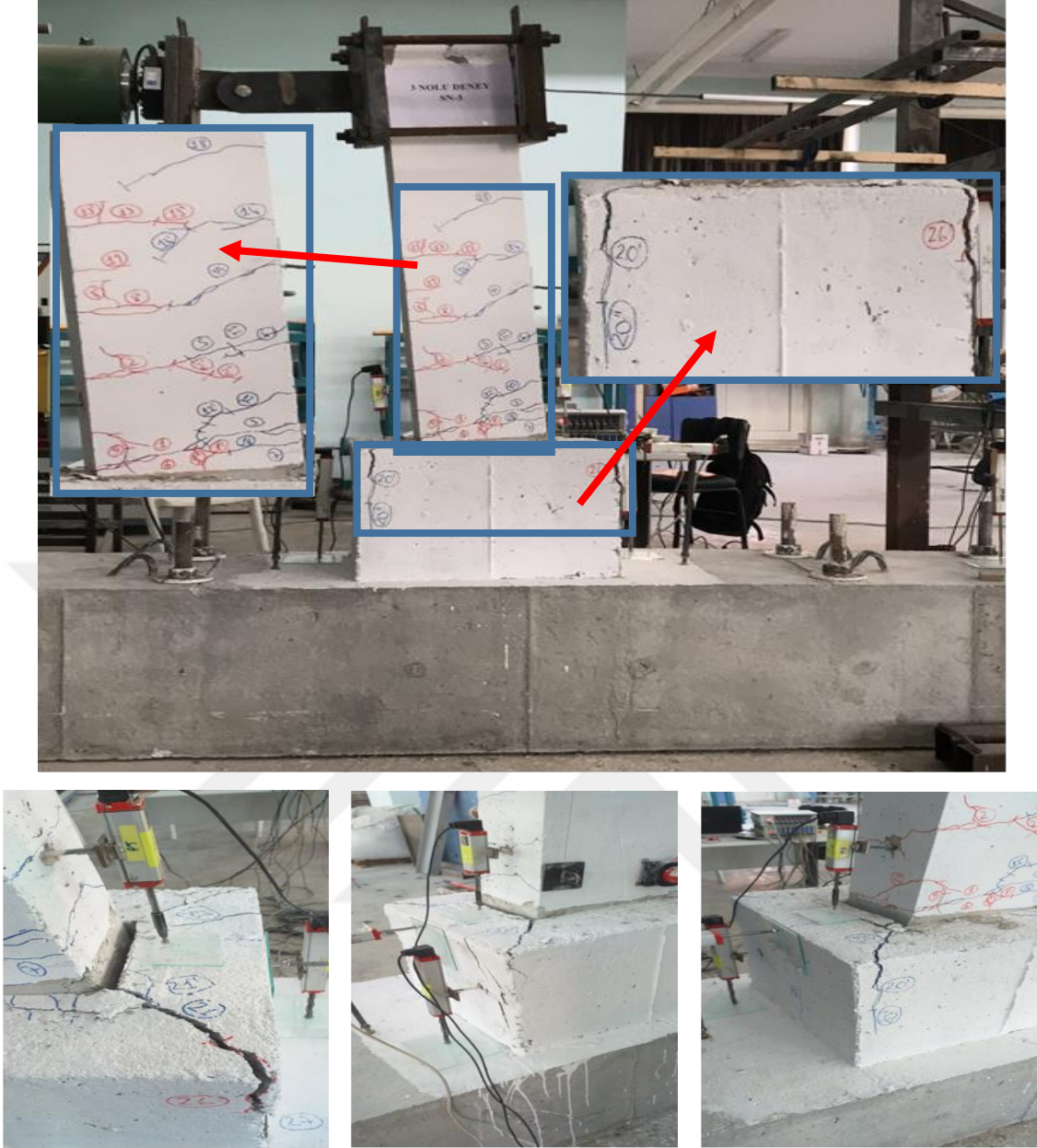
Şekil 4.26. SN3 numunesinde ilk çatlak oluşumu

SN3 numunesi akma dayanımına ± 10 . çevrimde ulaşmıştır. +10. çevrimde +50.33 kN yüke ulaşırken, tepe yer değıştirme +23.25 mm olarak gerçekleşmiştir. -10. çevrimde ise -45.37 kN yüke ulaşılırken, tepe yer değıştirme -14.49 mm olarak gerçekleşmiştir. Bu çevrimde soket yüzeyinde diyagonal çatlaklar oluşmuştur. Soket-kolon birleşiminde ayrılmalar oluşmuştur. Soket dolgu betonunda ezilmeler gerçekleşmiştir. SN3 numunesinin akma dayanımına ulaştığı andaki oluşan çatlaklar Şekil 4.27’de verilmiştir.



Şekil 4.27. SN3 numunesinin akma dayanımına ulaştığında hasar durumu

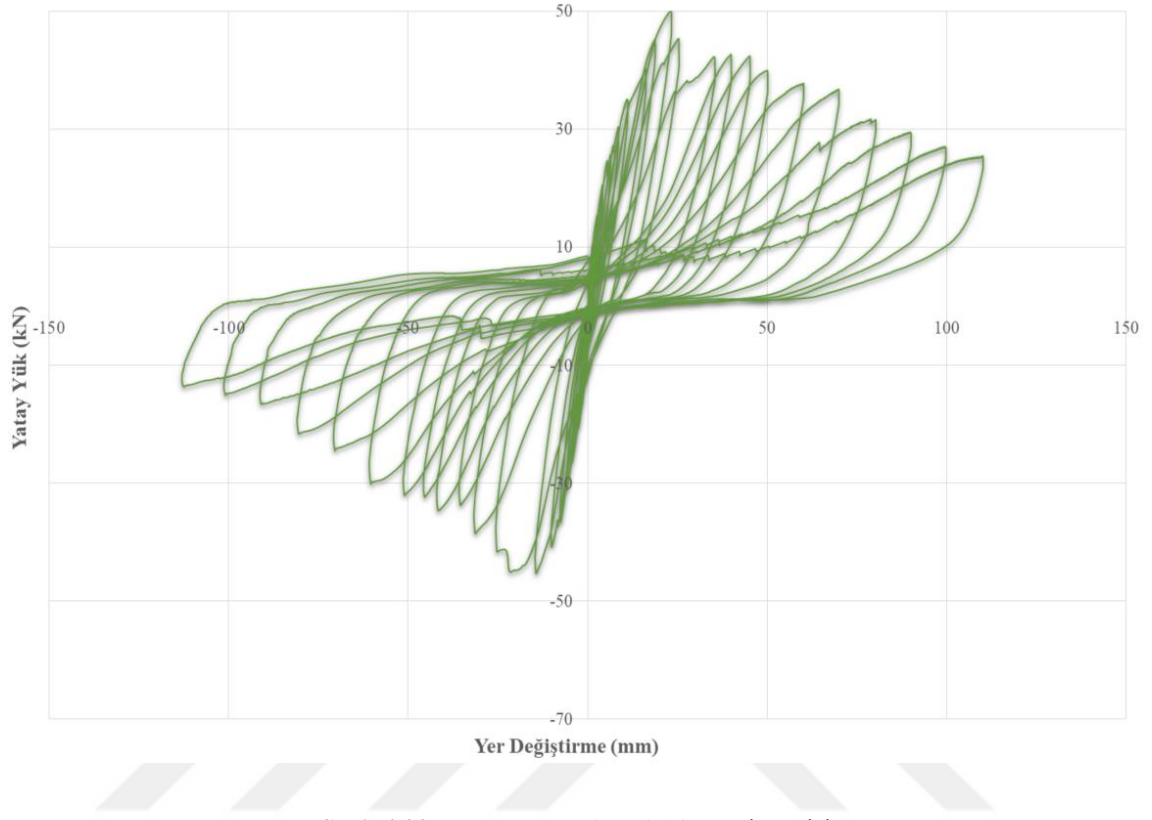
SN3 numunesi -22. çevrimde göçme durumuna ulaşmıştır. Bu çevrimde -13.71 kN yük kolona etki ederken, -112.58 mm yer değiştirme gerçekleşmiştir. Göçme durumunda kolonda çok fazla hasar görülmezken, sokette önemli hasarlar oluşmuştur. Kolonda plastik mafsallık bölgesindeki hasarlar düşük seviyede kalmıştır. Sokette ise dört köşesinde diyagonal çatlaklar oluşmuştur. Bu çatlaklar yan yüzeye düşey çatlak olarak geçip soket tabanına doğru ilerlemiştir. Kolonda eğilme hasarları ileri seviyelere ilerlemeden sokette oluşan hasarlar nedeniyle numune göçme durumuna ulaşmıştır. SN3 numunesinin göçme durumunda hasar oluşumu Şekil 4.28'de verilmiştir.



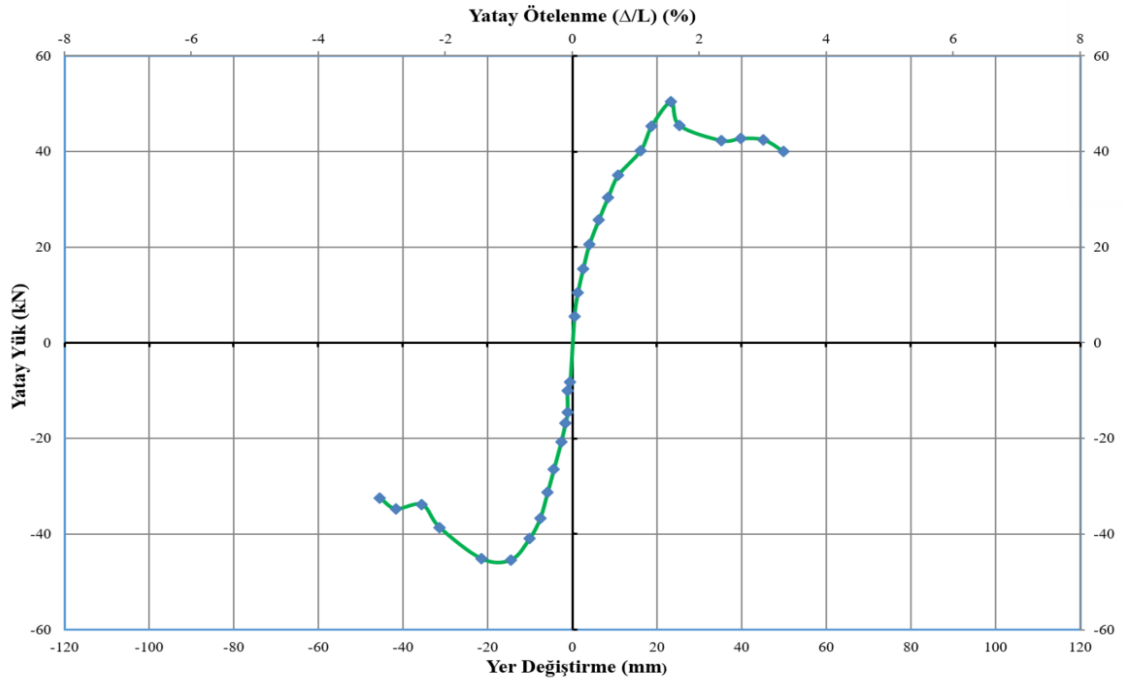
Şekil 4.28. SN3 numunesinin göçme durumuna ulaştığında hasar durumu

Deney sırasında veri toplayıcı yardımıyla numunelerin davranışını yorumlamaya yardımcı bazı grafikler elde edilmiştir. Şekil 4.29'da okunan yük değerleri ve buna karşılık gelen yer değiştirmeler ile elde edilen histeresis eğrisi verilmiştir. Şekil 4.30'da numune akma dayanımına ulaşana kadar maksimum yüke karşılık gelen yer değiştirme, akma dayanımına ulaştıktan sonra maksimum yer değiştirmeye karşılık gelen yük değerlerinin birleştirilmesi ile elde edilen dayanım zarfı verilmiştir. Şekil 4.31'de numunenin her çevrimde rijitliğindeki azalmayı gösteren düşey eksenli rijitlik azalması,

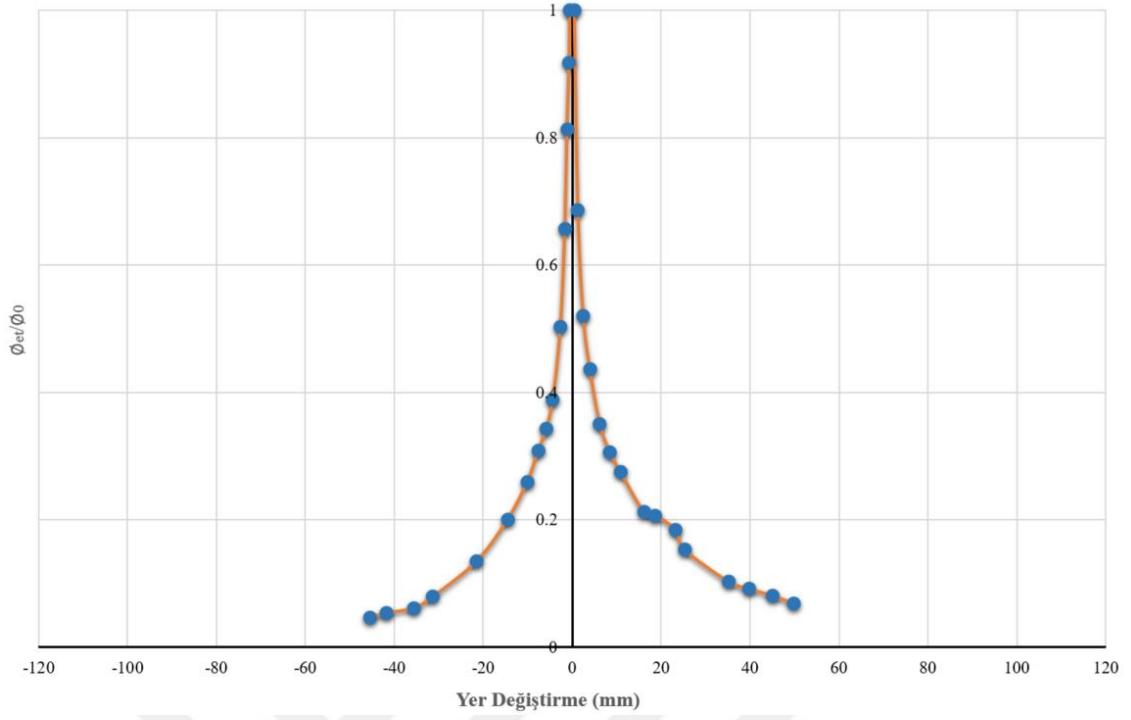
yatay eksenini net tepe yer değiştirmesi olan rijitlik azalma grafiği verilmiştir. Şekil 4.32’de ise numunenin her çevrimde kümülatif tükettiği enerjiyi gösteren grafik verilmiştir.



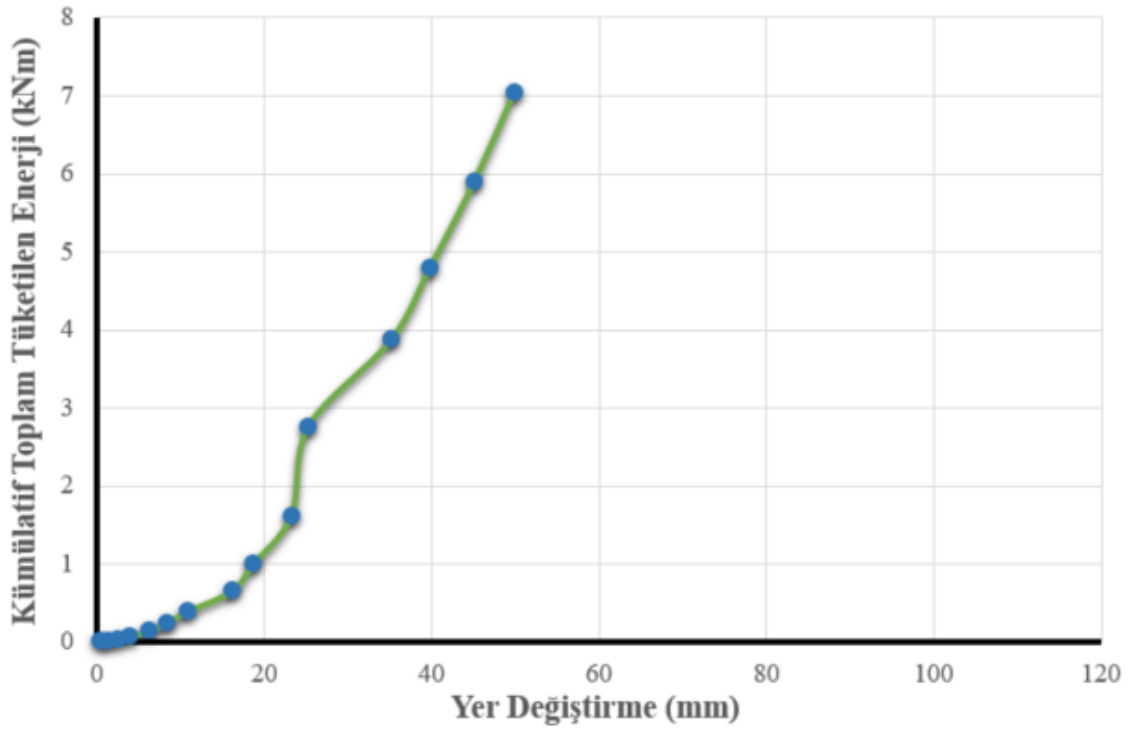
Şekil 4.29. SN3 numunesine ait histeresis eğrisi



Şekil 4.30. SN3 numunesine ait dayanım zarfı



Şekil 4.31. SN3 numunesine ait rijitlik azalması grafiği

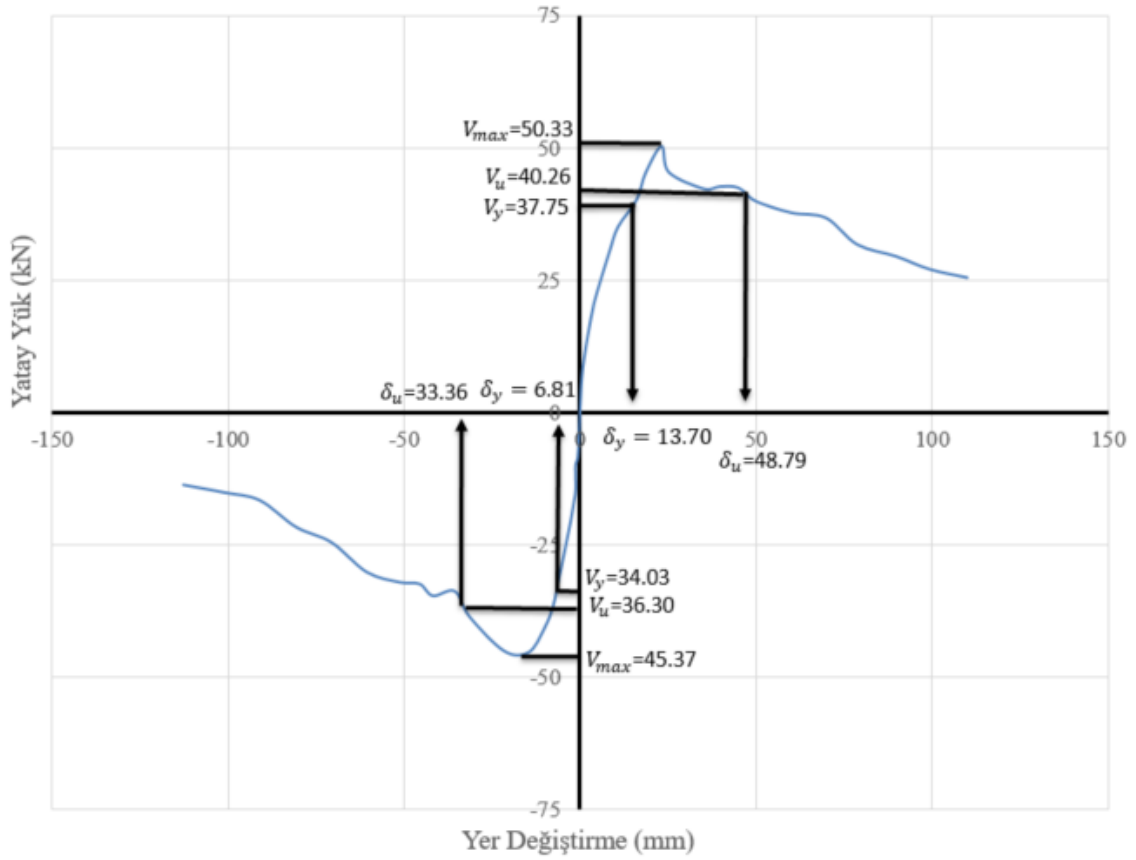


Şekil 4.32. SN3 numunesine ait kümülatif tüketilen enerji grafiği

SN3 numunesinin sünekliğinin hesaplanması için gerekli olan yatay yük değerleri ve Şekil 4.33'te verilen bu yük değerlerine karşılık gelen yer değiştirme değerleri Çizelge 4.9'da verilmiştir.

Çizelge 4.9. SN3 numunesine ait süneklik değerleri

SN3	V_{max} (kN)	V_y (kN)	V_u (kN)	δ_y (mm)	δ_u (mm)	μ	μ_{ort}
İtme	50.33	37.75	40.26	13.70	48.79	3.561	4.230
Çekme	45.37	34.03	36.30	6.81	33.36	4.899	



Şekil 4.33. SN3 numunesinin sünekliğinin hesaplanması

4.1.4. AN4 numunesi deney sonuçları

AN4 numunesi önerilen ankrajlı bağlantı ile üretilmiştir. AN4 numunesine öngerilme uygulanmamıştır. Ankrajların geçeceği kolondaki boşluk dişli aparat ile açılmıştır. AN4 numunesinin genel özellikleri Çizelge 4.10'da verilmiştir.

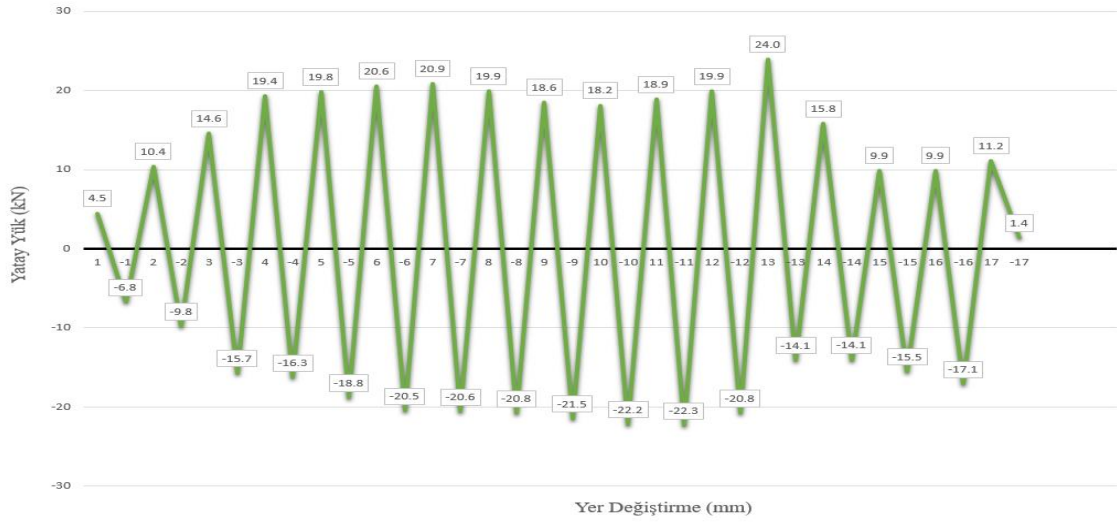
Çizelge 4.10. AN4 numunesi genel özellikleri

Numune Adı	Kesit Boyutları (cm)	Yükseklik (Temel Dahil)(cm)	Beton Sınıfı	Donatı Sınıfı	Temel-Kolon Bağlantı Tipi	Öngerme Miktarı (kN)	Ankraj Boşluklarının Özellikleri
AN4	20/30	217.5	C30	B420C	Ankrajlı	-	Dişli

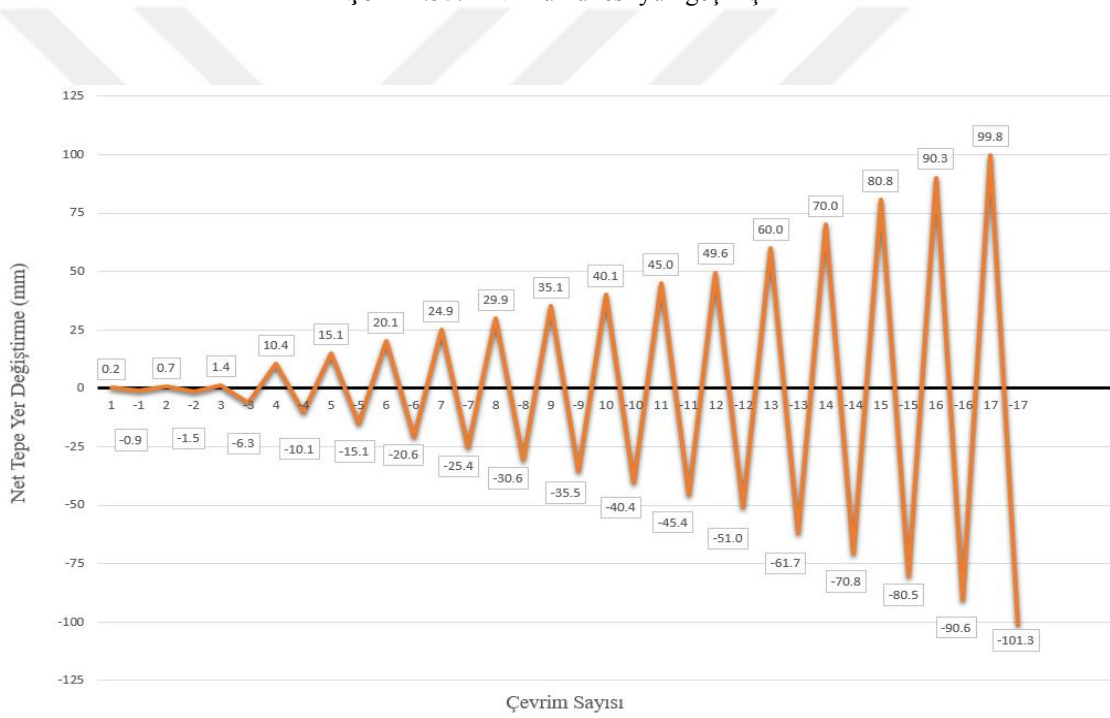
AN4 numunesinin deney düzeneğine yerleştirilmiş hali Şekil 4.34'te verilmiştir. AN4 numunesinin tersinir tekrarlanır yatay yüklemesi sonucu elde edilen yük geçmişi Şekil 4.35'te, yer değiştirme geçmişi ise Şekil 4.36'da numunenin yükleme prosedürü hakkında bilgi vermesi için verilmiştir.



Şekil 4.34. AN4 numunesi deney öncesi



Şekil 4.35. AN4 numunesi yük geçmişi



Şekil 4.36. AN4 numunesi yer değiştirme geçmişi

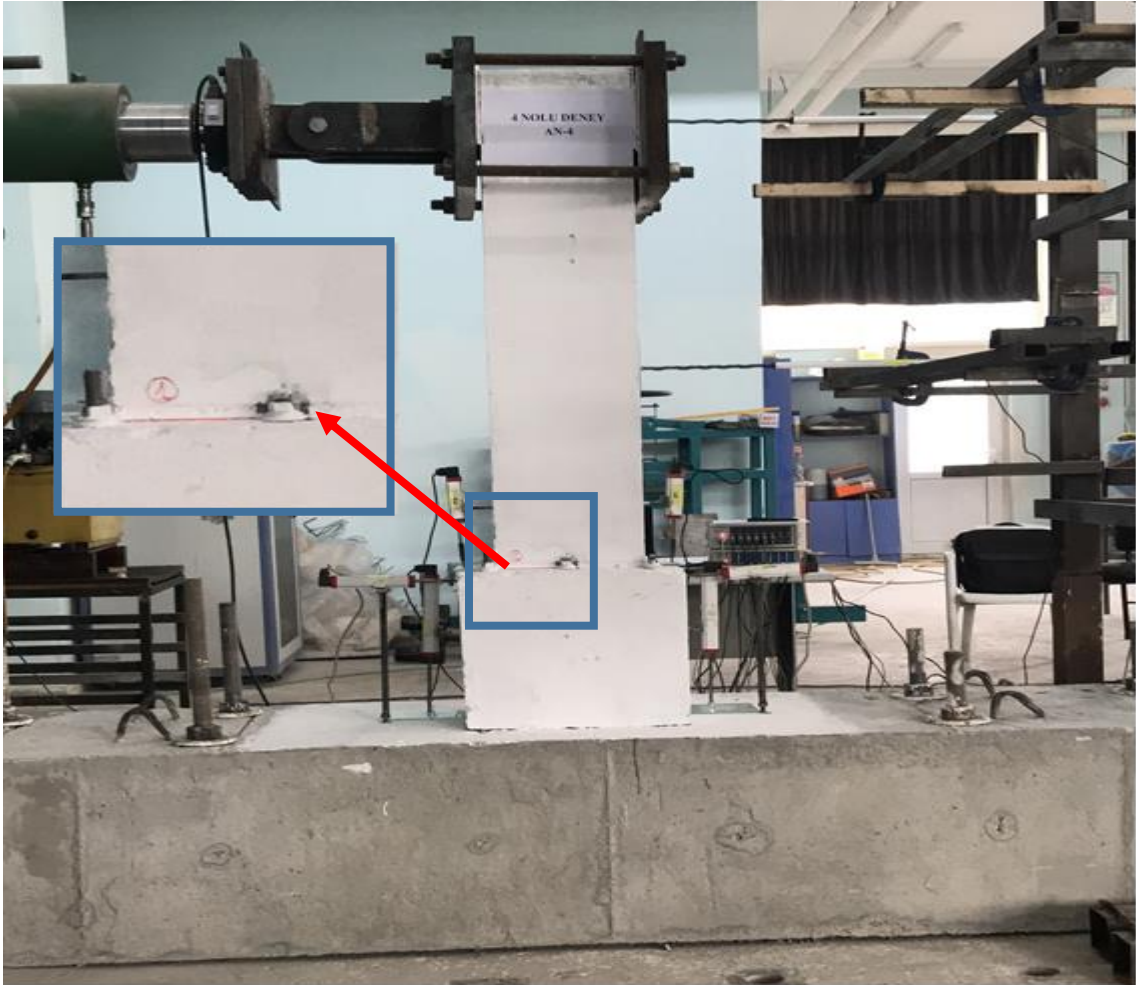
Yük geçmişi ve yer değiştirme geçmişi grafiklerinden anlaşılacağı gibi AN4 numunesi pozitif 4. çevrime kadar 5kN yük artışı ile yük kontrollü olarak yüklenmiştir. Pozitif 4. çevrimde numune akmış ve yer değiştirme kontrollü yüklemeye geçilmiştir. Pozitif 4. çevrimde numunenin net tepe yer değiştirmesi 10.4 mm olduğu için 50 mm'ye kadar 5 mm artış ile, 50 mm'den sonra 10 mm artış ile yer değiştirme kontrollü yüklemeye devam edilmiştir. AN4 numunesinin deneyi sırasında her çevrimde gözlenen hasarlar Çizelge 4.11'de verilmiştir.

Çizelge 4.11. AN4 numunesinde deney sırasında gözlenen hasarlar

Çevrim No (İtme "+", Çekme "-")	Maksimum Yatay Yük (kN)	Maksimum Tepe Yer Değiştirme (LVDT-1) (mm)	Numunede Gözlenen Çatlak ve Hasar Oluşumları
+1	4.51	0.25	Hasar ve çatlak oluşumu gözlenmedi.
-1	-6.76	-0.86	Hasar ve çatlak oluşumu gözlenmedi.
+2	10.43	0.69	Hasar ve çatlak oluşumu gözlenmedi.
-2	-9.80	-1.53	Hasar ve çatlak oluşumu gözlenmedi.
+3	14.59	1.38	Ankrajların oturduğu kolonun genişleyen kısmı ile kolon birleşiminde çatlak oluşmuştur.
-3	-15.70	-6.31	Ankrajların oturduğu kolonun genişleyen kısmı ile kolon birleşiminde çatlak oluşmuştur ve simetriği ile birleşmiştir. Temel üst seviyesinden 60 cm yukarıda bir çatlak oluşmuştur.
+4	19.37	10.40	Temel üst seviyesinden 45 cm yukarıda genişleyen kısma yakın bir çatlak oluşmuştur. Oluşan çatlak kolon tabanına doğru 45° açıyla oluşmuştur. Kolon genişleyen kısmının yüzeyinde çatlak oluşmuştur. Kolon genişleyen kısmında tabana paralel çatlak oluşmuştur. Kolon akma dayanımına ulaşmıştır.
-4	-16.29	-10.08	Kolon genişleyen kısmında yan yüzde çatlak oluşmuştur.
Numune akma dayanımına ulaşmıştır. Yer değiştirme kontrollü yüklemeye geçilmiştir.			
+5	19.84	15.06	Kolon genişleyen kısmından 5 cm yukarıda bir çatlak oluşmuştur. Çatlağın yönü kolon tabanına doğru 45°'dir.
-5	-18.84	-15.14	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
+6	20.59	20.07	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
-6	-20.49	-20.58	Kolon genişleyen kısmından 5 cm yukarıda bir çatlak oluşmuştur. Çatlağın yönü kolon tabanına doğru düşeydir.
+7	20.90	24.91	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
-7	-20.61	-25.39	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
+8	19.94	29.87	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
-8	-20.80	-30.58	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
+9	18.55	35.09	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
-9	-21.45	-35.50	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
+10	18.16	40.07	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
-10	-22.17	-40.41	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
+11	18.89	44.96	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
-11	-22.34	-45.43	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
+12	19.91	49.62	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
-12	-20.78	-50.95	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.

+13	23.99	59.97	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
-13	-14.07	-61.65	Çekme bölgesi boyuna donatı koptu.
+14	15.80	70.01	Çekme bölgesi boyuna donatı koptu.
-14	-14.05	-70.80	Çekme bölgesi boyuna donatı koptu.
+15	9.94	80.76	Çekme bölgesi boyuna donatı koptu.
-15	-15.53	-80.48	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
+16	9.94	90.25	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
-16	-17.11	-90.56	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
+17	11.15	99.84	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
-17	1.37	-101.28	Çekme bölgesi boyuna donatı kopmuştur. Numune limit duruma ulaşmıştır. Deney sonlandırılmıştır.

AN4 numunesinde ilk çatlak oluşumu +3. çevrimde oluşmuştur. Bu çevrimde numuneye etki eden yük 14.59 kN iken yer değiştirme 1.38 mm olarak ölçülmüştür. İlk çatlakların oluştuğu çevrimde numunede oluşan çatlaklar Şekil 4.37’de verilmiştir.



Şekil 4.37. AN4 numunesinde ilk çatlak oluşumu

AN4 numunesi akma dayanımına ± 4 . çevrimde ulaşmıştır. +4. çevrimde +19.37 kN yüke ulaşırken, tepe yer değıştirme +10.40 mm olarak gerçekleşmiştir. -6. çevrimde ise -16.29 kN yüke ulaşılırken, tepe yer değıştirme -10.08 mm olarak gerçekleşmiştir. Bu çevrimde ankrajların oturduğu kısımda boyuna donatıdaki pilyelerin etkisiyle kabuk betonda hasarlar oluşmuştur. Kolonda çok fazla hasar oluşmadan akma dayanımına ulaşmıştır. AN4 numunesinin akma dayanımına ulaştığı andaki hasar durumu Şekil 4.38’de verilmiştir.



Şekil 4.38. AN4 numunesinin akma dayanımına ulaştığında hasar durumu

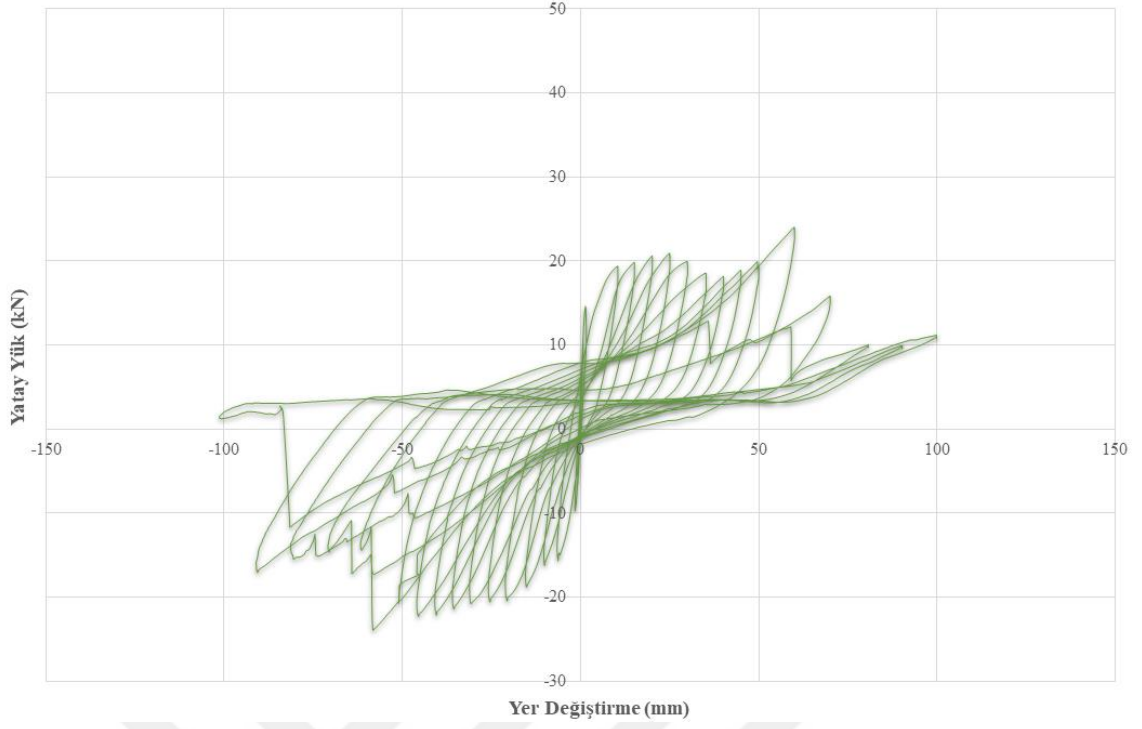
AN4 numunesi -17. çevrimde göçme durumuna ulaşmıştır. Bu çevrimde -1.37 kN yük kolona etki ederken, -101.78 mm yer değiştirme gerçekleşmiştir. Göçme durumunda kolon genişleyen kısmındaki pilyeler açılarak kabuk betonun dökülmesine neden olmuştur. Pilyeler tersinir tekrarlanır yüklerin etkisiyle maruz kaldıkları çekme gerilmeleri nedeniyle açılmıştır. Boyuna donatılarda burkulmalar oluşmuştur. Kolonda önemli hasarlar oluşmadan boyuna donatılardaki kopma ile kolon göçme durumuna ulaşmıştır. Boyuna donatılardaki kopmalarda, yapılan pilye nedeniyle boyuna donatıya verilen ilk hasar da etkili olmuştur. AN4 numunesinin göçme durumunda hasar oluşumu Şekil 4.39'da verilmiştir.



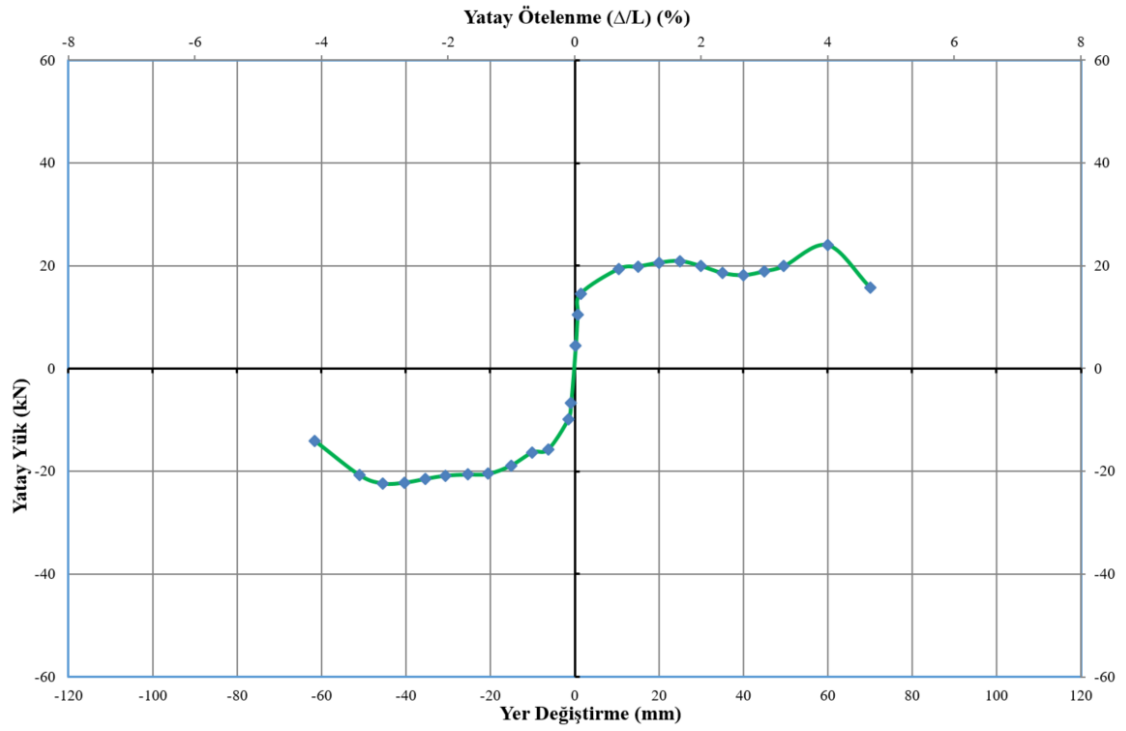


Şekil 4.39. AN4 numunesinin göçme durumuna ulaştığında hasar durumu

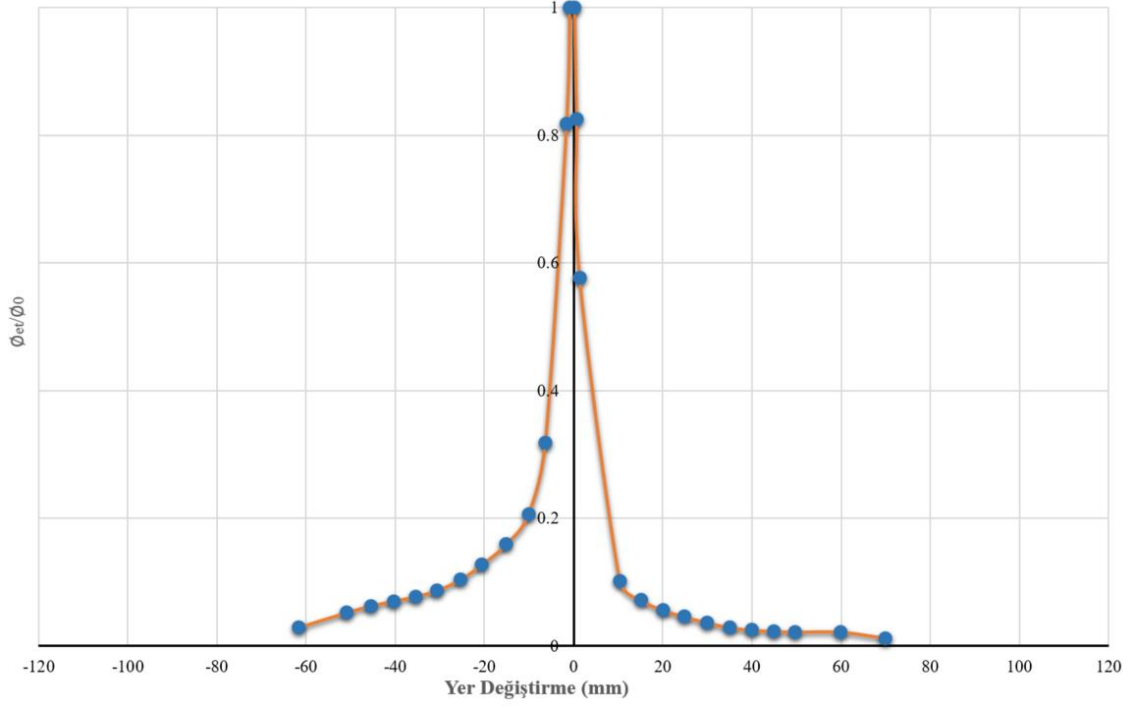
Deney sırasında veri toplayıcı ile bilgisayara aktarılan yük ve yer değiştirme verileri yardımıyla numunelerin davranışını yorumlamaya yardımcı bazı grafikler elde edilmiştir. Şekil 4.40'ta okunan yük değerleri ve buna karşılık gelen yer değiştirmeler ile elde edilen histeresis eğrisi verilmiştir. Şekil 4.41'de numune akma dayanımına ulaşana kadar maksimum yüke karşılık gelen yer değiştirme, akma dayanımına ulaştıktan sonra maksimum yer değiştirmeye karşılık gelen yük değerlerinin birleştirilmesi ile elde edilen dayanım zarfı verilmiştir. Şekil 4.42'de numunenin her çevrimde rijitliğindeki azalmayı gösteren düşey eksenli rijitlik azalması, yatay eksenli net tepe yer değiştirmesi olan rijitlik azalma grafiği verilmiştir. Şekil 4.43'te ise numunenin her çevrimde kümülatif tükettiği enerjiyi gösteren grafik verilmiştir.



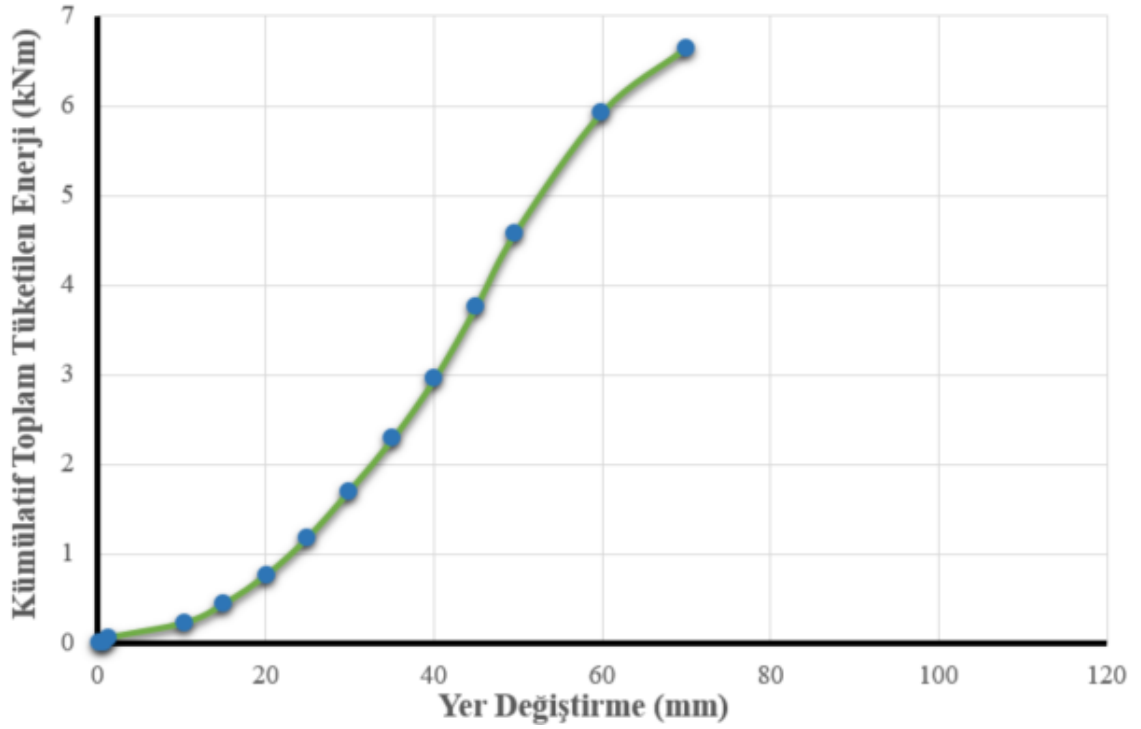
Şekil 4.40. AN4 numunesine ait histeresis eğrisi



Şekil 4.41. AN4 numunesine ait dayanım zarfı



Şekil 4.42. AN4 numunesine ait rijitlik azalması grafiği

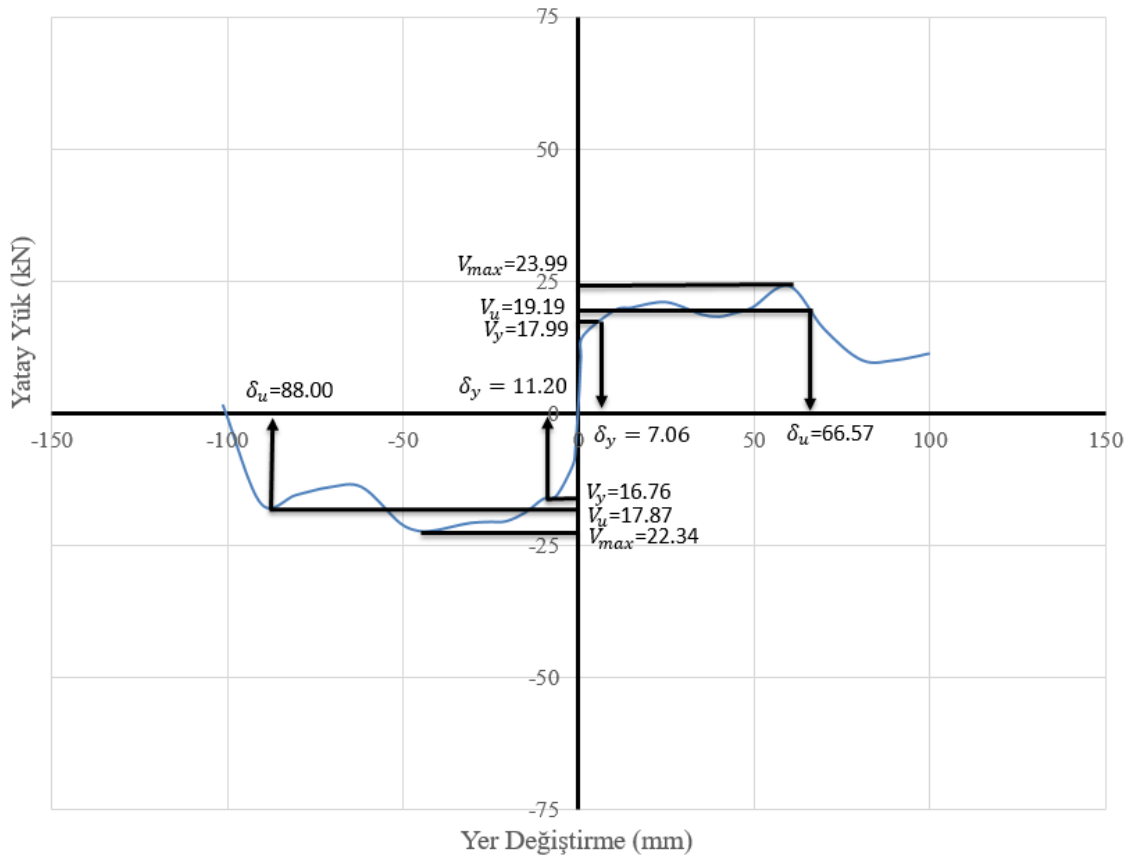


Şekil 4.43. AN4 numunesine ait kümülatif tüketilen enerji grafiği

AN4 numunesinin sünekliğinin hesaplanması için gerekli olan yatay yük değerleri ve Şekil 4.44'te verilen bu yük değerlerine karşılık gelen yer değiştirme değerleri Çizelge 4.12'de verilmiştir.

Çizelge 4.12. AN4 numunesine ait süneklik değerleri

AN4	V_{max} (kN)	V_y (kN)	V_u (kN)	δ_y (mm)	δ_u (mm)	μ	μ_{ort}
İtme	23.99	17.99	19.19	7.06	66.57	9.429	8.643
Çekme	22.34	16.76	17.87	11.20	88.00	7.857	



Şekil 4.44. AN4 numunesinin sünekliğinin hesaplanması

4.1.5. AN5 numunesi deney sonuçları

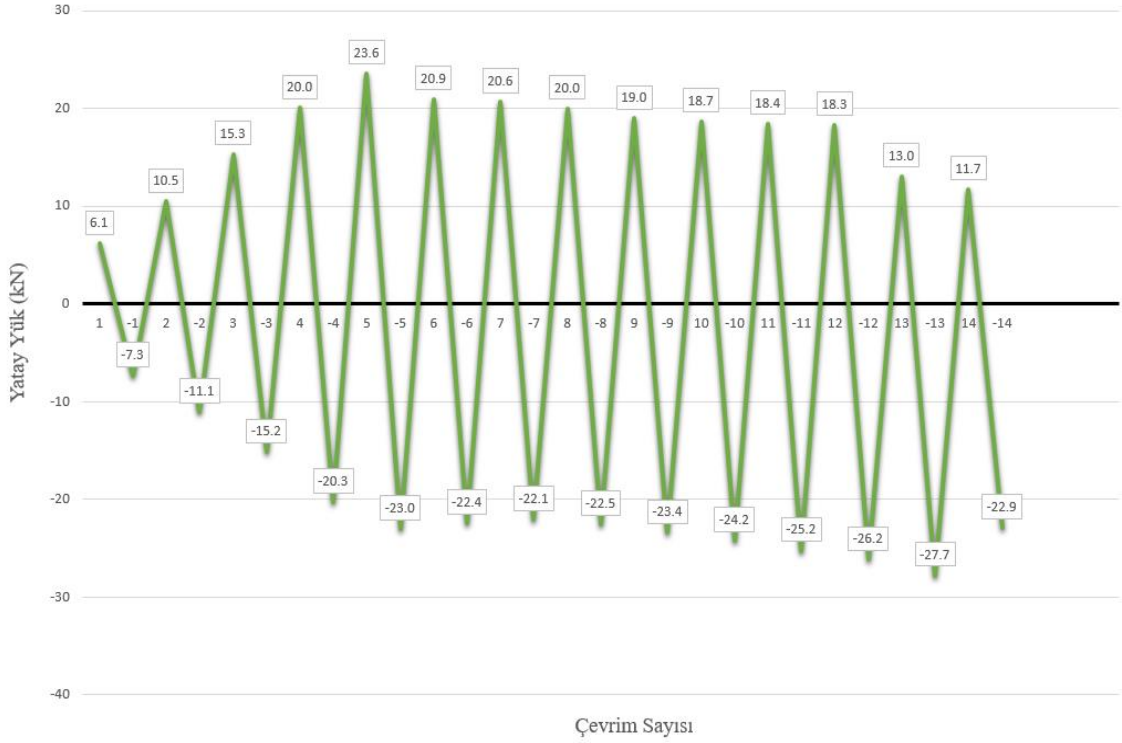
AN5 numunesi önerilen ankrajlı bağlantı türü ile üretilmiştir. AN5 numunesi aksenal yük taşıma kapasitesinin %10'u kadar öngerilme uygulanarak üretilmiştir. Ankrajların oturacağı boşluklar dişli aparat ile açılmıştır. AN5 numunesinin genel özellikleri Çizelge 4.13'te verilmiştir.

Çizelge 4.13. AN5 numunesi genel özellikleri

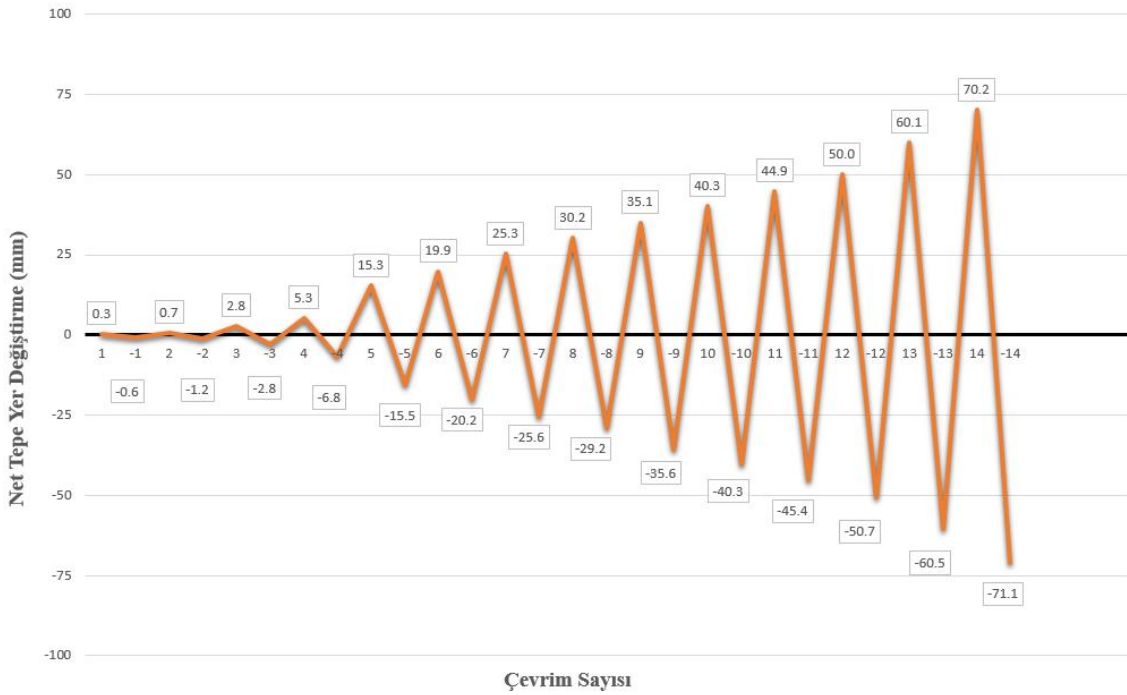
Numune Adı	Kesit Boyutları (cm)	Yükseklik (Temel Dahil)(cm)	Beton Sınıfı	Donatı Sınıfı	Temel-Kolon Bağlantı Tipi	Öngerilme Miktarı (kN)	Ankraj Boşluklarının Özellikleri
AN5	20/30	217.5	C30	B420C	Ankrajlı	180	Dışlı

AN5 numunesinin deney düzeneğine yerleştirilmiş hali Şekil 4.45'te verilmiştir. AN5 numunesinin tersinir tekrarlanır yatay yüklemesi sonucu elde edilen yük geçmişi Şekil 4.46'da, yer değiştirme geçmişi ise Şekil 4.47'de numunenin yükleme prosedürü hakkında bilgi vermesi için verilmiştir.

**Şekil 4.45.** AN5 numunesi deney öncesi



Şekil 4.46. AN5 numunesi yük geçmişi



Şekil 4.47. AN5 numunesi yer değiştirme geçmişi

Yük geçmişi ve yer değiştirme geçmişi grafiklerinden anlaşılacağı gibi AN5 numunesi pozitif 5. çevrime kadar 5kN yük artışı ile yük kontrollü olarak yüklenmiştir.

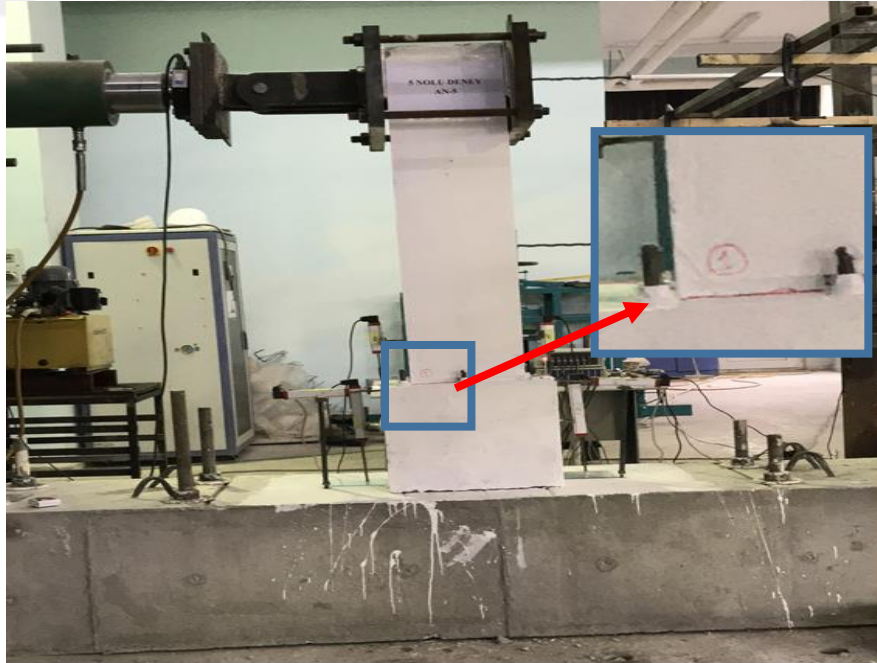
Pozitif 5. çevrimde numune akmış ve yer değiştirme kontrollü yüklemeye geçilmiştir. Pozitif 5. çevrimde numunenin net tepe yer değiştirmesi +15.41 mm olduğu için 50 mm'ye kadar 5 mm artış ile, 50 mm'den sonra 10 mm artış ile yer değiştirme kontrollü yüklemeye devam edilmiştir. AN5 numunesinin deneyi sırasında her çevrimde gözlenen hasarlar Çizelge 4.14'te verilmiştir.

Çizelge 4.14. AN5 numunesinde deney sırasında gözlenen hasarlar

Çevrim No (İtme "+", Çekme "-")	Maksimum Yatay Yük (kN)	Maksimum Tepe Yer Değiştirme (LVDT-1) (mm)	Numunede Gözlenen Çatlak ve Hasar Oluşumları
+1	6.14	0.34	Hasar ve çatlak oluşumu gözlenmedi.
-1	-7.34	-0.65	Hasar ve çatlak oluşumu gözlenmedi.
+2	10.45	0.72	Hasar ve çatlak oluşumu gözlenmedi.
-2	-11.05	-1.16	Hasar ve çatlak oluşumu gözlenmedi.
+3	15.29	2.82	Ankrajların oturduğu kolonun genişleyen kısmı ile kolon birleşiminde çatlak oluşmuştur.
-3	-15.15	-2.75	Ankrajların oturduğu kolonun genişleyen kısmı ile kolon birleşiminde çatlak oluşmuştur. Oluşan çatlak simetriği ile birleşti.
+4	20.03	5.33	Temel üst seviyesinden 60 cm yukarıda bir çatlak oluşmuştur.
-4	-20.28	-6.76	Temel üst seviyesinden 60 cm yukarıda bir çatlak oluşmuştur. Oluşan çatlak simetriği ile birleşti.
+5	23.58	15.35	Temel üst seviyesinden 80 cm yukarıda bir çatlak oluşmuştur. Ankrajların oturduğu kolonun geniş kısmında tabana paralel çatlaklar oluşmuştur. Kolon da geniş kısmın 5 cm üstünde düşey yönlü çatlak oluşmuştur. Numune akma dayanımına ulaşmış yer değiştirme kontrollü yüklemeye geçilmiştir.
-5	-23.01	-15.47	Temel üst seviyesinden 80 cm yukarıda bir çatlak oluşmuştur. Ankrajların oturduğu kolonun geniş kısmında tabana paralel çatlaklar oluşmuştur. Kolon da geniş kısmın 5 cm üstünde düşey yönlü çatlak oluşmuştur. Numune akma dayanımına ulaşmış yer değiştirme kontrollü yüklemeye geçilmiştir.
Numune akma dayanımına ulaşmıştır. Yer değiştirme kontrollü yüklemeye geçilmiştir.			
+6	20.92	19.91	Kolonun geniş kısmında oluşan tabana paralel çatlaklar uzamıştır. Kolon da geniş kısmın 5 cm üstünde düşey yönlü çatlak oluşmuştur.
-6	-22.41	-20.17	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
+7	20.64	25.28	Kolonun geniş kısmında oluşan tabana paralel çatlaklar düşeye yönelmiştir.
-7	-22.05	-25.56	Kolon da geniş kısmın 5 cm üstünde oluşan düşey yönlü çatlaklar yön değiştirerek 45° açı ile kolon köşesine ulaşmıştır.
+8	19.97	30.18	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
-8	-22.53	-29.16	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
+9	18.96	35.12	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.

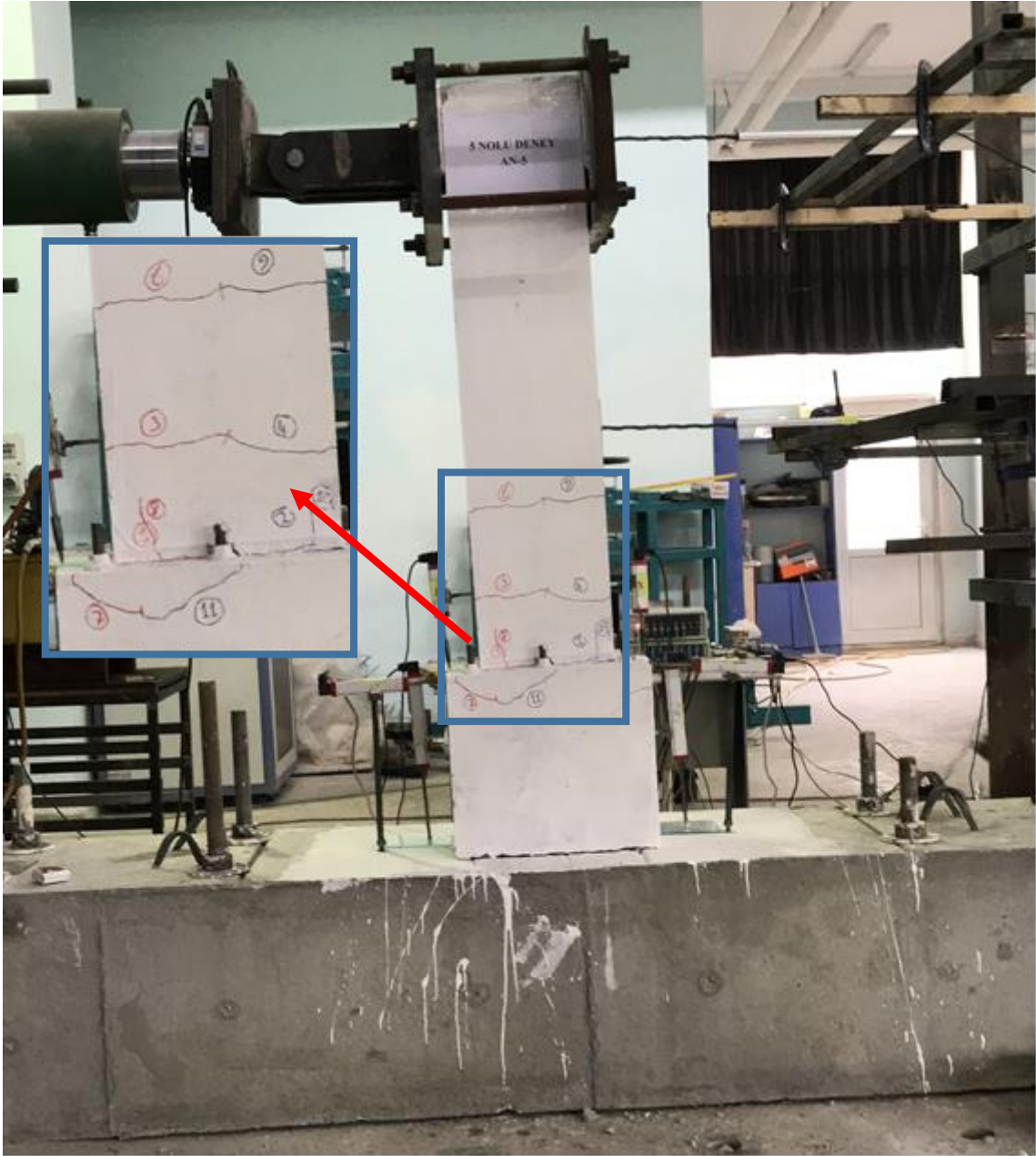
-9	-23.41	-35.62	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
+10	18.69	40.27	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
-10	-24.21	-40.26	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
+11	18.43	44.94	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
-11	-25.23	-45.38	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
+12	18.31	50.05	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
-12	-26.17	-50.67	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
+13	13.02	60.12	Çekme bölgesinde iki tane boyuna donatı kopmuştur.
-13	-27.75	-60.48	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
+14	11.70	70.16	Orta donatıda kopma gerçekleşmiştir.
-14	-22.91	-71.14	Çekme bölgesinde boyuna donatı kopmuştur. Numune limit duruma ulaştığı için deney sonlandırılmıştır.

AN5 numunesinde ilk çatlak oluşumu +3. çevrimde oluşmuştur. Bu çevrimde numuneye etki eden yük +15.29 kN iken yer değiştirme +2.82 mm olarak ölçülmüştür. İlk çatlakların oluştuğu çevrimde numunede oluşan çatlaklar Şekil 4.48’de verilmiştir.



Şekil 4.48. AN5 numunesinde ilk çatlak oluşumu

AN5 numunesi akma dayanımına ± 5 . çevrimde ulaşmıştır. +5. çevrimde +23.58 kN yüke ulaşırken, tepe yer değıştirme +15.35 mm olarak gerçekleşmiştir. -5. çevrimde ise -23.01 kN yüke ulaşılırken, tepe yer değıştirme -15.47 mm olarak gerçekleşmiştir. Bu çevrimde kolonun geniş kısmında boyuna donatıda yapılan pilyelerin etkisi ile tabana paralel çatlaklar oluşmuştur. Bu çatlakların etkisi ile kolon yük taşıyamaz hale gelmiştir. Kolonda çok ciddi hasarlar oluşmadan akma dayanımına ulaşmıştır. AN5 numunesinin akma dayanımına ulaştığı andaki oluşun hasarlar Şekil 4.49'da verilmiştir.



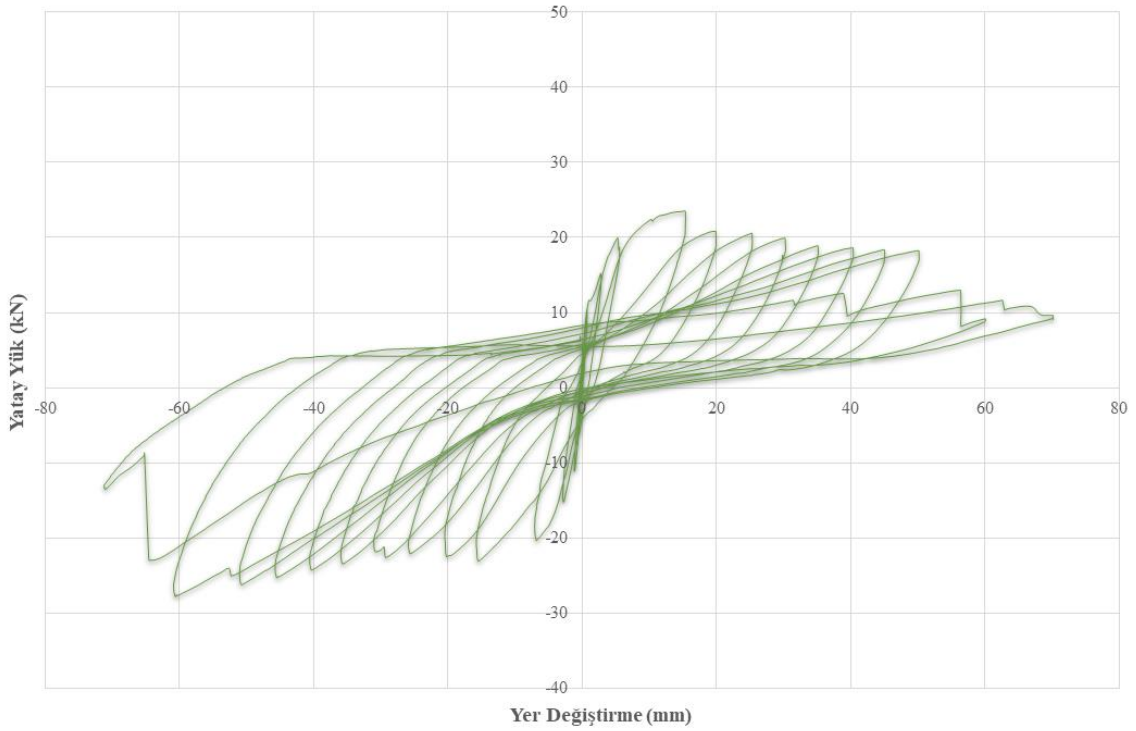
Şekil 4.49. AN5 numunesinin akma dayanımına ulaştığında hasar durumu

AN5 numunesi -14. çevrimde göçme durumuna ulaşmıştır. Bu çevrimde -22.91 kN yük kolona etki ederken, -71.14 mm yer değiştirme gerçekleşmiştir. Göçme durumunda ankraj çubukları etrafındaki betonda boyuna çatlaklar oluşmuştur. Boyuna donatıdaki pilyeler nedeniyle kolonun geniş kısmında paralele çatlaklar oluşarak kabuk beton dökülmüştür. Kolonda çok ciddi hasarlar oluşmadan numune göçme durumuna ulaşmıştır. Numune eğilme davranışı göstererek göçme durumuna ulaşmıştır. AN5 numunesinin göçme durumunda hasar oluşumu Şekil 4.50'de verilmiştir.

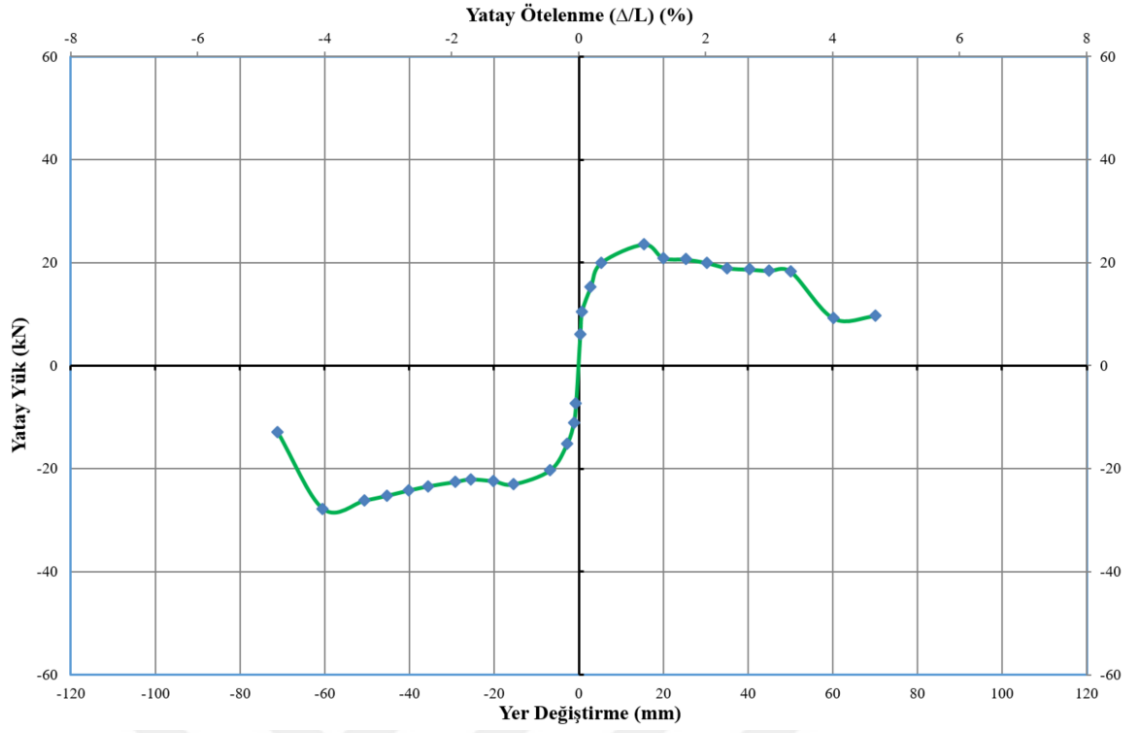


Şekil 4.50. AN5 numunesinin göçme durumuna ulaştığında hasar durumu

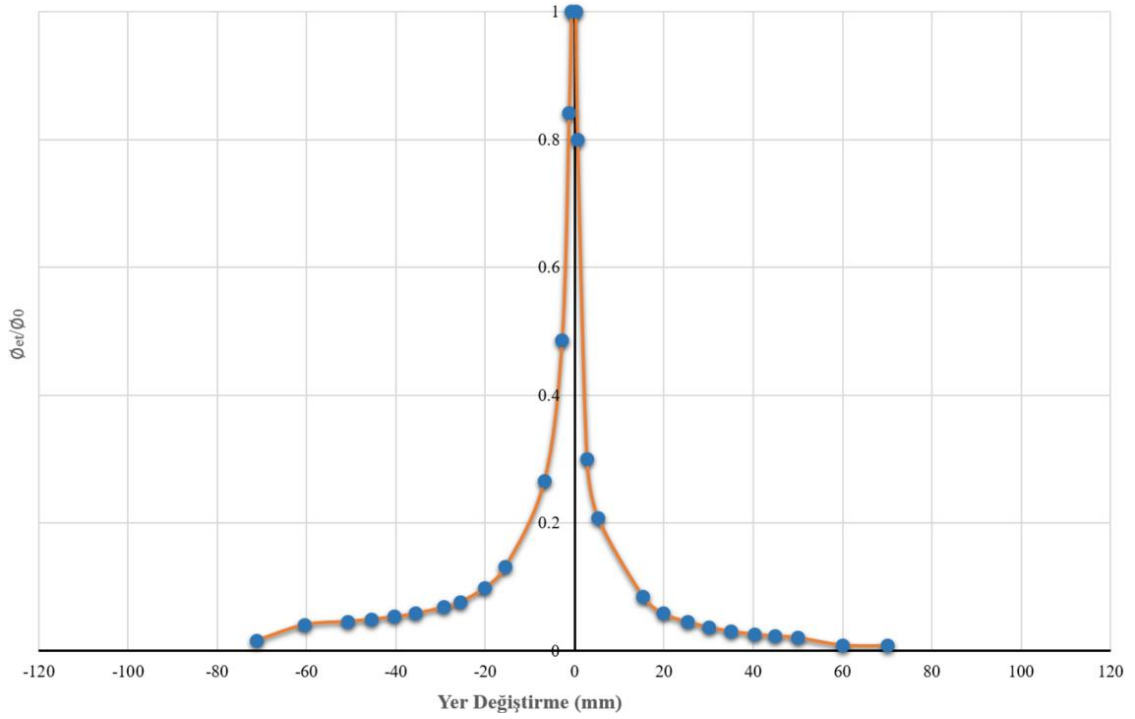
Deney sırasında bilgisayar ortamına aktarılan veriler yardımıyla numunelerin davranışını yorumlamaya yardımcı bazı grafikler elde edilmiştir. Şekil 4.51’de okunan yük değerleri ve buna karşılık gelen yer değiştirmeler ile elde edilen histeresis eğrisi verilmiştir. Şekil 4.52’de numune akma dayanımına ulaşana kadar maksimum yüke karşılık gelen yer değiştirme, akma dayanımına ulaştıktan sonra maksimum yer değiştirmeye karşılık gelen yük değerlerinin birleştirilmesi ile elde edilen dayanım zarfı verilmiştir. Şekil 4.53’te numunenin her çevrimde rijitliğindeki azalmayı gösteren düşey ekseni rijitlik azalması, yatay ekseni net tepe yer değiştirmesi olan rijitlik azalma grafiği verilmiştir. Şekil 4.54’te ise numunenin her çevrimde kümülatif tükettiği enerjiyi gösteren grafik verilmiştir.



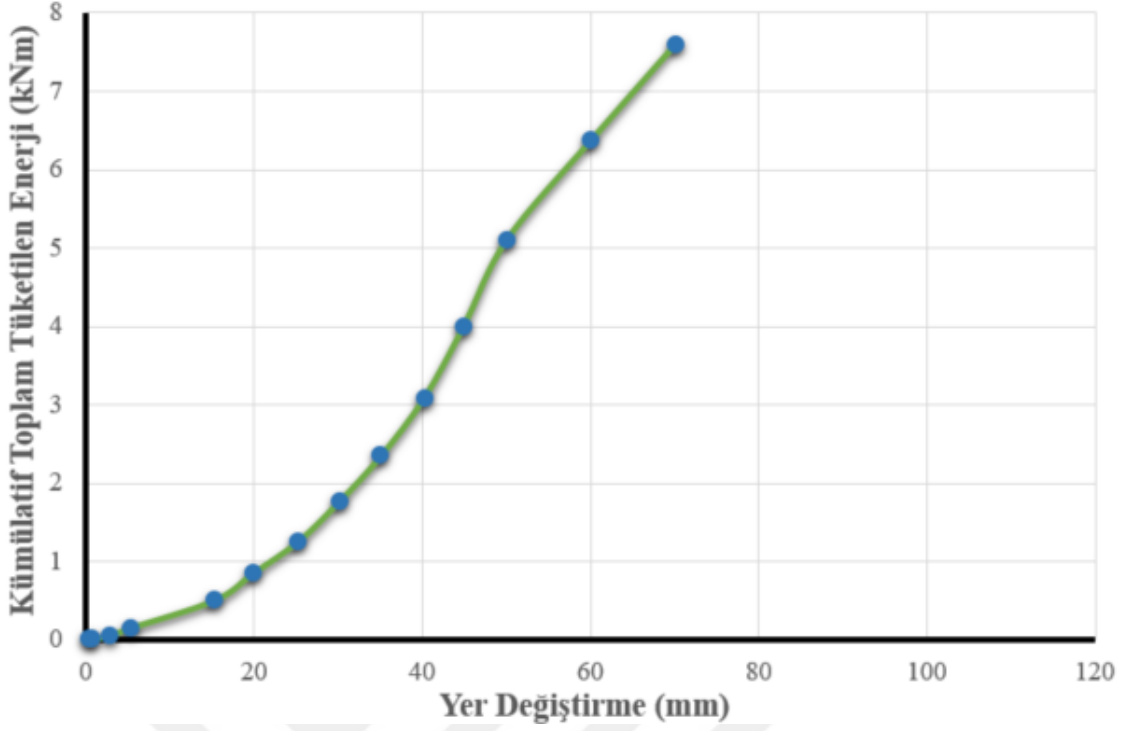
Şekil 4.51. AN5 numunesine ait histeresis eğrisi



Şekil 4.52. AN5 numunesine ait dayanım zarfı



Şekil 4.53. AN5 numunesine ait rijitlik azalması grafiği

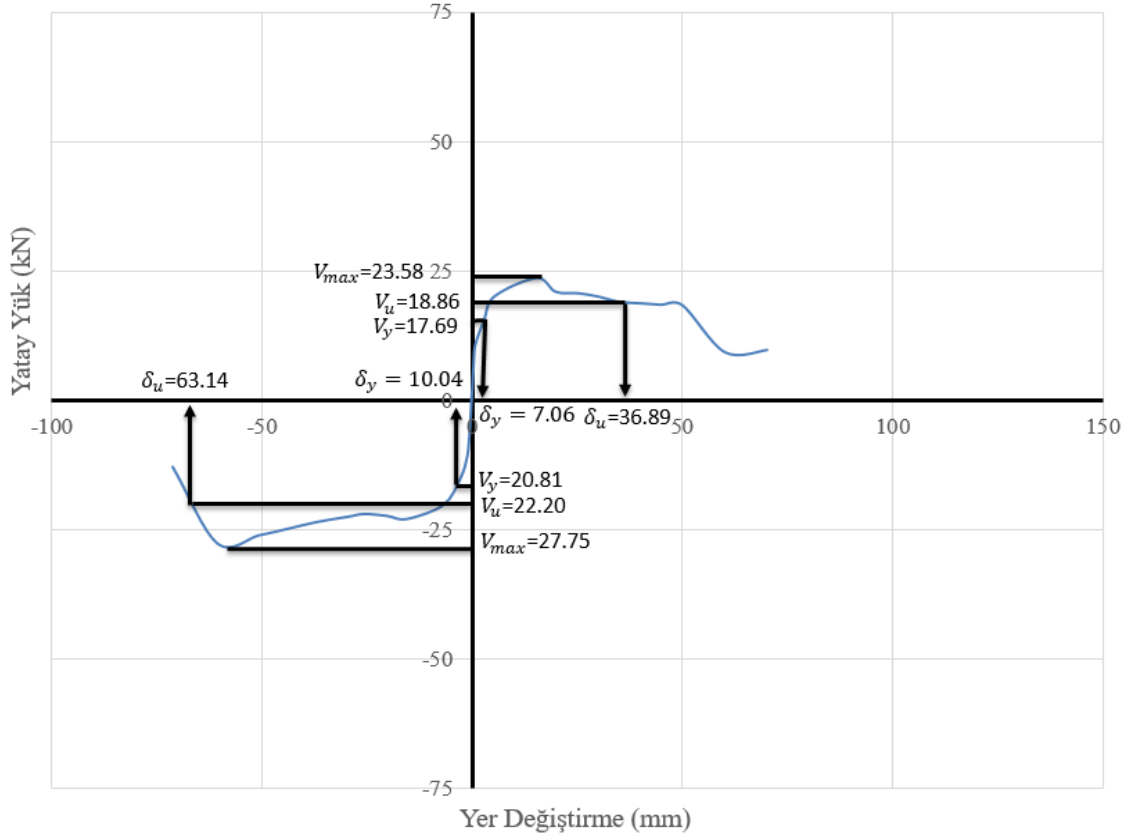


Şekil 4.54. AN5 numunesine ait kümülatif tüketilen enerji grafiği

AN5 numunesinin sünekliğinin hesaplanması için gerekli olan yatay yük değerleri ve Şekil 4.55'te verilen bu yük değerlerine karşılık gelen yer değiştirme değerleri Çizelge 4.15'te verilmiştir.

Çizelge 4.15. AN5 numunesine ait süneklik değerleri

AN5	V_{max} (kN)	V_y (kN)	V_u (kN)	δ_y (mm)	δ_u (mm)	μ	μ_{ort}
İtme	23.58	17.69	18.86	7.06	36.89	5.225	5.757
Çekme	27.75	20.81	22.20	10.04	63.14	6.289	



Şekil 4.55. AN5 numunesinin sünekliğinin hesaplanması

4.1.6. AN6 numunesi deney sonuçları

AN6 numunesi önerilen ankrajlı bağlantı türü ile üretilmiştir. AN6 numunesine öngerilme uygulanmamıştır. AN6 numunesinde ankrajlar için açılan boşluk dışız aparat ile açılmıştır. AN6 numunesinin genel özellikleri Çizelge 4.16'da verilmiştir.

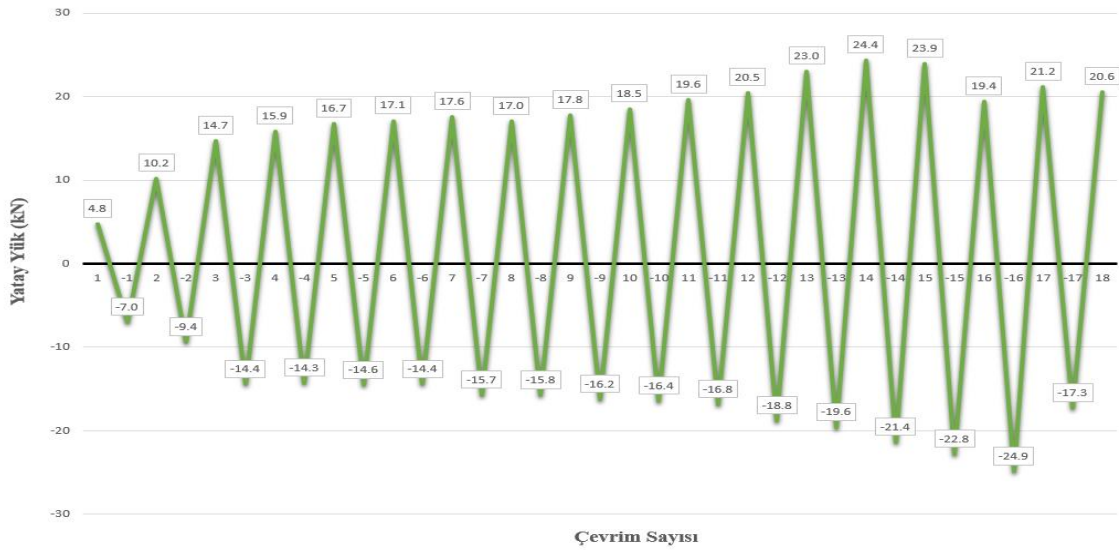
Çizelge 4.16. AN6 numunesi genel özellikleri

Numune Adı	Kesit Boyutları (cm)	Yükseklik (Temel Dahil)(cm)	Beton Sınıfı	Donatı Sınıfı	Temel-Kolon Bağlantı Tipi	Öngerilme Miktarı (kN)	Ankraj Boşluklarının Özellikleri
AN6	20/30	217.5	C30	B420C	Ankrajlı	-	Dışız

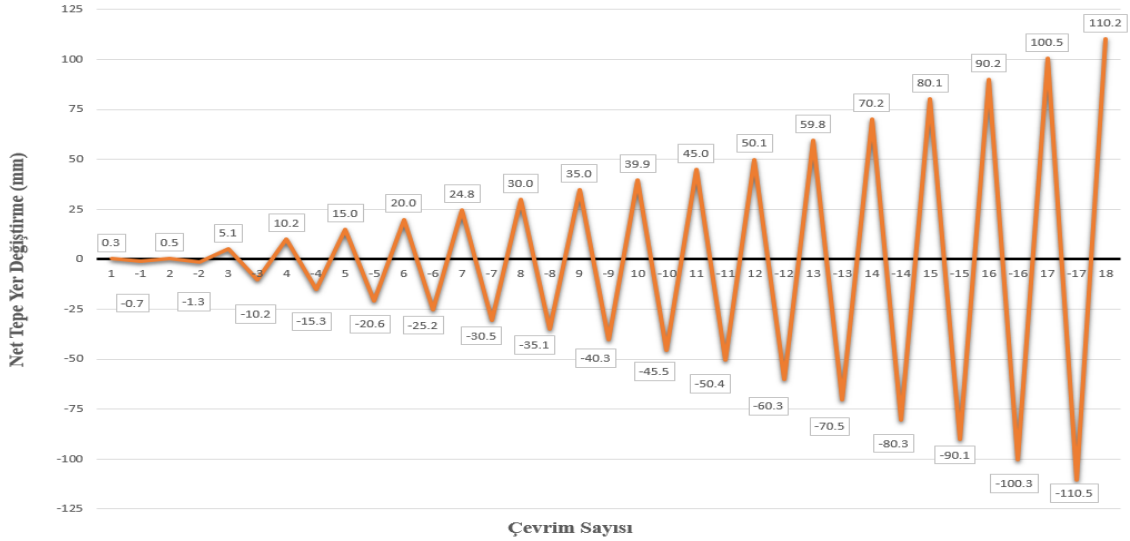
AN6 numunesinin deney düzeneğine yerleştirilmiş hali Şekil 4.56'da verilmiştir. AN6 numunesinin tersinir tekrarlanır yatay yüklemesi sonucu elde edilen yük geçmişi Şekil 4.57'de, yer değiştirme geçmişi ise Şekil 4.58'de numunenin yükleme prosedürü hakkında bilgi vermesi için verilmiştir.



Şekil 4.56. AN6 numunesi deney öncesi



Şekil 4.57. AN6 numunesi yük geçmişi



Şekil 4.58. AN6 numunesi yer değiştirme geçmişi

Şekil 4.57 ve Şekil 4.58'den anlaşılacağı gibi AN6 numunesi pozitif 4. çevrime kadar 5kN yük artışı ile yük kontrollü olarak yüklenmiştir. Pozitif 4. çevrimde numune akmış ve yer değiştirme kontrollü yüklemeye geçilmiştir. Pozitif 4. çevrimde numunenin net tepe yer değiştirmesi +10.20 mm olduğu için 50 mm'ye kadar 5 mm artış ile, 50 mm'den sonra 10 mm artış ile yer değiştirme kontrollü yüklemeye devam edilmiştir. AN6 numunesinin deney sırasında her çevrimde gözlenen hasarlar Çizelge 4.17'de verilmiştir.

Çizelge 4.17. AN6 numunesinde deney sırasında gözlenen hasarlar

Çevrim No (İtme "+", Çekme "-")	Maksimum Yatay Yük (kN)	Maksimum Tepe Yer Değişirme (LVDT-1) (mm)	Numunede Gözlenen Çatlak ve Hasar Oluşumları
+1	4.75	0.26	Hasar ve çatlak oluşumu gözlenmedi.
-1	-7.00	-0.72	Hasar ve çatlak oluşumu gözlenmedi.
+2	10.23	0.54	Hasar ve çatlak oluşumu gözlenmedi.
-2	-9.40	-1.28	Kolon genişleyen kısmı ile kolon birleşiminde çatlak oluşmuştur.
+3	14.72	5.08	Kolon genişleyen kısmı ile kolon birleşiminde çatlak oluşmuştur. Bir önceki çevrimde oluşan simetriği ile birleşmiştir.
-3	-14.45	-10.22	Kolonun geniş kısmında yan yüzde çatlak oluşmuştur. Kolon akma dayanımına ulaşmıştır.
+4	15.87	10.20	Kolonun geniş kısmının 5 cm üzerinde 45° açı ile tabana ilerleyen çatlak oluşmuştur. Kolon akma dayanımına ulaşmıştır.
Numune akma dayanımına ulaşmıştır. Yer değiştirme kontrollü yüklemeye geçilmiştir.			
-4	-14.28	-15.27	Kolonun geniş kısmında tabana paralel çatlak oluşmuştur.
+5	16.75	14.99	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.

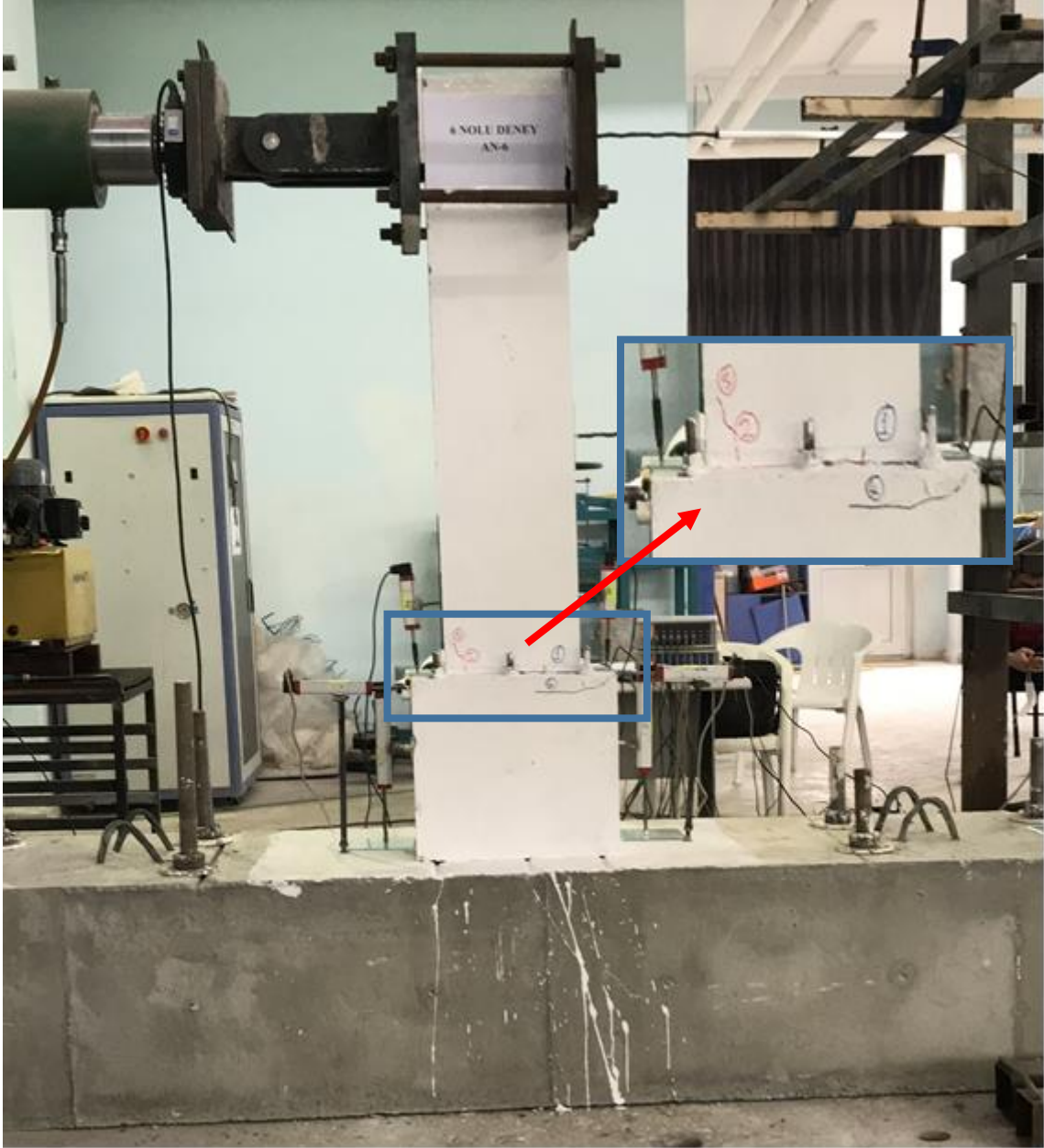
-5	-14.55	-20.61	Kolonun geniş kısmının 5 cm üzerinde 45° açı ile tabana ilerleyen çatlak oluşmuştur.
+6	17.13	20.05	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
-6	-14.45	-25.17	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
+7	17.62	24.81	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
-7	-15.74	-30.50	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
+8	17.04	29.96	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
-8	-15.75	-35.07	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
+9	17.80	34.98	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
-9	-16.22	-40.26	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
+10	18.53	39.87	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
-10	-16.42	-45.54	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
+11	19.63	44.96	Temel üst seviyesinden 60 cm yükseklikte bir çatlak oluşmuştur.
-11	-16.83	-50.42	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
+12	20.49	50.06	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
-12	-18.79	-60.32	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
+13	23.05	59.75	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
-13	-19.60	-70.47	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
+14	24.37	70.23	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
-14	-21.36	-80.28	Kolonun genişleyen kısmında temel üstünden 20 cm yükseklikte 45° açı ile 2 tane çatlak oluşmuştur.
+15	23.94	80.13	Çekme bölgesi boyuna donatı kopmuştur.
-15	-22.79	-90.09	Kolon genişleyen kısmında etriye açılmıştır.
+16	19.43	90.20	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
-16	-24.88	-100.28	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
+17	21.18	100.47	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
-17	-17.28	-110.51	Çekme bölgesi boyuna donatı kopmuştur.
+18	20.61	110.19	Kolon limit duruma ulaşmış ve deney sonlandırılmıştır.

AN6 numunesinde ilk çatlak oluşumu -2. çevrimde oluşmuştur. Bu çevrimde numuneye etki eden yük -9.40 kN iken yer değiştirme -1.28 mm olarak ölçülmüştür. İlk çatlakların olduğu çevrimde numunede oluşan çatlaklar Şekil 4.59'da verilmiştir.



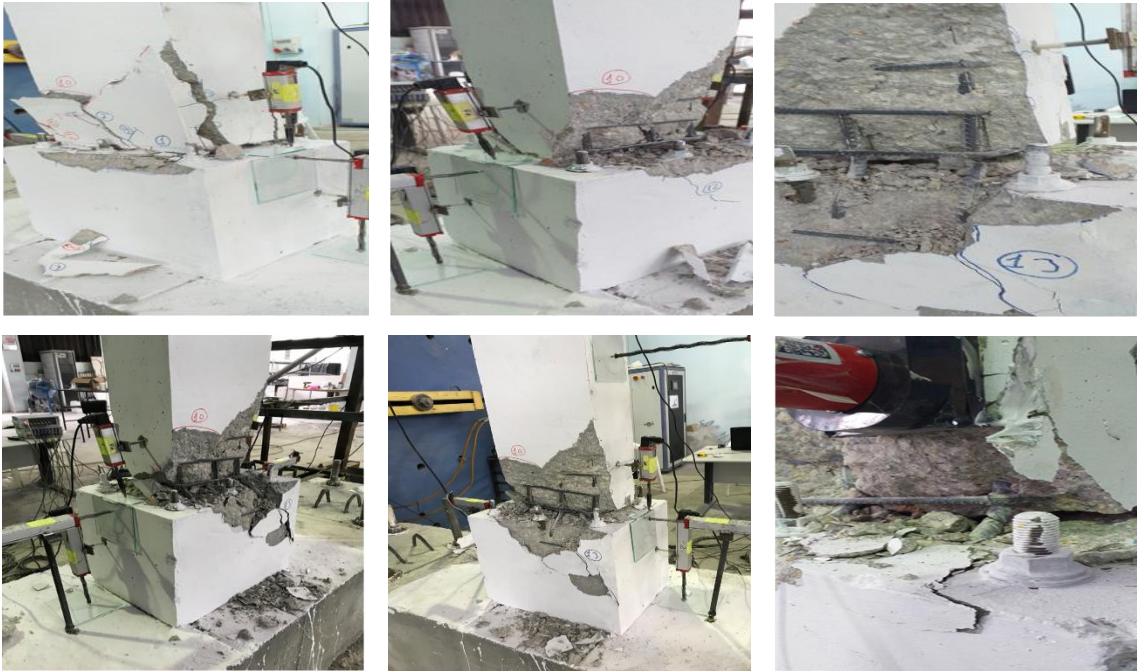
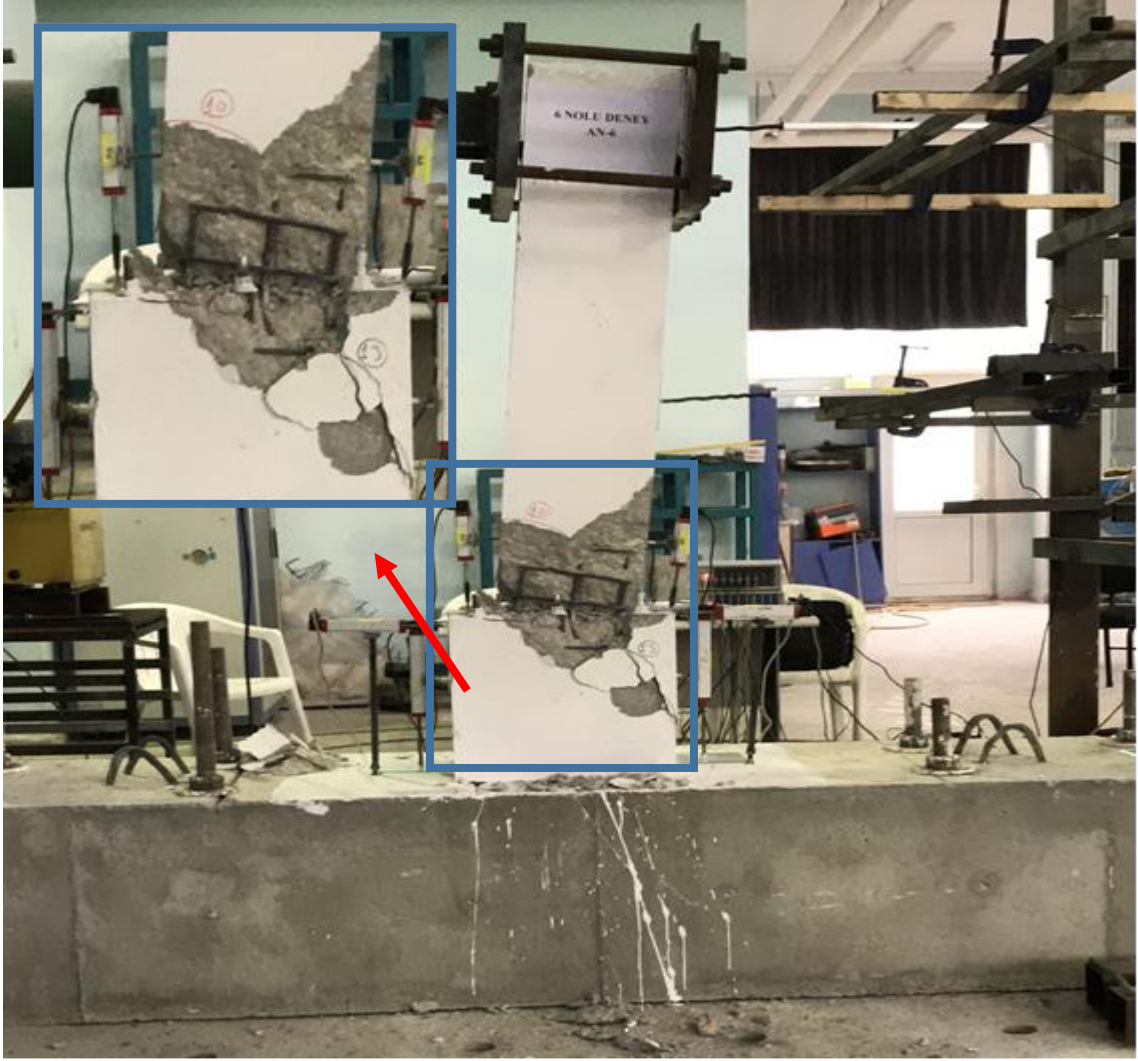
Şekil 4.59. AN6 numunesinde ilk çatlak oluşumu

AN6 numunesi akma dayanımına -3. ve +4. çevrimde ulaşmıştır. -3. çevrimde -14.45 kN yüke ulaşırken, tepe yer değiştirme -10.22 mm olarak gerçekleşmiştir. +4. çevrimde ise +15.87 kN yüke ulaşılırken, tepe yer değiştirme +10.20 mm olarak gerçekleşmiştir. Bu çevrimde kolonun geniş kısmında tabana paralel çatlaklar oluşmuştur. Kolonda çok ciddi hasarlar oluşmadan akma dayanımına ulaşmıştır. AN6 numunesinin akma dayanımına ulaştığı andaki oluşan hasarlar Şekil 4.60'ta verilmiştir.



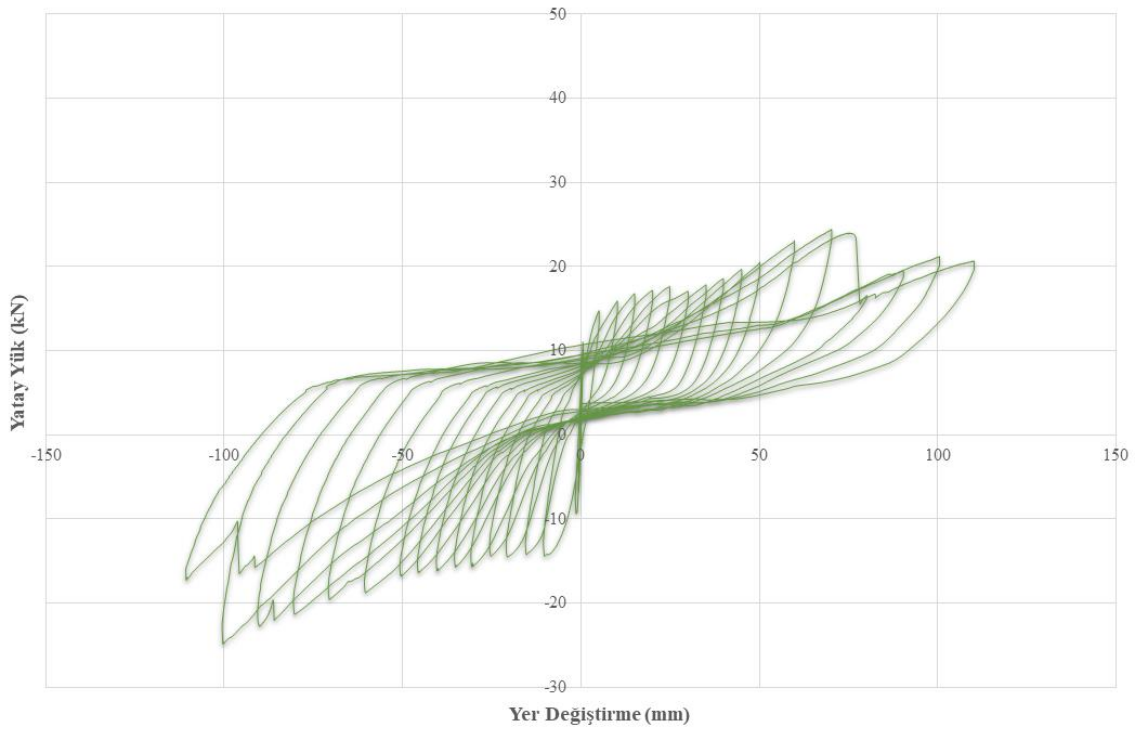
Şekil 4.60. AN6 numunesinin akma dayanımına ulaştığında hasar durumu

AN6 numunesi +18. çevrimde göçme durumuna ulaşmıştır. Bu çevrimde +20.61 kN yük kolona etki ederken, +110.19 mm yer değiştirme gerçekleşmiştir. Göçme durumunda kolonun geniş kısmının üzerinde plastik mafsall oluşumu gözlenmiştir. Bu bölgede çevrimler sırasında basınç bölgesinde kabuk betonda ezilmeler ve dökülmeler gözlenmiştir. Boyuna donatıda yapılan pilyeler nedeniyle kolonun geniş kısmının üst tarafında kabuk beton dökülerek yük almadan yer değiştirme yapmasına neden olmuştur. AN6 numunesinin göçme durumunda hasar oluşumu Şekil 4.61’de verilmiştir.

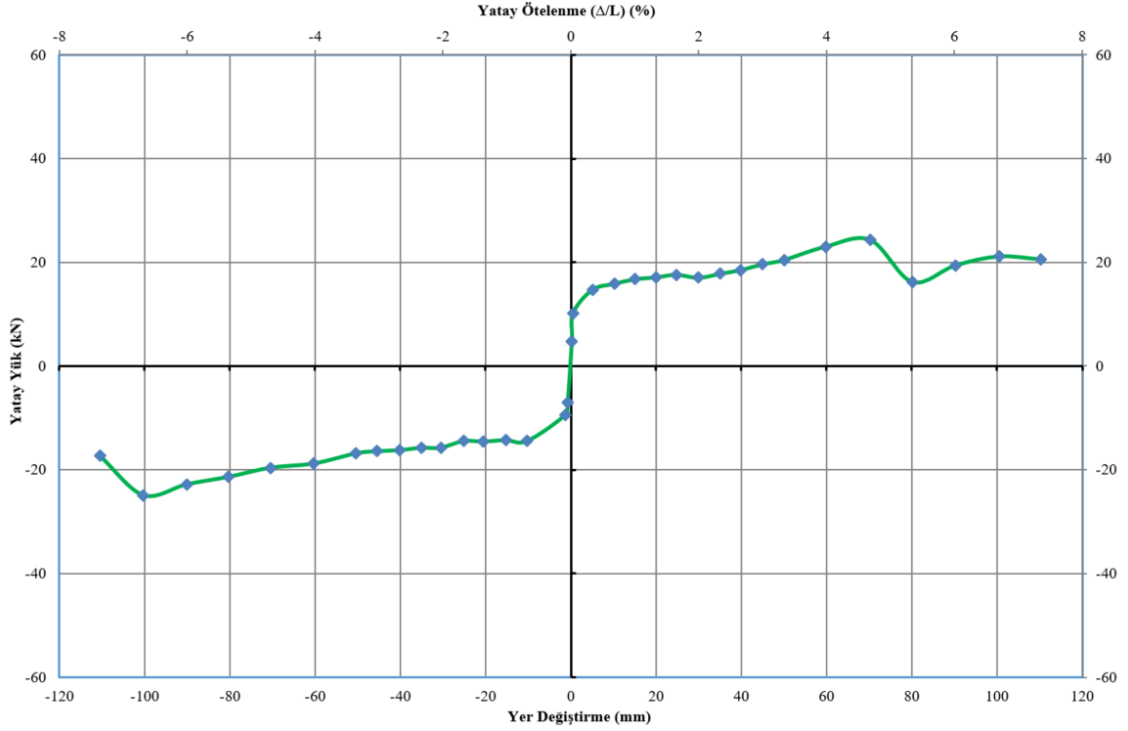


Şekil 4.61. AN6 numunesinin göçme durumuna ulaştığında hasar durumu

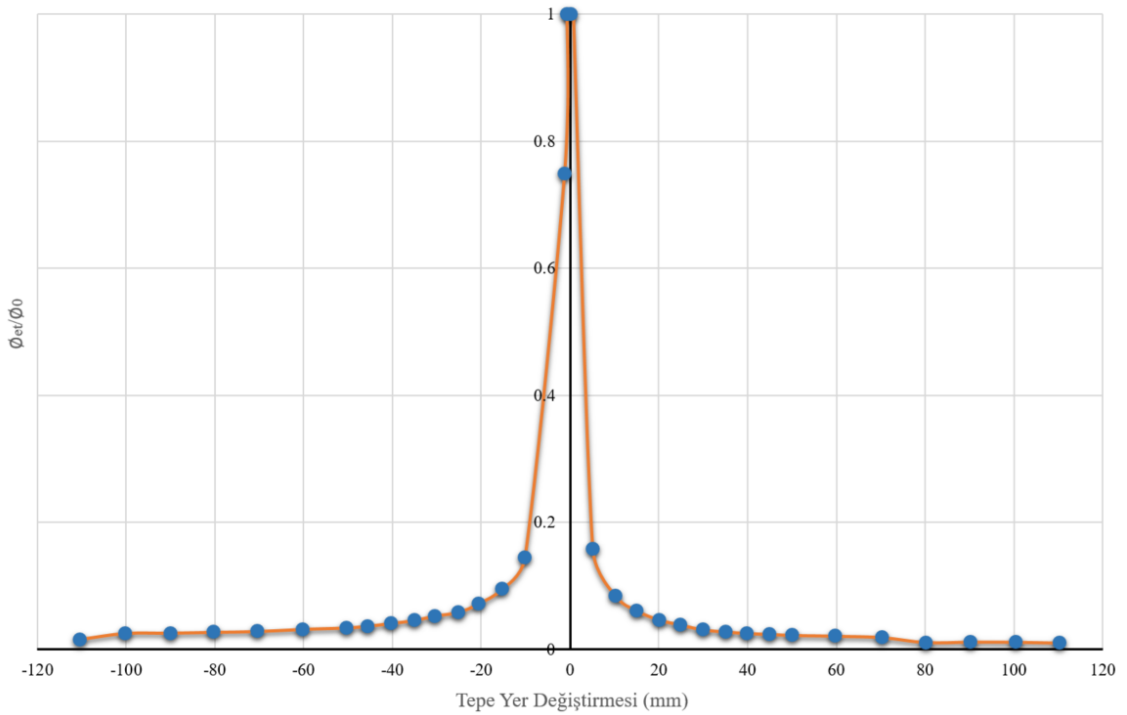
Deney sırasında bilgisayara aktarılan veriler sayesinde numunelerin davranışını yorumlamaya yardımcı bazı grafikler elde edilmiştir. Şekil 4.62’de okunan yük değerleri ve buna karşılık gelen yer değiştirmeler ile elde edilen histeresis eğrisi verilmiştir. Şekil 4.63’te numune akma dayanımına ulaşana kadar maksimum yüke karşılık gelen yer değiştirme, akma dayanımına ulaştıktan sonra maksimum yer değiştirmeye karşılık gelen yük değerlerinin birleştirilmesi ile elde edilen dayanım zarfı verilmiştir. Şekil 4.64’te numunenin her çevrimde rijitliğindeki azalmayı gösteren düşey eksenli rijitlik azalması, yatay eksenli net tepe yer değiştirmesi olan rijitlik azalma grafiği verilmiştir. Şekil 4.65’de ise numunenin her çevrimde kümülatif tükettiği enerjiyi gösteren grafik verilmiştir.



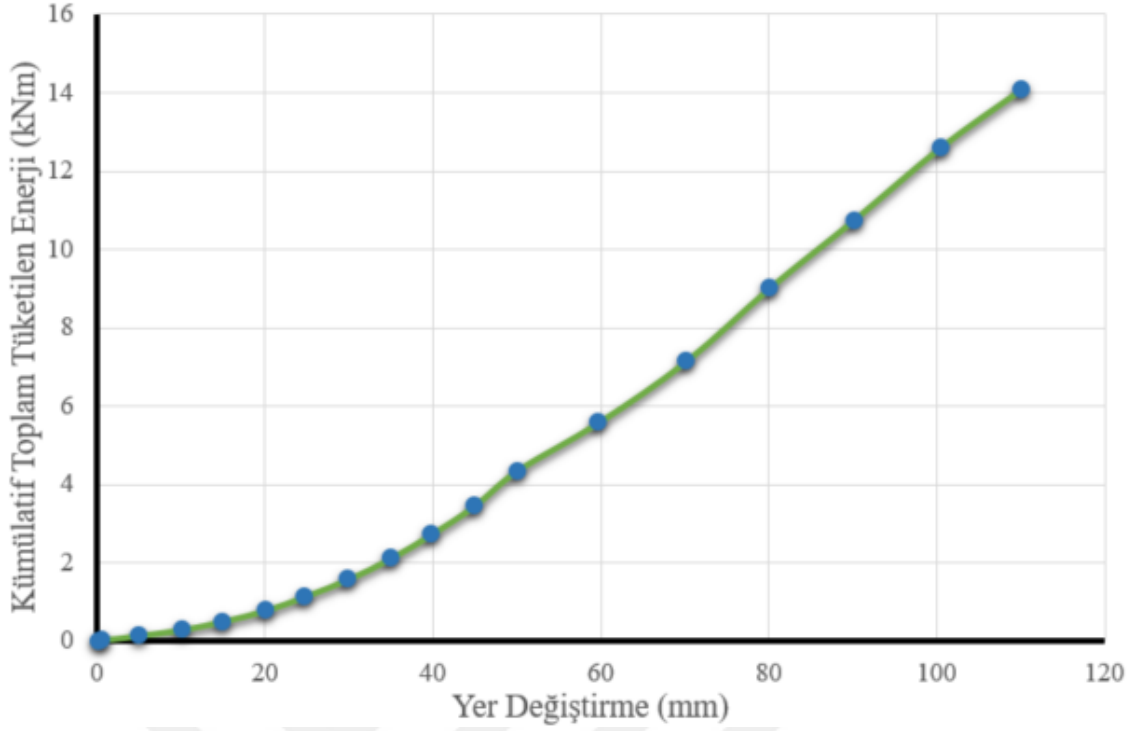
Şekil 4.62. AN6 numunesine ait histeresis eğrisi



Şekil 4.63. AN6 numunesine ait dayanım zarfı



Şekil 4.64. AN6 numunesine ait rijitlik azalması grafiği

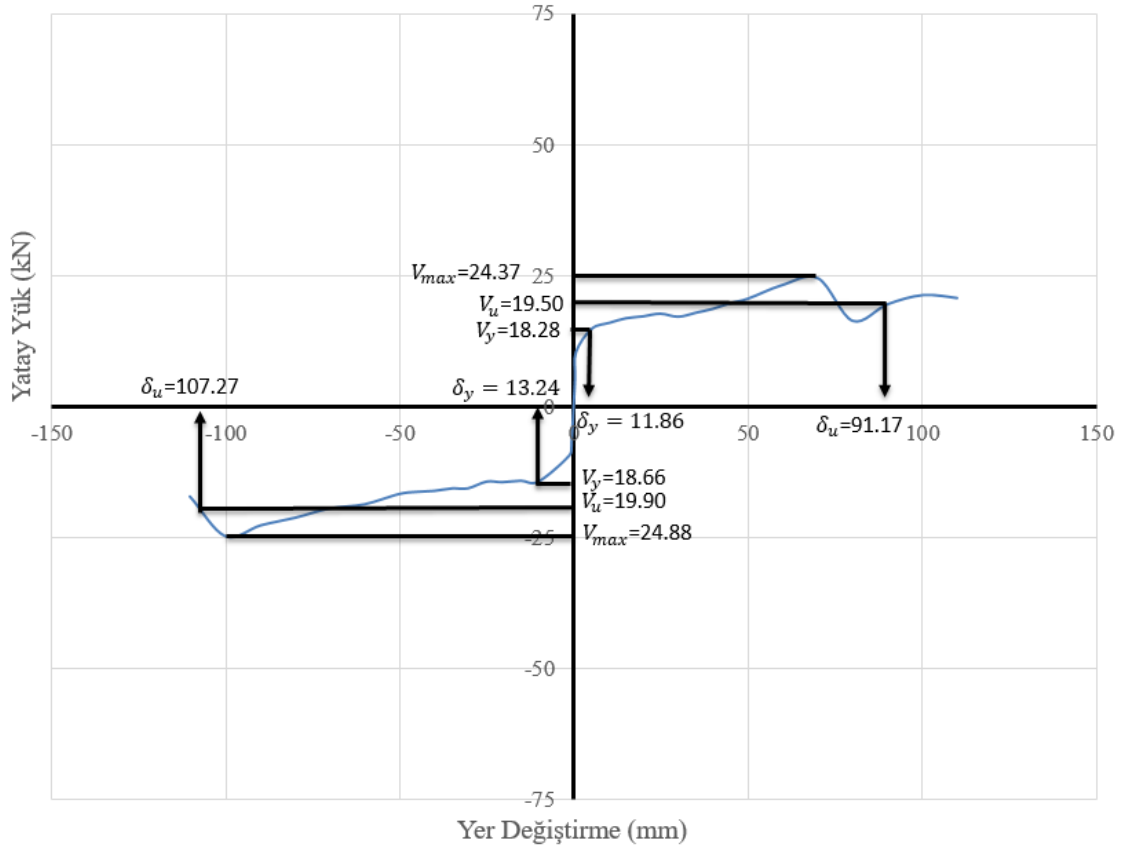


Şekil 4.65. AN6 numunesine ait kümülatif tüketilen enerji grafiği

AN6 numunesinin sünekliğinin hesaplanması için gerekli olan yatay yük değerleri ve Şekil 4.66'da verilen bu yük değerlerine karşılık gelen yer değiştirme değerleri Çizelge 4.18'de verilmiştir.

Çizelge 4.18. AN6 numunesine ait süneklik değerleri

AN6	V_{max} (kN)	V_y (kN)	V_u (kN)	δ_y (mm)	δ_u (mm)	μ	μ_{ort}
İtme	24.37	18.28	19.50	11.86	91.17	7.687	7.895
Çekme	24.88	19.90	18.66	13.24	107.27	8.102	



Şekil 4.66. AN6 numunesinin sünekliğinin hesaplanması

4.1.7. AN7 numunesi deney sonuçları

AN7 numunesi önerilen bağlantı türü ile üretilmiştir. AN7 numunesine eksenel yük taşıma kapasitesinin %10'u kadar öngerilme uygulanmıştır. AN7 numunesinde ankrajların oturacağı boşluk dişsiz aparat ile açılmıştır. AN7 numunesinin genel özellikleri Çizelge 4.19'da verilmiştir.

Çizelge 4.19. AN7 numunesi genel özellikleri

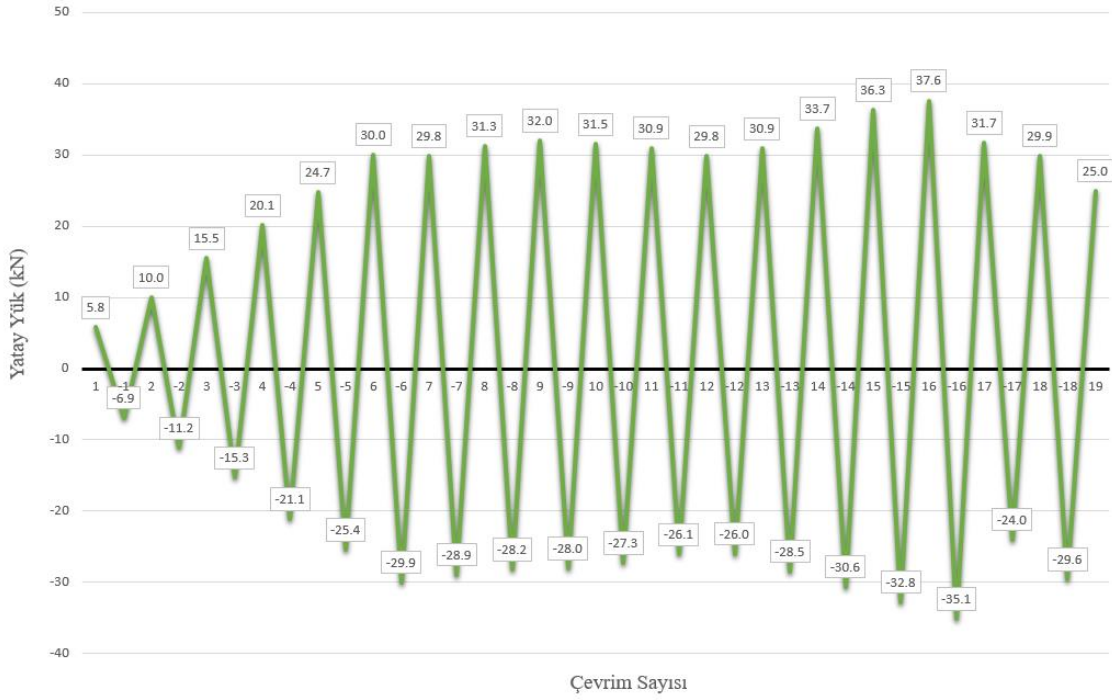
Numune Adı	Kesit Boyutları (cm)	Yükseklik (Temel Dahil)(cm)	Beton Sınıfı	Donatı Sınıfı	Temel-Kolon Bağlantı Tipi	Öngerme Miktarı (kN)	Ankraj Boşluklarının Özellikleri
AN7	20/30	217.5	C30	B420C	Ankrajlı	180	Dişsiz

AN7 numunesinin deney düzeneğine yerleştirilmiş hali Şekil 4.67'de verilmiştir. AN7 numunesinin tersinir tekrarlanır yatay yüklemesi sonucu elde edilen yük geçmişi

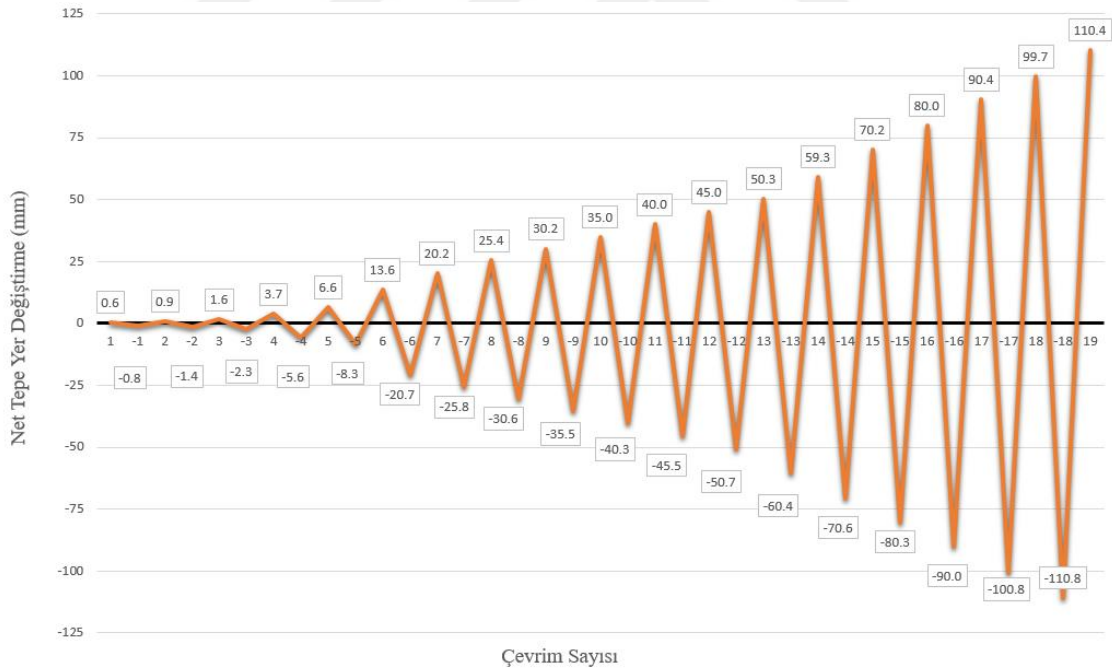
Şekil 4.68’de, yer değiştirme geğmişi ise Şekil 4.69’da numunenin yükleme prosedürü hakkında bilgi vermesi için verilmiştir.



Şekil 4.67. AN7 numunesi deney ncesi



Şekil 4.68. AN7 numunesi yük geçmişi



Şekil 4.69. AN7 numunesi yer değiştirme geçmişi

Yük geçmişi ve yer değiştirme geçmişi grafiklerinden de anlaşılacağı gibi AN7 numunesi pozitif 6. çevrime kadar 5kN yük artışı ile yük kontrollü olarak yüklenmiştir. Pozitif 6. çevrimde numune akmış ve yer değiştirme kontrollü yüklemeye geçilmiştir.

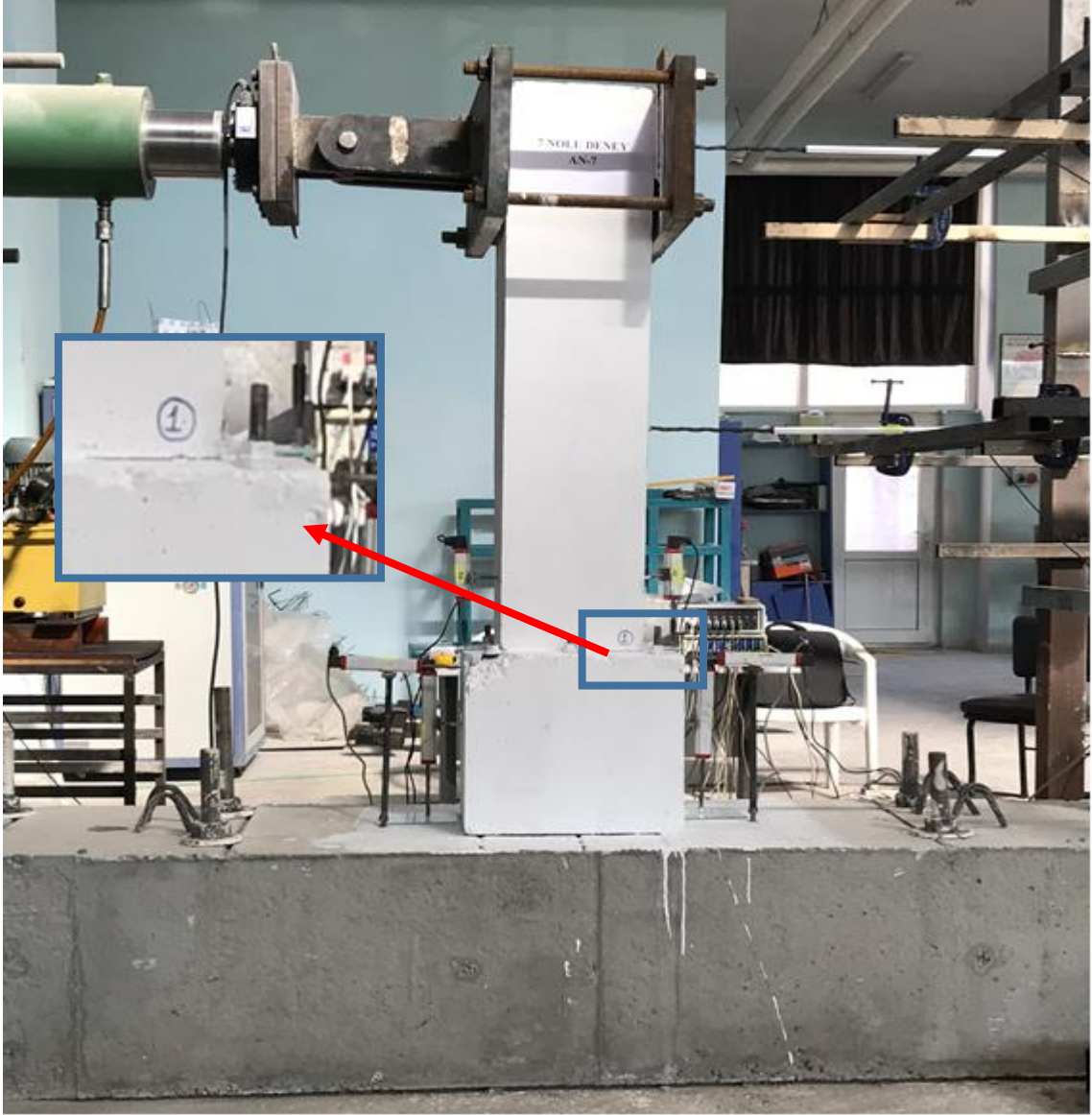
Pozitif 6. çevrimde numunenin net tepe yer değıştirmesi +13.6 mm olduğu için 50 mm'ye kadar 5 mm artış ile, 50 mm'den sonra 10 mm artış ile yer değıştirme kontrollü yüklemeye devam edilmiştir. AN7 numunesinin deneyi sırasında her çevrimde gözlenen hasarlar Çizelge 4.20'de verilmiştir.

Çizelge 4.20. AN7 numunesinde deney sırasında gözlenen hasarlar

Çevrim No (İtme "+", Çekme "-")	Maksimum Yatay Yük (kN)	Maksimum Tepe Yer Değıştirme (LVDT-1) (mm)	Numunede Gözlenen Çatlak ve Hasar Oluşumları
+1	5.78	0.57	Hasar ve çatlak oluşumu gözlenmedi.
-1	-6.88	-0.78	Hasar ve çatlak oluşumu gözlenmedi.
+2	10.02	0.90	Hasar ve çatlak oluşumu gözlenmedi.
-2	-11.15	-1.44	Hasar ve çatlak oluşumu gözlenmedi.
+3	15.48	1.62	Hasar ve çatlak oluşumu gözlenmedi.
-3	-15.29	-2.29	Kolonun genişleyen kısmı ile kolon birleşiminde bir çatlak oluşmuştur.
+4	20.11	3.73	Kolonun genişleyen kısmı ile kolon birleşiminde bir çatlak oluşmuştur. Bir önceki çevrimde oluşan simetrisi ile birleşmiştir.
-4	-21.09	-5.57	Temel üst seviyesinden 60 cm yükseklikte bir çatlak oluşmuştur.
+5	24.73	6.55	Kolon yan yüzünde, temel üst seviyesinden 55 cm ve 60 cm yüksekliklerde çatlaklar oluştu. Kolon yan yüzünde köşede, kolonun geniş kısmının 5 cm üstünde 45° açı ile çatlak oluşmuştur.
-5	-25.41	-8.35	Kolonun köşesinde, kolonun geniş kısmının 5 cm üstünde 45° açı ile çatlak oluşmuştur.
+6	30.05	13.61	Temel üst seviyesinden 70 cm ve 85 cm yüksekliklerde çatlaklar oluştu. Kolonun köşesinde, kolonun geniş kısmının 5 cm üstünde 45° açı ile çatlak oluşmuştur. Numune akma dayanımına ulaşmıştır.
-6	-29.94	-20.75	Kolonun genişleyen kısmında tabana paralel çatlaklar oluşmuştur. Temel üst seviyesinden 70 cm yükseklikte çatlak oluştu. Numune akma dayanımına ulaşmıştır.
Numune akma dayanımına ulaşmıştır. Yer değıştirme kontrollü yüklemeye geçilmiştir.			
+7	29.84	20.23	Kolonun geniş kısmında ankraj dibinde diyagonal çatlak oluşmuştur.
-7	-28.90	-25.82	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
+8	31.28	25.39	Temel üst seviyesinden 50 cm ve 60 cm yüksekliklerde çatlaklar oluştu.
-8	-28.18	-30.63	Bazı çatlaklar çatallandı.
+9	31.99	30.20	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
-9	-28.02	-35.51	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
+10	31.47	35.04	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
-10	-27.27	-40.35	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
+11	30.94	39.99	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.

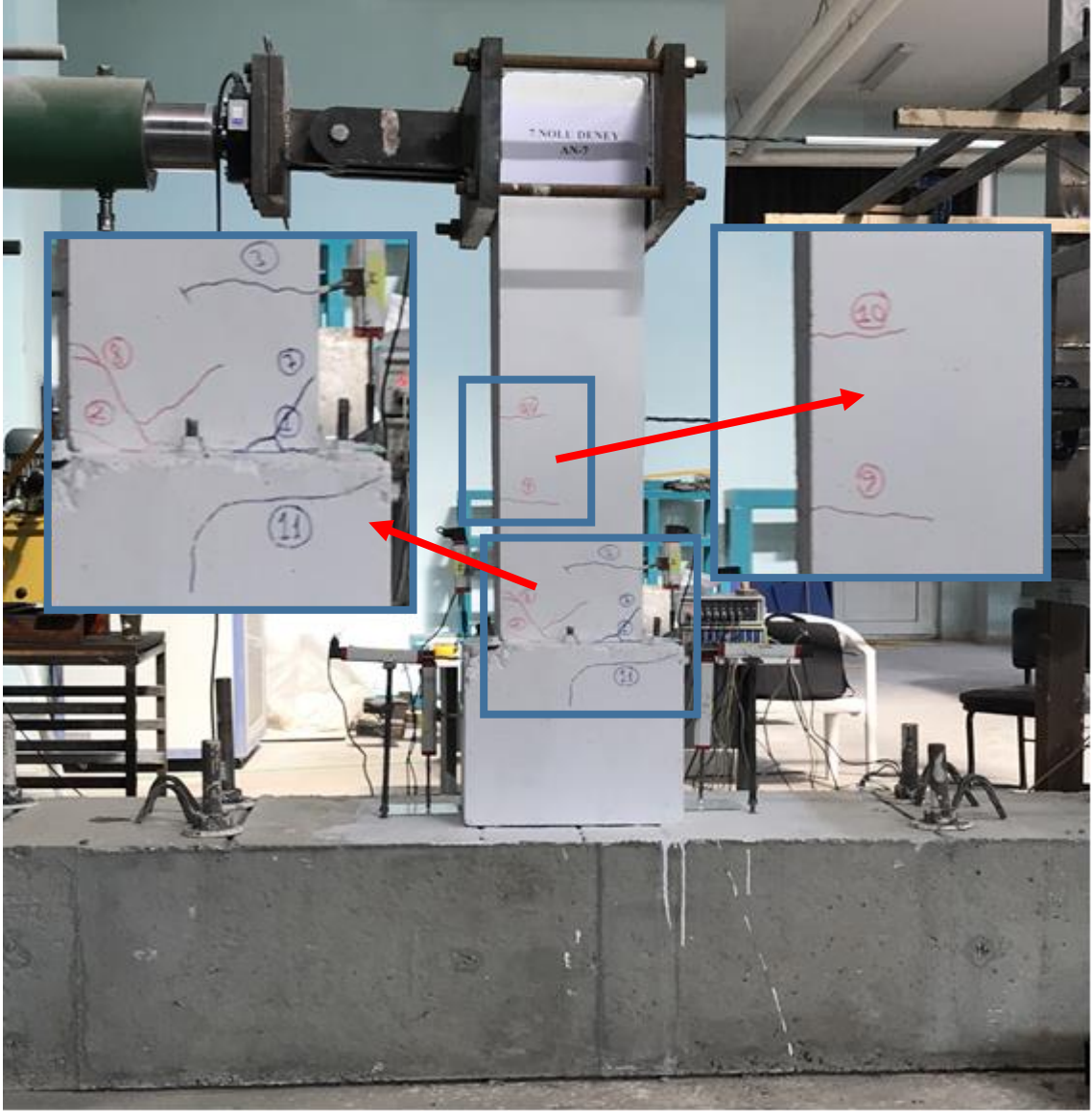
-11	-26.07	-45.49	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
+12	29.79	44.95	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
-12	-25.98	-50.74	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
+13	30.85	50.34	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
-13	-28.45	-60.45	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
+14	33.69	59.31	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
-14	-30.58	-70.57	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
+15	36.29	70.23	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
-15	-32.76	-80.29	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
+16	37.62	80.03	Kolonun geniş kısmında etriye açıldı.
-16	-35.09	-90.04	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
+17	31.66	90.45	Çekme bölgesi boyuna donatı kopmuştur.
-17	-23.97	-100.80	Çekme bölgesi boyuna donatı kopmuştur.
+18	29.89	99.72	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
-18	-29.55	-110.85	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
+19	24.99	110.41	Numune limit duruma ulaşmış deney sonlandırılmıştır.

AN7 numunesinde ilk çatlak oluşumu -3. çevrimde oluşmuştur. Bu çevrimde numuneye etki eden yük -15.29 kN iken yer değiştirme -2.29 mm olarak ölçülmüştür. İlk çatlakların oluştuğu çevrimde numunede oluşan çatlaklar Şekil 4.70'te verilmiştir.



Şekil 4.70. AN7 numunesinde ilk çatlak oluşumu

AN7 numunesi akma dayanımına ± 6 . çevrimde ulaşmıştır. +6. çevrimde +30.05 kN yüke ulaşırken, tepe yer değıştirme +13.61 mm olarak gerçekleşmiştir. -6. çevrimde ise -29.94 kN yüke ulaşılırken, tepe yer değıştirme -20.75 mm olarak gerçekleşmiştir. Bu çevrimde kolonda hasar oluşumu ilerlemiştir. Kolonun geniş kısmının üstünde plastik mafsall oluşumu gözlenmiştir. Kolon yüzünde oluşan simetrik çatlaklar birleşmiş, bazı çatlaklar da çatallaşmaya başlamıştır. Boyuna donatılarda yapılan pilyelerin etkisiyle kolonun genişleyen kısmında tabana paralel çatlak oluşması nedeniyle kolon akma dayanımına ulaşmıştır. AN7 numunesinin akma dayanımına ulaştığı andaki hasar durumu Şekil 4.71’de verilmiştir.



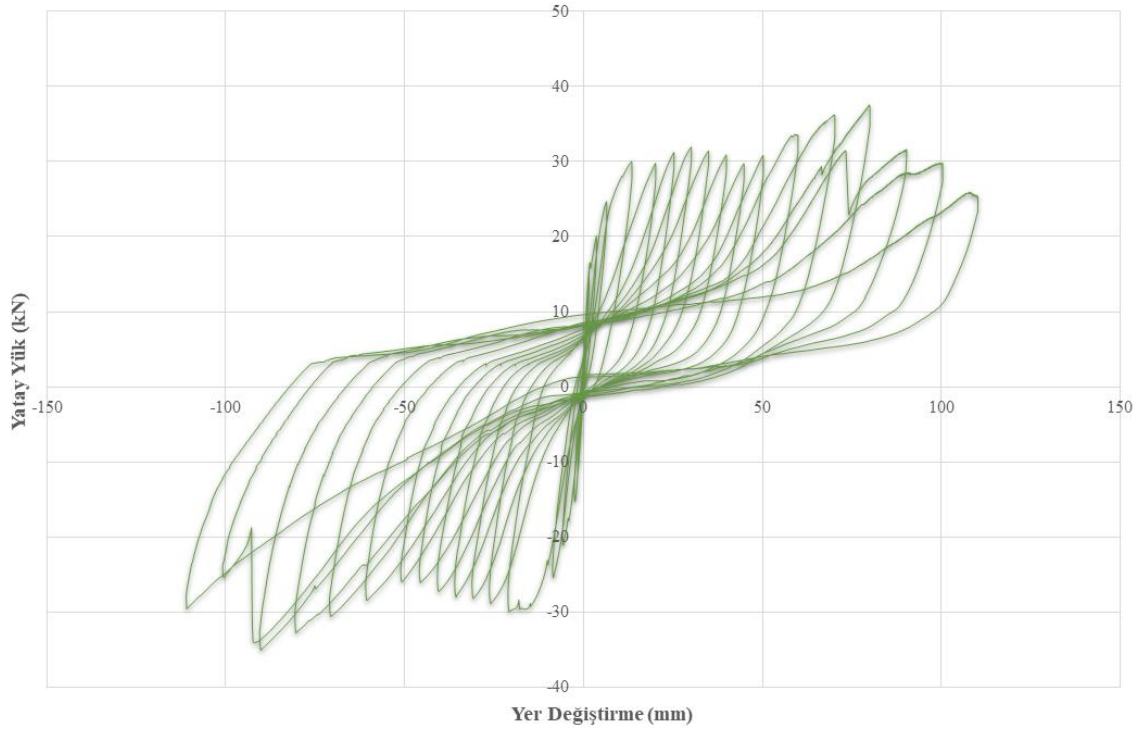
Şekil 4.71. AN7 numunesinin akma dayanımına ulaştığında hasar durumu

AN7 numunesi +19. çevrimde göçme durumuna ulaşmıştır. Bu çevrimde +24.99 kN yük kolona etki ederken, +110.41 mm yer değiştirme gerçekleşmiştir. Göçme durumunda kolonun geniş kısmının üzerinde plastik mafsall oluşumu gözlenmiştir. Bu bölümde kabuk betonda dökülmeler oluşmuştur. Numunede eğilme davranışı etkisi ile hasar oluşumu gözlenmiştir. Bazı ankrajlarda çekme gerilmelerinden dolayı kabuk betonda düşey yönlü çatlaklar oluşurken bazılarında kabuk beton dökülmüştür. Son çevrimlerde 2 tane boyuna donatıda kopma gerçekleşmiştir. Kopmanın etkisiyle Numune göçme durumuna gelmiştir. AN7 numunesinin göçme durumunda hasar oluşumu Şekil 4.72’de verilmiştir.

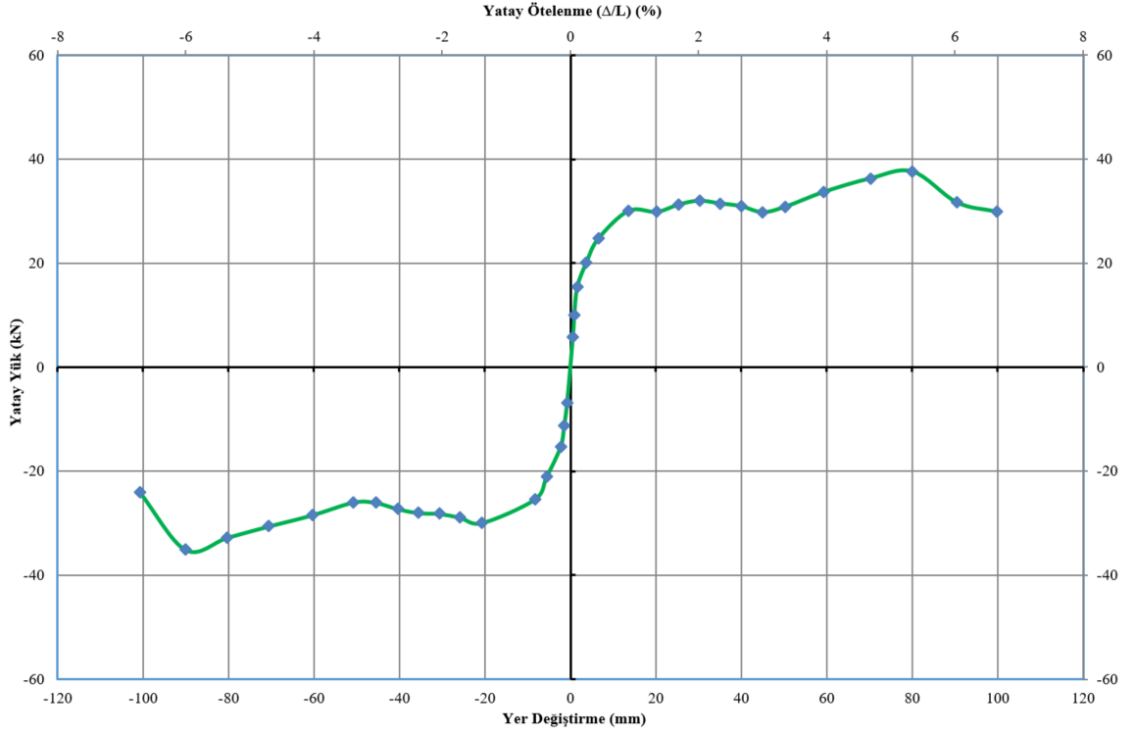


Şekil 4.72. AN7 numunesinin göçme durumuna ulaştığında hasar durumu

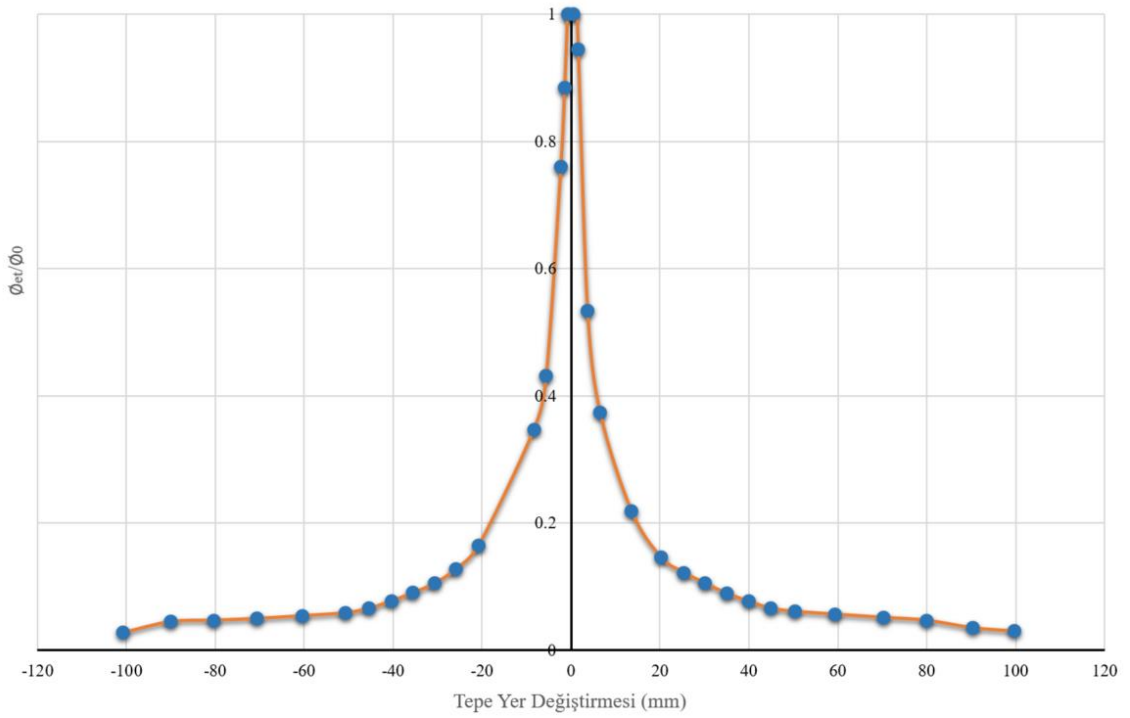
Deney sırasında veri toplayıcı ile bilgisayara aktarılan yük ve yer değıştirme verileri yardımıyla numunelerin davranışını yorumlamaya yardımcı bazı grafikler elde edilmiştir. Şekil 4.73'te okunan yük değeri ve buna karşılık gelen yer değıştirmeler ile elde edilen histeresis eğrisi verilmiştir. Şekil 4.74'te numune akma dayanımına ulaşana kadar maksimum yüke karşılık gelen yer değıştirme, akma dayanımına ulaştıktan sonra maksimum yer değıştirmeye karşılık gelen yük değeri birleştirilmesi ile elde edilen dayanım zarfı verilmiştir. Şekil 4.75'te numunenin her çevrimde rijitliğindeki azalmayı gösteren düşey eksenli rijitlik azalması, yatay eksenli net tepe yer değıştirmesi olan rijitlik azalma grafiği verilmiştir. Şekil 4.76'da ise numunenin her çevrimde kümülatif tükettiği enerjiyi gösteren grafik verilmiştir.



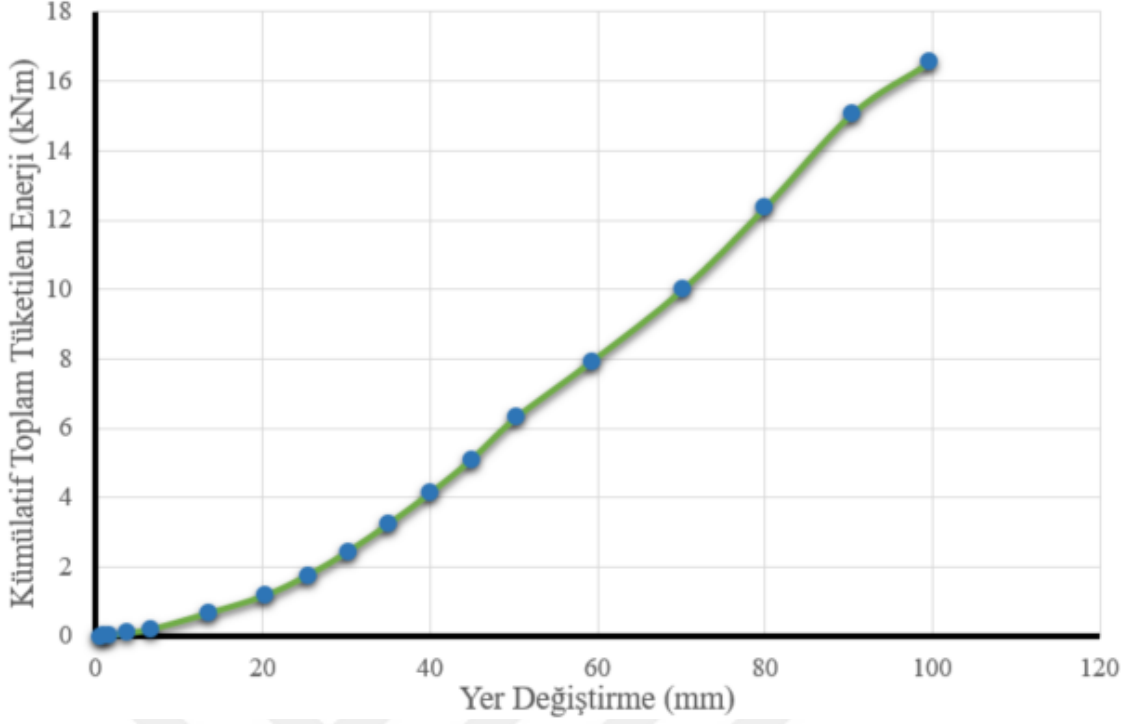
Şekil 4.73. AN7 numunesine ait histeresis eğrisi



Şekil 4.74. AN7 numunesine ait dayanım zarfı



Şekil 4.75. AN7 numunesine ait rijitlik azalması grafiği

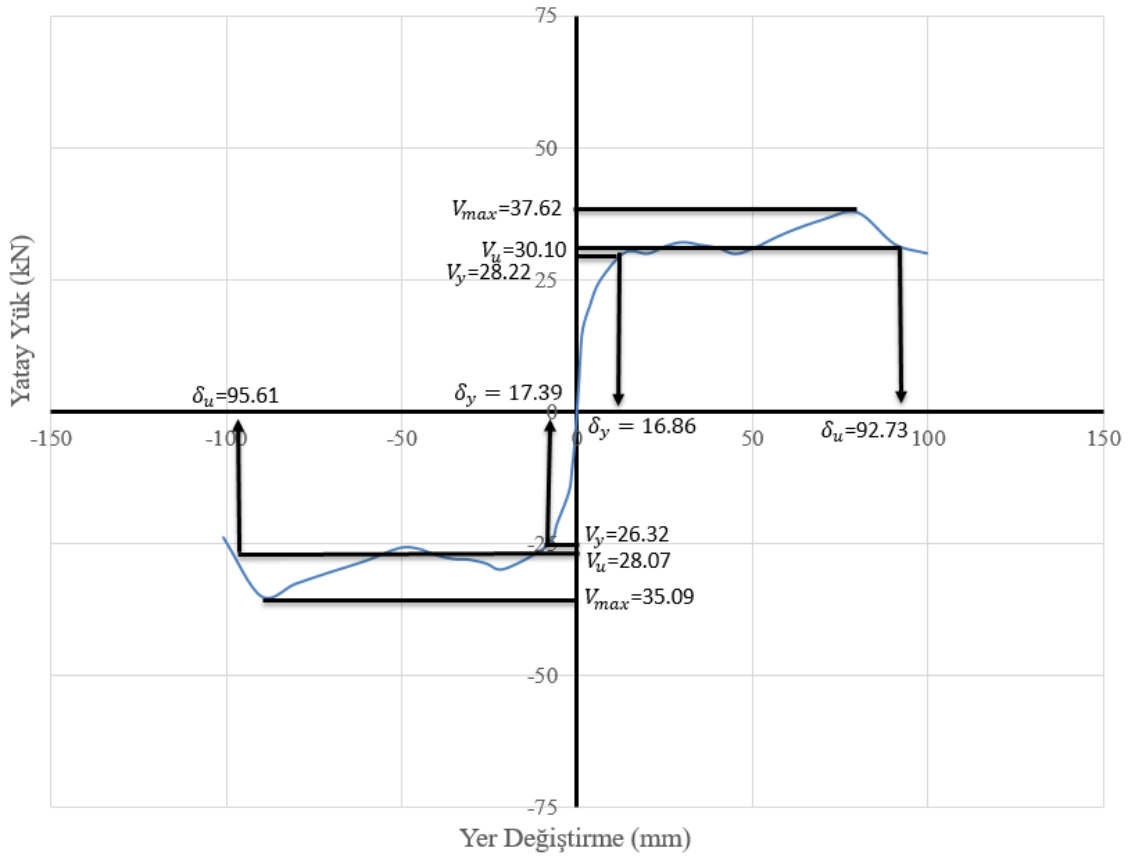


Şekil 4.76. AN7 numunesine ait kümülatif tüketilen enerji grafiği

AN7 numunesinin sünekliğinin hesaplanması için gerekli olan yatay yük değerleri ve Şekil 4.77’de verilen bu yük değerlerine karşılık gelen yer değiştirme değerleri Çizelge 4.21’de verilmiştir.

Çizelge 4.21. AN7 numunesine ait süneklik değerleri

AN7	V_{max} (kN)	V_y (kN)	V_u (kN)	δ_y (mm)	δ_u (mm)	μ	μ_{ort}
İtme	37.62	28.22	30.10	16.86	92.73	5.500	5.499
Çekme	35.09	26.32	28.07	17.39	95.61	5.497	



Şekil 4.77. AN7 numunesinin sünekliğinin hesaplanması

4.1.8. AN8 numunesi deney sonuçları

AN8 numunesi önerilen bağlantı türü ile üretilmiştir. AN8 numunesi öngerilmemiş olarak üretilmiştir. AN8 numunesinde ankrajların oturacağı boşluklar dişsiz aparat ile açılmıştır. AN8 numunesinin genel özellikleri Çizelge 4.22’de verilmiştir.

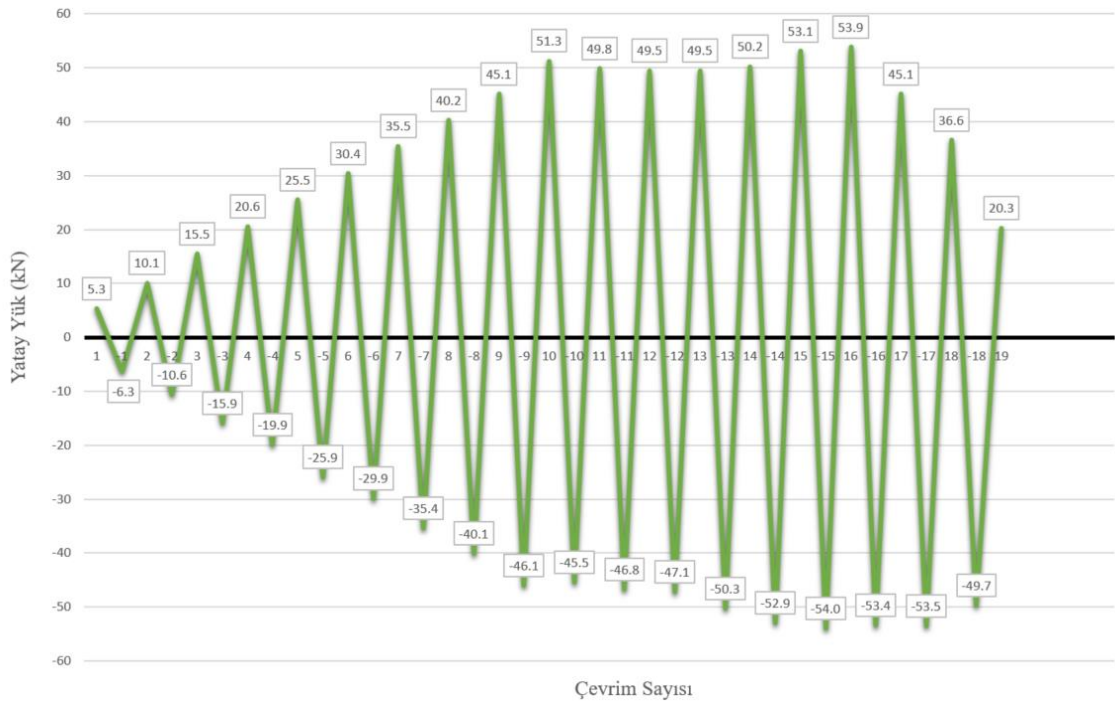
Çizelge 4.22. AN8 numunesi genel özellikleri

Numune Adı	Kesit Boyutları (cm)	Yükseklik (Temel Dahil)(cm)	Beton Sınıfı	Donatı Sınıfı	Temel-Kolon Bağlantı Tipi	Öngerme Miktarı (kN)	Ankraj Boşluklarının Özellikleri
AN8	20/30	217.5	C30	B420C	Ankrajlı	-	Dişsiz

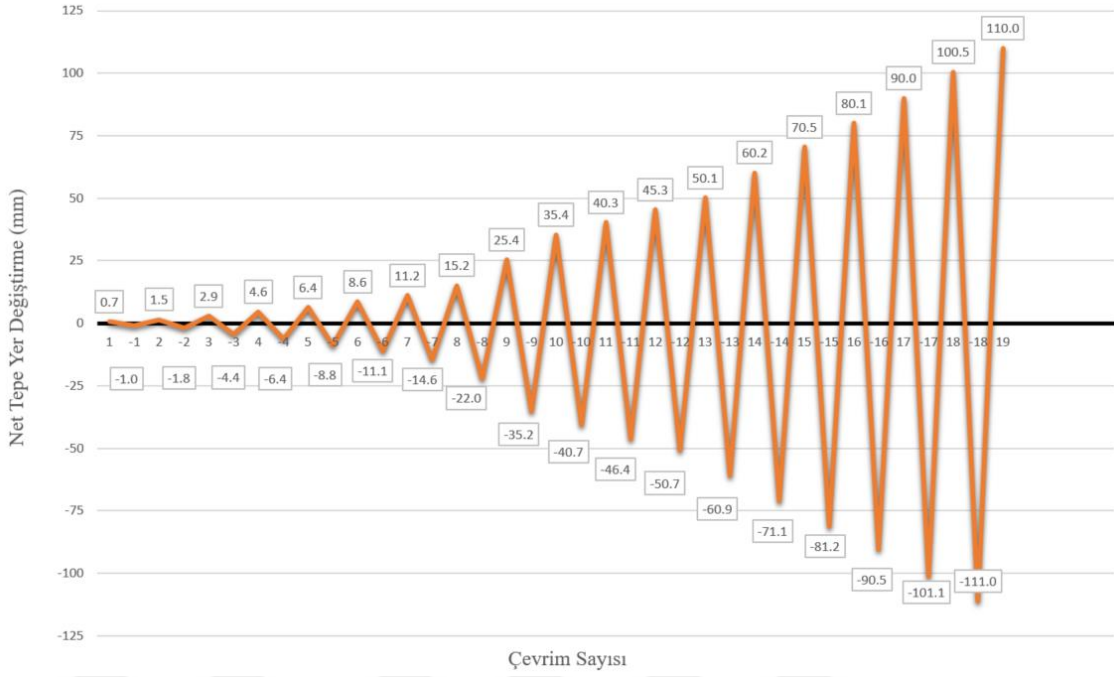
AN8 numunesinin deney düzeneğine yerleştirilmiş hali Şekil 4.78’de verilmiştir. AN8 numunesinin tersinir tekrarlanır yatay yüklemesi sonucu elde edilen yük geçmişi Şekil 4.79’da, yer değişikliği geçmişi ise Şekil 4.80’de numunenin yükleme prosedürü hakkında bilgi vermesi için verilmiştir.



Şekil 4.78. AN8 numunesi deney öncesi



Şekil 4.79. AN8 numunesi yük geçmişi



Şekil 4.80. AN8 numunesi yer değiştirme geçmişi

Yük geçmişi ve yer değiştirme geçmişi grafiklerinden anlaşılacağı gibi AN8 numunesi pozitif 9. çevrime kadar 5kN yük artışı ile yük kontrollü olarak yüklenmiştir. Pozitif 9. çevrimde numune akmış ve yer değiştirme kontrollü yüklemeye geçilmiştir. Pozitif 9. çevrimde numunenin net tepe yer değiştirmesi 25.4 mm olduğu için 50 mm'ye kadar 5 mm artış ile, 50 mm'den sonra 10 mm artış ile yer değiştirme kontrollü yüklemeye devam edilmiştir. AN8 numunesinin deneyi sırasında her çevrimde gözlenen hasarlar Çizelge 4.23'te verilmiştir.

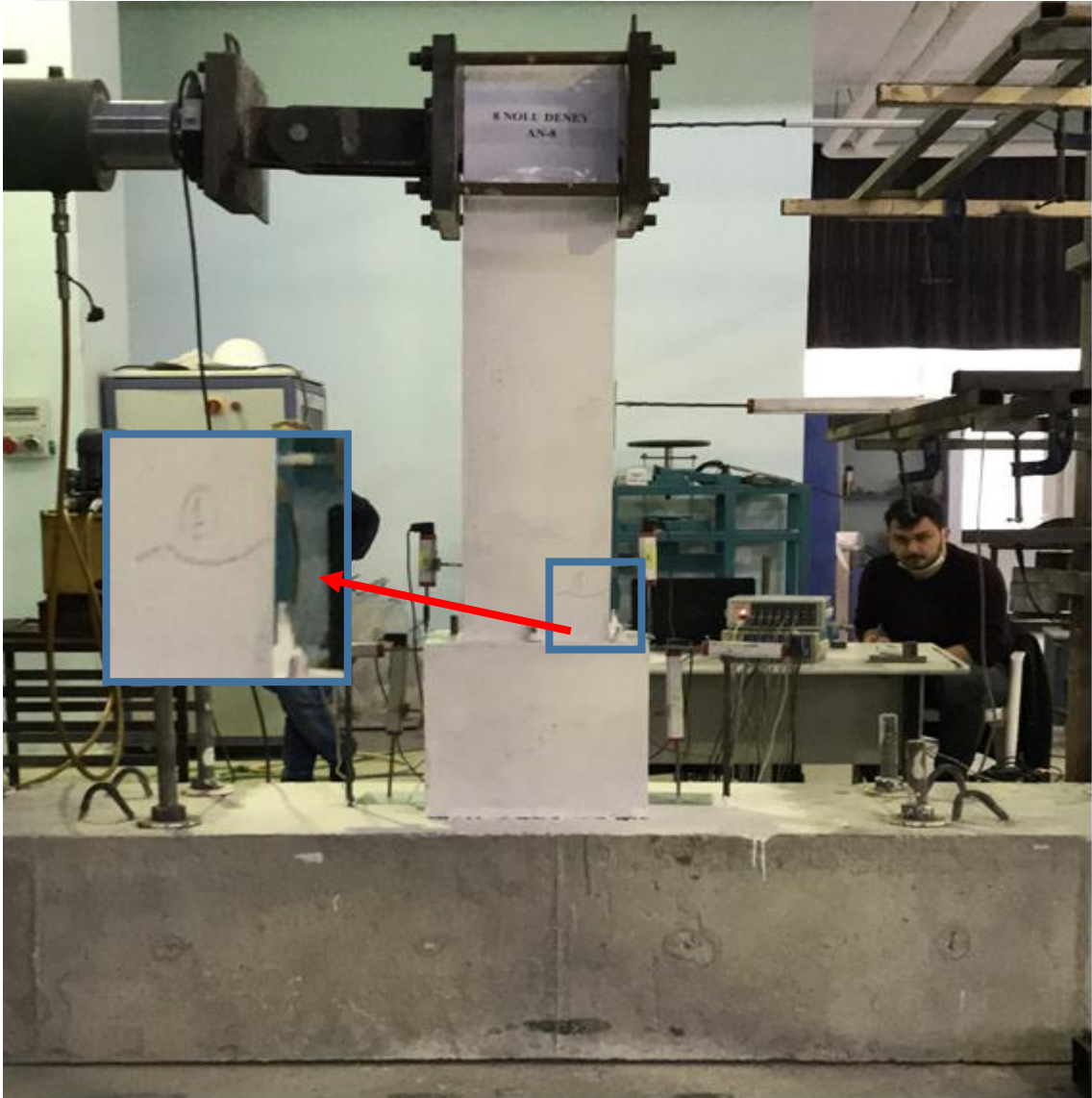
Çizelge 4.23. AN8 numunesinde deney sırasında gözlenen hasarlar

Çevrim No (İtme "+", Çekme "-")	Maksimum Yatay Yük (kN)	Maksimum Tepe Yer Değiştirme (LVDT-1) (mm)	Numunede Gözlenen Çatlak ve Hasar Oluşumları
+1	5.30	0.69	Hasar ve çatlak oluşumu gözlenmedi.
-1	-6.32	-0.96	Hasar ve çatlak oluşumu gözlenmedi.
+2	10.11	1.50	Hasar ve çatlak oluşumu gözlenmedi.
-2	-10.59	-1.82	Temel üst seviyesinden 47 cm yükseklikte 1 tane çatlak oluşmuştur.
+3	15.46	2.92	Temel üst seviyesinden 65 cm yükseklikte 1 tane çatlak oluşmuştur.
-3	-15.89	-4.42	Kolonun geniş kısmı ile kolon birleşiminde çatlak oluşmuştur. Temel üst seviyesinden 65 cm yükseklikte 1 tane çatlak oluşmuştur.

+4	20.58	4.63	Kolonun geniş kısmı ile kolon birleşiminde çatlak oluşmuştur. Temel üst seviyesinden 47 cm ve 85 cm yüksekliklerde çatlaklar oluşmuştur.
-4	-19.92	-6.38	Temel üst seviyesinden 85 cm yükseklikte çatlak oluşmuştur.
+5	25.48	6.38	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
-5	-25.90	-8.75	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
+6	30.36	8.56	Temel üst seviyesinden 55 cm, 95 cm ve 120 cm yüksekliklerde çatlaklar oluşmuştur.
-6	-29.86	-11.11	Temel üst seviyesinden 95 cm yükseklikte çatlak oluşmuştur.
+7	35.47	11.24	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
-7	-35.35	-14.62	Temel üst seviyesinden 35 cm ve 55 cm yüksekliklerde çatlaklar oluşmuştur. Bazı çatlaklar çatallanmaya başladı.
+8	40.24	15.15	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
-8	-40.05	-22.05	Temel üst seviyesinden 120 cm yükseklikte çatlak oluşmuştur. Kolonun genişleyen kısmı ile kolon birleşiminde ayrışmalar başladı. Numune akma dayanımına ulaşmıştır.
+9	45.10	25.44	Temel üst seviyesinden 5 cm yükseklikte çatlak oluşmuştur. Numune akma dayanımına ulaşmıştır.
Numune akma dayanımına ulaşmıştır. Yer değiştirme kontrollü yüklemeye geçilmiştir.			
-9	-46.06	-35.24	Temel üst seviyesinden 5 cm yükseklikte çatlak oluşmuştur.
+10	51.27	35.41	Basınç bölgesinde beton yüzeyinde ezilmeler başladı. Bazı çatlaklar çatallandı.
-10	-45.45	-40.70	Bazı çatlaklar çatallandı. Mevcut çatlaklar açılmaya devam etti.
+11	49.83	40.31	Bazı çatlaklar çatallandı. Mevcut çatlaklar açılmaya devam etti.
-11	-46.78	-46.38	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
+12	49.48	45.33	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
-12	-47.13	-50.71	Bazı çatlaklar çatallandı. Mevcut çatlaklar açılmaya devam etti.
+13	49.49	50.14	Bazı çatlaklar çatallandı. Mevcut çatlaklar açılmaya devam etti.
-13	-50.32	-60.91	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
+14	50.21	60.22	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
-14	-52.91	-71.12	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
+15	53.08	70.49	Basınç bölgesinde kabuk beton döküldü.
-15	-54.01	-81.19	Basınç bölgesinde kabuk beton döküldü.
+16	53.85	80.11	Bazı çatlaklar çatallandı. Mevcut çatlaklar açılmaya devam etti.

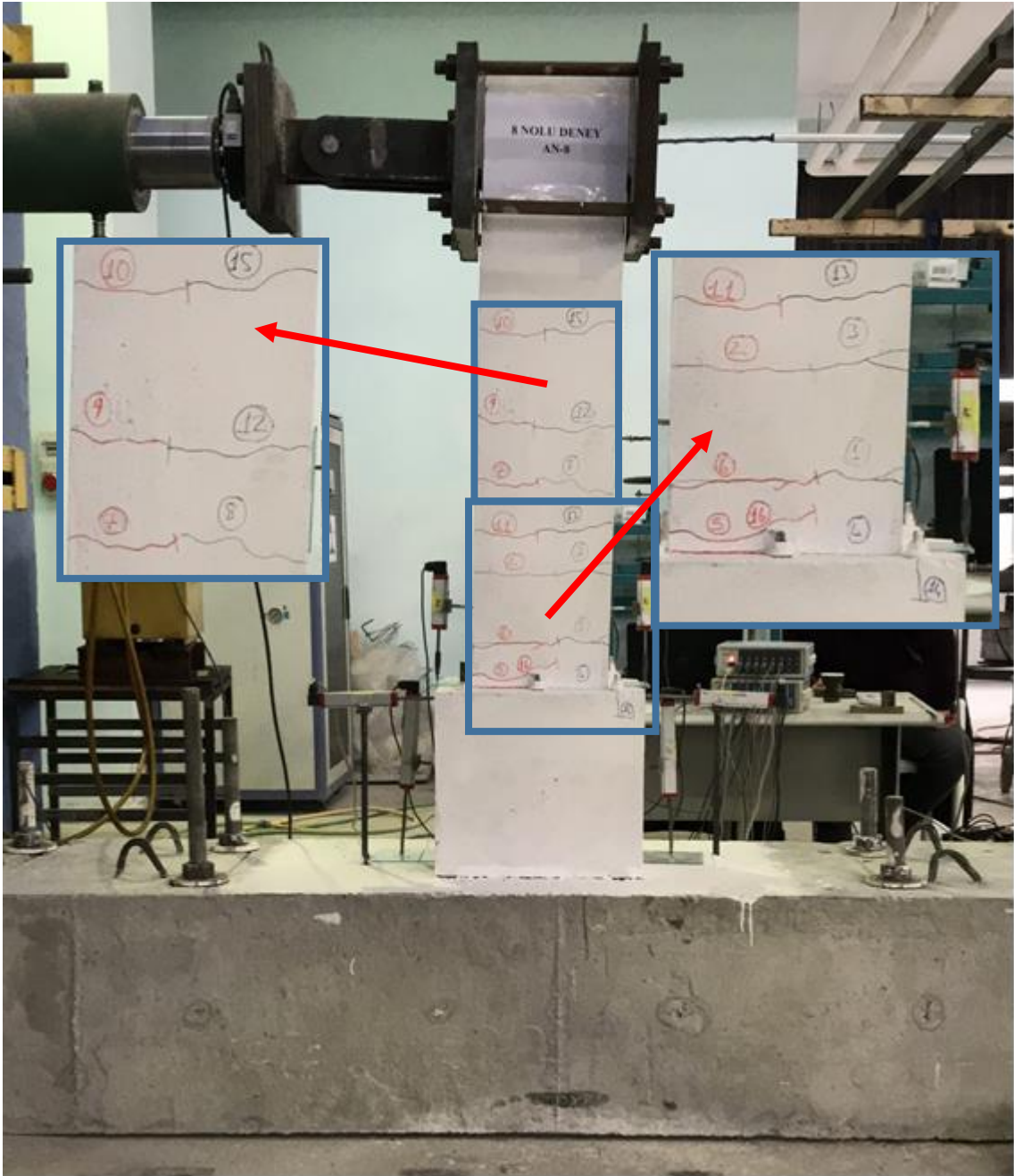
-16	-53.42	-90.48	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
+17	45.11	90.03	Boyuna donatıda burkulma oluştu.
-17	-53.48	-101.14	Boyuna donatıda burkulma oluştu. Kolonun geniş kısmının tabanında ezilmeler başladı.
+18	36.56	100.52	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
-18	-49.70	-110.95	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
+19	20.29	110.02	Boyuna donatı koptu. Numune limit duruma ulaşmıştır. Deney sonlandırılmıştır.

AN8 numunesinde ilk çatlak oluşumu -2. çevrimde oluşmuştur. Bu çevrimde numuneye etki eden yük -10.59 kN iken yer değiştirme -1.82 mm olarak ölçülmüştür. İlk çatlakların oluştuğu çevrimde numunede oluşan çatlaklar Şekil 4.81’de verilmiştir.



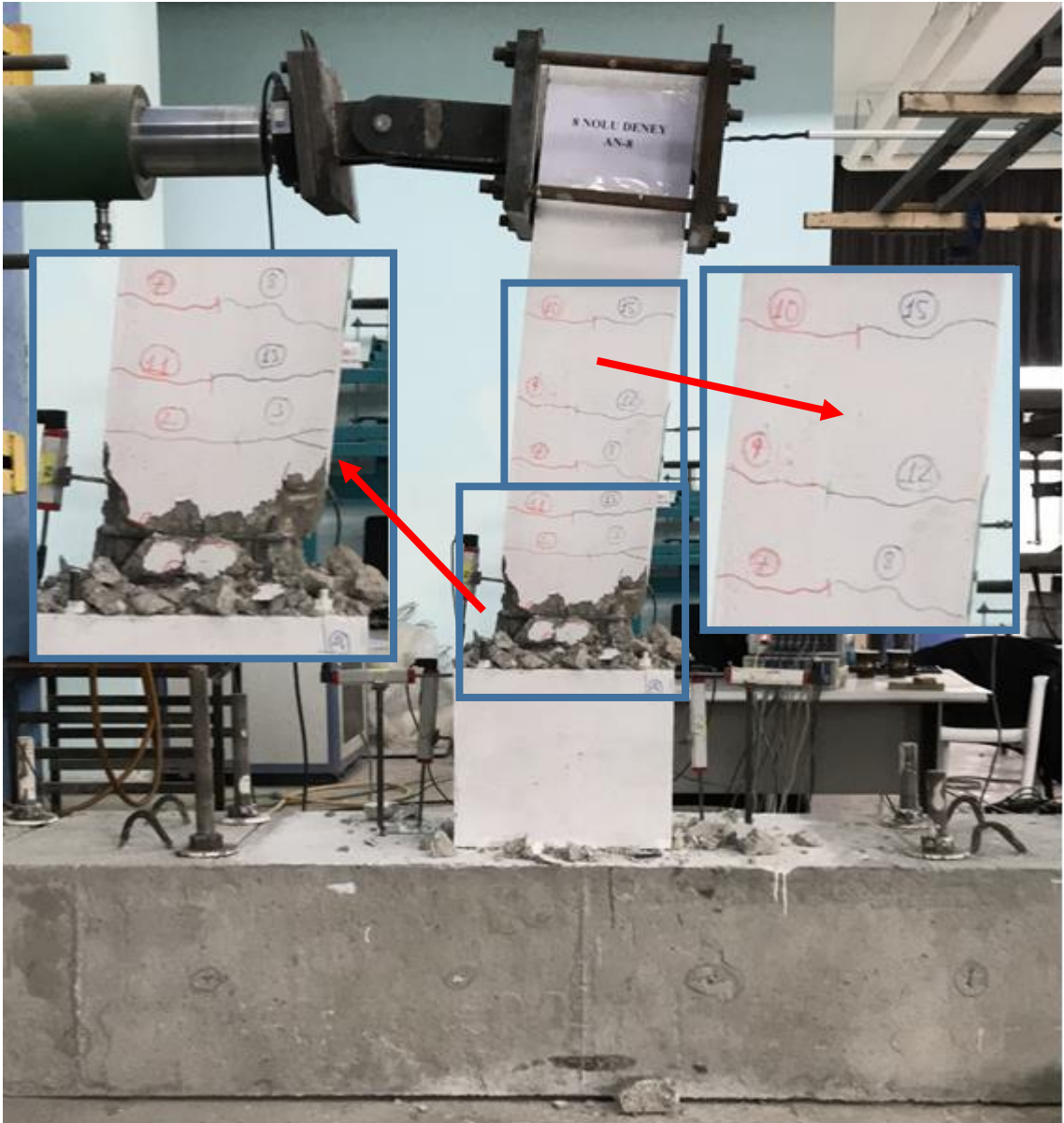
Şekil 4.81. AN8 numunesinde ilk çatlak oluşumu

AN8 numunesi akma dayanımına -8. ve +9. çevrimde ulaşmıştır. -8. çevrimde -40.05 kN yüke ulaşırken, tepe yer değiştirme -22.05 mm olarak gerçekleşmiştir. +9. çevrimde ise +45.10 kN yüke ulaşılırken, tepe yer değiştirme +25.44 mm olarak gerçekleşmiştir. Bu çevrimde kolonun genişleyen kısmı ile kolon birleşiminde ayrışmalar başlamıştır. Oluşan çatlaklar simetrileri ile birleşerek kolon etrafını sarmıştır. Bazı çatlaklarda çatallanmalar başlamıştır. AN8 numunesinin akma dayanımına ulaştığı andaki hasar oluşumu Şekil 4.82'de verilmiştir.



Şekil 4.82. AN8 numunesinin akma dayanımına ulaştığında hasar durumu

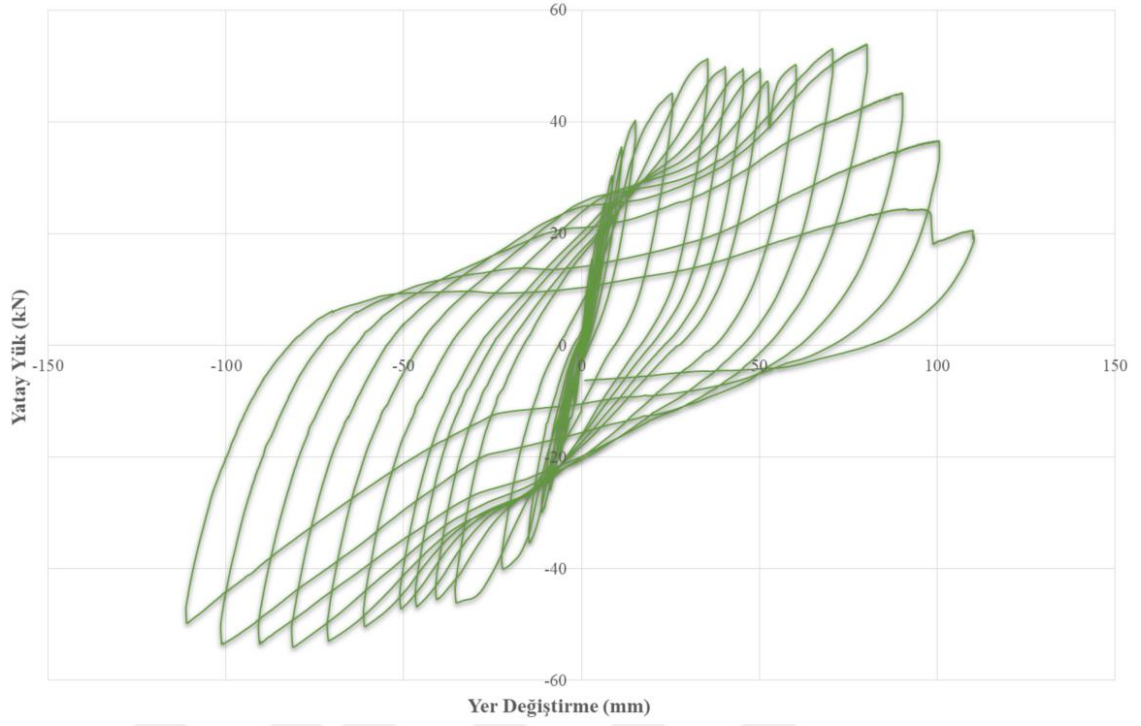
AN8 numunesi +19. çevrimde göçme durumuna ulaşmıştır. Bu çevrimde +20.29 kN yük kolona etki ederken, +110.02 mm yer değiştirme gerçekleşmiştir. Göçme durumunda kolonun geniş kısmı ile kolon birleşiminde plastik mafsallık oluşmuştur. Bu bölgede kabuk beton dökülerek boyuna donatıda burkulmalar oluşmuştur. Bu bölge bir mesnet gibi davranmıştır. Numune genel olarak eğilme davranışı göstermiştir. Son çevrimlerde kolonun geniş kısmının tabanında betonda ezilmeler başlamıştır. Bu durum sistemin bir bütün olarak çalıştığını yük aktarımının gerçekleştiğini göstermektedir. Son çevrimde boyuna donatı da kopma gerçekleşmiştir. Donatı kopması sonrası yük önemli miktarda düşmüş ve deney sonlandırılmıştır. AN8 numunesinin göçme durumunda hasar oluşumu Şekil 4.83'te verilmiştir.



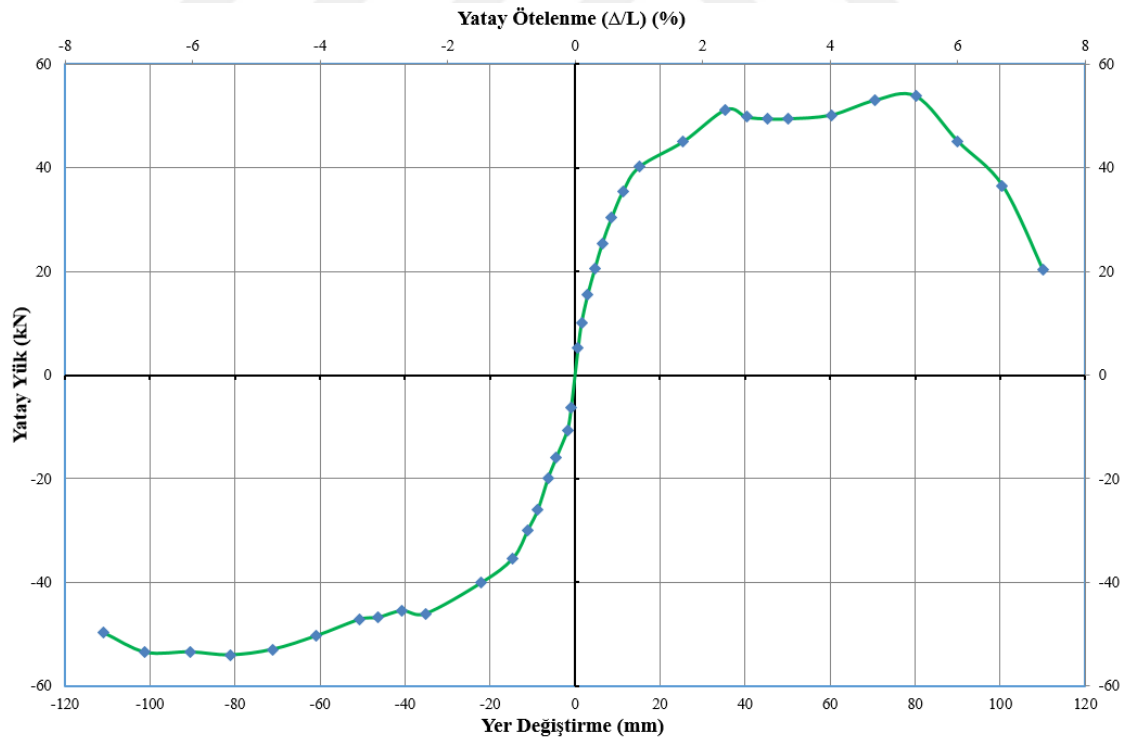


Şekil 4.83. AN8 numunesinin göçme durumuna ulaştığında hasar durumu

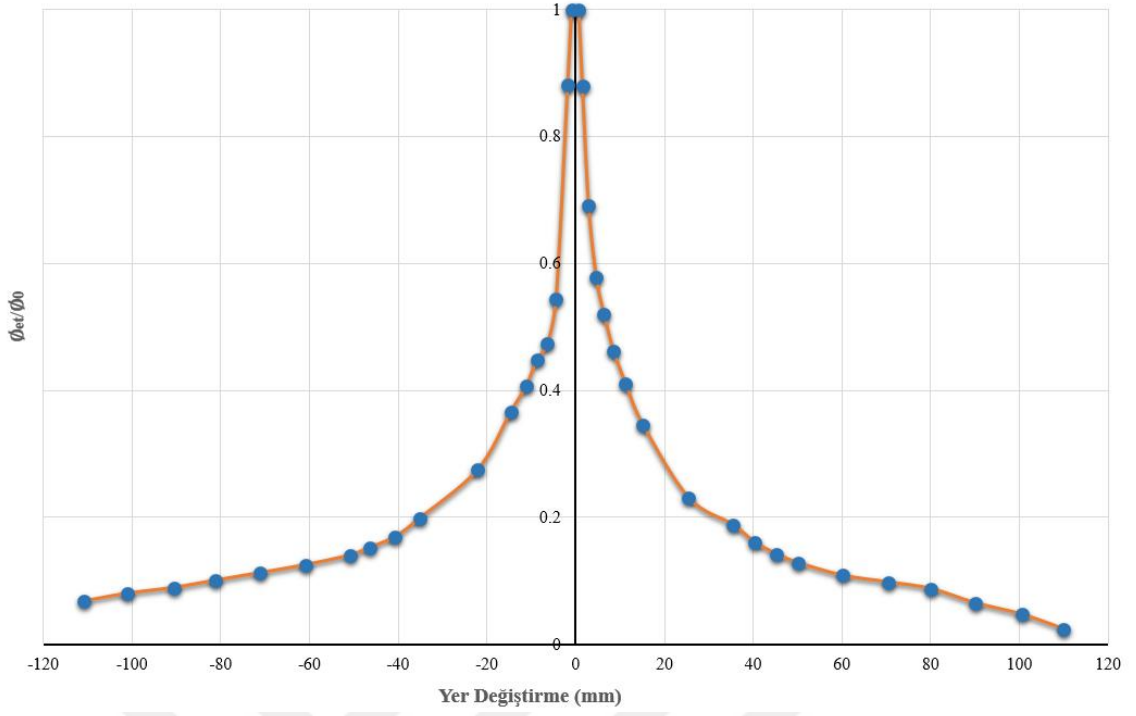
Deney sırasında veri toplayıcı ile bilgisayara aktarılan yük ve yer değiştirme verileri yardımıyla numunelerin davranışını yorumlamaya yardımcı bazı grafikler elde edilmiştir. Şekil 4.84'te okunan yük değerleri ve buna karşılık gelen yer değiştirmeler ile elde edilen histeresis eğrisi verilmiştir. Şekil 4.85'te numune akma dayanımına ulaşana kadar maksimum yüke karşılık gelen yer değiştirme, akma dayanımına ulaştıktan sonra maksimum yer değiştirmeye karşılık gelen yük değerlerinin birleştirilmesi ile elde edilen dayanım zarfı verilmiştir. Şekil 4.86'da numunenin her çevrimde rijitliğindeki azalmayı gösteren düşey eksenli rijitlik azalması, yatay eksenli net tepe yer değiştirmesi olan rijitlik azalma grafiği verilmiştir. Şekil 4.87'de ise numunenin her çevrimde kümülatif tükettiği enerjiyi gösteren grafik verilmiştir.



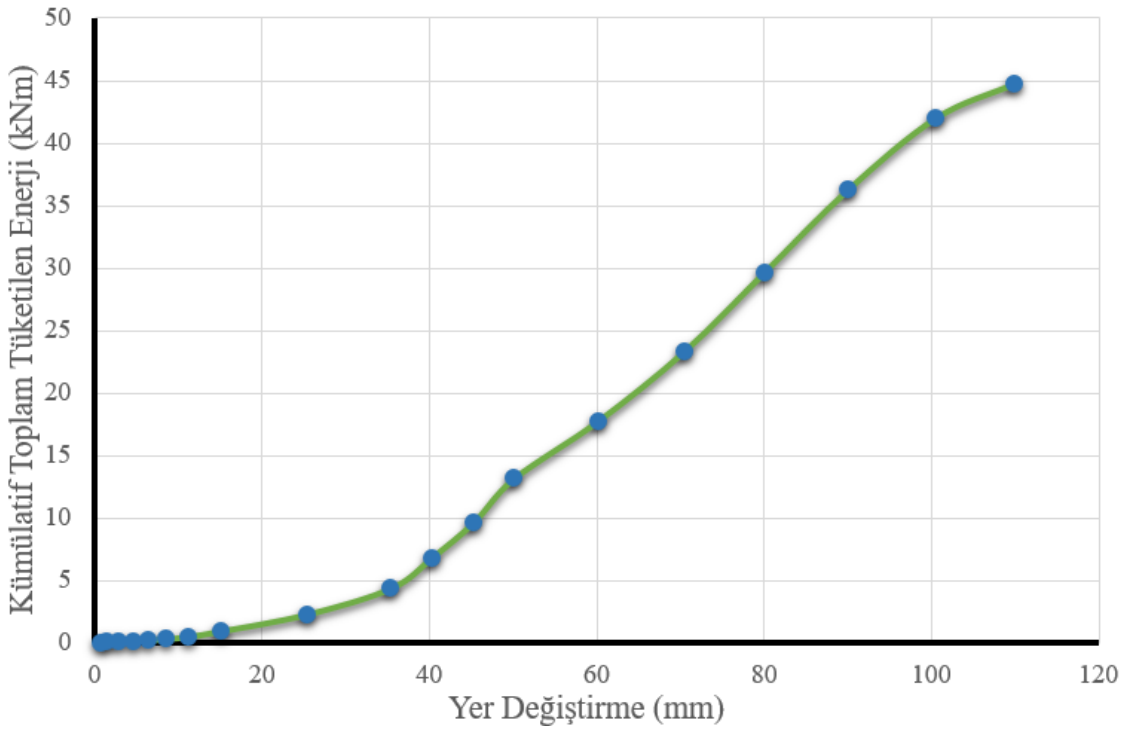
Şekil 4.84. AN8 numunesine ait histeresis eğrisi



Şekil 4.85. AN8 numunesine ait dayanım zarfı



Şekil 4.86. AN8 numunesine ait rijitlik azalması grafiği

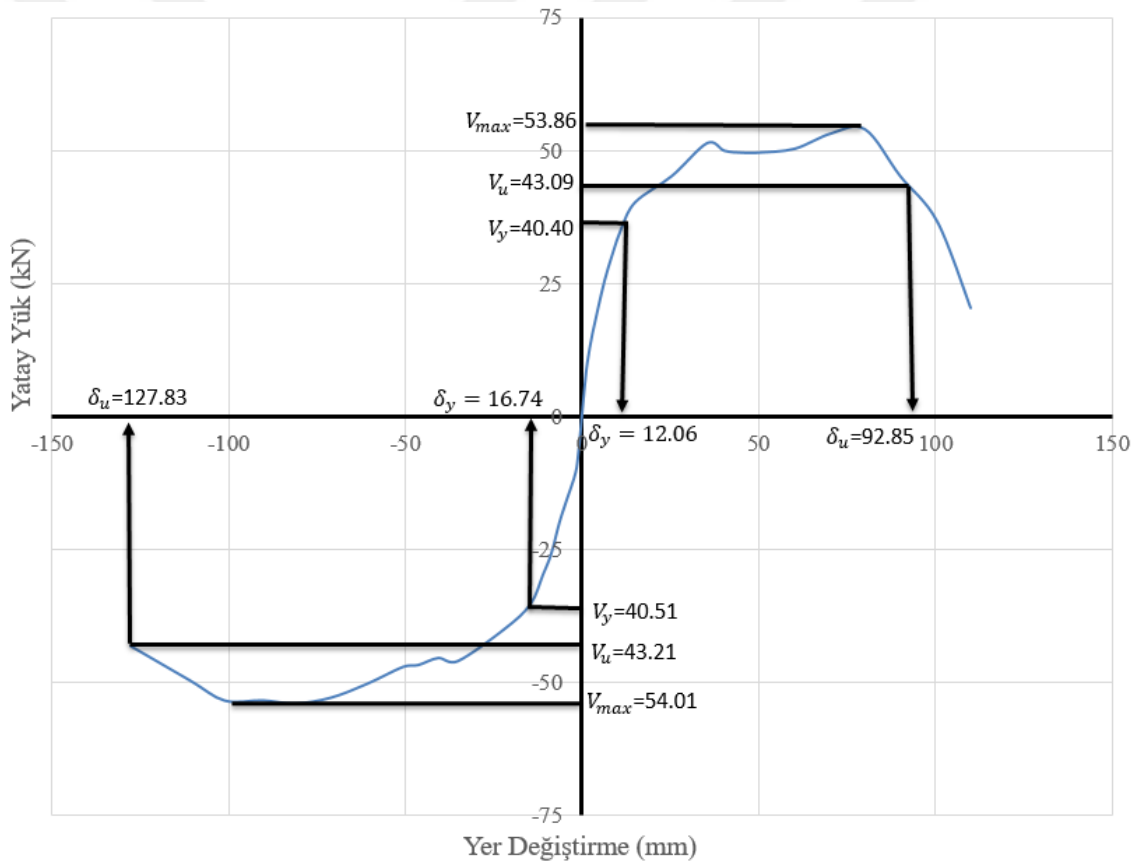


Şekil 4.87. AN8 numunesine ait kümülatif tüketilen enerji grafiği

AN8 numunesinin sünekliğinin hesaplanması için gerekli olan yatay yük değerleri ve Şekil 4.88’de verilen bu yük değerlerine karşılık gelen yer değiştirme değerleri Çizelge 4.24’de verilmiştir. Göçme durumu olarak kabul edilen maksimum yükün %20 azalması durumu, yükleme sisteminde 110 mm’den fazla yer değiştirme yapılamadığı için görülememiştir. Bu nedenle göçme durumu yük değeri ve yer değiştirme değeri eğrinin son iki çevrime göre doğrusal olarak uzatılmasıyla bulunmuştur.

Çizelge 4.24. AN8 numunesine ait süneklik değerleri

AN8	V_{max} (kN)	V_y (kN)	V_u (kN)	δ_y (mm)	δ_u (mm)	μ	μ_{ort}
İtme	53.86	40.40	43.09	12.06	92.85	7.699	7.668
Çekme	54.01	40.51	43.21	16.74	127.83	7.636	



Şekil 4.88. AN8 numunesinin sünekliğinin hesaplanması

4.1.9. AN9 numunesi deney sonuçları

AN9 numunesi önerilen bağlantı türü ile üretilmiştir. AN9 numunesine eksenel yük taşıma kapasitesinin %10'u kadar öngerilme uygulanmıştır. AN9 numunesinin genel özellikleri Çizelge 4.25'te verilmiştir.

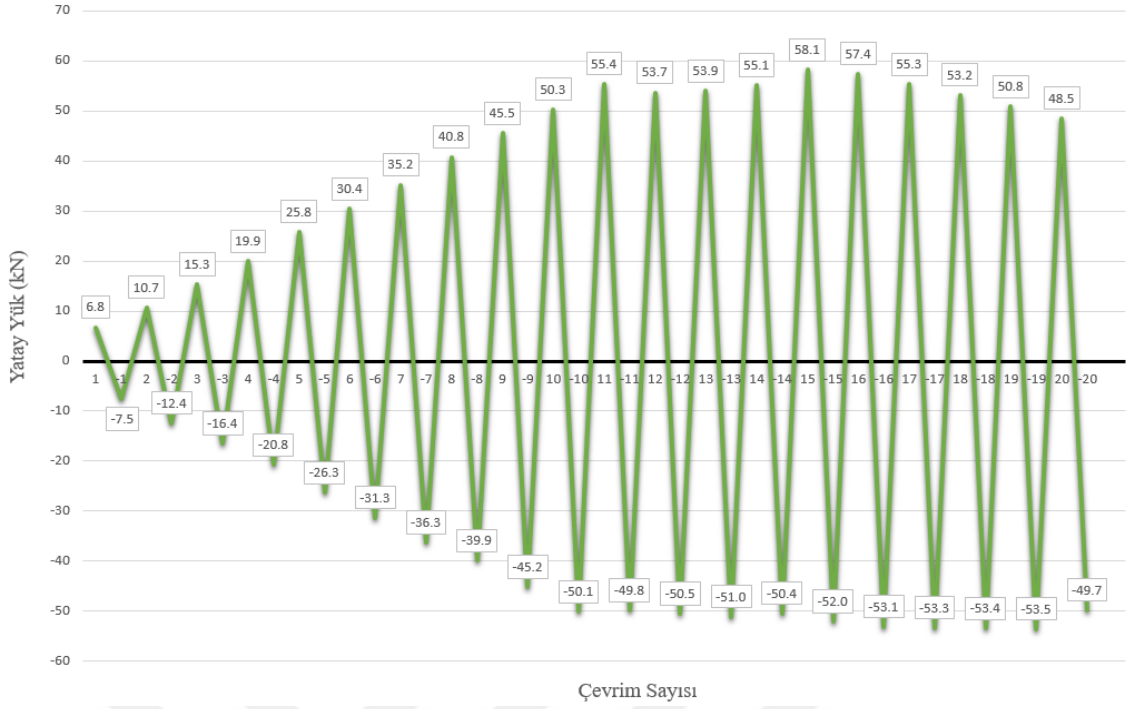
Çizelge 4.25. AN9 numunesi genel özellikleri

Numune Adı	Kesit Boyutları (cm)	Yükseklik (Temel Dahil)(cm)	Beton Sınıfı	Donatı Sınıfı	Temel-Kolon Bağlantı Tipi	Öngerilme Miktarı (kN)	Ankraj Boşluklarının Özellikleri
AN9	20/30	217.5	C30	B420C	Ankrajlı	180	Dişsiz

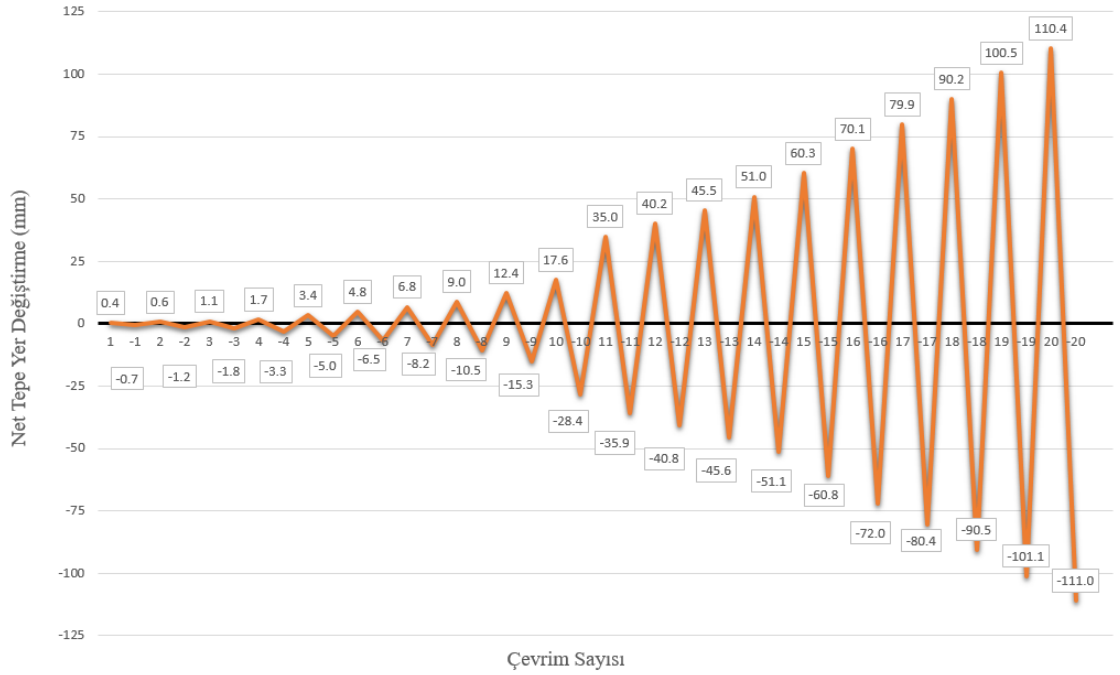
AN9 numunesinin deney düzeneğine yerleştirilmiş hali Şekil 4.89'da verilmiştir. AN9 numunesinin tersinir tekrarlanır yatay yüklemesi sonucu elde edilen yük geçmişi Şekil 4.90'da, yer değiştirme geçmişi ise Şekil 4.91'de numunenin yükleme prosedürü hakkında bilgi vermesi için verilmiştir.



Şekil 4.89. AN9 numunesi deney öncesi



Şekil 4.90. AN9 numunesi yük geçmişi



Şekil 4.91. AN9 numunesi yer değiştirme geçmişi

Şekil 4.90 ve Şekil 4.91'den anlaşılacağı gibi AN9 numunesi pozitif 10. çevrime kadar 5kN yük artışı ile yük kontrollü olarak yüklenmiştir. Pozitif 10. çevrimde numune

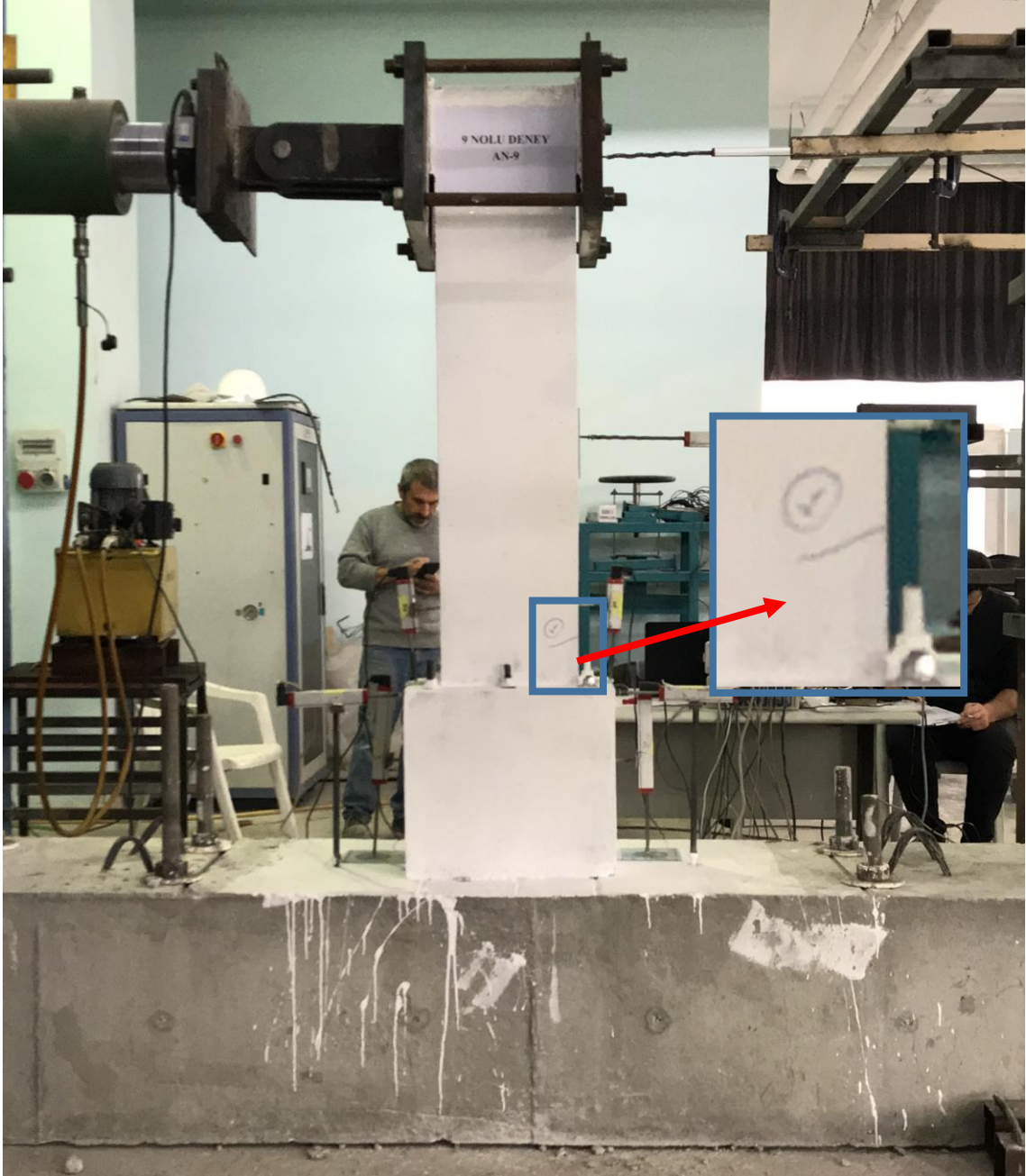
akmış ve yer değiştirme kontrollü yüklemeye geçilmiştir. Pozitif 10. çevrimde numunenin net tepe yer değiştirmesi +17.6 mm olduğu için 50 mm'ye kadar 5 mm artış ile, 50 mm'den sonra 10 mm artış ile yer değiştirme kontrollü yüklemeye devam edilmiştir. AN9 numunesinin deneyi sırasında her çevrimde gözlenen hasarlar Çizelge 4.26'da verilmiştir.

Çizelge 4.26. AN9 numunesinde deney sırasında gözlenen hasarlar

Çevrim No (İtme "+", Çekme "-")	Maksimum Yatay Yük (kN)	Maksimum Tepe Yer Değiştirme (LVDT-1) (mm)	Numunede Gözlenen Çatlak ve Hasar Oluşumları
+1	6.78	0.36	Hasar ve çatlak oluşumu gözlenmedi.
-1	-7.50	-0.67	Hasar ve çatlak oluşumu gözlenmedi.
+2	10.71	0.65	Hasar ve çatlak oluşumu gözlenmedi.
-2	-12.42	-1.22	İlk çatlak oluşumu gözlenmiştir. Temel üst seviyesinden 50 cm yükseklikte çatlak oluşmuştur.
+3	15.31	1.06	Kolonun geniş kısmı ile kolonun birleşiminde çatlak oluşmuştur.
-3	-16.44	-1.83	Mevcut çatlaklar uzamıştır.
+4	19.92	1.73	Temel üst seviyesinden 50 cm yükseklikte çatlak oluşmuştur.
-4	-20.76	-3.27	Kolonun geniş kısmı ile kolonun birleşiminde çatlak oluşmuştur.
+5	25.84	3.38	Temel üst seviyesinden 55 cm ve 65 cm yüksekliklerde çatlaklar oluşmuştur.
-5	-26.31	-4.96	Temel üst seviyesinden 65 cm ve 75 cm yüksekliklerde çatlaklar oluşmuştur.
+6	30.39	4.76	Temel üst seviyesinden 98 cm yükseklikte çatlak oluşmuştur.
-6	-31.32	-6.52	Temel üst seviyesinden 85 cm yükseklikte çatlak oluşmuştur.
+7	35.21	6.80	Temel üst seviyesinden 75 cm yükseklikte çatlak oluşmuştur.
-7	-36.26	-8.24	Temel üst seviyesinden 95 cm yükseklikte çatlak oluşmuştur. Bazı çatlaklar çatallandı.
+8	40.77	8.96	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
-8	-39.86	-10.53	Temel üst seviyesinden 55 cm yükseklikte çatlak oluşmuştur.
+9	45.46	12.41	Temel üst seviyesinden 95 cm yükseklikte çatlak oluşmuştur.
-9	-45.17	-15.26	Bazı çatlaklar çatallandı.
+10	50.28	17.56	Temel üst seviyesinden 107 cm yükseklikte çatlak oluşmuştur. Kolonun geniş kısmı ile kolon arasında ayrılmalar başladı. Numune akma dayanımına ulaştı.
-10	-50.09	-28.44	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir. Numune akma dayanımına ulaştı.
Numune akma dayanımına ulaşmıştır. Yer değiştirme kontrollü yüklemeye geçilmiştir.			
+11	55.39	35.01	Temel kolon birleşiminde düşey yönlü bir çatlak oluşmuştur.
-11	-49.82	-35.87	Ankraj boşluklarında çatlaklar oluştu.
+12	53.66	40.22	Ankraj boşlukların olduğu kısımda oluşan çatlaklar yan yüze geçerek düşey yönde ilerledi.

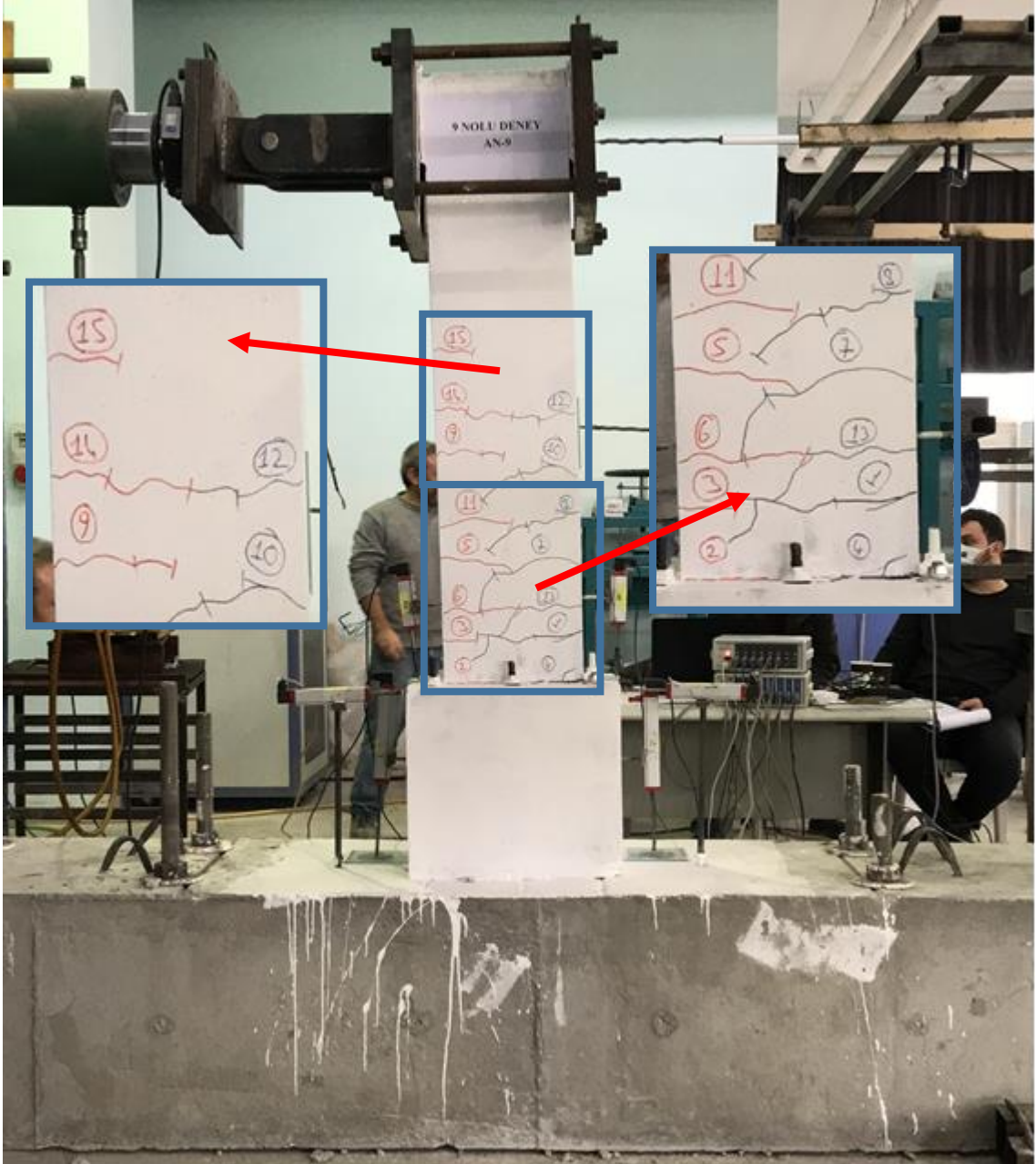
-12	-50.49	-40.85	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
+13	53.90	45.49	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
-13	-51.02	-45.60	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
+14	55.08	50.96	Kolonun geniş kısmının üzerinde basınç bölgesinde betonda ezilmeler başladı.
-14	-50.37	-51.09	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
+15	58.14	60.31	Temel üst seviyesinden 61 cm yükseklikte çatlak oluşmuştur.
-15	-52.01	-60.78	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
+16	57.42	70.07	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
-16	-53.09	-71.97	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
+17	55.26	79.90	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
-17	-53.32	-80.43	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
+18	53.18	90.24	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
-18	-53.42	-90.48	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
+19	50.82	100.52	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
-19	-53.48	-101.14	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
+20	48.48	110.36	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
-20	-49.70	-110.95	Numune göçme dayanımına ulaşmıştır. Deney sonlandırılmıştır.

AN9 numunesinde ilk çatlak oluşumu -2. çevrimde oluşmuştur. Bu çevrimde numuneye etki eden yük -12.42 kN iken yer değiştirme -1.22 mm olarak ölçülmüştür. İlk çatlakların oluştuğu çevrimde numunede oluşan çatlaklar Şekil 4.92'de verilmiştir.



Şekil 4.92. AN9 numunesinde ilk çatlak oluşumu

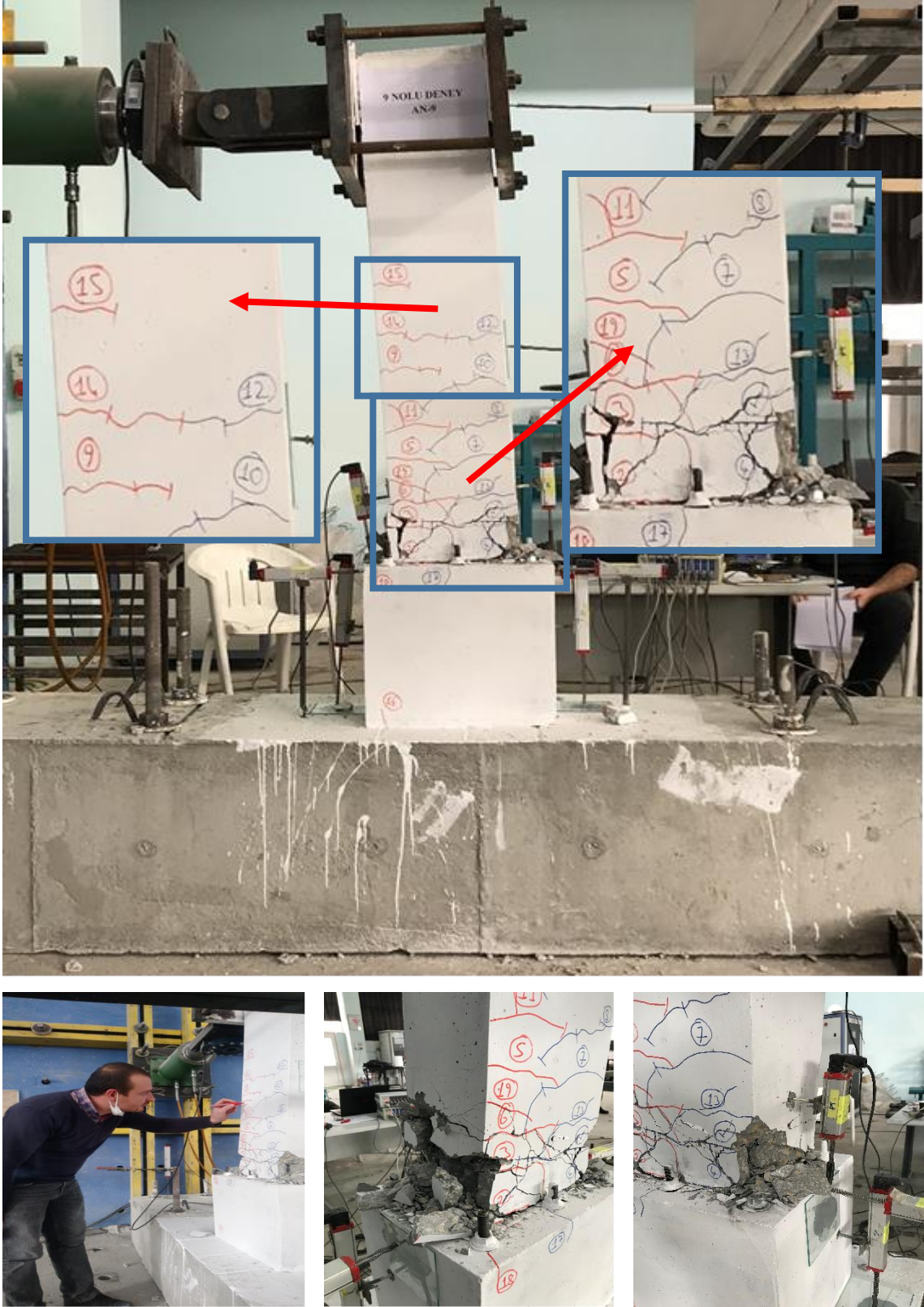
AN9 numunesi akma dayanımına ± 10 . çevrimde ulaşmıştır. +10. çevrimde +50.28 kN yüke ulaşırken, tepe yer değiştirme +17.56 mm olarak gerçekleşmiştir. -10. çevrimde ise -50.09 kN yüke ulaşılırken, tepe yer değiştirme -28.44 mm olarak gerçekleşmiştir. Bu çevrimde temel-kolon birleşiminde ayrılmalar başlamıştır. Kolon yüzünde oluşan simetrik çatlaklar birleşmiş, bazı çatlaklar da çatallaşmaya başlamıştır. AN9 numunesinin akma dayanımına ulaştığı andaki hasar oluşumu Şekil 4.93'te verilmiştir.



Şekil 4.93. AN9 numunesinin akma dayanımına ulaştığında hasar durumu

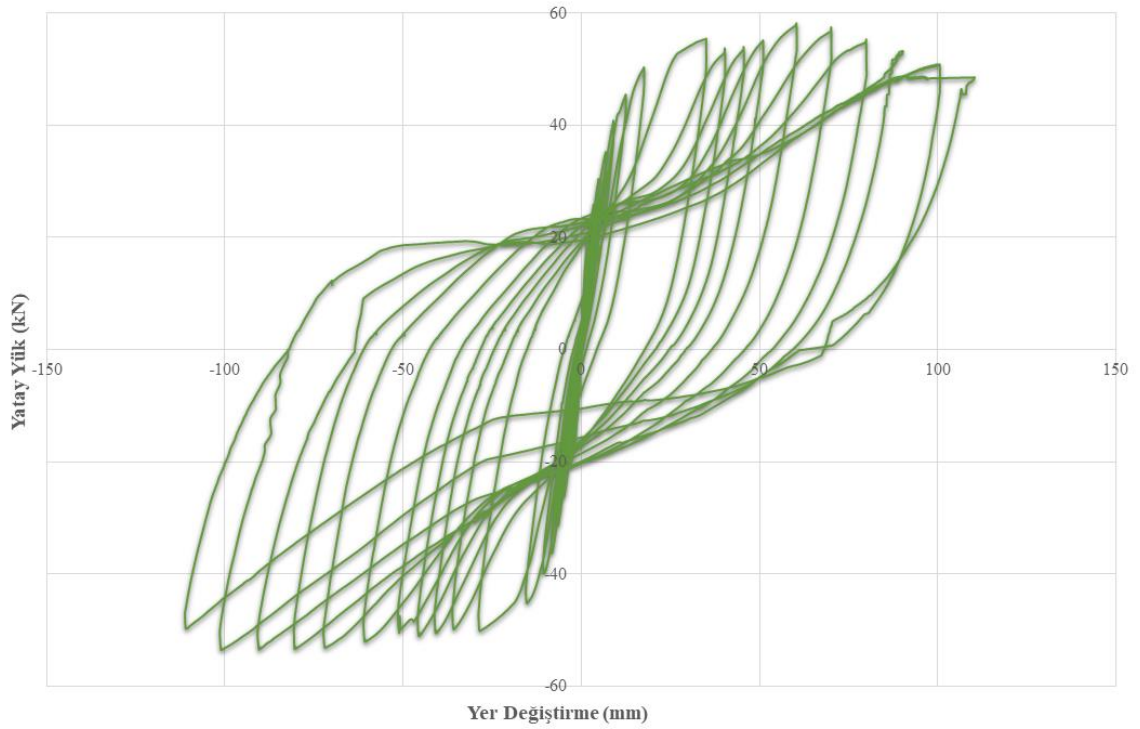
AN9 numunesi -20. çevrimde göçme durumuna ulaşmıştır. Bu çevrimde -49.70 kN yük kolona etki ederken, -110.95 mm yer değiştirme gerçekleşmiştir. Göçme durumunda mesnet bölgesindeki kabuk betonda ezilmeler ve açılmalar başlamıştır. Basınç bölgesindeki boyuna donatılarda burkulma gerçekleşmiştir. Plastik mafsal bölgesinde hasarlar yoğunlaşarak göçme durumu oluşmuştur. Plastik mafsal bölgesindeki çatlaklar çatallanarak kolon tabanına ulaşmıştır. Ankrajlarda oluşan çekme gerilmeleri nedeniyle kolonun geniş kısmında düşey yönlü ankrajların olduğu bölgelerde çatlaklar

oluşmuştur. AN9 numunesinin göçme durumunda hasar oluşumu Şekil 4.94'te verilmiştir.

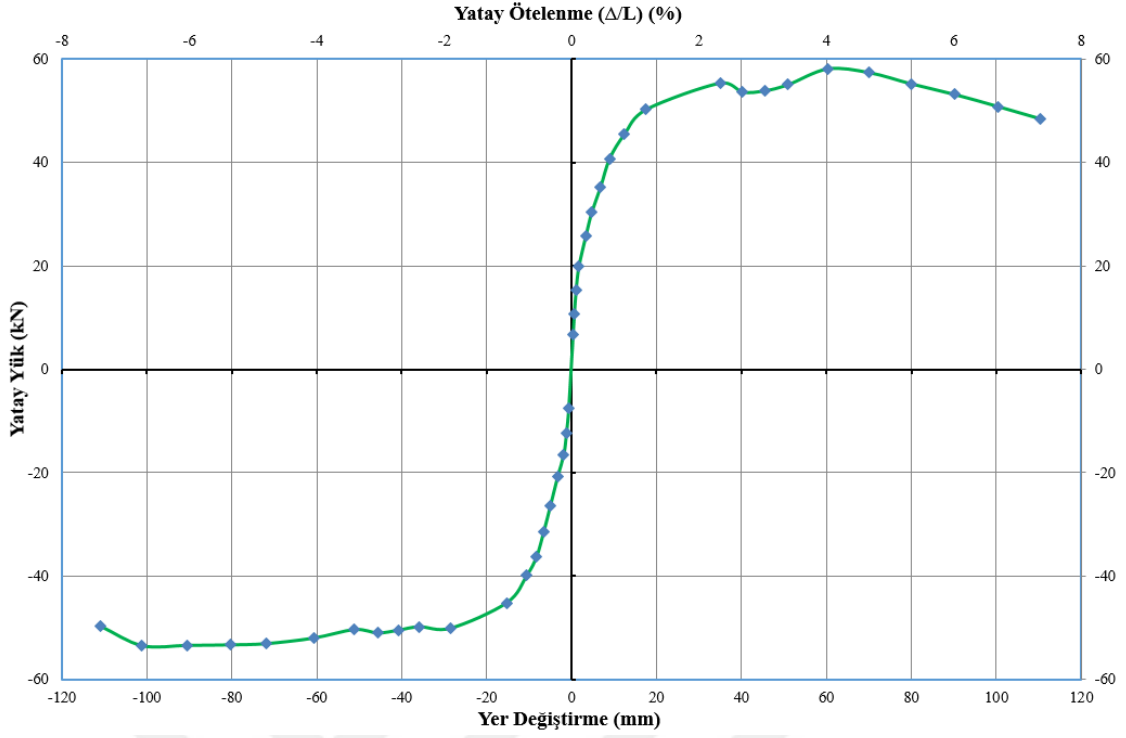


Şekil 4.94. AN9 numunesinin göçme durumuna ulaştığında hasar durumu

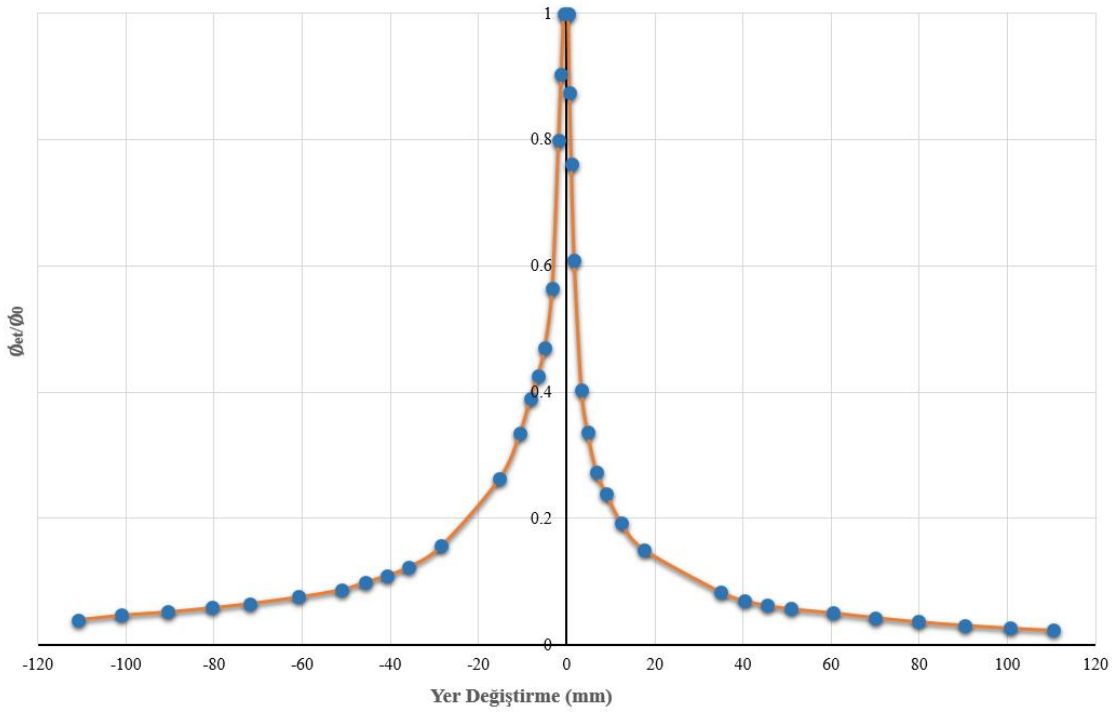
Deney sırasında veri toplayıcı ile bilgisayara aktarılan yük ve yer değıştirme verileri yardımıyla numunelerin davranışını yorumlamaya yardımcı bazı grafikler elde edilmiştir. Şekil 4.95'te okunan yük değeri ve buna karşılık gelen yer değıştirmeler ile elde edilen histeresis eğrisi verilmiştir. Şekil 4.96'da numune akma dayanımına ulaşana kadar maksimum yüke karşılık gelen yer değıştirme, akma dayanımına ulaştıktan sonra maksimum yer değıştirmeye karşılık gelen yük değeri birleştirilmesi ile elde edilen dayanım zarfı verilmiştir. Şekil 4.97'de numunenin her çevrimde rijitliğindeki azalmayı gösteren düşey eksenli rijitlik azalması, yatay eksenli net tepe yer değıştirmesi olan rijitlik azalma grafiği verilmiştir. Şekil 4.98'de ise numunenin her çevrimde kümülatif tükettiği enerjiyi gösteren grafik verilmiştir.



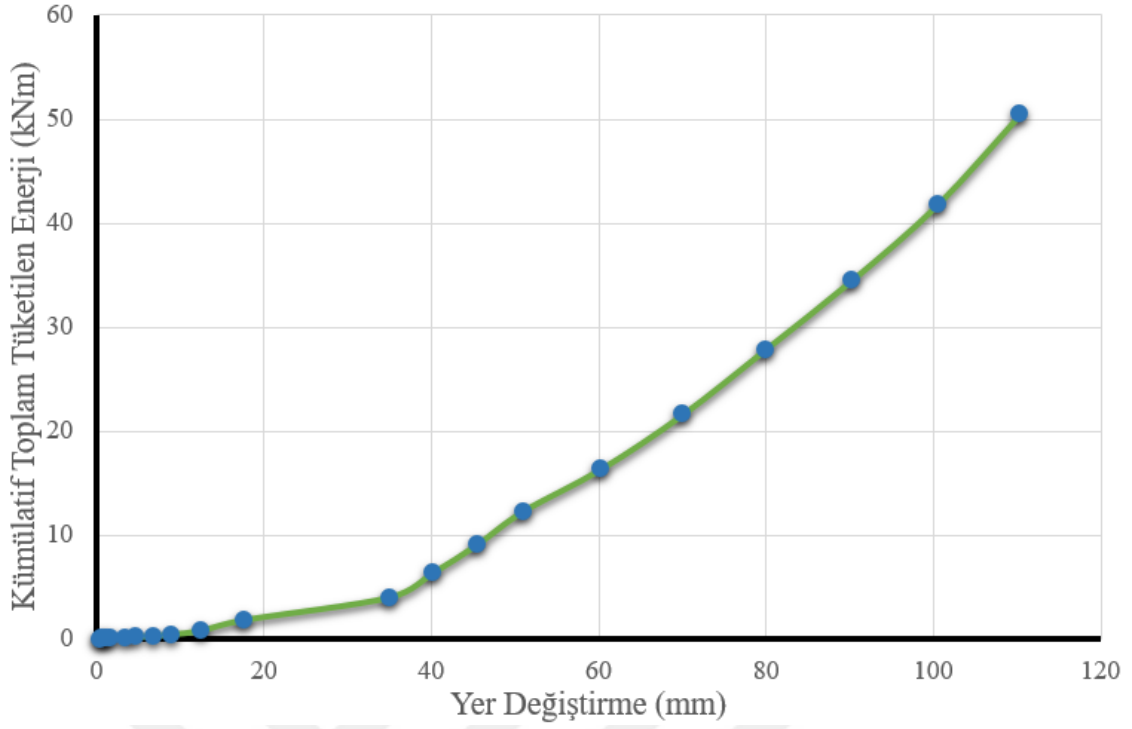
Şekil 4.95. AN9 numunesine ait histeresis eğrisi



Şekil 4.96. AN9 numunesine ait dayanım zarfı



Şekil 4.97. AN9 numunesine ait rijitlik azalması grafiği

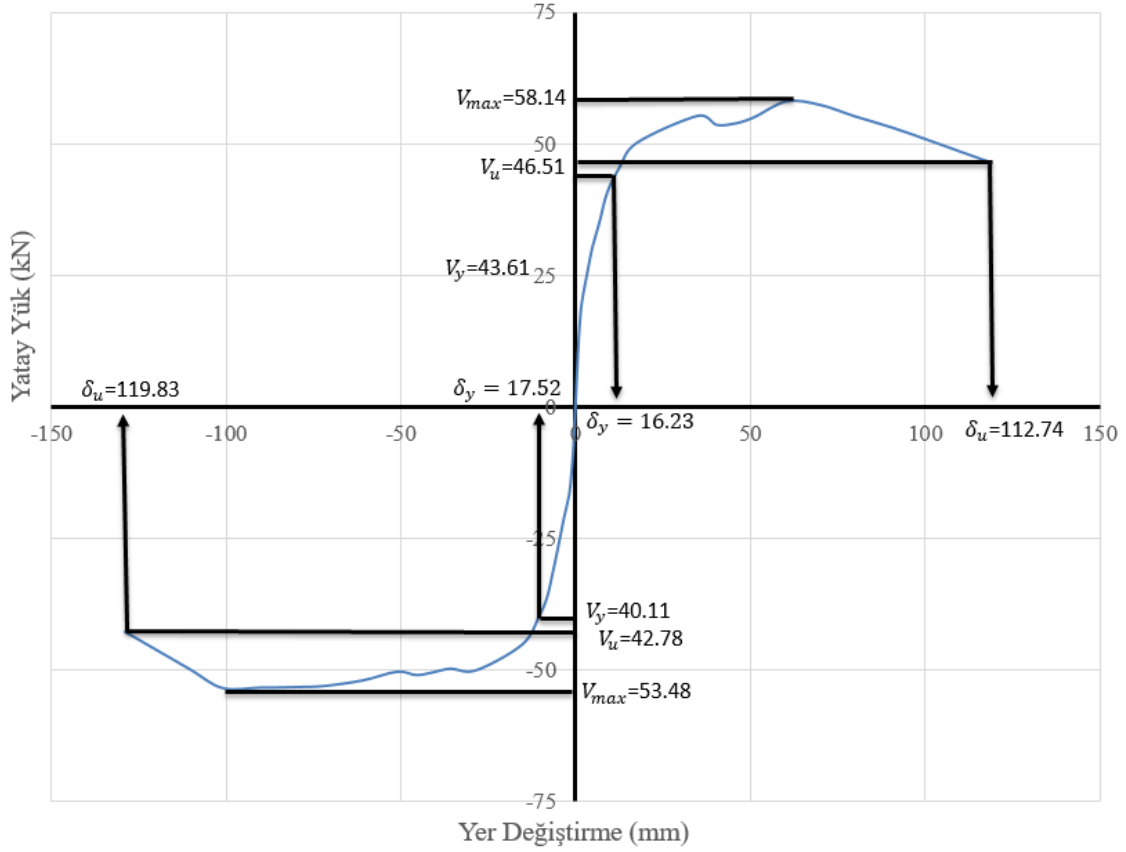


Şekil 4.98. AN9 numunesine ait kümülatif tüketilen enerji grafiği

AN9 numunesinin sünekliğinin hesaplanması için gerekli olan yatay yük değerleri ve Şekil 4.99’da verilen bu yük değerlerine karşılık gelen yer değiştirme değerleri Çizelge 4.27’de verilmiştir. Göçme durumu olarak kabul edilen maksimum yükün %20 azaldığı durum için gerekli yer değiştirme mevcut imkânlar ile sağlanamamıştır. Maksimum yer değiştirme 110 mm olarak ölçülebilmektedir. Bu nedenle son iki çevrimin değerlerine göre zarf eğrisi doğrusal olarak uzatılmış ve göçme durumu verileri elde edilmiştir.

Çizelge 4.27. AN9 numunesine ait süneklik değerleri

AN9	V_{max} (kN)	V_y (kN)	V_u (kN)	δ_y (mm)	δ_u (mm)	μ	μ_{ort}
İtme	58.14	43.61	46.51	16.23	112.74	6.946	6.893
Çekme	53.48	40.11	42.78	17.52	119.83	6.840	



Şekil 4.99. AN9 numunesinin sünekliğinin hesaplanması

4.2. DeneY Sonuçlarının Karşılaştırılması

Tez çalışmasında, monolitik, soketli ve önerilen bağlantı türü (iki farklı donatı düzeni) olmak üzere dört farklı bağlantı türü ile deneyler gerçekleştirilmiştir. DeneY numunelerinin bazılarında öngerilme uygulanarak öngerilmenin etkisi incelenmiştir. Önerilen bağlantı türünde iki farklı donatı yerleşimi uygulanmıştır. Farklı donatı yerleşimleri farklı bağlantı türü gibi kabul edilerek bağlantı türü yönünden kıyaslanmıştır. Önerilen bağlantı türünde kolonda bırakılan boşluklar için dişli ve dişsiz iki farklı aparat kullanılmıştır. Bütün durumlar göz önüne alındığında 3 farklı parametre ortaya çıkmaktadır. Bu parametrelerin tamamı için numuneler kendi içerisinde karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalar, numunelerin dayanım, rijitlik, enerji tüketme kapasiteleri ve süneklikleri üzerinden yapılmıştır.

4.2.1. Bağlantı türüne göre numunelerin karşılaştırılması

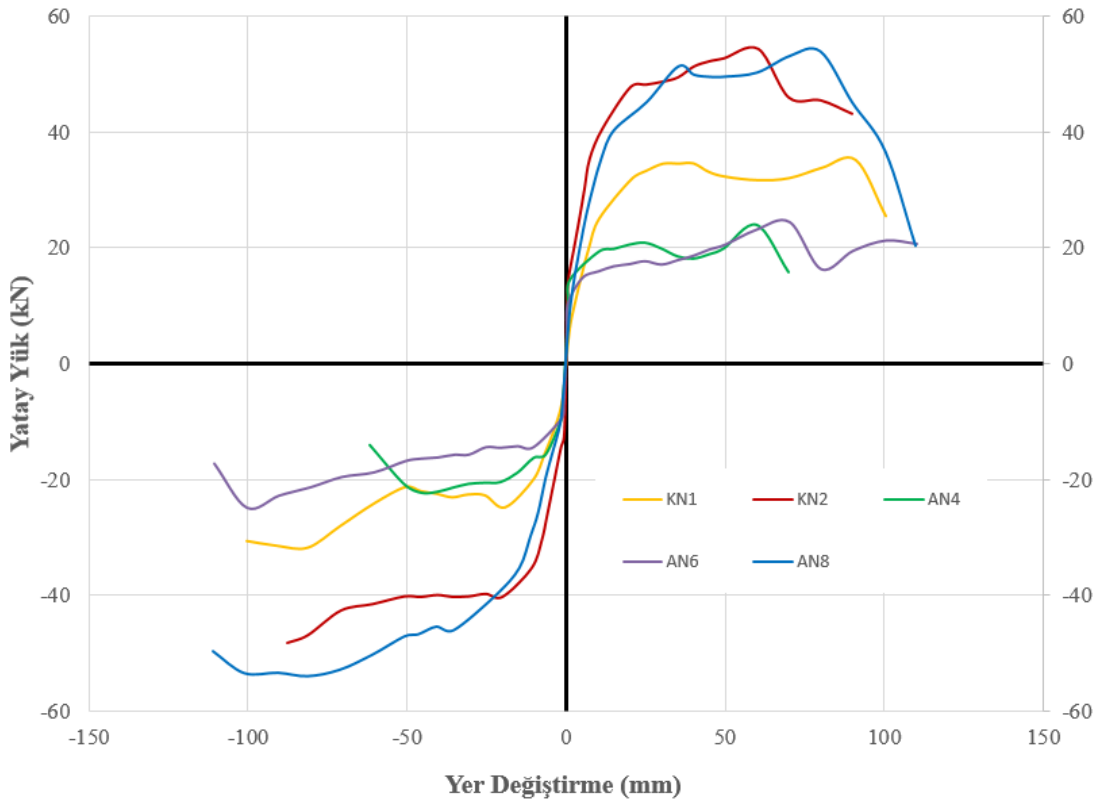
KN1, KN2, AN4, AN6 ve AN8 numuneleri farklı bağlantılar ile üretilmiştir. KN1 numunesi monolitik, KN2 numunesi soketli, AN4, AN6 ve AN8 numuneleri ise önerilen bağlantı türündedir. Önerilen bağlantı türünde ise genel bağlantı tipi aynı olsa bile numunelerin davranışını etkileyecek donatı düzeninde farklılıkları mevcuttur. AN4 numunesi ile AN6 numunesi aynı donatı planı ile oluşturulmuştur. Kolon genişleyen kısmına boyuna donatı geçerken pilye yapılmıştır. AN4 numunesinin boşluklarında dış oluşturulmazken AN6 numunesinin boşluklarında dış oluşturulmuştur. AN8 numunesinde ise donatı planı farklıdır. AN8 numunesinde kolonun genişleyen kısmına soket donatısı gibi donatı yerleştirilmiş kolonun üst kısmından gelen boyuna donatılar düz bir şekilde aşağı inmiştir. Oluşturulan soket donatıları ise boyuna donatılara çiroz yardımıyla bağlanmıştır. KN1, KN2, AN4, AN6 ve AN8 numunelerinin genel özellikleri Çizelge 4.28’de verilmiştir.

Çizelge 4.28. KN1, KN2, AN4, AN6 ve AN8 numunelerinin genel özellikleri

Numune Adı	Kesit Boyutları (cm)	Yükseklik (Temel Dahil)(cm)	Beton Sınıfı	Donatı Sınıfı	Temel-Kolon Bağlantı Tipi	Öngerilme Miktarı (kN)	Ankraj Boşluklarının Özellikleri
KN1	20/30	217.5	C30	B420C	Monolitik	-	-
KN2	20/30	217.5	C30	B420C	Soketli	-	-
AN4	20/30	217.5	C30	B420C	Ankrajlı	-	Dişli
AN6	20/30	217.5	C30	B420C	Ankrajlı	-	Dişsiz
AN8	20/30	217.5	C30	B420C	Ankrajlı	-	Dişsiz

KN1, KN2, AN4, AN6 ve AN8 numunelerinin dayanım zarfı Şekil 4.100’de verilmiştir. KN1, KN2, AN4, AN6 ve AN8 numunelerinin itme çevriminde ulaştığı maksimum yatay yük sırasıyla 35.27 kN, 54.31 kN, 23.99 kN, 24.37 kN ve 53.86 kN’dur. KN1, KN2, AN4, AN6 ve AN8 numunelerinin çekme çevriminde ulaştığı maksimum yatay yük sırasıyla 31.83 kN, 48.20 kN, 22.34 kN, 24.88 kN ve 54.01 kN’dur. KN1 numunesine göre KN2 numunesinin itme çevriminde %54, çekme çevriminde ise %51.4 daha fazla yük taşıdığı görülmektedir. KN1 numunesine göre AN4 numunesinin itme çevriminde %32, çekme çevriminde ise %29.8 daha az yük taşıdığı görülmektedir. KN1 numunesine göre AN6 numunesinin itme çevriminde %30.9, çekme çevriminde ise %21.8 daha az yük taşıdığı görülmektedir. KN1 numunesine göre AN8 numunesinin itme çevriminde %52.7, çekme çevriminde ise %69.7 daha fazla yük taşıdığı görülmektedir.

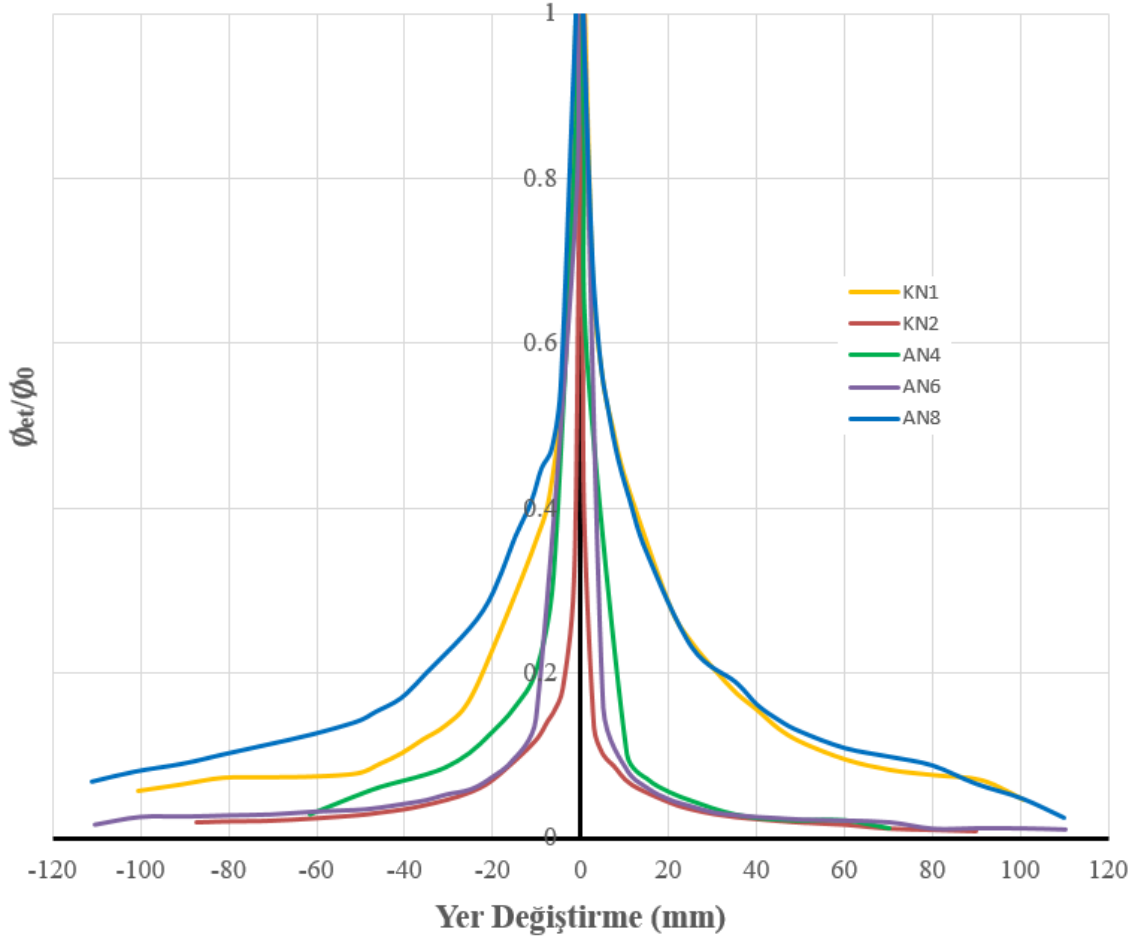
AN8 numunesinde uygulanan donatı düzeni ile KN1 numunesinden %50-70 civarında bir yük artışı sağlanırken KN2 numunesine göre itme çevriminde yaklaşık aynı sonuçlar elde edilirken, çekme çevriminde AN8 numunesi %12.1 daha fazla yük taşımıştır. AN4 ve AN6 numunelerinde boyuna donatıda yapılan pilyeler betonda çekme gerilmelerine yol açarak hasarın erken oluşmasına ve yük kaybına neden olmuştur. AN8 numunesinde bu durum önlenerek önerilen bağlantının referans numunelerden daha fazla yük taşıdığı görülmüştür.



Şekil 4.100. KN1, KN2, AN4, AN6 ve AN8 numunelerinin dayanım zarfı

KN1, KN2, AN4, AN6 ve AN8 numunelerine ait rijitlik azalması grafiği Şekil 4.101'de verilmiştir. AN4 ve AN6 numunelerinde artan yer değiştirmelere rağmen yatay yükte meydana gelen artışın kısıtlı olması numunelerdeki etkili rijitliğin düşük olmasına neden olmuştur. KN2 numunesinde ise sokette oluşan hasarların yük taşıma kapasitesinde ani düşüğe neden olması etkili rijitlikte azalmalara neden olmuştur. KN2, AN4 ve AN6 numunelerinde pozitif çevrimlerde 10 mm yer değiştirmeye kadar, negatif çevrimlerde ise 20 mm yer değiştirmeye kadar rijitlikteki bozulma hızlı düşüş eğilimi göstermiştir. Bağlantı bölgesinde oluşan hasarlar sonrasında ise rijitlikteki bozulma hızı azalmıştır.

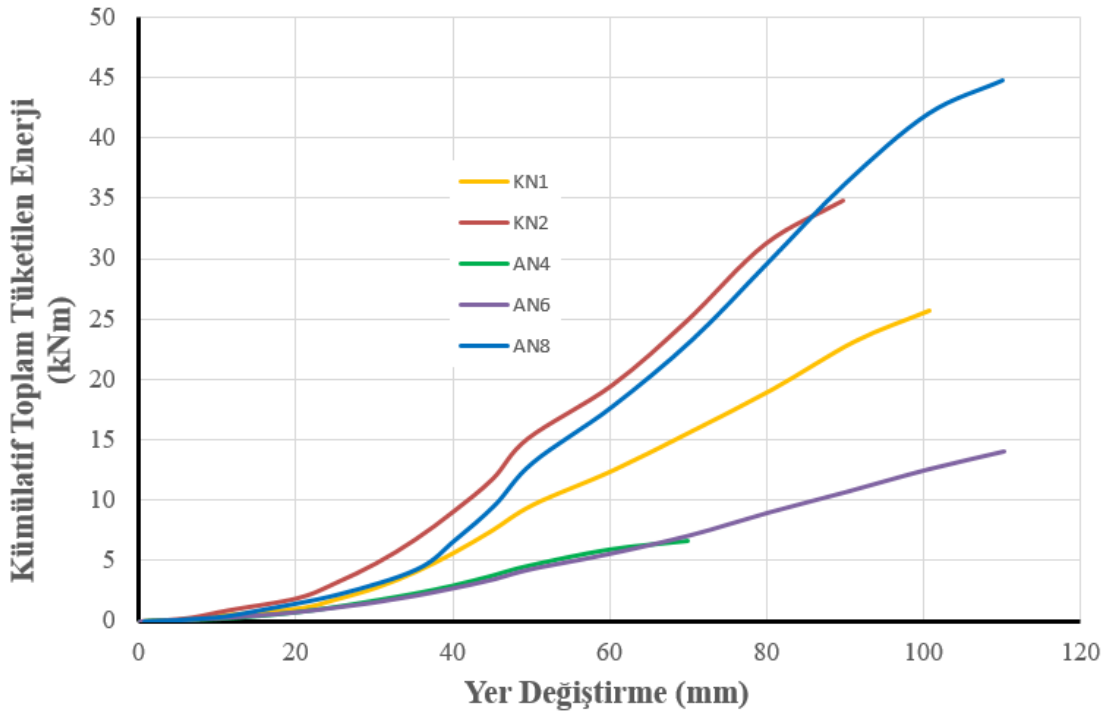
AN8 numunesi monolitik referans numunesi olan KN1 numunesine benzer bir davranış göstererek rijitliğini daha yavaş kaybetmiştir. Özellikle hem pozitif hem de negatif çevrimlerde 40 mm yer değiştirmeye kadar rijitlik hala korunmaktadır. Her ne kadar hızlı bir azalma bu numunelerde de gözlenmiş olsa da diğer numunelere kıyasla rijitlikte bozulma hızı daha yavaş olmuştur. 40 mm yer değiştirme seviyesinden sonra ise bağlantı bölgelerinde oluşan hasarlardan dolayı rijitlikte azalma hızı azalmıştır.



Şekil 4.101. KN1, KN2, AN4, AN6 ve AN8 numunelerinin rijitlik azalması grafiği

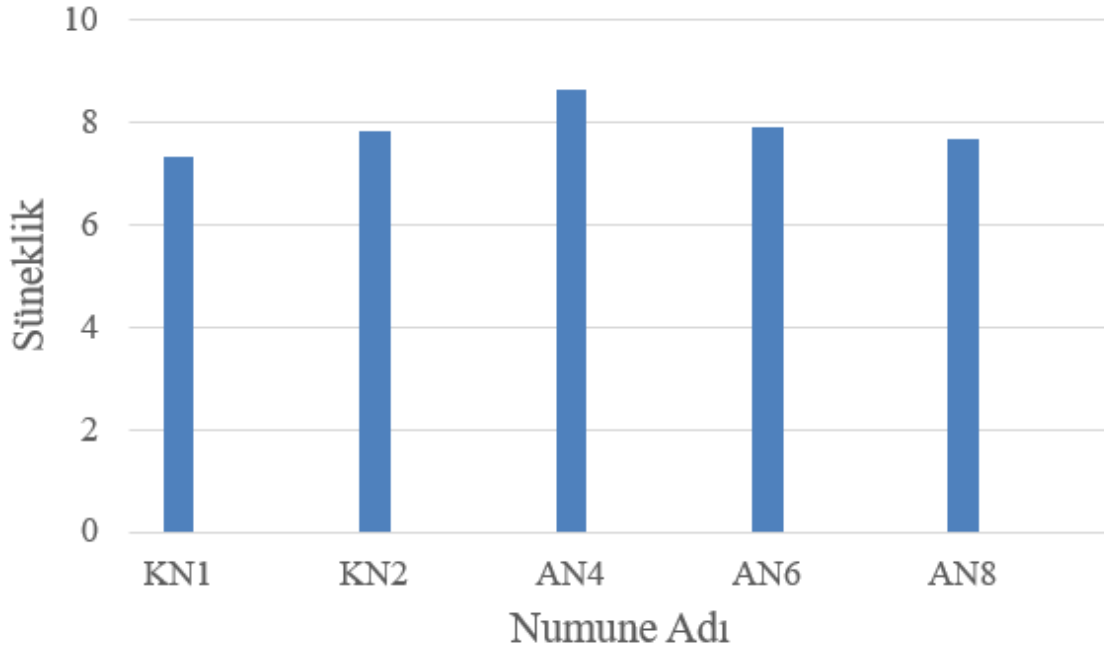
KN1, KN2, AN4, AN6 ve AN8 numunelerine ait kümülatif toplam tüketilen enerji grafiği Şekil 4.102'de verilmiştir. KN1, KN2, AN4, AN6 ve AN8 numunelerinin enerji tüketme kapasiteleri sırasıyla 25.71, 34.82, 6.64, 14.08 ve 44.71 kN.m'dir. KN1 numunesine göre KN2 numunesinin %35.4 daha fazla, AN4 numunesinin %74.2 daha az, AN6 numunesinin %45.2 daha az, AN8 numunesinin %73.9 daha fazla enerji tükettiği görülmektedir. AN8 numunesinin KN2 numunesinden %28.4 daha fazla enerji tükettiği görülmektedir. AN4 ve AN6 numunelerinde bağlantı noktasında hasar oluşumunun

düşük yanal ötelenme seviyelerinde gerçekleşmesi nedeniyle yük taşıma kapasitesinde önemli düşüşler yaşanmış bundan dolayı da çevrimlerde yükleme ve boşaltma eğrileri arasındaki alan azalmıştır. Sonuç olarak enerji sönümlenme kapasiteleri önemli ölçüde düşük çıkmıştır. AN8 numunesinde ise KN1 ve KN2 numunelerine kıyasla enerji sönümlenme kapasitesinde artışlar görülmüştür. Bağlantı bölgesinde oluşan hasarın ileri yer değiştirme seviyelerinde gerçekleşmesi enerji sönümlenme kapasitesinde ciddi artışa neden olmuştur.



Şekil 4.102. KN1, KN2, AN4, AN6 ve AN8 numunelerinin kümülatif toplam tüketilen enerji grafiği

KN1, KN2, AN4, AN6 ve AN8 numunelerine ait süneklik grafiği Şekil 4.103'te verilmiştir. Boşluklarda dış açılmayan AN4 numunesi referans numunelerine göre daha sünek bir davranış sergilerken, AN6 ve AN8 numunelerinin sünekliği referans numunelere benzer çıkmıştır.



Şekil 4.103. KN1, KN2, AN4, AN6 ve AN8 numunelerinin süneklik grafiği

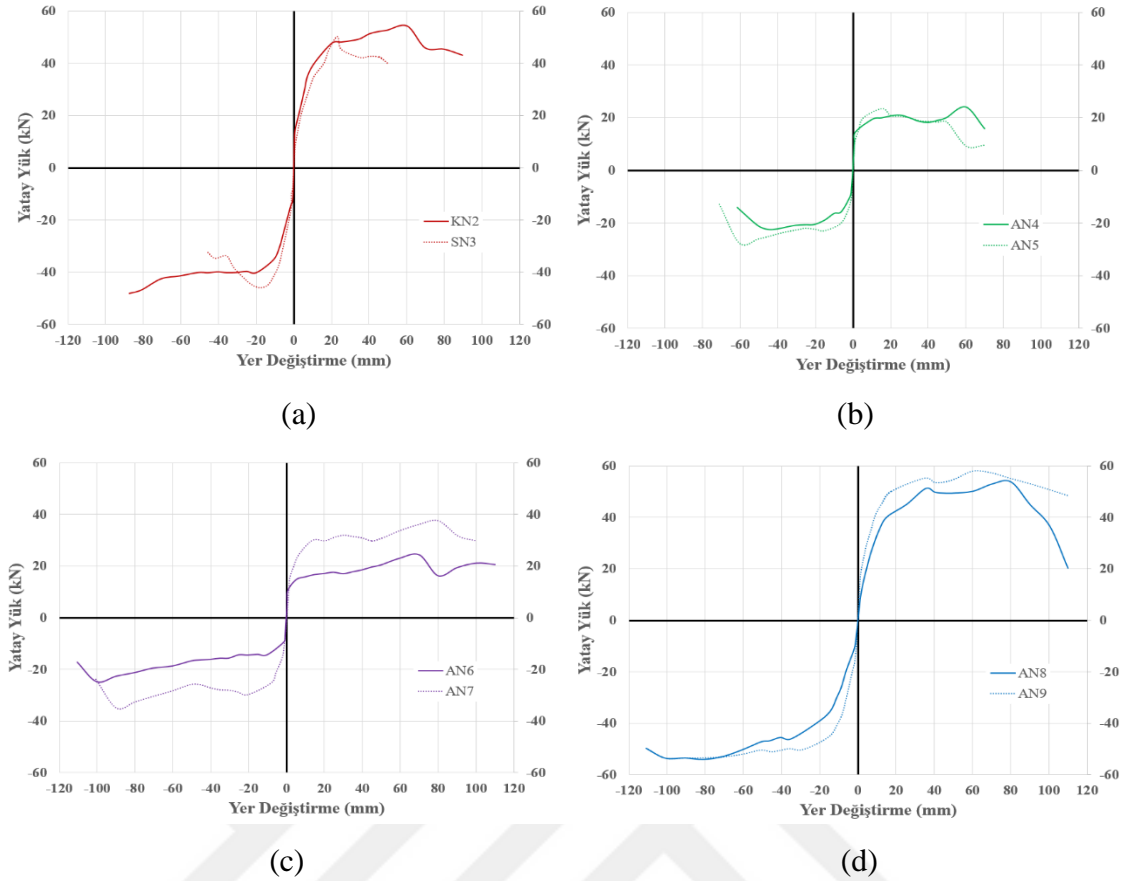
4.2.2. Öngerilmenin numunelerde etkisinin karşılaştırılması

Kolonların davranışında üzerinde bulunan eksenel yükün önemli bir etkisi bulunmaktadır. Bu nedenle bir elemanın kolon olarak tanımlanabilmesi ve boyutlandırılarak donatılabilmesi için eksenel yük taşıma kapasitesinin en az %10'u kadar üzerinde eksenel yük olması gerekmektedir (TS-500, 2000). Özellikle deneysel çalışmalarda kolon üzerine eksenel yük uygulanması çok zahmetli bir iş olmaktadır. Yatay yüke maruz bırakılan kolonlarda, kolonların üst kısmının yer değiştirme yapması statik olarak eksenel yük yüklenmesine engel olmaktadır. Bu nedenle bu çalışma da, kolonlara eksenel yükün öngerilme ile verilmesinin sonuçları incelenmiştir. Öngerilmeli ve öngerilmesiz numune çiftleri KN2, SN3, AN4, AN5, AN6, AN7, AN8 ve AN9 numuneleridir. Eğilme etkisi altındaki elemanlarda normal kuvvetin artması moment taşıma kapasitesini artırırken, sünekliğe olumsuz etki yapmaktadır. Öngerilmeli elemanlarda, öngerilmenin normal kuvvete alternatif oluşturması için bu özellikler incelenmiştir. Numunelerin genel özellikleri Çizelge 4.29'da verilmiştir.

Çizelge 4.29. KN2, SN3, AN4, AN5, AN6, AN7, AN8 ve AN9 numunelerinin genel özellikleri

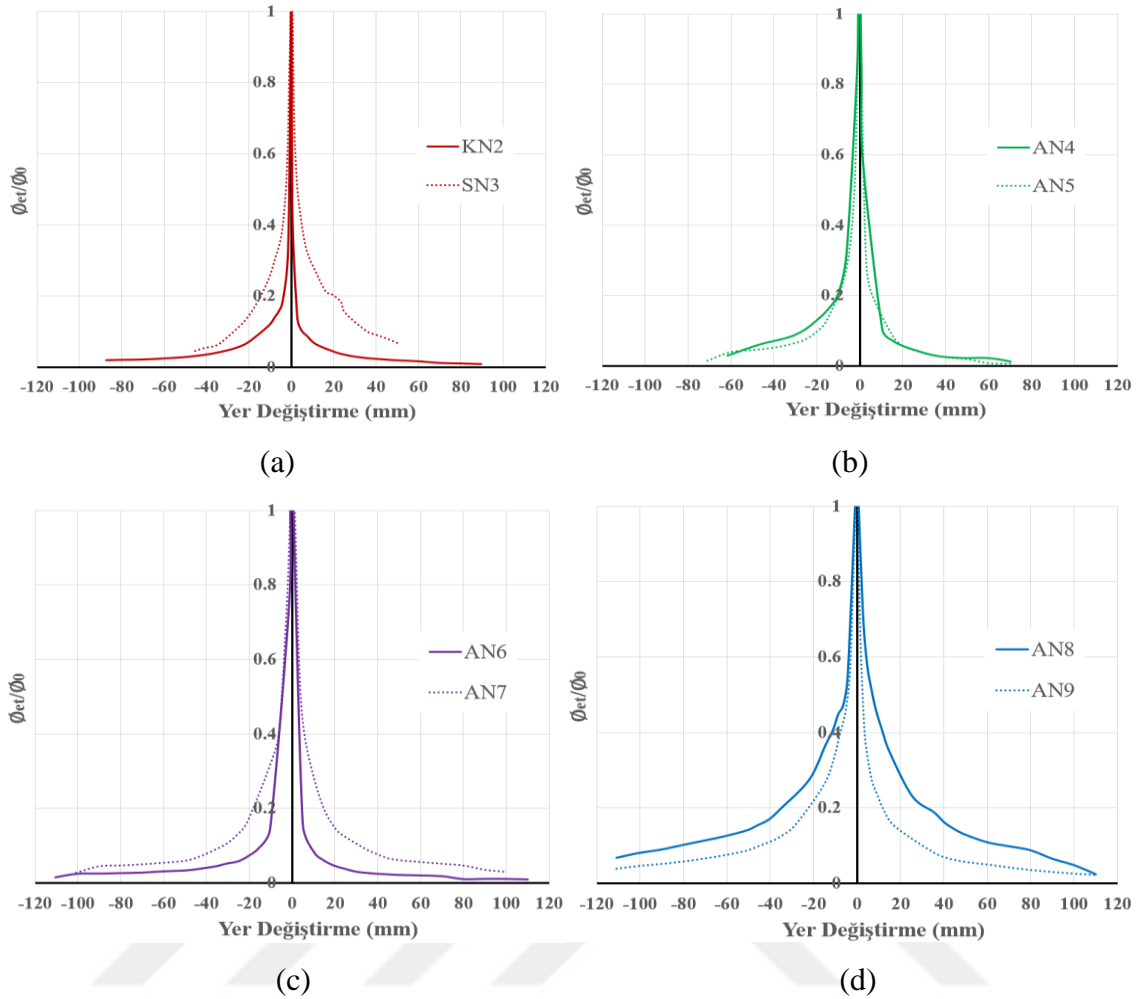
Numune Adı	Kesit Boyutları (cm)	Yükseklik (Temel Dahil)(cm)	Beton Sınıfı	Donatı Sınıfı	Temel-Kolon Bağlantı Tipi	Öngerilme Miktarı (kN)	Ankraj Boşluklarının Özellikleri
KN2	20/30	217.5	C30	B420C	Soketli	-	-
SN3	20/30	217.5	C30	B420C	Soketli	180	-
AN4	20/30	217.5	C30	B420C	Ankrajlı	-	Dişli
AN5	20/30	217.5	C30	B420C	Ankrajlı	180	Dişli
AN6	20/30	217.5	C30	B420C	Ankrajlı	-	Dişsiz
AN7	20/30	217.5	C30	B420C	Ankrajlı	180	Dişsiz
AN8	20/30	217.5	C30	B420C	Ankrajlı	-	Dişsiz
AN9	20/30	217.5	C30	B420C	Ankrajlı	180	Dişsiz

KN2, SN3, AN4, AN5, AN6, AN7, AN8 ve AN9 numunelerinin dayanım zarfı Şekil 4.104'de verilmiştir. KN2 ve SN3 numunelerinde itme çevriminde maksimum yatay yük sırasıyla 54.31 kN ve 50.33 kN, çekme çevriminde maksimum yatay yük ise sırasıyla 48.20 kN ve 45.37 kN'dur. Görüldüğü gibi yatay yük taşıma kapasitesinde öngerilmenin olumlu bir etkisi görülmemiştir. AN4 ve AN5 numunelerinde itme çevriminde maksimum yatay yük sırasıyla 23.99 kN ve 23.58 kN, çekme çevriminde maksimum yatay yük ise sırasıyla 22.34 kN ve 27.75 kN'dur. Uygulanan öngerilme çekme çevrimlerinde yatay yük taşıma kapasitesini artırırken itme çevrimlerinde etki görülmemiştir. AN6 ve AN7 numunelerinde itme çevriminde maksimum yatay yük sırasıyla 24.37 kN ve 37.62 kN, çekme çevriminde maksimum yatay yük ise sırasıyla 24.88 kN ve 35.09 kN'dur. AN7 numunesine uygulanan öngerilme itme ve çekme çevrimlerinde etkisini göstererek yatay yük taşıma kapasitesini artırmıştır. AN8 ve AN9 numunelerinde itme çevriminde maksimum yatay yük sırasıyla 53.86 kN ve 58.14 kN, çekme çevriminde maksimum yatay yük ise sırasıyla 54.01 kN ve 53.48 kN'dur. İtme çevriminde öngerilme etkisi ile yatay yük taşıma kapasitesinde artış görülürken çekme çevrimlerinde öngerilmenin etkisinin olmadığı gözlenmiştir. Öngerilmenin numunelerin bazılarında olumlu katkısı olurken bazılarında etkisi gözlenmemiştir. Bu durum öngerilme halatının kolonun alt ve üst ucundan bir plaka ile sabitlenmemesinden kaynaklanıyor olabilir. Öngerilme halatına verilen yükün betona aktarılabilmesi beton yüzeyi ile halat yüzeyi arasındaki aderans ile sağlanmaktadır. Halat sabitlenmediği için halatta artan yükler altında sıyrılmalar oluşmuş olabilir.



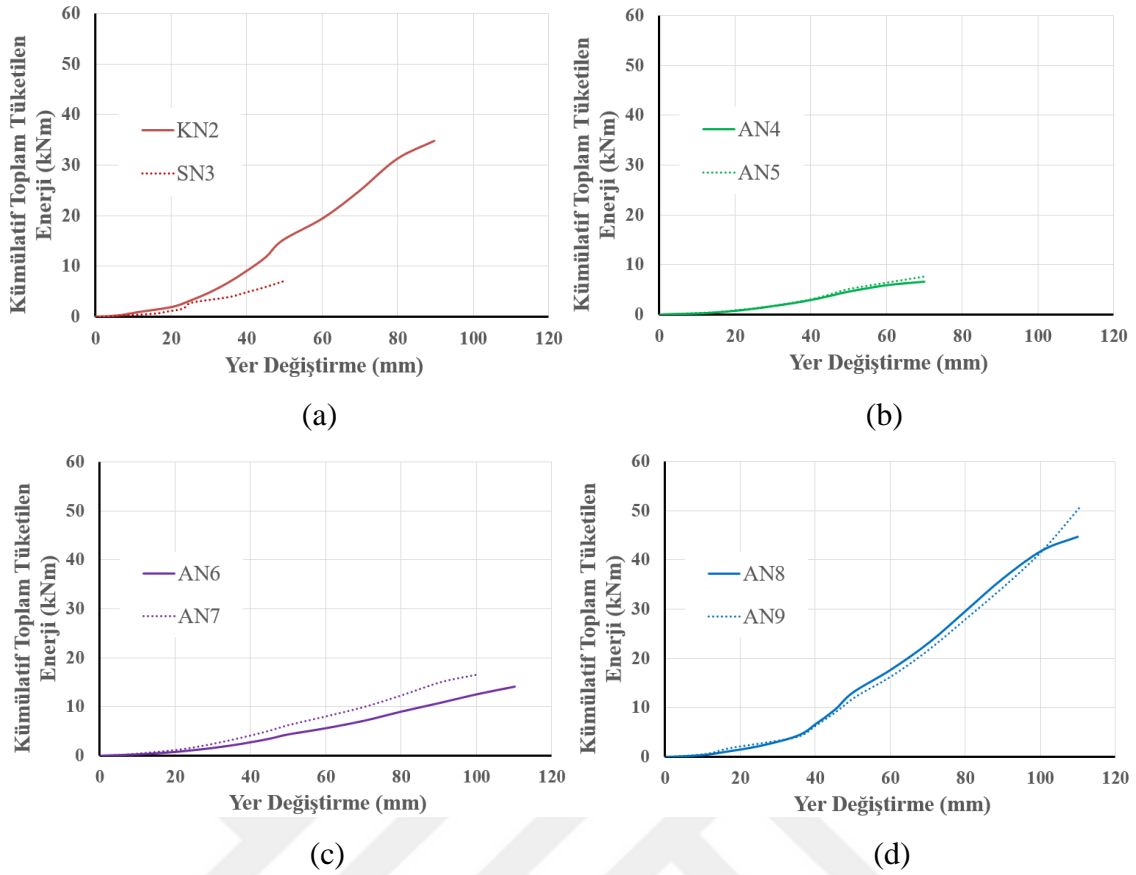
Şekil 4.104. Numunelerin dayanım zarfı eğrileri; (a) KN2-SN3, (b) AN4-AN5, (c) AN6-AN7, (d) AN8-AN9.

KN2, SN3, AN4, AN5, AN6, AN7, AN8 ve AN9 numunelerine ait rijitlik azalması grafiği Şekil 4.105’de verilmiştir. Öngerilme etkisi ile rijitlik azalım arasında önemli bir ilişki bulunamamıştır. Numunelerin öngerilmeli olmaları rijitlik azalımını öngerilmemiş numunelere göre değiştirmiştir. Ancak değişim her bir numune çiftinde farklı yöne doğru olmuştur. KN2 numunesine göre SN3 numunesinin rijitlik azalım hızı azalmış, AN4 numunesi ve AN5 numunesi arasında farklılık oluşmamış, AN6 numunesine göre AN7 numunesinde rijitlik azalım hızı azalmış, AN8 numunesine göre AN9 numunesinde rijitlik azalım hızı artmıştır. Görüldüğü gibi benzer davranışlar elde edilememiştir. Özellikle rijitlik azalımında bağlantı bölgesinde hasar oluşumuna kadar olan süreç çok etkilendiğinden sonuçlar bu şekilde elde edilmiştir. Bağlantı bölgesinde erken hasar oluşumu öngerilme etkisini göremeden numunelerde rijitlik kayıplarını hızlıca oluşmasına neden olmuştur.



Şekil 4.105. Numunelerin rijitlik azalması grafikleri; (a) KN2-SN3, (b) AN4-AN5, (c) AN6-AN7, (d) AN8-AN9.

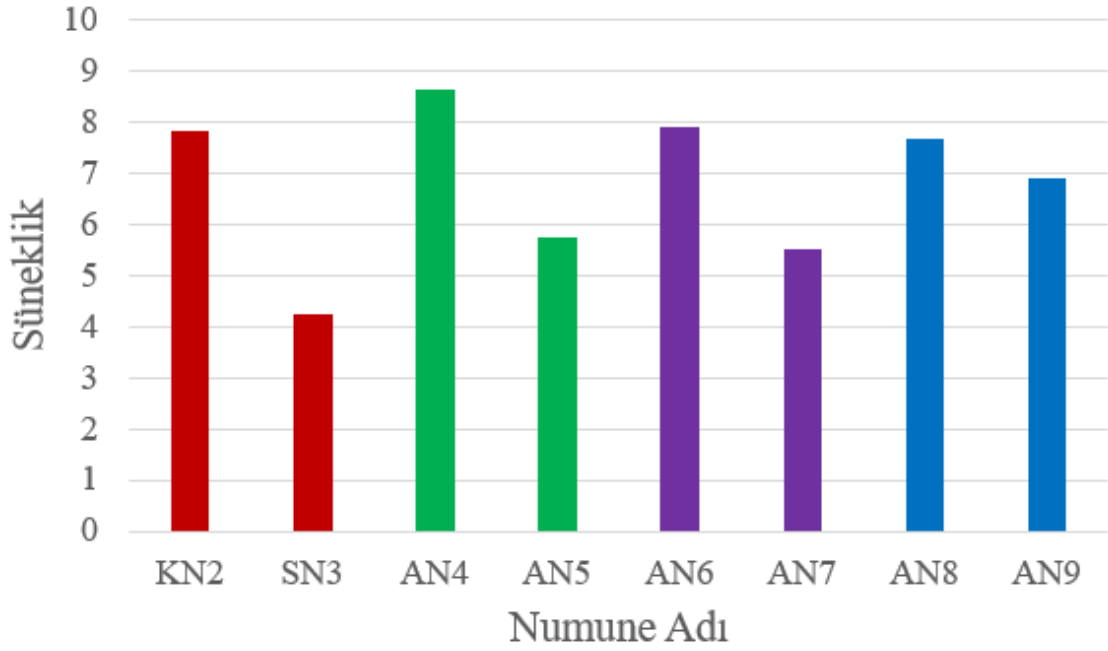
KN2, SN3, AN4, AN5, AN6, AN7, AN8 ve AN9 numunelerine ait kümülatif toplam tüketilen enerji grafiği Şekil 4.106'da verilmiştir. Öngerilme etkisi ile SN3 numunesinde enerji sönümlenme kapasitesi azalmıştır. Diğer numunelerde ise öngerilmenin önemli bir etkisi olmamıştır. Öngerilme etkisinin daha iyi anlaşılabilmesi için farklı öngerilme seviyelerinde ve farklı uygulama yöntemleri ile deneylerin yapılması gerekmektedir.



Şekil 4.106. Numunelerin kümülatif toplam tüketilen enerji grafikleri; (a) KN2-SN3, (b) AN4-AN5, (c) AN6-AN7, (d) AN8-AN9.

KN2, SN3, AN4, AN5, AN6, AN7, AN8 ve AN9 numunelerine ait süneklik grafiği Şekil 4.107’de verilmiştir. Bağlantı türüne bağlı olarak AN8 numunesi KN1 ve KN2 ile benzer davranışlar göstermiştir. Burada öngerilmenin etkisi ile numunelerde sünekliğin azaldığı görülmektedir. Normal kuvvete maruz elemanlarda sünekliğin azalması beklenen bir durumdur. Bu durumda öngerilmenin normal kuvvete benzer bir davranış gösterdiği söylenebilir.

Öngerilme etkisi ile numunelerde moment taşıma kapasitesinde artış süneklikte azalış beklenmektedir. Bu bölümde verilen grafikler incelendiğinde genel olarak numune çiftlerinde öngerilmeli numunelerin daha fazla yatay yük taşıdığı, yani moment taşıma kapasitelerinin arttığı, sünekliklerinin ise azaldığı görülmektedir.



Şekil 4.107. KN2, SN3, AN4, AN5, AN6, AN7, AN8 ve AN9 numunelerinin süneklik grafiği

4.2.3. Ankraj Boşluklarındaki dişlerin numunelerin davranışına etkisinin karşılaştırılması

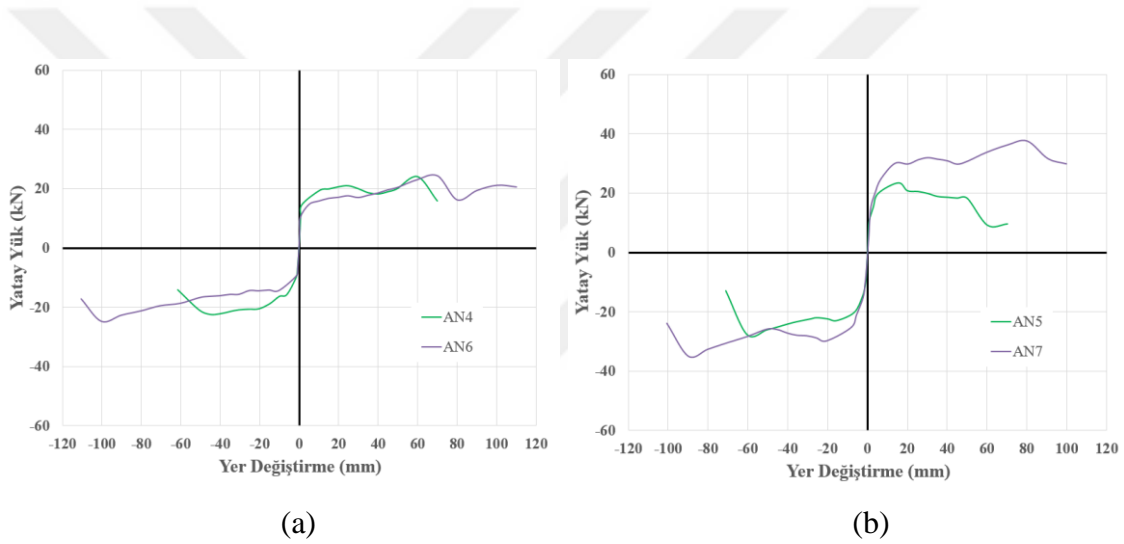
Önerilen bağlantı türünde ankraj boşluklarına doldurulacak bağlantı betonu ile boşluk iç yüzeyinde aderansı artırmak amacıyla boşluğu açmak için kullanılan aparatın yüzeyine dişler açılmıştır. Açılan dişlerin etkisini görmek için dişsiz aparat ile numuneler hazırlanmıştır. AN4, AN5, AN6 ve AN7 numuneleri dişli ve dişsiz aparatlar ile oluşturulmuş numunelerdir. Bu numunelerin genel özellikleri Çizelge 4.30'da verilmiştir.

Çizelge 4.30. Numune genel özellikleri

Numune Adı	Kesit Boyutları (cm)	Yükseklik (Temel Dahil)(cm)	Beton Sınıfı	Donatı Sınıfı	Temel-Kolon Bağlantı Tipi	Öngerilme Miktarı (kN)	Ankraj Boşluklarının Özellikleri
AN4	20/30	217.5	C30	B420C	Ankrajlı	-	Dişli
AN5	20/30	217.5	C30	B420C	Ankrajlı	180	Dişli
AN6	20/30	217.5	C30	B420C	Ankrajlı	-	Dişsiz
AN7	20/30	217.5	C30	B420C	Ankrajlı	180	Dişsiz

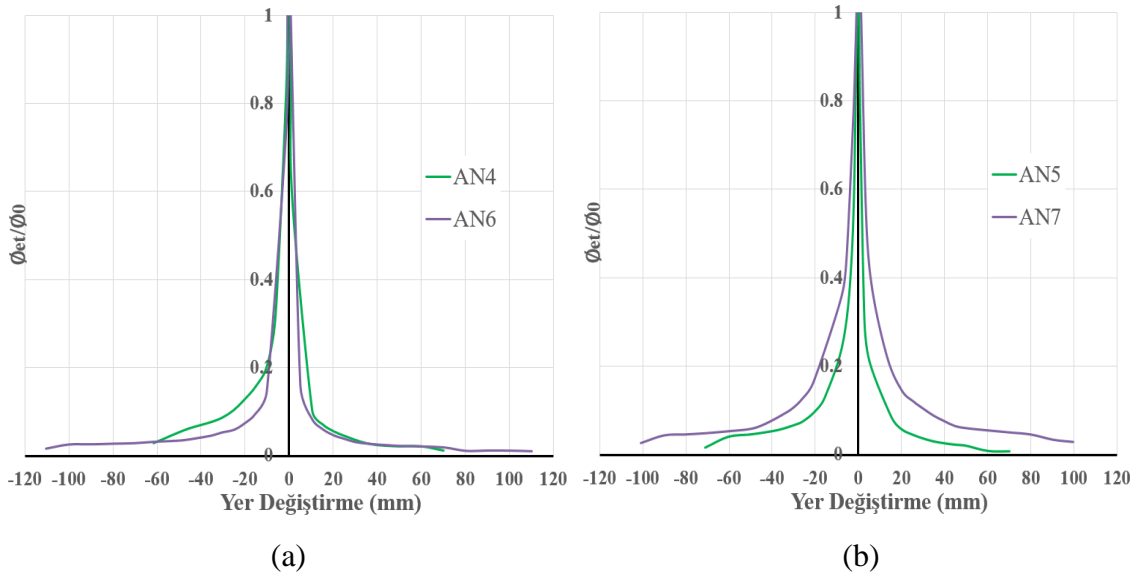
AN4, AN5, AN6 ve AN7 numunelerinin dayanım zarfı Şekil 4.108'de verilmiştir. AN4, AN5, AN6 ve AN7 numunelerinin itme çevriminde ulaştığı maksimum yatay yük

sırasıyla 23.99 kN, 23.58 kN, 24.37 kN ve 37.62 kN'dur. AN4, AN5, AN6 ve AN7 numunelerinin çekme çevriminde ulaştığı maksimum yatay yük sırasıyla 22.34 kN, 27.75 kN, 24.88 kN ve 35.09 kN'dur. AN4 numunesine göre AN6 numunesi itme çevriminde %1.6, çekme çevriminde ise %11.4 daha fazla yük taşımıştır. AN5 numunesine göre AN7 numunesi itme çevriminde %59.5, çekme çevriminde ise %26.5 daha fazla yük taşımıştır. Oluşturulan dişli aparatta diş derinliği ve adım genişliğinin ölçekten dolayı küçük seçilmesi dişler üzerinde oluşan kesme kuvvetleri için yetersiz kalmıştır. Dişsiz boşlukta tam yüzey olarak bir aderans sağlanırken dişli boşluklarda dişin kırılması sonucu aderans yüzeyi azalmaktadır. Bu nedenle dişsiz aparatlarda yük taşıma kapasitesinde artışlar görülmüştür. AN7 numunesinde ise öngerilmenin etkisi ile aradaki fark çok daha fazla çıkmıştır.



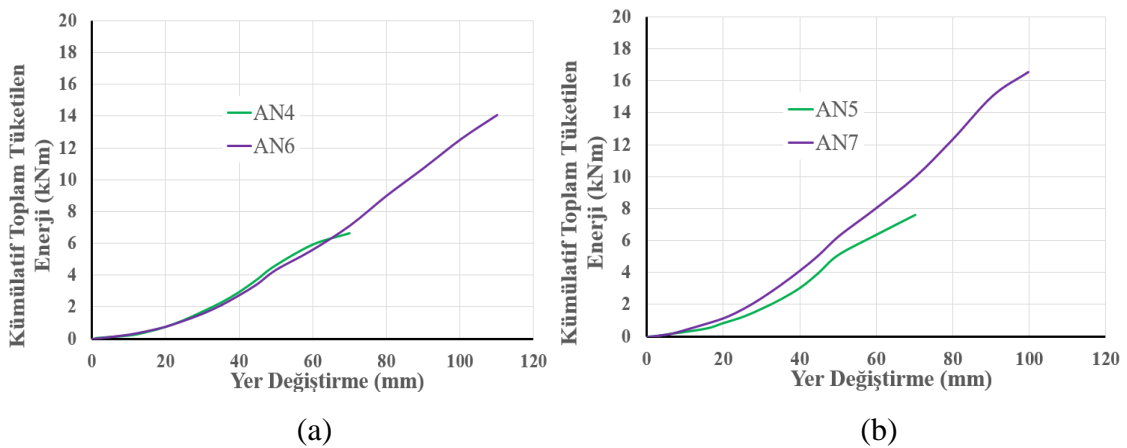
Şekil 4.108. Numunelerin dayanım zarfı; (a) AN4-AN6, (b) AN5-AN7.

AN4, AN5, AN6 ve AN7 numunelerine ait rijitlik azalması grafiği Şekil 4.109'da verilmiştir. Şekilden anlaşılacağı gibi bağlantı boşluklarının yüzeyinde oluşturulan dişler numunelerin rijitlik azalım hızına önemli bir etki göstermemiştir. Burada oluşturulan dişlerin derinliği ve kalınlığının yetersiz kalması önemli bir etken olmuştur. Gerçek boyutlu bir numunede dişlerin derinliğinin ve adım aralığının artırılması mümkün olacaktır.



Şekil 4.109. Numunelerin rijitlik azalım grafikleri; (a) AN4-AN6, (b) AN5-AN7.

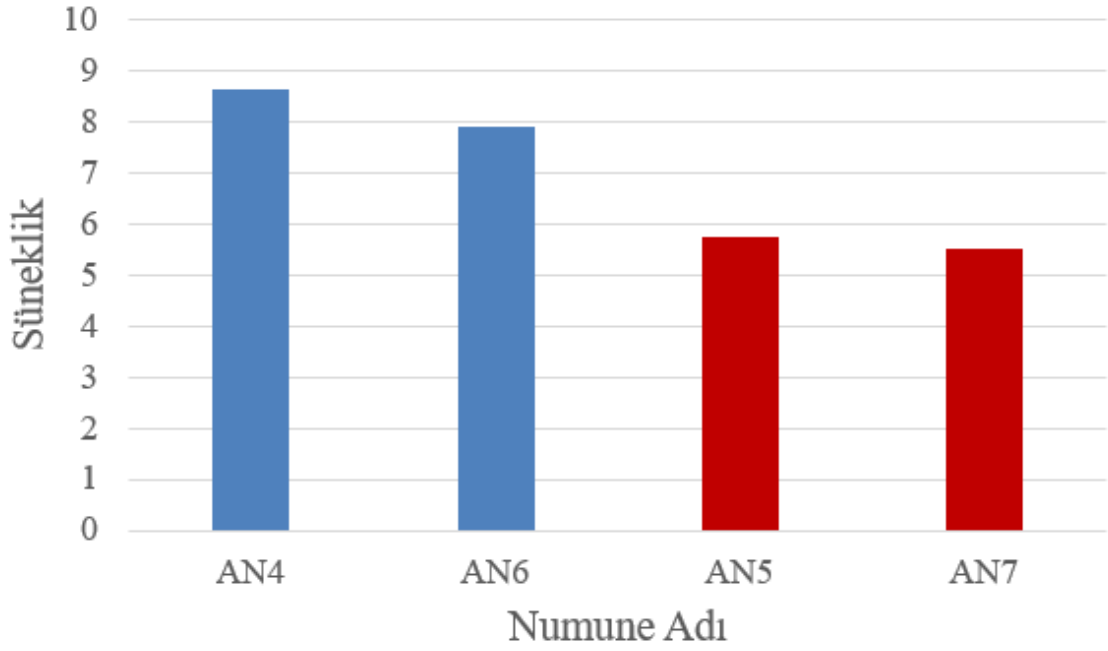
AN4, AN5, AN6 ve AN7 numunelerine ait kümülatif toplam tüketilen enerji grafiği Şekil 4.110'da verilmiştir. AN4, AN5, AN6 ve AN7 numunelerinin enerji tüketme kapasiteleri sırasıyla 9.94, 7.60, 12.58 ve 17.57 kN.m'dir. AN4 numunesine göre AN6 numunesinin %26.56, AN5 numunesine göre AN7 numunesinin %131.18 daha fazla enerji tükettiği görülmektedir. Boşluk yapısındaki dişlerin kırılması sonucu aderansın dişsiz boşluğa göre daha çok düşmesi numunelerde enerji tüketme kapasitesinde azalmaya neden olmuştur.



Şekil 4.110. Numunelerin kümülatif toplam tüketilen enerji grafikleri; (a) AN4-AN6, (b) AN5-AN7.

AN4, AN5, AN6 ve AN7 numunelerine ait süneklik grafiği Şekil 4.111'de verilmiştir. Boşluklarda dişlerin kesmeye çalışan kesit alanının diş derinliği ve adım

aralığının küçük olmasına bağlı olarak azalması, dişlere etki eden kesme kuvvetleri sonucu dişlerde kırılmalara neden olmuştur. Bundan dolayı dişsiz numunelerdeki aderans yüzey alanı, dişli numunelerden daha fazla olmuştur. Yüzey alanının fazla olması ise her yönüyle numuneyi iyi yönde etkilemiştir. Süneklik değerlerinde ise dişli numunelerin daha sünek bir davranış sergilediği görülmüştür.



Şekil 4.111. AN4, AN5, AN6 ve AN7 numunelerinin süneklik grafiği

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, geleneksel soketli temel-kolon birleşimine alternatif olabilecek bir temel-kolon bağlantı türü önerilmiştir. Önerilen bağlantı türünü boşluklarda dış oluşturulması ve farklı donatı düzenleri uygulanarak birçok farklı yönden incelenmiştir. Ayrıca deneysel çalışmalarda kolonlara eksenel yük yüklemenin zahmetini ortadan kaldıracak bir çalışma olarak kolonlara önerilme uygulanarak eksenel yük etkisinin elde edilmesi amaçlanmıştır. Sonuçların karşılaştırılabilmesi için boyutları ve donatı oranları numuneler ile aynı olan monolitik bağlantılı ve geleneksel soketli bağlantılı numuneler üretilmiştir. Çalışma kapsamında hazırlanan numuneler tersinir tekrarlanır yatay yük etkisi altında incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar “5.1. Sonuçlar” bölümünde verilmiştir.

5.1. Sonuçlar

Tez çalışması kapsamında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Önerilen bağlantı türlerinden AN4, AN5, AN6 ve AN7 numunelerinde boyuna donatı kolonun genişlediği kısımda dışarıya doğru pilye ile bükülmüştür. Bu durum kolonun maruz kaldığı yatay yükün etkisi ile çekme kuvveti oluşan kısımlarda donatıda oluşan çekme gerilmeleri ile yüzeyindeki kabuk betonda hasara neden olmuştur. Kabuk betonda hasar oluşması sonucu yük taşıma kapasitesi önemli derecede düşerek kolonun göçme durumuna çok erken ulaşmasına neden olmuştur. Kolonun üst kısmında neredeyse hasar oluşmadan göçme durumuna ulaşılmıştır.
- Boyuna donatıda yapılan pilyeler üretim aşamasında da önemli zorluklar oluşturmakta hızlı üretim gerektiren prefabrike sektörüne uygun görünmemektedir.
- Boyuna donatıda yapılan pilyeler nedeniyle donatıya bir başlangıç hasarı verilmiştir. Bu da donatıların çok daha düşük çekme gerilmelerinde kopmasına neden olmuştur.
- Özellikle yerinde dökme betonarme yapılarda katlarda bırakılan filizler üzerine bir sonraki katta kalıp kurulurken filizlerin aks dışına taşıdığı durumlarda filizlerin bükülerek kalıp içine alınması çok tehlikeli bir durum oluşturmaktadır.

Çalışmadan anlaşılmaktadır ki, bu durumlarda kolon tasarım kuvvetlerine ulaşmadan çok daha düşük yük etkilerinde göçme durumuna ulaşabilmektedir.

- Önerilen bağlantı türünde kolonda açılan boşluklarda yapılan dişler boyutlarının çok küçük olması nedeniyle etkili olmamıştır. Aksine dişlerin kırılması nedeniyle aderans yüzey alanı azaldığı için negatif etki oluşturmuştur.
- AN8 numunesinde, boyuna donatı kolon tabanına kadar doğrusal uzatılmış ve boşluklar etrafına soket donatısına benzer bir donatı yerleştirilmiştir. Bu durum numunenin davranışını olumlu yönde etkileyerek KN2 numunesine göre daha iyi sonuçlar elde edilmesini sağlamıştır.
- Öngerilmeli olarak üretilen bazı numunelerde öngerilme etkisi olumlu sonuç verirken bazılarında sonuçlar olumsuz olmuştur. Bu da öngerilme halatının sıyrılması ihtimalinden kaynaklanmaktadır.
- Önerilen bağlantı türlerinde başlangıç rijitlikleri referans numunelerinin altında kalmıştır. Bu durum önerilen bağlantı türü ile üretilen numunelerde genişleyen kısımda kalınlığın 7.5 cm, KN2 numunesinde soket kalınlığının ise 12.5 cm olmasından kaynaklanmaktadır. KN2 numunesinde temele oturan yüzeyde uzun kenar 60 cm iken, diğer numunelerde bu uzunluk 45 cm'dir. Bu nedenle başlangıç rijitliği daha yüksek çıkmaktadır. 7.5 cm kalınlık yük taşıma kapasitesi düşünülerek hesaplanmış ve üretim buna uygun yapılmıştır. Kalınlıkta artış ile aynı rijitliğin yakalanması mümkün görünmektedir.
- AN8 numunesi yatay yük taşıma kapasitesi, enerji sönümleme kapasitesi, süneklik değerlerinde referans numunesi olan KN1 ve KN2 numunelerine benzer ya da daha iyi sonuçlar göstermiştir.
- AN8 numunesi yük taşıma kapasitesinde KN1 numunesine göre itme çevrimlerinde %52.7, çekme çevrimlerinde ise %69.7 daha fazla yük taşımıştır. Monolitik bağlantıya göre daha fazla yük taşıyarak güvenliğin ön planda olduğu bir davranış sergilemiştir.
- AN8 numunesi KN2 numunesine göre itme çevrimlerinde yaklaşık aynı yükü taşıırken çekme çevrimlerinde ise %12.1 daha fazla yük taşımıştır. Çalışmanın esas amacı soketli birleşime alternatif bir bağlantı türü oluşturmaktır. Taşıma gücü adına soketli birleşimden daha fazla yük taşıma kapasitesine sahip bir bağlantı türü elde edilmiştir.
- AN8 numunesi rijitlik bozulması yönünden KN2 numunesinden daha iyi bir davranış göstermiştir. KN1 numunesi ile benzer sonuçlar elde edilmiştir. Özellikle

40 mm yer değiştirme seviyesine kadar rijitlik belirli bir oranda korunmuştur. KN2 numunesinde 10 mm yer değiştirme sonrasında rijitlikte çok fazla kayıp oluşmuştur.

- Enerji sönümleme kapasitesi yönünden AN8 numunesi KN1 ve KN2 numunelerine göre sırasıyla %73.9 ve %28.4 daha fazla enerji sönümlemiştir. AN8 numunesinde bağlantı bölgesindeki hasarların ileri yer değiştirme seviyelerinde oluşması enerji sönümleme kapasitesini artırmıştır.
- AN8 numunesi genel olarak sünek bir davranış sergilemiştir. KN1 ve KN2 numunelerine göre benzer süneklik değerleri elde edilmiştir.
- AN8 numunesinde kullanılan bağlantı türü ile referans numunelerden daha fazla yük taşınmış ve daha fazla enerji tüketilmiştir. Bu durum önerilen bağlantının uygun olduğunu ve kullanılabilir olduğunu göstermektedir.
- Bu bağlantı sayesinde geleneksel soketli bağlantıda karşılaşılan birçok sorunun çözümü sağlanmış olacaktır.
- Geleneksel soketli bağlantıda temel dökümü yapılıp temel priz aldıktan sonra soket için kalıp kurularak soket dökümü yapılmaktadır. Soketin priz alması içinde bekleme süresi ortaya çıkmaktadır. Önerilen bağlantı ile soket üretimi ortadan kaldırılarak temel priz süresi sonrasında kolon montajı yapılabilir.
- Geleneksel soketli bağlantı da soket içerisinde kolonun montajının yapılabilmesi için her kenarda 5 cm boşluk bırakılmaktadır. Kolon soket içerisine yerleştirildikten sonra teraziye alınmaktadır. Teraziye alınan kolon ahşap takozlar ile sabitlenerek montaj için bırakılan boşluk ince agrega ile üretilmiş mukavemeti düşük bir beton ile doldurulmaktadır. Bu betonun priz süresi boyunca takozlar bekletilmektedir. Bu sayede kolon aksına yerleştirilmeye çalışılmaktadır. Bu çalışmada önerilen bağlantıda ise temel içerisine beton dökümü öncesinde bir şablon ile ankrajlar yerleştirilmektedir. Bu sayede kolon yeri temel dökümü sırasında belirlenmektedir. Kolon montajı bu sayede daha kolay olmaktadır.
- Önerilen bağlantı türünde kolon içerisinde bırakılan boşluk kolon tabanında geniş üst yüzeye doğru daha dar olacak şekilde koniktir. Boşluğun konik olması kolon montajı sırasında oluşabilecek hatalara tolerans tanıyarak kolona bir miktar hareketlilik kazandırmaktadır. Bununla birlikte işçilik hatalarının da önüne geçilebilecektir.
- Kolon montajı sonrasında montajı yapılan makas kirişleri kolon üzerinde teşkil edilen konsollara oturmaktadır. Kolonların montajı sırasında yapılan hatalar

makasların tam yerine oturmamasına, kısa ya da uzun gelmesine neden olabilmektedir. Önerilen bağlantı ile kolon yeri temel dökümü sırasında bir şablon ile belirlendiği için kolon montajı sırasında hata yapılmasının önüne geçilmektedir.

- Geleneksel soketli bağlantıda kolonun terazisi son derece önemlidir. Özellikle kolon yüksekliğinin fazla olduğu yerlerde kolon terazisinde yapılacak bir hata kolonun en üst noktasında yani makas kirişin oturacağı noktada önemli bir kaçıklığa neden olmaktadır. Önerilen bağlantı ile kolonun terazide olup olmaması gibi bir durum söz konusu değildir. Temel yüzeyindeki betonun eğimsiz olması yeterli olacaktır.
- Geleneksel soketli bağlantı ile üretilmiş yapılarda, yapı daha tamamlanmadan etki edebilecek depremlerde veya şiddetli rüzgarlarda soket hasarları dolayısıyla yapıda toptan göçme durumu ortaya çıkabilmektedir. Soketin dolgusunda kullanılan betonun priz süresi bu durumda oldukça etkilidir. Önerilen bağlantıda soketin kaldırılması ile yapının tamamlanmamış olması soket betonu priz süresi ortadan kalktığı için önemli olmayacaktır.
- Dünyada temel-kolon bağlantıları ile ilgili birçok çalışma yapılmaktadır. Uygulaması yapılan birçok bağlantı türü mevcuttur. Bu bağlantıların bazıları ülkemizde de uygulanmaktadır. Uygulanan bağlantılar yerli olmadığı için bu konuda dışa bağımlı bir durumdayız. Bu çalışma ile geliştirilen bağlantı sayesinde yerli ve milli bir ürün ortaya koyularak ülkemizin dışa bağımlılığı azaltılmıştır.
- Geliştirilen bağlantılar genel olarak son derece profesyonel ekipler tarafından yapılması gereken bağlantı türleridir. Bu nedenle ülkemiz işçi yapısına uygun değildir. Önerilen bağlantı ile işçilik hataları sınırlandırılarak ülkemiz yapısına uygun bir bağlantı elde edilmiştir.
- Önerilen bağlantı sayesinde işçilik masrafları azaltılacak, prefabrike üretimi daha hızlı hale getirilecek ve maliyetlerde işçiliğin azalması nedeniyle düşüş yaşanacaktır.
- Uygulama da insan faktörüne bağlı hatalar en aza indirilmiş olacaktır.

Sonuç olarak AN8 numunesinde kullanılan donatı düzeni ile birlikte önerilen bağlantı detayının uygulanabilir olduğu görülmektedir. Önerilen bağlantının aktif deprem bölgelerinde de uygulanabilir olduğu çalışmada elde edilen sonuçlardan anlaşılmaktadır.

5.2. Öneriler

Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlara yönelik, gelecek çalışmalar için aşağıdaki öneriler yapılabilir:

- ✓ Kolonlarda açılan boşluklar için kullanılan dişli aparatta, ölçekli numune üretimi nedeniyle diş derinliği ve diş adımı çok küçük tutulmuştur. Gerçek boyutlarda numune üretimleri ile diş derinliği ve diş adımı artırılarak dişli aparat kullanımının etkisi daha detaylı incelenebilir.
- ✓ Öngerilmeli numunelerde öngerilme etkisi halatta sıyrılmalar yaşandığı için çok fazla incelenememiştir. Öngerilme uygulaması esnasında kolon üstüne bir plaka ile halat bağlanıp sıyrılması önlenerek öngerilme etkisi daha detaylı bir şekilde incelenebilir.
- ✓ Kolonun genişleyen kısmı bu çalışmada soket kalınlığının %60'ı olarak alınmıştır. Ancak bu durum numunelerde rijitlik kayıplarına yol açmıştır. Uygulama esnasında soket kalınlığı ile aynı alınması rijitliğin artırılmasına neden olacaktır.
- ✓ AN8 ve AN9 numunesi için göçme durumu kabul edilen maksimum yükün %20 azalması durumuna ulaşamamıştır. Kullanılan hidrolik pompanın uygulayabildiği maksimum yer değiştirme 110 mm'dir. Bu nedenle 110 mm yer değiştirmeye ulaşıncaya deneyler sonlandırılmıştır. AN8 ve AN9 numunesi için grafiklerin devamı doğrusal olarak uzatılarak elde edilmiştir. Daha fazla yer değiştirme kapasitesi olan deney düzeneği ile bu deneyler tekrarlanarak daha doğru sonuçlar elde edilebilir.
- ✓ Numunelerin enerji tüketme kapasiteleri maruz kaldığı çevrim sayısından etkilenmektedir. Bu nedenle deney planlamasında numunelere uygulanacak çevrim sayısı kısıtlanarak sonuçlar değerlendirilmelidir.
- ✓ Öngerilme etkisinin tam olarak anlaşılabilmesi için numunelere eksenel yük taşıma kapasitelerinin %10'u, %20'si gibi farklı eksenel yük değerleri öngerilme olarak uygulanmalı ve deneyler bu şekilde yapılmalıdır.
- ✓ Bu çalışmada eksenel yük etkisi için uygulanan öngerilme kolonlara uygulanmıştır. Ancak kolon içinde bir boşluk bırakılarak temel betonu dökümü sırasında temel içerisine bırakılan bir halata montaj sırasında gerilme verilerek de öngerilme elde edilebilir.

- ✓ Ankraj çubuklarının etrafında çekme gerilemeleri nedeniyle düşey yönlü küçük çatlaklar oluşmuştur. Ankrajların kolon hareketine ters yönde gösterdiği eylemsizlik nedeniyle oluşan bu çatlakları önlemek için kolon genişleyen kısmına bütün ankrajları içine alacak şekilde çelik plakalar yerleştirilerek bu durumun önüne geçilebilir.
- ✓ Prefabrike elemanlarda kolon-kolon, kolon-kiriş gibi birçok bağlantı türü için uluslararası çalışmalar yapılmakta ve öngörülen bağlantılar kullanılmaktadır. Ancak ülkemizde konu ile ilgili çok kısıtlı çalışma yapılmakta ve bu konuda dışa bağımlılığımız giderek artmaktadır. Bahsedilen bağlantı türleri ile ilgili çalışmalar yapılarak ülkemize kazandırılması önemli bir çalışma konusudur.



KAYNAKLAR

- ACI-374.1-05, 2005, Acceptance criteria for moment frames based on structural testing and commentary (ACI 374.1-05).
- ACI-550.2R-13, 2013, Design guide for connections in precast jointed systems. Michigan, U.S.A., American Concrete Institute.
- Akısan, L., 1984, Prefabrikasyonun gelişmesinde karşılaşılan engeller, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Al-Salloum, Y. A., Alrubaidi, M. A., Elsanadedy, H. M., Almusallam, T. H. ve Iqbal, R. A., 2018, Strengthening of precast RC beam-column connections for progressive collapse mitigation using bolted steel plates, *Engineering Structures*, 161, 146-160.
- Alaedini, S., Kabir, M. Z. ve Hejabi, H., 2016, Seismic ductility evaluation of shear-deficient RC frames strengthened by externally bonded CFRP sheets, *KSCE Journal of Civil Engineering*, 20 (5), 1925-1935.
- Altın, S., Özgür, A. ve Gökten, Y., 2004, Betonarme kirişlerin kesmeye karşı güçlendirilmesinde bir kelepçe uygulaması, *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 19 (4).
- Aninthaneni, P., Dhakal, R., Marshall, J. ve Bothara, J., 2018, Nonlinear cyclic behaviour of precast concrete frame sub-assemblies with “dry” end plate connection, *Structures*, 124-136.
- Atalay, H. M., 2010, Moment aktarabilen prefabrike kolon-kiriş birleşimlerinin tersinir yükler etkisindeki performansı, Doktora Tezi, *Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli.
- Ayaydın, Y., 1981, Büyük açıklıklı betonarme prefabrike yapılar, *Birsen Yayınevi, İstanbul*.
- Ayaydın, Y., 1989, Büyük açıklıklı prefabrike betonarme yapılar, *İstanbul, Kurtiş Matbaası*, p.
- Bahrami, S., Madhkhan, M., Shirmohammadi, F. ve Nazemi, N., 2017, Behavior of two new moment resisting precast beam to column connections subjected to lateral loading, *Engineering Structures*, 132 (2017), 808-821.
- Balık, F. S., 2012, Betonarme dolgu duvarla güçlendirilmiş deprem davranışı yetersiz betonarme çerçevelerin davranışına pencere boşluklarının etkisi, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.

- Binici, H. ve Aksoğan, O., 2006, Sulfate resistance of plain and blended cement, *Cement and Concrete Composites*, 28 (1), 39-46.
- Dal Lago, B., Muhaxheri, M. ve Ferrara, L., 2017, Numerical and experimental analysis of an innovative lightweight precast concrete wall, *Engineering Structures*, 137, 204-222.
- del Bosque, I. S., Van den Heede, P., De Belie, N., de Rojas, M. S. ve Medina, C., 2020, Freeze-thaw resistance of concrete containing mixed aggregate and construction and demolition waste-added cement in water and de-icing salts, *Construction and Building Materials*, 259, 119772.
- Ersoy, U., 1997, Prefabrikte betonarme yapı birleşimlerinin deprem davranışı, rapor no: INTAG-504, *Tübitak, Ankara*.
- Ersoy, U. ve Özcebe, G., 2016, Betonarme/Temel ilkeler, Evrim Yayınları, p.
- Esmaili, J. ve Ahooghalandary, N., 2020, Introducing an easy-install precast concrete beam-to-column connection strengthened by steel box and peripheral plates, *Engineering Structures*, 205, 110006.
- Eşiyok, Ü., 2000, Konut üretiminde prefabrikasyona bağlı teknolojiler, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul*.
- Fan, J.-J., Wu, G., Feng, D.-C., Zeng, Y.-H. ve Lu, Y., 2020, Seismic performance of a novel self-sustaining beam-column connection for precast concrete moment-resisting frames, *Engineering Structures*, 222, 111096.
- Gedik, M. G., 2014, Prefabrikte yapılarda birleşim bölgelerinin düzenlenmesi ve tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul*.
- Ghayeb, H. H., Razak, H. A. ve Sulong, N. R., 2020, Seismic performance of innovative hybrid precast reinforced concrete beam-to-column connections, *Engineering Structures*, 202, 109886.
- Hamzaçebi, S., 2011, Prefabrikte yapılarda kolon-temel birleşimlerinin deneysel olarak incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon*.
- Hartland, R. A., 1975, Design of precast concrete: an introduction to practical design, *Wiley, New York*, p.
- Huang, Y., Mazzarolo, E., Briseghella, B., Zordan, T. ve Chen, A., 2017, Experimental and numerical investigation of the cyclic behaviour of an innovative prefabricated beam-to-column joint, *Engineering Structures*, 150, 373-389.

- Hung, H. H., Sung, Y. C., Lin, K. C., Jiang, C. R. ve Chang, K. C., 2017, Experimental study and numerical simulation of precast segmental bridge columns with semi-rigid connections, *Engineering Structures*, 136 (2017), 12-25.
- Ikumi, T., Segura, I. ve Cavalaro, S. H., 2019, Effects of biaxial confinement in mortars exposed to external sulfate attack, *Cement and Concrete Composites*, 95, 111-127.
- Kaplan, S. A., 1998, Prefabrike yapıların hesap metodları, *Bilbeyki Yayınları*, No:3, p. 80-91.
- Kataoka, M. N., Ferreira, M. A. ve de Cresce El, A. L. H., 2017, Nonlinear FE analysis of slab-beam-column connection in precast concrete structures, *Engineering Structures*, 143, 306-315.
- Khaloo, A. ve Doost, R. B., 2018, Seismic performance of precast RC column to steel beam connections with variable joint configurations, *Engineering Structures*, 160, 408-418.
- Koçer, M., 2020, Korozyon etkisi altındaki, mineral katkı ile üretilen kolonların tersinir tekrarlanır yatay yük altındaki davranışlarının araştırılması, Doktora Tezi, *Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Konya.
- Li, T., Qu, H., Wang, Z., Wei, H. ve Jiang, S., 2018, Seismic performance of precast concrete bridge columns with quasi-static cyclic shear test for high seismic zones, *Engineering Structures*, 166 (2018), 441-453.
- Lu, C., Dong, B., Pan, J., Shan, Q., Hanif, A. ve Yin, W., 2018, An investigation on the behavior of a new connection for precast structures under reverse cyclic loading, *Engineering Structures*, 169, 131-140.
- Magliulo, G., Ercolino, M., Cimmino, M., Capozzi, V. ve Manfredi, G., 2014, FEM analysis of the strength of RC beam-to-column dowel connections under monotonic actions, *Construction and Building Materials*, 69, 271-284.
- Martin, L. D. ve Korkosz, W. J., 1982, Connections for precast prestressed concrete buildings, *Technical Report No:2, Prestressed Concrete Institute, Chicago*.
- Neville, A., 2004, The confused world of sulfate attack on concrete, *Cement and Concrete research*, 34 (8), 1275-1296.
- Nzabonimpa, J. D., Hong, W. ve Kim, J., 2017, Nonlinear finite element model for the novel mechanical beam-column joints of precast concrete-based frames, *Computers and Structures*, 189 (2017), 31-48.

- Nzabonimpa, J. D. ve Hong, W., 2018, Structural performance of detachable precast composite column joints with mechanical metal plates, *Engineering Structures*, 160 (2018), 366-382.
- Özden, Ş. ve Ertaş, O., 2007, Behavior of unbonded, post-tensioned, precast concrete connections with different percentages of mild steel reinforcement, *PCI Journal*, 52 (2), 32-44.
- Öztürk, M., 2010, Deprem dayanımı yetersiz betonarme çerçevelerin bağ kirişli dış perde duvar uygulaması ile güçlendirilmesi, *Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.
- Parastesh, H., Hajirasouliha, I. ve Ramezani, R., 2014, A new ductile moment-resisting connection for precast concrete frames in seismic regions: an experimental investigation, *Engineering Structures*, 70, 144-157.
- Peikko, 2018, HPKM column shoe-easy, fast and safe column connections, <https://www.peikko.com/products/product/hpkm-column-shoe/photos-and-videos/>: [07 Ağustos 2018].
- Psycharis, I. N., Kalyviotis, I. M. ve Mouzakis, H. P., 2018, Experimental investigation of the response of precast concrete cladding panels with integrated connections under monotonic and cyclic loading, *Engineering Structures*, 159, 75-88.
- Qu, H., Li, T., Wang, Z., Wei, H., Shen, J. ve Wang, H., 2018, Investigation and verification on seismic behavior of precast concrete frame piers used in real bridge structures: experimental and numerical study, *Engineering Structures*, 154 (2018), 1-9.
- Salvador, R. P., Rambo, D. A., Bueno, R. M., Lima, S. R. ve Figueiredo, A. D., 2020, Influence of accelerator type and dosage on the durability of wet-mixed sprayed concrete against external sulfate attack, *Construction and Building Materials*, 239, 117883.
- Senturk, M., Pul, S., Ilki, A. ve Hajirasouliha, I., 2020, Development of a monolithic-like precast beam-column moment connection: Experimental and analytical investigation, *Engineering Structures*, 205, 110057.
- Song, L., Guo, T. ve Cao, Z., 2015, Experimental study of a self-centering prestressed concrete frame subassembly, *Engineering Structures*, 88 (2015), 176-188.
- Sorguç, D., 1989, Prefabrike konut inşaatının maliyet indirimi ve istihdama katkı sorunu. IV. Prefabrikasyon Sempozyumu: Ülke Ekonomisi Açısından Prefabrikasyon. Ankara: 69-82.

- Şentürer, A., 1983, Endüstrileşmenin bina aalanında gelişimi ve Türkiye'nin geçiş dönemi teknolojileri üzerine bir inceleme, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul
- TBDY-2018, 2018, Türkiye bina deprem yönetmeliği. Ankara, Afet ve Acil Durum Başkanlığı.
- TDY-2007, 2007, Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik. Ankara, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı.
- Toprak, Z., 2002, Prefabrike sanayi yapılarının deprem etkisine göre değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- TS-500, 2000, Betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları. Ankara, Türk Standartları Enstitüsü.
- TS-708, 2010, Beton çelik çubukları. Ankara, Türk Standartları Enstitüsü.
- TS-802, 2016, Beton karışım tasarımı hesap esasları. Ankara, Türk Standartları Enstitüsü.
- TS-3114-ISO-4012, 2003, Beton-Deney numunelerinin basınç dayanımı tayini. Ankara, Türk Standartları Enstitüsü.
- TS-9967, 1992, Yapı elemanları, taşıyıcı sistemler ve binalar - prefabrike betonarme ve öngerilmeli betondan - hesap esasları ile imalat ve montaj kuralları. Ankara, Türk Standartları Enstitüsü.
- TS-EN197-1, 2012, Çimento-Bölüm 1: Genel çimentolar- Bileşim, özellikleri ve uygunluk kriterleri. Ankara, Türk Standartları Enstitüsü.
- TS-EN480-10, 2010, Kimyasal katkıları-Beton, harç ve şerbet için-Deney metotları-Bölüm 10: Suda çözünebilir klorür muhtevası tayini. Ankara, Türk Standartları Enstitüsü.
- TS-EN12350-5, 2010, Beton-Taze beton deneyleri-Bölüm 5: Yayılma tablası deneyi. Ankara, Türk Standartları Enstitüsü.
- TS-EN12390-1, 2013, Beton-Sertleşmiş beton deneyleri-Bölüm 1: Deney numunesi ve kalıplarının şekil, boyut ve diğer özellikleri. Ankara, Türk Standartları Enstitüsü.
- TS-EN12390-2, 2010, Beton-Sertleşmiş beton deneyleri-Bölüm 2:Dayanım deneylerinde kullanılacak deney numunelerinin hazırlanması ve küre tabi tutulması. Ankara, Türk Standartları Enstitüsü.
- Tullini, N. ve Minghini, F., 2016, Grouted sleeve connections used in precast reinforced concrete construction-experimental investigation of a column-to-column joint, *Engineering Structures*, 127 (2016), 784-803.

- Tümer, Ç., 2006, Prefabrikte yapılar da kenetli birleşimlerin tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Uçar, A. ve Barka, G., 2011, Öndökümlü (prefabrikte) beton yapı sistemleri. Türkiye Prefabrikte Birliği. Karadeniz Teknik Üniversitesi Sunumu, Trabzon.
- Wang, Z., Qu, H., Li, T., Wei, H., Wang, H., Duan, H. ve Jiang, H., 2018, Quasi-static cyclic tests of precast bridge columns with different connection details for high seismic zones, *Engineering Structures*, 158 (2018), 13-27.
- Wu, M., Liu, X., Liu, H. ve Du, X., 2020, Seismic performance of precast short-leg shear wall using a grouting sleeve connection, *Engineering Structures*, 208, 110338.
- Yüksel, İ. ve Polat, Z., 2002, Betonarme çerçeve sistemlerinde sistem akma parametrelerinin tespiti, *Uluslararası Yapı ve Deprem Mühendisliği Sempozyumu*.
- Zhang, G., Han, Q., Xu, K., Du, X. ve He, W., 2020a, Experimental investigation of seismic behavior of UHPC-filled socket precast bridge column-foundation connection with shear keys, *Engineering Structures*, 111527.
- Zhang, J., Ding, C., Rong, X., Yang, H., Wang, K. ve Zhang, B., 2020b, Experimental seismic study of precast hybrid SFC/RC beam-column connections with different connection details, *Engineering Structures*, 208, 110295.