



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



**PREFABRİK YAPILARIN MOMENT
AKTARMA KAPASİTELERİNİN DEPREM
ETKİSİ ALTINDA ARAŞTIRILMASI VE
ÇÖZÜM ÖNERİLERİ**

Lütfi KAŞIKÇI

DOKTORA TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Mart-2021
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Lütfi KAŞIKÇI tarafından hazırlanan “PREFABRİK YAPILARIN MOMENT AKTARMA KAPASİTELERİNİN DEPREM ETKİSİ ALTINDA ARAŞTIRILMASI VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ” 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. Murat BİKÇE

.....

Danışman

Doç. Dr. Mustafa Tolga ÇÖĞÜRCÜ

.....

Üye

Prof. Dr. Mehmet KAMANLI

.....

Üye

Prof. Dr. Mahmud Sami DÖNDÜREN

.....

Üye

Doç. Dr. Sadık Alper YILDIZEL

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN
Enstitü Müdürü

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

Lütfi KAŞIKÇI

26/03/2021

ÖZET

DOKTORA TEZİ

PREFABRİK YAPILARIN MOMENT AKTARMA KAPASİTELERİNİN DEPREM ETKİSİ ALTINDA ARAŞTIRILMASI VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

Lütfi KAŞIKÇI

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

Danışman: Doç. Dr. Mustafa Tolga ÇÖĞÜRCÜ

2021, 171 Sayfa

Jüri

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

Prefabrik yapılar ülkemizde ve dünyada çok fazla tercih edilen yapı türlerindendir. İmalatının hızlı ve kolay olması, montajının kolay olması, işçilik ihtiyacını minimum seviyeye indirmesi gibi sebeplerden dolayı çok fazla tercih edilmektedir. Ayrıca prefabrik yapılar yapı elemanlarının fabrikada üretilmesi ile de güvenliği ön plana çıkarmaktadır. Ancak yapı elemanlarının ayrı ayrı üretilmesi esasından dolayı montaj sonrasında yük aktarımlarında problemler yaşanabilmektedir. Özellikle temel kolon birleşimlerinde kolonun sokete yerleştirilebilmesi için bırakılan montaj boşluğunun daha sonra beton ile doldurulması yapıda soğuk derz oluşmasına neden olmaktadır. Yapıya etkiyen yatay yüklerin etkisinde kolon tabanında oluşan momentlerden dolayı beton yüzeyinde ezilmeler oluşmaktadır. Tersinir-tekrarlanır yatay yüklerin beton yüzeyinde oluşturduğu ezilmeler kolonun soket içerisinde bir miktar hareket kabiliyeti kazanmasını sağlamaktadır. Bundan dolayı kolon tam olarak ankastre mesnet davranışı gösterememektedir. Bu tez çalışmasında, soket bağlantı betonunda iyileştirmeler yapılarak davranışın iyileştirilmesi amaçlanmaktadır. Ayrıca kolon numunelerine öngerme uygulanarak öngermenin eksenel yükü temsil etmesi incelenmiştir. Çalışma sonucunda iyileştirilen betonun davranışa olumlu katkıları olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Prefabrik yapılar, kolon temel bağlantısı, soketli bağlantı, çevrimsel yükleme.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF MOMENT CAPACITIES OF PREFABRICATED STRUCTURES UNDER SEISMIC EFFECT AND SOLUTION PROPOSALS

Lütfi KAŞIKÇI

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

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Mustafa Tolga COGURCU

2021, 171 Pages

Jury

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

Prefabricated structures are among the most preferred structure types in our country and in the world. It is highly preferred for reasons such as rapid and easy manufacturing, easy assembly and minimizing the need for workmanship. In addition, prefabricated structures bring safety to the foreground as the structural elements are produced in the factory. However, some problem may occur in load transfer after assembly, due to the fact that the structural elements are produced separately. Especially filling the space constructed for the assembly of the column with concrete in the foundation column connections causes the formation of cold joints in the structure. Crushing occurs on the concrete surface due to bending moments occurring at the base of the column under the effect of horizontal loads such as seismic and wind loads acting on the structure. The cyclic loads cause the column to drift by creating crushing on the concrete surface. Therefore, the column cannot be completely behavior as fixed support. In this thesis, it is aimed to improve the behavior by performing improvements in socket connection concrete. In addition, the prestressing represented axial load was examined by applying prestress to column specimens. As a result of the study, it has been observed that the improved concrete has positive contributions to the column behavior.

Keywords: Prefabricated structures, column foundation connections, socket connection, cycling loading.

ÖNSÖZ

Türkiye topraklarının %66'sı ve nüfusunun ise yaklaşık %70'i deprem tehdidi altında olan bir ülkedir. Böylesine yüksek bir deprem riski ile karşı karşıya olan bu coğrafya da deprem öncesi zararların azaltılması tartışmasız ülkemizin en önemli gündem maddelerinden biridir. Bu denli yüksek bir riskin bertaraf edilmesi şüphesiz bilimin ışığından bir an olsun ayrılmadan ancak mümkün olabilir. Bu çalışmada mensubu olduğumuz milletimize karşı sorumlu olduğumuzu biran olsun unutturmayan ve bizlerin bu şuurla hareket etmesi gerektiğini her aşamada tekrarlayan ve bu şekilde motive olmamızı sağlayan desteklerini biran olsun bizlerden esirgeyen danışman hocam Doç. Dr. M. Tolga Çöğürçü'ye şükranlarımı en içten dileklerle sunarım.

Çalışmamızın deneysel kısmında, İnşaat Mühendisliği Bölümü laboratuvar imkanlarını çalışmamıza açan, doktora çalışmam boyunca tecrübelerinden istifade ettiğim, İnşaat Mühendisliği Bölüm Başkanı Prof. Dr. Mehmet Kamanlı'ya, Tez İzleme Komitesi üyesi Prof. Dr. M. Sami Döndüren'e, deney aşamasında desteklerini esirgemeyen Karatay Üniversitesi Öğretim Üyesi Dr. Öğr. Üyesi S. Kamil Akın'a, laboratuvar sorumlusu Yüksel Çiftçi'ye teşekkürlerimi sunuyorum.

Doktora tezinin her aşamasında katkılarını esirgemeyen, Tez İzleme Komitesi üyesi Prof. Dr. Murat Bıkçe'ye teşekkür ederim.

“Türk gençliği geleneksel değerlerden kopmadan, tarihten aldığı ilhamla, bilgi çağının neferi olma mecburiyetindedir. Her alanda ülkenin kalkınmasını sağlamak ancak bu vizyon ile yetişmiş kadrolar sayesinde mümkündür”. Sayın Devlet Bahçeli'nin kendime rehber edindiğim bu sözleri aynı zamanda tüm akademik hayatım boyunca bana yol gösterici olmuştur. Bu manada şahsımı cesaretlendiren öğütleri ile bu tezi yazmada emeği olan Sayın Devlet Bahçeli'ye ömür boyu şükranlarımı sunarım.

Tüm tez çalışmalarım boyunca ilgisini ve desteğini bir an olsun eksik etmeyen, tezin tüm aşamasında hem moral hem de katkı sunan Arş. Gör. Mehmet Uzun ve Arş. Gör. Mehmet Akif Arslan kardeşlerime ve İnş. Yük. Müh. Fatih Karataş'a şükranlarımı sunuyorum.

Son olarak bu tezin bitişini dört gözle bekleyen, dua ile desteklerini her an yanımda hissettiren anneme ve kardeşlerime gösterdikleri sabır ve anlayış için teşekkürlerimi sunuyorum.

Bu tezi hayatım boyunca hep yanımda duran, aldığım her kararda benimle olan, desteğini biran olsun esirgemeyen aynı zamanda meslek büyüüm sevgili babam Hacı Ahmet Kaşıkçı'ya ithaf ediyorum.

Lütfi KAŞIKÇI
KONYA-2021

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Prefabrikasyonun Gelişim Süreci	2
1.2. Prefabrikasyonun Avantajları ve Dezavantajları	5
1.3. Prefabrik Yapıların Deprem Davranışı	6
1.4. TBDY-2018'e göre Depreme Dayanıklı Prefabrik Yapı Tasarımı.....	9
1.4.1. Mafsallı bağlantılar	11
1.4.2. Moment aktarabilen bağlantılar	13
1.5. Prefabrik Yapılarda Oluşan Hasar Türleri ve Nedenleri	18
1.6. Prefabrik Yapılarda Oluşan Hasarlar için Çözüm Önerileri	22
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	27
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	46
3.1. Numunelerin Boyutlandırılması	48
3.2. Numune Bilgileri	51
3.2.1. Numunelerin Malzeme özellikleri	54
3.3. Deney Numunelerinin Üretim Aşamaları	56
3.4. Kolonların Laboratuvar Ortamında Montajının Yapılması	62
3.5. Birleşimde Kullanılacak Betonunun Üretilmesi	63
3.6. Deney Düzenekinin Kurulması.....	67
3.6.1. Deneylerde Kullanılan Ölçüm Tekniği	70
3.6.2. Deneylerde uygulanan yükleme prosedürü.....	72
3.7. Yapılan Ölçümlerin Yorumlanması.....	73

3.7.1.	Yer değiştirme geçmişi ve yk geçmişi grafiklerinin oluşturulması	73
3.7.2.	Yük-yer değiştirme eğrisi (histeresis eğrisi) ve dayanım zarfı eğrisinin oluşturulması.....	74
3.7.3.	Rijitlik azalım grafiğinin oluşturulması	76
3.7.4.	Toplam tüketilen enerji grafiğinin oluşturulması	77
3.7.5.	Deney numunelerinin sünekliklerinin elde edilmesi	81
3.7.6.	Moment-eğrilik grafiklerinin elde edilmesi.....	82
4.	NUMUNELERİN DEPREMİ BENZEşTİREN YATAY YÜK ETKİSİ ALTINDA DENEYLERİNİN YAPILMASI	85
4.1.	Deney Sonuçları.....	85
4.1.1.	KN1 numunesinin deneysel sonuçları	85
4.1.2.	KN2 numunesinin deneysel sonuçları	95
4.1.3.	SN3 numunesinin deneysel sonuçları	106
4.1.4.	SN4 numunesinin deneysel sonuçları	117
4.1.5.	SN5 numunesinin deneysel sonuçları	129
4.2.	Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması	140
4.2.1.	Birleşim yöntemine göre deney numunelerinin karşılaştırılması	140
4.2.2.	ngermenin numuneler üzerindeki etkilerinin karşılaştırılması	145
5.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	151
5.1.	Sonuçlar	151
5.2.	neriler	153
	KAYNAKLAR	155
	ZGEMİş	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

δ_1	: Pozitif çevrimindeki en büyük deplasman
δ_2	: Negatif çevrimindeki en büyük deplasman
δ_n	: Her hangi bir çevrimde n'inci kuvvete denk gelen deplasman
δ_{n-1}	: Her hangi bir çevrimde (n-1)'inci kuvvete denk gelen deplasman
δ_u	: Göçme anında numuneye uygulanan yüke denk gelen deplasman
δ_y	: Akma noktasında numuneye uygulanan yüke denk gelen deplasman
μ	: Süneklik
$\Delta_{net,tepe}$	: Kolon uç noktası deplasmanı
ΣA	: Pozitif ve negatif çevrimlerde yükleme ve boşaltma eğrileri arasında kalan 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 etkili yüksekliği
d'	: Paspayı
dA	: Yükleme çevrimlerinde arka arkaya kayıt edilen iki yükleme değeri arasında kalan alan
dB	: Yükleme çevrimlerinde arka arkaya kayıt edilen iki yüklemem arasında kalan boşaltma eğrisi altında kalan alan
f_1	: Yükleme çevrimlerinde arka arkaya okunan herhangi bir yük
f_c	: Beton basınç dayanımı
f_{ck}	: Beton karakteristik basınç dayanımı
f_{ct}	: Beton eksenel çekme dayanımı
f_n	: Her hangi bir çevrimde n'inci yükleme değeri
f_{n-1}	: Her hangi bir çevrimde (n-1)'inci yükleme değeri
f_y	: Boyuna donatı akma dayanımı
f_{yw}	: Enine donatı akma dayanımı
h	: Kesitinin uzun kenarı
h_k	: Etriyeler arası uzaklık
l_n	: Net açıklık
s	: Etriye donatı aralığı
A_1	: Pozitif çevrimde yükleme ve boşaltma eğrileri arasında kalan alan
A_2	: Negatif çevrimde yükleme ve boşaltma eğrileri 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	: Pozitif çevrimdeki en büyük kuvvet

F_2	: Negatif çevrimdeki en büyük kuvvet
M_y	: Akma noktasındaki moment kapasitesi
N_d	: Kolona etki eden düşey dizayn kuvveti
V_c	: Kesme dayanımına betonun etkisi
V_{cr}	: Kesitin kesme kuvveti etkisindeki çatlama dayanımı
V_d	: Dizayn kesme yükü
V_{max}	: Kesite gelen en büyük kesme yükü
V_r	: Kesit kesme yükü kapasitesi
V_u	: Göçme anında kesite gelen yatay yük
V_y	: Akma noktasında kesite gelen yatay yük
V_w	: Kesme dayanımına etriye katkısı

Kısaltmalar

ABAQUS	: Sonlu elemanlar analiz programı
ACI 374.1-05	: Acceptance criteria for moment frames based on structural testing and commentary
ACI-550.2R-13	: Design Guide for Connections in Precast Jointed Systems
BIBM	: Bruea International du Beton Manufacture
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 katkılar-Beton, harç ve şerbet için-Deney metotları-Bölüm 10: Suda çözünabilir 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, prefabrike yapı elemanlarının imalatı bir fabrika ortamında önceden yapılarak belirli bir süre kür (bakım) işlemi uygulandıktan sonra montaj sahasına nakledilerek sonlanmasıdır. Bu işlemler ile üretilen yapı elemanlarının sektöre sağladığı önemli katkılar bulunmaktadır. Sektöre sağladıkları en önemli katkılar ise dayanımı yüksek yapı elemanlarının yüksek hızda ve ekonomik olarak elde edilmesidir (Gedik, 2014). Prefabrike yapım sistemi avantajları sayesinde otopark yapıları, ticaret merkezleri, endüstri yapıları, sanat merkezleri v.b. birçok yapım alanında uygulanmaktadır (Martin ve Korkosz, 1982).

Prefabrikasyonda yapı elemanlarının ayrı ayrı üretilmesi esassından dolayı montaj sonrasında yük aktarımlarında problemler yaşanabilmektedir. Özellikle temel kolon birleşimlerinde kolonun sokete yerleştirilebilmesi için bırakılan montaj boşluğunun daha sonra beton ile doldurulması yapıda soğuk derz oluşmasına neden olmaktadır. Yapıya etkiyen yatay yüklerin etkisinde kolon tabanında oluşan momentlerden dolayı beton yüzeyinde ezilmeler oluşmaktadır. Tersinir-tekrarlanır yatay yüklerin beton yüzeyinde oluşturduğu ezilmeler kolonun soket içerisinde bir miktar hareket kabiliyeti kazanmasını sağlamaktadır. Bundan dolayı kolon tam olarak ankastre mesnet davranışı gösterememektedir. Bu çalışma kapsamında özellikle betonun mukavemeti artırılarak bu eksikliğin giderilmesi amaçlanmaktadır.

Bu çalışmada deprem sırasında temel kolon birleşimindeki soğuk derzin ezilerek kolonun ankastre özelliğini kaybetmesi üzerinde durulmuştur. Kolonun ankastre özelliğini kaybetmesi özellikle kolon temel birleşim bölgelerinde önemli ölçüde yer değiştirme artışlarına neden olmaktadır. Bu artışlar ise yapıda fazladan iç kuvvet oluşmasına ve yapının kapasite değerlerine ulaşarak büyük hasarlar görmesine neden olmaktadır. Yapılacak bu çalışma sayesinde kolon temel birleşim bölgesindeki montaj boşluğuna dökülecek betonda yapılacak iyileştirmeler sayesinde bu durumların önüne geçilerek temel kolon bağlantı noktalarındaki hasarların azaltılmasının sağlanması amaçlanmıştır.

Taşıyıcı elemanların kolon olarak boyutlandırılıp donatılabilmesi için eksenel yük taşıma kapasitesinin en az %10'u kadar tasarım eksenel yüküne sahip olması gerekmektedir. Ancak deneysel çalışmalarda eksenel yük uygulanabilmesi için kolon üstüne bir platform hazırlanarak üzerine yükleme yapılması gerekmektedir. Aynı zamanda yatay yüke maruz kolonun üst ucunda gerçekleşecek yer değiştirme nedeniyle

yapılan platformunda yatay hareket edebilir olması gerekmektedir. Bu nedenle deneysel aşamada eksenel yükün kolonlara uygulanması zor olmaktadır. Ayrıca prefabrike yapılarda düşey yük miktarının az olması kolonlarda tasarım eksenel yükünün düşük olmasına neden olmaktadır. Eğilme etkisi altındaki kolonların dayanım zarfı eğrileri incelendiğinde belirli bir değere kadar eksenel yükün artması kolonda moment taşıma kapasitesinde artışa neden olmaktadır. Bu sayede kolonlar aslında daha küçük kesitler ile daha büyük moment taşıma kapasitesine ulaşabilmektedir. Çalışma kapsamında kolonlara öngerme uygulanarak eksenel yüke alternatif bir yöntem geliştirilmek istenmiştir. Bu sayede hem deneysel çalışmalarda bir zorluk ortadan kaldırılmış olacak hem de prefabrike sektöründe kullanılan kolon kesitlerinin küçülmesi sayesinde ekonomik bir çözüm elde edilecektir. Çalışma kapsamında toplamda 5 adet numune üretilmiştir. Numunelerden ilk iki tanesi referans numunedir. Monolitik ve soketli geleneksel üretim yöntemlerine göre iki adet referans numunesi üretilmiştir. Diğer numunelerden birisi soketli referans numunesi ile aynı özelliklere sahip öngermeli numunedir. Diğer iki numune ise birleşim betonu iyileştirilmiş numunelerdir.

1.1. Prefabrikasyonun Gelişim Süreci

Dünya sanayileşme tarihi incelendiğinde diğer endüstri kollarına göre yapı sektörünün gelişiminin yavaş seyrettiği görülmüştür. Bu geç kalınmışlığın nedenleri arasında binlerce yıllık yapım kurallarının değiştirilmesinin zorluğu yatmaktadır. Usta-çırak ilişkisi ile çağları aşp gelen geleneksel uygulama tekniklerini bir tarafa bırakmak yapı sektörü için oldukça zaman almıştır. Yapı sektöründeki yavaş ilerlemenin bir başka nedeni de çevresel etkenler ve yapıların zemin özellikleri olmuştur. Gecikmenin bir diğer nedeni de yapı sektöründe ki elemanların diğer endüstri alanlarındaki elemanlardan hacimce büyük olmasıdır (TPB, 2003). Tüm bu sebeplerden ötürü yapı sektörünün sanayileşmesi otomobil, beyaz eşya, elektronik gibi diğer üretim alanlarına göre daha yavaş olmuştur (Durakoğlu, 2006).

Prefabrike sektörü ile ilgili çalışmaların başlangıcı 19.yüzyılın ilk başlarına dayanmaktadır. George Godwin öncülüğünde yazılan bilimsel eserin 1836 yılında İngiltere’de yayımlanmasıyla başlamıştır. Yayımlanan bu bilimsel eser sayesinde Godwin G., Royal Institute of British Architects (RIBA) tarafından madalya ile ödüllendirilmiştir (Tümer, 2006; Gedik, 2014).

Prefabrike yapı elemanlarında ilk patent Frederick Ranson tarafından 1844 yılına gelindiğinde alınmıştır. Daha sonra François Coignet (1895) ve W. Henry Lascelles (1875) vb. prefabrike yapılar konusunda uzman kişilerin bu alanda buluşlarının olduğu görülmektedir (Tümer, 2006; Gedik, 2014).

Betonarme yapım tekniği uygulamalarına geçmeden önce ahşap yapım tekniği ile geliştirilen yapılarda yaşanan en önemli sorunun yinelenen yapı elemanlarının atölyede birleştirilmesinin getirdiği zorluklar olmuştur. Ahşap uygulamalarında yaşanan bu zorluklar yapı elemanlarının birleşim yerlerinin bağlamalı veya bağlamasız olarak kalıp içerisinde üretilmesi fikrini ortaya çıkartmıştır. Haddelenmiş demirin kalıplar içerisine yerleştirilip daha sonra betonla bağlanması ile ilk betonarme yapı elemanları üretilmeye başlanmıştır. Bu şekilde üretilen ilk yapı elemanı ile Reims Katedrali'nin çatısı (Akçaözoglu, 2003) yapılmıştır (Larousse, 1992).

20.Yüzyılın ikinci çeyreği beraberinde küresel kırılmaları da getirmiş, yaşanan savaşlar ekonomik krizleri tetiklemiş ve sektör yetişmiş iş gücü noktasında darboğaza girmiştir. Yaşanan sıkıntılar beraberinde yetişmiş iş gücü olmadan üretim yapılmasının önünü açmıştır. Bu şekilde üretim sahasında kısıtlı iş gücü ile daha ekonomik yapı elemanları yüksek hız ile üretilmiştir. Yüksek hızla yapılan üretim aynı zamanda savaş sonrası yeniden şehirlerin ayağa kalkması için büyük bir fırsat doğurmuştur (Hamzaçebi, 2011). Özellikle 2.Dünya savaşı sonrası prefabrike yapı sektörüne yönelimin arttığı görülmektedir. Bu yönelimin asıl sebebinin savaş sonrası değişen ekonomik koşullar olduğunu söylenebilir. Savaş sonrası kentlerin hızlı bir şekilde ayağa kalkma arzusu ağır önüretimin gelişmesine ve bununla birlikte fabrika koşullarında üretilen yapı elemanlarının montaj alanına taşınması için gerekli olan taşıma ve kaldırma araçlarının çoğalmasına olanak vermiştir. Savaş sonrası Kuzey Avrupa ülkelerinde prefabrikasyon sektörü hızla gelişmeye başlamış ve gelişim beraberinde bazı önemli yasaların zorunlu hale gelmesine sebep olmuştur. Sektördeki bu hızlı yükseliş beraberinde yüksek taleplerin doğmasını getirmiş. Taleplerin yoğunluğu üretim miktarlarının artmasını tetiklemiş ancak bu yoğun yapılaşma sırasında estetiğe önem verilmemiş ve mimarideki kalite düşmüştür. Sürekli aynı prefabrike yapı elemanlarının üretimi kent dokusu ile yabancılaşan, birbirinin tekrarı olan şehirleri ortaya çıkartmıştır. Savaş sonrası Avrupa'da belirginleşen siyasi durum prefabrike yapıların mimari açıdan dönüşümünü de etkilemiştir. Serbest piyasa ekonomisini merkezine alan Batı Avrupa'da yüksek kaliteli ve mimari açıdan oldukça iddialı mühendislik uygulamaları yapılırken komünist Doğu Blok'unda ise estetik kaygıdan uzak düşük kaliteli prefabrike yapı

uygulamaları ortaya çıkmıştır (Erdem, 2010). Prefabrike yapı sektörünün gelişmesi iklim şartlarının ağırlığı nedeni ile inşaat sektörünün de bir türlü istediği ilerlemeyi sağlayamayan SSCB için önemli bir kazanım olmuştur. Yapı elemanların fabrika ortamında üretimi ağır iklim koşullarında dahi uygulama yapılmasının önünü açmıştır.

19.yüzyılın ilk yarısında İngiltere’de başlayan prefabrike üretiminin ülkemize gelişi 20.yüzyılın ikinci çeyreğine denk gelmektedir. Kaynak eksikliği ve beraberinde bir standart geliştirememeye uzun yıllar sektörün istenilen noktaya ulaşmasının önündeki en büyük engel olmuştur. Ancak özellikle 1984 yılında kurulan Türkiye Prefabrike Birliği (TPB) sektördeki kaynak eksikliğinin giderilmesi konusu ile üretimden montaja kadar geçen sürecin çerçevesinin tam olarak çizilmesi için gerekli olan standartların belirlenmesi noktasında önemli katkılar sunmuştur. Bu süreci hızlandıran bir diğer etken ise ülkemizin neredeyse tamamının deprem bölgesinde olması gerçekliğidir. Sektörün bu ihtiyacını karşılamak üzere 1992 yılına gelindiğinde “Yapı Elemanları, Taşıyıcı Sistemler ve Binalar-Prefabrike Betonarme ve Öngerilmeli Betondan Hesap Esasları ile İmalat ve Montaj Kuralları” ismiyle TS 9967 standardı yayımlanmıştır (TS-9967, 1992). Sektörün ülkemizde bir standarda oturtulması akabinde bir yönetmelik yapılmasına da imkan sunmuştur. “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik” 1997 yılında yayınlanarak sektörün ülkemizde yaygınlaşmasının önünü tamamen açmıştır (Tümer, 2006; Gedik, 2014). Standart ve kaynak eksikliği problemi çözülünce gelişmeler birbirini takip etmiş ve sektörün ülkemizdeki önemli kuruluşu olan TPB Uluslararası bir kuruluş olan BIBM’ye 1994 yılında girmiştir. Bu gelişme aynı zamanda sektörde yaşanan yeni gelişmelerin hızlı şekilde ülkemize yansımalarının önünü açmıştır ve diğer önemli bir hususta sektörün doğuş, gelişme ve yükseliş dönemini yaşayan Avrupa ile ülkemizin eşgüdüm halinde hareket etmesine de imkan sunmuştur. Prefabrike yapı elemanlarının üretim ve montajı nerede ise bir yüzyılı aşkın bir gecikme ile ülkemize gelmiş ancak kısa zamanda sektör uygulamacılarının gayreti ve yapılan değişiklikler ile dünyadaki değişime ayak uydurulmuştur. Öyle ki sektörün Türkiye’deki öncü kuruluşu olan Türkiye Prefabrike Birliği 1999 yılında bir dönemliğine BIBM başkanlığına seçilmiş ve 17.Uluslararası BIBM teknik kongresi Türkiye’de yapılmıştır. Bu kongre aynı zamanda ülkemizde prefabrike sektörü adına yapılan ilk uluslararası kongre özelliği taşımakla birlikte ülkemiz açısından sektörün saygınlığının artmasına da katkı sağlamıştır (Gedik, 2014).

Sektör alanında yaşanan tüm bu gelişmeler ülkemizde de Avrupa da yaşananlara paralel gelişmelerin oluşmasını sağlamıştır. Bu gelişmeler hiç kuşkusuz yerinde beton

dökmenin sona ermesinden bazı iş kümelerinin kalıp ve demir işleri ustaları ile beton tesviyecisi gibi gruplara duyulan ihtiyacı azaltmıştır. Yapı elemanlarının imalatı sırasında hızın önem kazandığı ve dayanımın arttığı bir süreç başlamış ve her türlü meteorolojik şartta imalatın yapılmasını mümkün kılmıştır (Kaplan, 1998).

Sanayi sektörü ülkemizde prefabrikasyonun gelişmesinde öncü olmuştur. Bunun en önemli sebebi ise sanayi yatırımcısının zaman kaybetmeden biran önce üretime geçme isteğidir. Yatırımcının bu talebi prefabrikasyonun en çok endüstri yapılarında gelişmesine sebep olmuştur (Anadol, 1996). Prefabrikasyonun sanayi yapılarında yoğun olarak kullanılmasına karşılık konut alanlarında yeterli ilgiyi görmemiştir. Konutlarda tercih edilmemesinin en önemli sebebi prefabrik yapı elemanlarını tasarlayan, üreten ve uygulayanların bu konuda yeterli donanımına sahip olmamasıdır.

1.2. Prefabrikasyonun Avantajları ve Dezavantajları

Prefabrikasyon yapı elemanlarının özelliklerinin tam olarak bilinmesi onun diğer yapı elemanlarına göre daha fazla tercih edilmesini sağlamaktadır. Üretim ve montaj aşamalarının sağladığı kolaylıklar yine tercih edilebilirliğini arttırmaktadır. Ancak bütün yapı türlerinde olduğu gibi prefabrikasyonda da avantajların yanında bazı dezavantajlar bulunmaktadır. Prefabrikasyonun hızlı üretim, dayanım ve maliyet açısından avantajları Çizelge 1.1’de, dezavantajları ise Çizelge 1.2’de verilmiştir.

Çizelge 1.1. Prefabrik yapıların avantajları

Özellikleri	Var	Yok	Sağladığı Katkı			Kaynak Çalışmalar
			Hız	Dayanım	Maliyet	
Şantiye alanında kalıp kurulması		✓	Artar		Azalı	(Hartland, 1975)
Şantiye alanında donatının kalıba yerleştirilmesi		✓	Artar		Azalı	
Şantiye alanında beton döküm işlemi		✓	Artar		Azalı	
Şantiye alanında kalıp alma süresi		✓	Artar		Azalı	
Kalıp kullanım tekrarı	✓		Artar		Azalı	(Hartland, 1975)
Montaj sırasında destek kullanımı		✓	Artar		Azalı	
Mevsim değişikliklerinden zarar görme		✓	Artar		Azalı	(Ersay, 1997; Toprak, 2002)
Yapının teslim süresinin uzaması		✓	Artar		Azalı	(Eşiyok, 2000)
İmalat ve montaj sırasında makine kullanımı	✓		Artar		Azalı	(Tümer, 2006)
Yoğun işçilik		✓	Artar		Azalı	
Montaj öncesi kontrol	✓		Artar	Artar	Azalı	
Üretimde süreklilik	✓		Artar	Artar	Azalı	
Elektrik ve mekanik tesisat uyumu	✓		Artar		Azalı	(Eşiyok, 2000)
Stok yapılması	✓		Artar		Azalı	
Yüksek mukavemet	✓			Artar		
Ön germeli üretim seçeneği	✓			Artar		

Çizelge 1.2. Prefabrik yapıların dezavantajları

Özellikleri	Zayıf (Az)	Güçlü (Fazla)	Sağladığı Katkı			Kaynak Çalışmalar
			Hız	Dayanım	Maliyet	
Yatay Yük Altındaki Dayanım	✓		Azalı	Azalı		(Eşiyok, 2000)
Proje esnasında yapılan hatalardan geri dönüş	✓				Artar	
İş gücü	✓					
İlk yatırım maliyeti		✓			Artar	
Üretim ve montaj ekipleri arasındaki uyum	✓		Azalı	Azalı		(Gedik, 2014)
Birleşim yerlerinin iklim koşullarından etkilenmesi		✓		Azalı		(Gedik, 2014)
Bağlantı bölgelerinin korozyona uğraması		✓		Azalı		
Yangın dayanımı		✓		Azalı		
Yanal yük etkisi altındaki performans	✓					
Depolama maliyeti		✓			Artar	

1.3. Prefabrik Yapıların Deprem Davranışı

Prefabrike yapı elemanlarının kalite kontrolleri fabrika ortamında yapılmakta ve ayrıca yüksek dayanımlı beton ile üretilmektedirler. Kalite kontrollerin montaj

aşamasından önce yapılması ve yüksek mukavemetli beton ile üretilmeleri bu yapı elemanlarının tek başlarına depreme dayanıklı olduğunu gösterebilir. Ancak montaj aşamasında birleşim yerlerindeki zayıflıklar, üretim aşamasında yüksek mukavemetli betondan üretilen bu yapılarda deprem esnasında beklenmedik hasarlara neden olabilmektedir. Kolon, kiriş, aşık olarak tek tek üretildiklerinde depreme karşı oldukça dayanımlı olan bu yapı elemanları birleştirip bir yapı haline dönüştükten sonra birleşim yerlerindeki zayıflıklarından dolayı deprem etkisi altında istenilen dayanımı gösterememektedir. Yaşanan son depremlerden anlaşılacağı üzere prefabrike yapılardaki en önemli sorunlar yatay yüklerin karşılanmaması ve rijit diyaframın sağlanamamasıdır. Bağlantı noktalarındaki bu zayıflık nedeni ile geçmişte deprem riski taşıyan ülkelerde prefabrike yapıların yapımına izin verilmemiştir. Deprem riski az olan ülkeler prefabrikasyon endüstrisinin ilk gelişim gösterdiği yerler olmuştur. Prefabrike ve önerilmeli yapı elemanları hakkında oldukça yetkili bir kuruluş olan ABD'deki Precast/Prestressed Concrete Institute (PCI) yayımladığı makalelerde bu yapı türlerinin projelendirilmesi ve detaylandırılması konusunda yeni bilgiler sunmaktadır. Sunulan bu yeni bilgiler ışığında prefabrik yapıların çok sayıda bulonlu veya kaynaklı birleşimin tersinir tekrarlanır yükler altında elastik olmayan davranışının henüz deneysel olarak ispat edilmediğine yer verilmiştir. Bu yüzden eğer bir birleşimin kendisi monolitik değilse veya davranışı mühendislik kabullerine göre monolitik sayılmıyorsa, PCI Komitesi, deprem bölgelerinde yapılacak bu tür yapılarda deprem performansı yüksek birleşimlerin ancak deneysel olarak elde edilecek veriler ışığında projelendirilmesini tavsiye etmektedir (Yüzügüllü, 1995).

Prefabrik yapıların zayıf olarak görülen kolon-kiriş bağlantı bölgeleri kapsamlı bir şekilde detaylandırıldığında ve taşıyıcı sistem ve taşıyıcı sistemin süneklik ve rijitlik değerleri yeterli bir düzeyde olması durumunda deprem davranışının monolitik kadar iyi olacağı savunulmaktadır (Ersoy ve Tankut, 1987). Prefabrike endüstri yapılarının ülkemizdeki uygulaması genellikle tek katlıdır. Bu yapılar yerinde üretilmiş temeller üzerine fabrikada üretilen kolonların ankastre şekilde bağlanması ve bu kolonların üzerine ise yine fabrika ortamında üretilen kirişlerin mafsallı olarak bağlanmasıyla meydana gelmektedir. Dolayısı ile yanal bir kuvvete maruz kalan bu sistemde davranışı belirleyen unsur kolonlardır. Deprem etkisi altında prefabrike sitemde genellikle hasarlar temel, kolon ve çatı birleşim noktalarında meydana gelmektedir. Yanal kuvvete maruz kalan prefabrik yapılarda yerinde üretilmiş temeller büyük ölçüde hasar görmektedir. Temellerde meydana gelen bu hasarların başlıca sebepleri;

- Eksik yük kabulü ile temele kadar deprem yüklerinin aktarılmaması,
- Eksik yük kabulü ile hesaplanan değerin temele aktarılan gerçek yük değerinin altında kalması,
- Zemin sınıfının doğru belirlenmemesi,
- Uygulama sırasındaki eksiklikler olarak sıralanabilir.

Deprem etkisi altındaki temellerin dönmesini engellemek adına bir takım önlemler alınabilir. Bu önlemler;

- Yapının tüm yükünü taşıyacak olan zeminin özelliklerinin tasarım aşamasında tam olarak belirlenmesi gerekmektedir. Zeminin cinsi, zemin emniyet gerilmesi, yer altı sularının durumu ve zemin sıvılaşma potansiyeli gibi mühendislik özellikleri yapım öncesi iyi araştırılmalı ve yapıya uygun zemin tercih edilmelidir.
- Şayet yapının inşası için düşünülen zemin özellikleri ideal zemin durumundan uzaksa zemin iyileştirme yöntemleri ile zemin yapının inşası için ideal konuma getirilmelidir.
- Yapının temelinin olası bir deprem yükü altında tüm yapı sistemi ile birlikte hareket edebilmesi için temeller birbirine deprem kirişleri ile bağlanmalıdır. Bağ kirişlerinin detayları doğru hesaplanıp düzgün uygulanırsa deprem etkisi altında temellerin dönmesinin önüne geçilebilir.
- Büyük açıklık gerektiren yapıların temellerinde kullanılan deprem kirişlerinde burkulmanın önüne geçmek için yastık betonu uygulanmalıdır.
- Deprem kirişleri ile yastık betonunun deprem sırasında tam olarak görevlerini yerine getirebilmeleri için temellere nispeten daha yumuşak zeminlere oturtulan bu yapı elemanlarının temeller ile birlikte dökümünün sağlanması gerekmektedir.

Prefabrike yapılarda deprem sırasında yaşanan bir diğer hasar durumu da kolonların burkulmasıdır. Yapı elemanlarının ayrı ayrı üretilmesi esnasından dolayı montaj sonrasında yük aktarımlarında problemler yaşanabilmektedir. Özellikle temel kolon birleşimlerinde kolonun sokete yerleştirilebilmesi için bırakılan montaj boşluğunun daha sonra beton ile doldurulması yapıda soğuk derz oluşmasına neden olmaktadır. Yapıya etkiyen yatay yüklerin etkisinde kolon tabanında oluşan momentlerden dolayı beton yüzeyinde ezilmeler oluşmaktadır. Tersinir-tekrarlanır yatay yüklerin beton yüzeyinde oluşturduğu ezilmeler kolonun soket içerisinde bir miktar

hareket kabiliyeti kazanmasını sağlamaktadır. Bundan dolayı kolon tam olarak ankastre mesnet davranışı gösterememekte ve burkulma meydana gelmektedir.

Deprem sırasında yaşanan bir diğer problem ise çatının çözülmesidir. Depremin etkisi ile eğimli çatı kirişlerinin kolon birleşimlerinden ayrılması ve düşmesidir. Böyle bir hasarın oluşması genellikle şu sebeplerden ileri gelmektedir.

- Çatı kirişi ile kolon arasındaki bağlantı çubuğunun boyunun ve çapının yetersiz olması,
- Bağlantı çubuğu için kullanılan dolgu harcının yeterli nitelikte olmaması,
- Kolon üzerine montaj edilen çatı kirişleri için bırakılan filiz deliklerinin zayıf olmasıdır.

Eğimli çatı kirişlerinin deprem sırasında kolondan ayrı düşmesini önlemek adına aşağıdaki tedbirler alınabilir.

- Aderans sorununu çözmek için bağlantı çubuklarını çatı kirişlerinden en az 5 cm kadar dışarıya çıkacak şekilde bırakmak gerekir.
- Bağlantı çubuklarında kesme dayanımını sağlayacak donatı seçilmelidir (Küçükkayalar ve Aydınay, 2000).

1.4. TBDY-2018'e göre Depreme Dayanıklı Prefabrik Yapı Tasarımı

Ülkemizde 2018 yılında yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY-2018) ile prefabrik yapıların depreme dayanıklı tasarımı için yeni kurallar getirilmiştir. Yönetmeliğin “Deprem Etkisi Altında Önüretimli Betonarme Bina Taşıyıcı Sistemlerinin Tasarımı için Özel Kurallar” adlı 8. Bölümünde konu ile ilgili detaylı bilgiler verilmiştir. Yönetmelikte ayrılan bölümde genel olarak taşıyıcı sistemlerin tasarımı için özel kurallar, kolon-kiriş bağlantı türleri, panel döşeme sistemleri ve tasarımı, prefabrik yapılarda çatı ve döşeme diyaframının oluşturulması ve bu diyafram ile deprem kuvvetlerinin aktarılmasına ilişkin kurallar verilmiştir (TBDY-2018, 2018).

Doğrusal deprem hesabı için gerekli parametreler olan Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R), Dayanım Fazlalığı Katsayısı (D), Bina Yükseklik Sınıfı (BYS) yönetmelikte tanımlanmıştır. Yönetmelikte prefabrik yapılar için verilen parametreler Çizelge 1.3’de verilmiştir.

TBDY-2018 ile prefabrik yapılarda kullanılabilen minimum beton sınıfı C30 olarak belirlenmiştir. Ayrıca prefabrik elemanların ve birleşimlerinin yönetmelikte belirlenen süneklik şartlarına uygun olması gerekmektedir (TBDY-2018, 2018).

Yönetmelikte prefabrik elemanlar arasında yapılacak bağlantılar mafsallı ve moment aktarabilen bağlantılar olmak üzere iki gruba ayrılmıştır.



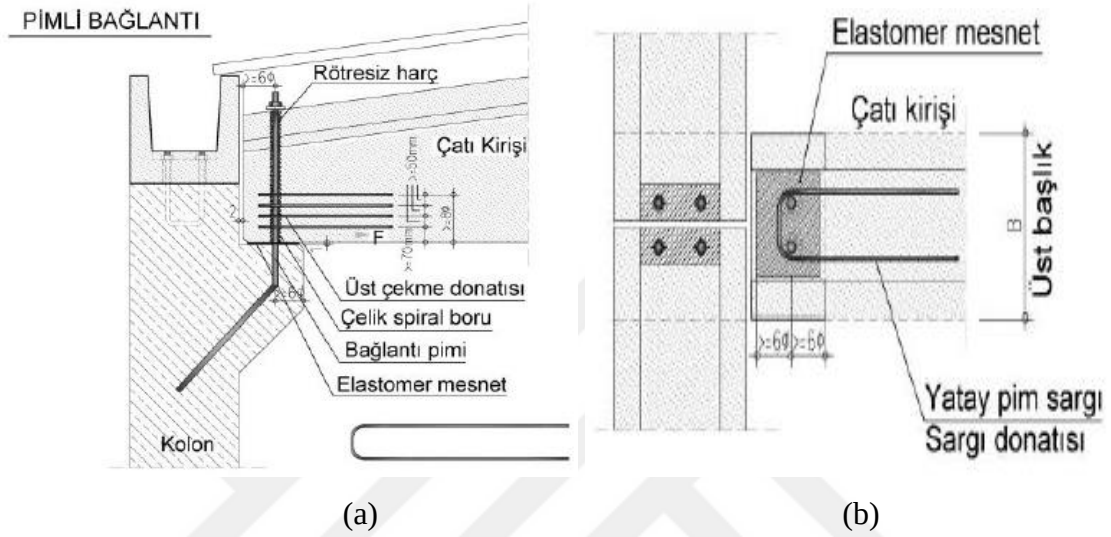
Çizelge 1.3. Prefabrik yapılarda doğrusal deprem hesabı için gerekli parametreler (TBDY-2018, 2018)

Bina Taşıyıcı Sistemi	Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R)	Dayanım Fazlalığı Katsayısı (D)	İzin Verilen Bina Yükseklik Sınıfı (BYS)
1. Süneklik Düzeyi Yüksek Taşıyıcı Sistemler			
Deprem etkilerinin tamamının bağlantıları moment aktaran süneklik düzeyi yüksek önüretimli çerçevelerle karşılandığı binalar	6	2.5	BYS $\geq$ 4
Deprem etkilerinin bağlantıları moment aktaran süneklik düzeyi yüksek önüretimli çerçeveler ile, süneklik düzeyi yüksek yerinde dökme bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar	6	2.5	BYS $\geq$ 2
Deprem etkilerinin bağlantıları moment aktaran süneklik düzeyi yüksek önüretimli çerçeveler ile, süneklik düzeyi yüksek yerinde dökme boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar	5	2.5	BYS $\geq$ 3
Düşey yüklerin bağlantıları mafsallı önüretimli ve iki doğrultulu çerçeveler ile, deprem etkilerinin tamamının ise süneklik düzeyi yüksek yerinde dökme boşluksuz ve/veya bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdelerle karşılandığı binalar	4	2	BYS $\geq$ 5
Deprem etkilerinin tamamının çatı düzeyindeki bağlantıları mafsallı olan ve yüksekliği 12 m'yi geçmeyen süneklik düzeyi yüksek kolonlar tarafından karşılandığı tek katlı binalar	3	2	-
Deprem yüklerinin tamamının öndökümlü betonarme düşey çift cidarlı paneller tarafından karşılandığı süneklik düzeyi yüksek binalar	4	2	BYS $\geq$ 6
2. Süneklik Düzeyi sınırlı Taşıyıcı Sistemler			
Deprem etkilerinin tamamının bağlantıları moment aktaran süneklik düzeyi sınırlı önüretimli çerçevelerle karşılandığı binalar	3	2	BYS $\geq$ 7
Deprem etkilerinin bağlantıları moment aktaran süneklik düzeyi sınırlı önüretimli çerçeveler ile, yerinde dökme süneklik düzeyi sınırlı boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar	3	2	BYS $\geq$ 6
Deprem yüklerinin tamamının öndökümlü betonarme düşey tek cidarlı paneller tarafından karşılandığı süneklik düzeyi sınırlı binalar	3	2	BYS $\geq$ 6
3. Süneklik Düzeyi Karma Taşıyıcı Sistemler			
Deprem etkilerinin bağlantıları moment aktaran süneklik düzeyi sınırlı önüretimli çerçeveler ile yerinde dökme süneklik düzeyi yüksek bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar	5	2.5	BYS $\geq$ 5
Deprem etkilerinin bağlantıları moment aktaran süneklik düzeyi sınırlı önüretimli çerçeveler ile, yerinde dökme süneklik düzeyi yüksek boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar	4	2	BYS $\geq$ 5

1.4.1. Mafsallı bağlantılar

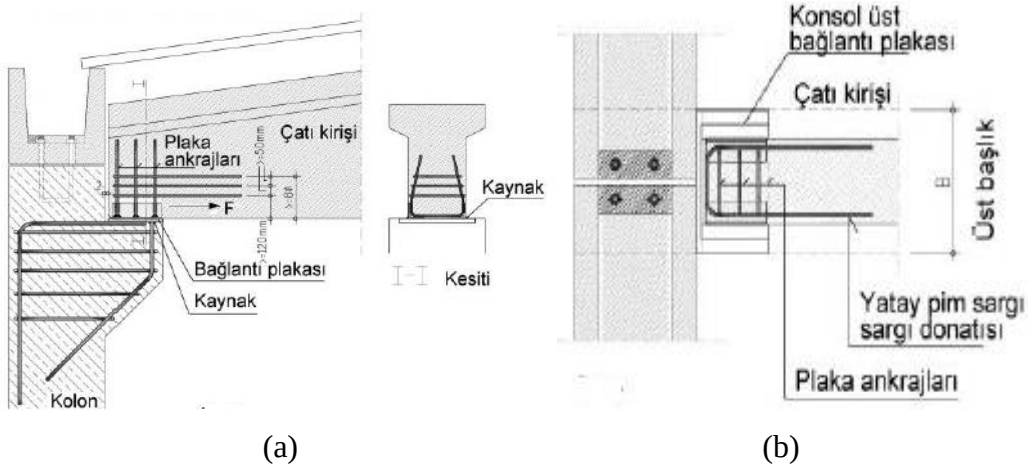
Mafsallı bağlantılar moment aktaramayan ancak kesme kuvveti ve eksenel kuvveti aktarabilen birleşimlerdir. Bu tip bağlantıların çok katlı yapılarda kullanımı sadece betonarme perdeler ile birlikte kullanma şartına bağlanmıştır. Mafsallı bağlantılar genel olarak pimli, yuvalı ve kaynaklı olarak üç gruba ayrılmıştır.

Pimli bağlantılarda özellikle sıyrılmayı önlemek amacıyla kullanılacak çimento harcının gerekli kenetlenmeyi sağlayacak dayanıma sahip olması beklenmektedir. Pim ekseninde yapılacak kapasite hesaplarında ise betonun çekme dayanımının göz önüne alınmaması gerekmektedir (TBDY-2018, 2018). Bu sayede daha güvenli bir birleşim amaçlanmıştır. Pimli bağlantılar için tipik bağlantı detayı Şekil 1.1’de verilmiştir.



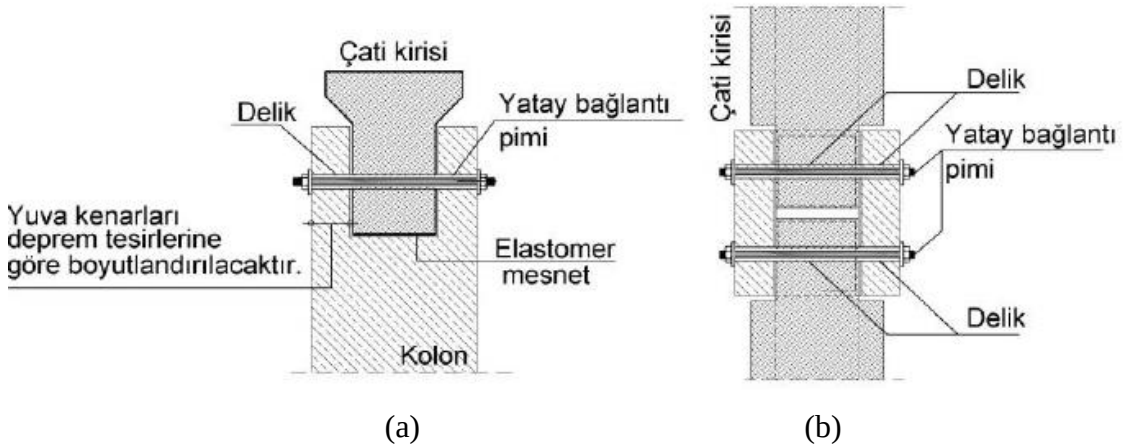
Şekil 1.1. Pimli bağlantı detayı; (a) kesit, (b) plan (TBDY-2018, 2018)

Kaynaklı bağlantılar kolona yerleştirilen bağlantı plakasına ait ankraj donatıları çevresine sargı donatısı sıklaştırılması şartı getirilmiştir. Ayrıca bağlantı bölgesinde birleştirilen malzemelerin akma dayanımına eşit veya daha büyük olmak şartıyla, birleşim metali akma dayanımının %45'ine kadar kaynak kapasitesine izin verilmektedir (TBDY-2018, 2018). Şekil 1.2’de kaynak birleşim detayına bir örnek verilmiştir.



Şekil 1.2. Kaynaklı bağlantı detayı; (a) kesit, (b) plan (TBDY-2018, 2018)

Yuvalı birleşimlerde ise yuva kenarlarının kalınlıklarının 15 cm'den az olmaması ve birleşimde pim kullanılması şartı getirilmiştir. Tipik yuvalı bağlantı detayı Şekil 1.3'te verilmiştir.



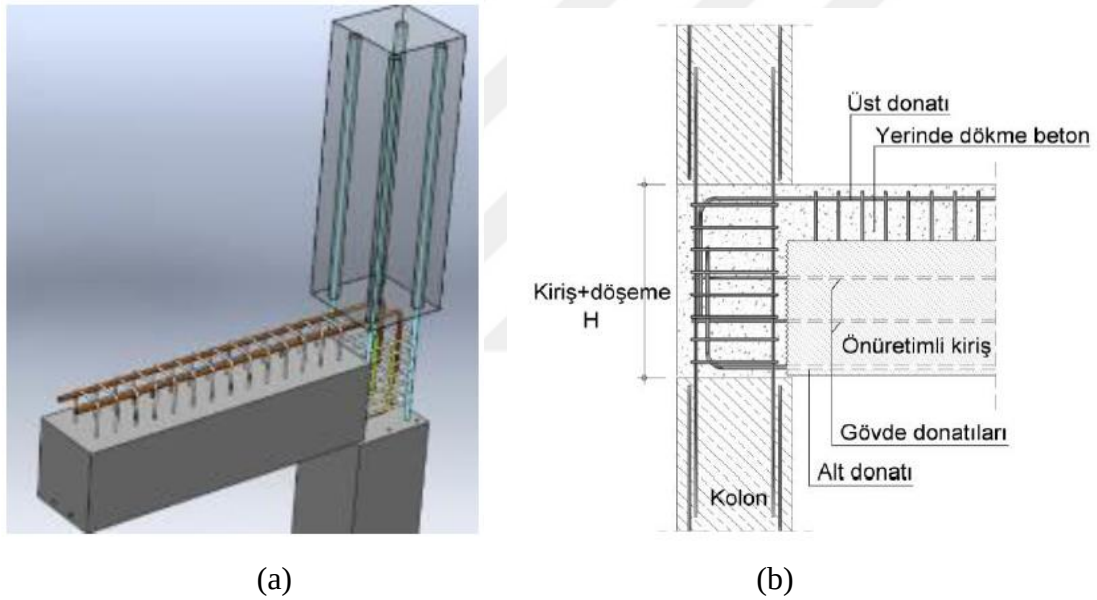
Şekil 1.3. Yuvalı bağlantı detayı; (a) kesit, (b) plan (TBDY-2018, 2018)

1.4.2. Moment aktarabilen bağlantılar

Moment aktarabilen bağlantılarda, deprem etkisi altında taşıma kapasitesinden mümkün olduğunca az kayıp ile sünek davranış gösterecek bir tasarım istenmektedir. Ayrıca bağlantıların, bağlantı yapılan elemanların taşıma kapasitelerini aşmayan yükleri hasar görmeden aktarması beklenmektedir. Moment aktarabilen bağlantı türleri aşağıda verilmiştir (TBDY-2018, 2018):

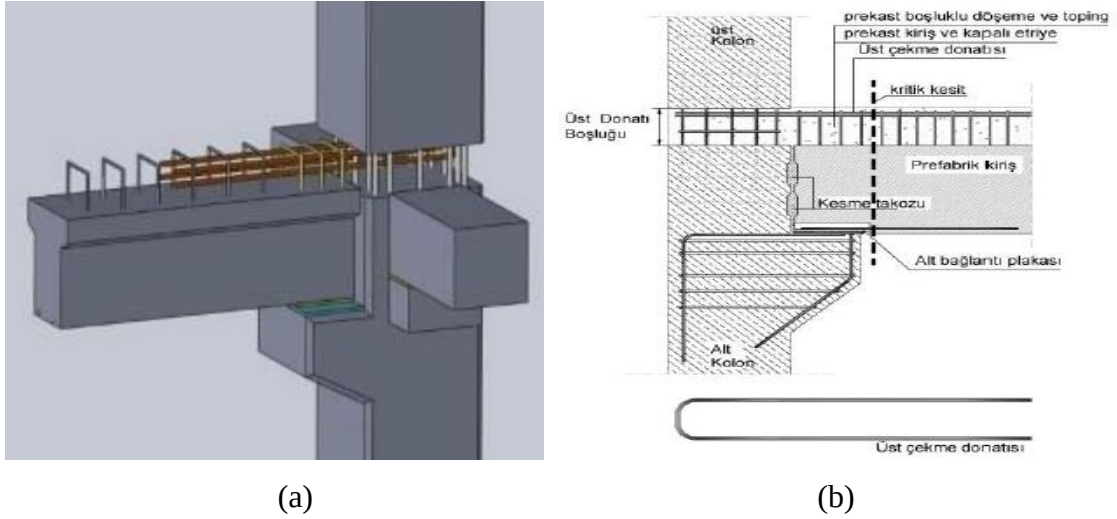
- ✓ Islak bağlantılar,
- ✓ Üstte ıslak-altta kaynaklı bağlantılar,
- ✓ Ard germeli bağlantılar,
- ✓ Bulonlu bağlantılar,
- ✓ Manşonlu-pimli bağlantılar.

Islak bağlantılar moment taşıma kapasitelerinin yerinde dökme beton ve süreklilik donatısı ile sağlandığı bağlantı türleridir. Bu bağlantılarda kiriş-kolon birleşimleri için guseli, gusesiz veya geçici guseli geometrik oturma şekillerine müsaade edilmiştir (TBDY-2018, 2018). Tipik bir ıslak bağlantı detayı ve şematik görünümü Şekil 1.4’te verilmiştir.



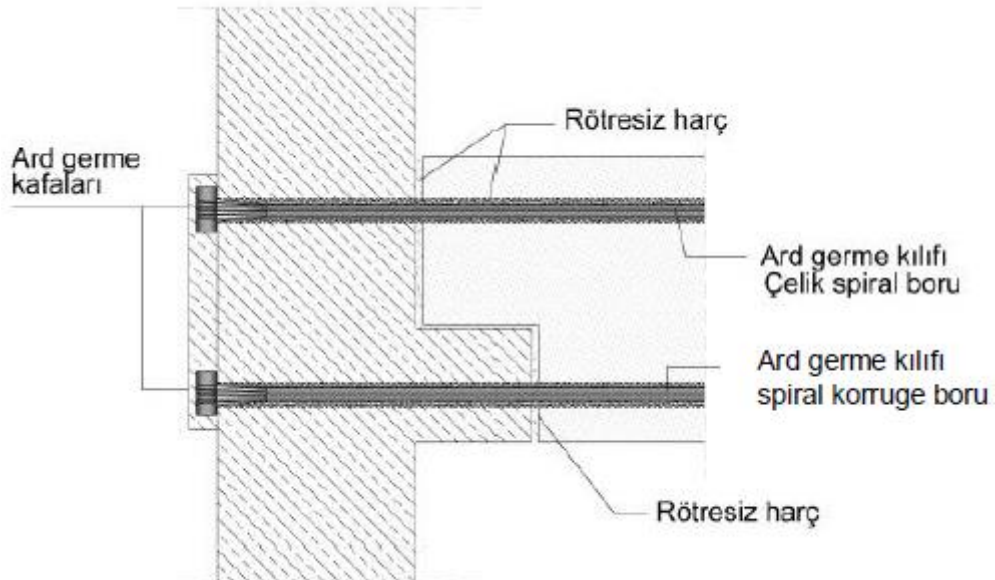
Şekil 1.4. Islak bağlantı detayı; (a) şematik görünüm, (b) kesit (TBDY-2018, 2018)

Üstte ıslak-altta kaynaklı bağlantılarda ise negatif moment kapasitesi sürekliliği yerinde dökme betonarme ile sağlanırken pozitif moment kapasitesi sürekliliğinin kaynak vasıtasıyla sağlanmaktadır. Birleşimi yapılan elemanlarda boyuna donatı kenetlenme boyu, yatay kesme kapasitesi, kaynaklı alt bağlantı vb. gerekli tüm kontrollerin eğilme momentinin her iki yönü içinde yapılması şartı aranmaktadır (TBDY-2018, 2018). Tipik bağlantı detayı Şekil 1.5’te verilmiştir.



Şekil 1.5. Üstte ıslak-alta kaynaklı bağlantı detayı; (a) şematik görünüm, (b) kesit (TBDY-2018, 2018)

Ard germeli bağlantı prefabrik kirişlerin kolonlara bağlantısında moment aktarımı yapacak şekilde kullanılabilir. Ard germe halatları, beton içerisindeki kılıflardan geçirilerek uygulanmaktadır. Bu kılıflar ard germe işlemi sonrası çimento harcı ile doldurulabilir ya da boş bırakılabilir. Sistemin enerji tüketme kapasitesini artırmak amacıyla donatı kullanımı da öneri olarak yönetmelikte verilmiştir (TBDY-2018, 2018). Ard germeli bağlantı detayı Şekil 1.6'da verilmiştir.



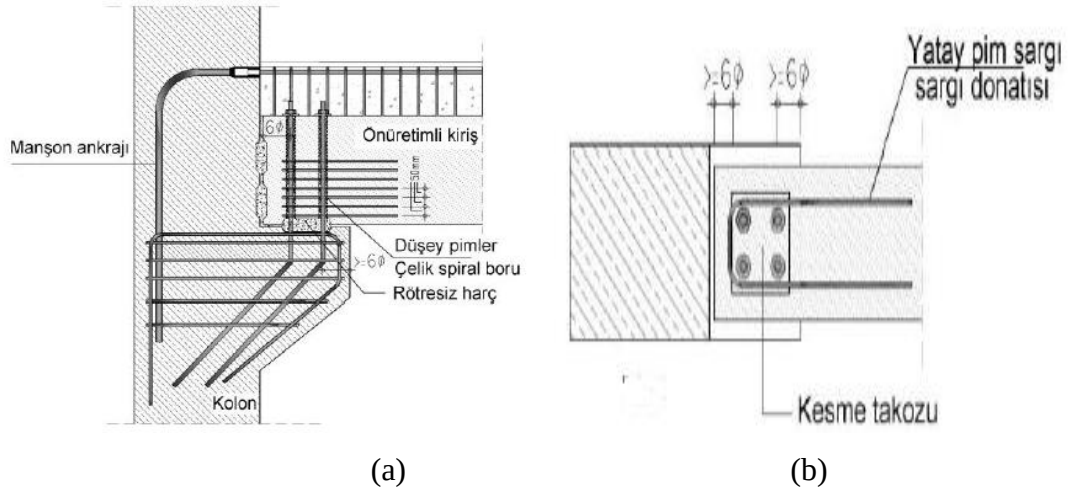
Şekil 1.6. Ard germeli bağlantı detayı (TBDY-2018, 2018)

Bulonlu bağlantılarda, yüksek dayanımlı bulonlar ile bağlantı gerçekleştirilmektedir. Akma dayanımı 800 MPa üzerinde olan bulonlar, yüksek dayanımlı bulon olarak kabul edilmektedir. Bu bağlantı türünde ard germe uygulaması da yapılabilmektedir. Ancak ard germe uygulaması yapılırsa, hesaplanan hedef yer değiştirme seviyesinde kullanılan bulonların elastik sınırlar içinde kaldığının gösterilmesi gerekmektedir (TBDY-2018, 2018). Bulonların bağlantı detayı Şekil 1.7’de verilmiştir.



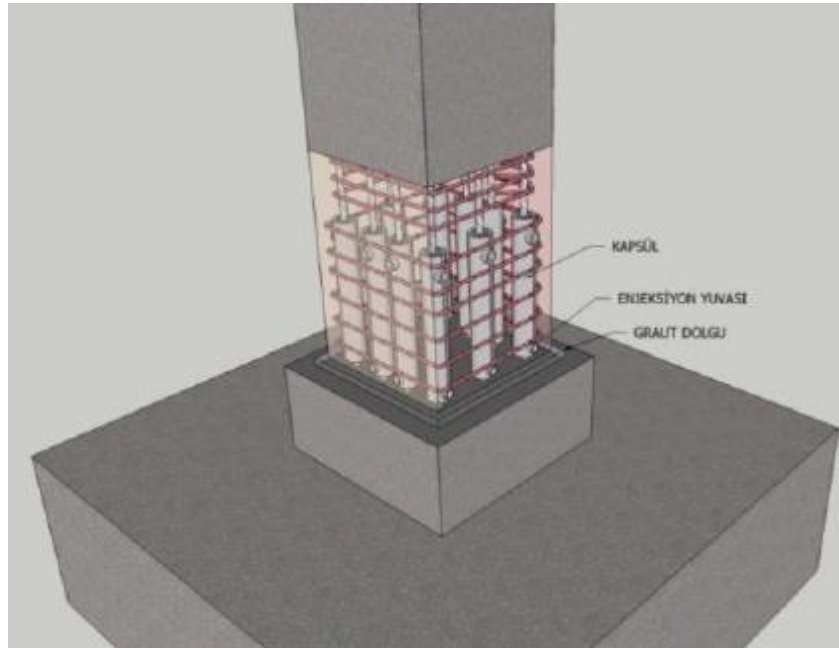
Şekil 1.7. Bulonlu bağlantı detayı (TBDY-2018, 2018)

Manşonlu-pimli bağlantılarda, negatif moment yerinde dökme betonarme ile, pozitif moment ise kolon konsolunda bırakılan pimlerin kesme kuvveti taşıma kapasiteleri ile karşılanır. Negatif momenti taşıyacak donatılar kolonda bırakılan manşonlara vidalanır ve beton harç ile doldurulur. Manşonlu bağlantılarda göçmenin, manşon birleşimi dışında gerçekleştiği hesaplar ile gösterilecektir. Tipik manşonlu-pimli bağlantı detayı Şekil 1.8’de verilmiştir.



Şekil 1.8. Manşonlu-pimli bağlantı detayı; (a) kesit, (b) plan (TBDY-2018, 2018)

Bu bağlantılar dışında kolon-temel, kolon-kolon, kiriş-kiriş veya perde-perde bağlantıları için tüplü bağlantılarda verilmiştir. Bu bağlantılar çimento harçlı, özel yapışkanlı ya da özel bulonlu olarak teşkil edilebilmektedir. Tüplü birleşimlerde geleneksel boyuna donatı uygulamaları ile aynı davranışın elde edildiği deneysel çalışma ile üretici firma tarafından kanıtlanmak zorundadır (TBDY-2018, 2018). Tüplü bağlantı detayı Şekil 1.9’da verilmiştir.



Şekil 1.9. Tüplü bağlantı detayı (TBDY-2018, 2018)

Yönetmelikte tanımlanan bu bağlantılar dışında yeni bağlantı türlerinin oluşturularak uygulanmasına müsaade edilmektedir. Ancak yeni bağlantı türlerinin ACI 374 2R-13-01 (ACI-374-2R-13-01, 2013), AC 133 (AC-133, 2012) ve TS 3233 (TS-3233, 1979) yönetmeliklerindeki hesap esasları ve kontrol kriterlerine uygun olduğunun raporlanması gerekmektedir (TBDY-2018, 2018).

1.5. Prefabrik Yapılarda Oluşan Hasar Türleri ve Nedenleri

Ülkemizde geçmiş depremler ve bunların prefabrike yapılar üzerinde ki etkileri incelendiğinde, prefabrik yapıların tasarımında yapılan hatalar; tasarım aşamasında deprem yükünün tersinir tekrarlanır olarak etki edeceği dikkate alınmadığından kiriş alt donatısının süneklik açısından yetersiz kalması, plaka ankrajlarının yeterli olmaması, taşıyıcı olmayan duvarlarda bağlantı noktalarında yanal ötelemenin yüksek olması sebebiyle hasar oluşumu gibi tespitler yapılmıştır (Durakoğlu, 2006).

Deprem afeti mal ve can kayıpları açısından yıkıcı etkiye sahip olup, inşaat sektöründe depreme dayanıklı yapılar üretmeyi zorunlu kılmıştır. Türkiye’de yapılan sanayi yapılarının %70’i prefabrik olarak imal edilmekle beraber, genellikle uzun açıklıklar ve yüksek kolonlar kullanılmıştır. Aynı zamanda ülkemizin deprem kuşağında yer alması, Erzincan, Adana ve Marmara depremlerinde yapıların Şekil 1.10’da görüldüğü gibi hasar görmesi ve bununla beraber diğer makine ve ekipmanlarda maddi hasarların oluşmasına sebebiyet vermiştir (Başkan, 2009). Betonarme prefabrik yapılarda bu noktada önemli bir yere sahip olup, tasarımların iyileştirilmesi için depremlerde oluşan hasarların çeşitleri ve nedenlerinin tespit edilmesi gerekmektedir.



Şekil 1.10. Depremde hasar görmüş sanayi yapısı (Başkan, 2009)

Türkiye’de yaşanmış depremler sonucu prefabrik yapılarda oluşan hasarlar incelendiğinde, birçok noktada hasar olduğu gözlenmiştir. Adana- Ceyhan depreminden sonra bölgede yapılan prefabrike yapılarda ki hasar incelemelerinde bulgulardan ilki çatı sistemlerinin çözülmesi ve bunun sonucunda kirişlerin devrilmesidir. Çerçeve doğrultusuna dik ve yatay doğrultuda, çatı elemanlarını taşıyan kirişlerde bağlantı noktalarının yetersiz kalması ve oluşan atalet kuvvetlerinin etkisiyle Şekil 1.11’de görüldüğü gibi kirişler kolondaki guselerden ayrılarak devrilme oluşmuştur. Kirişlerdeki bu hareketten sonra üzerindeki aşıklarda donatıdan ayrılarak yere düşmüştür (Akçaözoglu, 2003; Aktikan, 2008; Başkan, 2009).

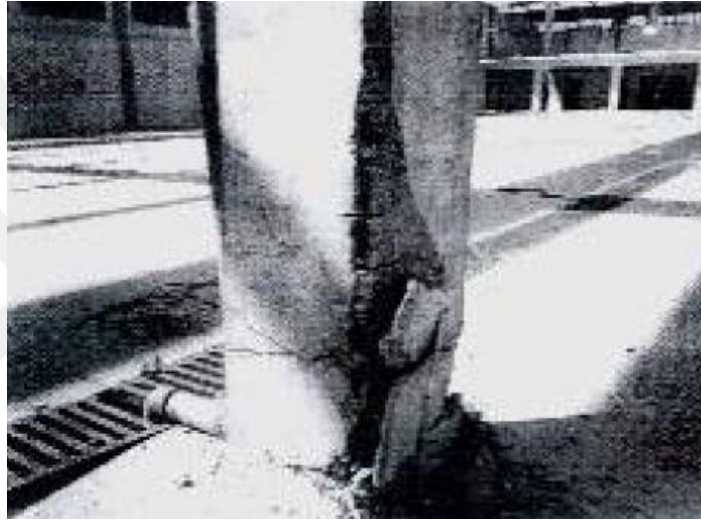


Şekil 1.11. Kirişlerin oturduğu konsoldan yana devrilmesi (Akçaözoglu, 2003)

Bir diğer hasar türü ise konsola oturtulan kirişlerdeki, konsoldan gelen donatının kirişe bağlanması için bırakılan ve sonradan düşük mukavemetli harçlar ile doldurulan

deliklerin çevresinde çatlaklar oluştuğu, bazı yapılarda ise kirişlerin bu donatıdan kurtularak devrildiği gözlenmiştir (Türkmen ve ark.; Akçaözoglu, 2003; Aktikan, 2008; Başkan, 2009).

Prefabrik yapılarda sık rastlanan bir diğer hasar çeşidi ise, kolonların alt kısımlarına yakın bölgelerde Şekil 1.12’de görüldüğü gibi eğilme momenti kaynaklı ezilme ve çatlakların oluşmasıdır. Bu hasar kolonların alt uçlarında moment taşıma kapasitesinin yeterli olmadığını göstermektedir. Kolon kesitlerinin çerçeveye dik doğrultuda yeterli olmaması ve donatı sıklığının fazla olması kolonlarda oluşan hasarların sebebi olarak gösterilmektedir (Başkan, 2009).



Şekil 1.12. Kolon alt ucunda plastik mafsall oluşumu (Türkmen ve ark.)

Dilatasyon bölgelerinde ki kirişlerin deplasman yapabilecek şekilde bağlanmaması ve dolayısıyla farklı elemanlarda gerçekleşecek farklı deplasman miktarlarından dolayı oluşacak olan, kirişin mesnetten kurtulması durumudur. Bu hasarın oluşmasında kayar mesnet detaylandırmasının hatalı yapılmasıdır. Birden fazla açıklığı bulunan sanayi yapılarında iç duvar bulunmazken dış duvar bulunması, çerçeveye dik doğrultuda farklı deplasmanların oluşmasına sebep olmuş ve kenar kolonlara göre orta kolonlar daha fazla deplasman yapmıştır. Bu sebeple orta kolonlarda hasar oluşumunun gözlemlendiği hasar çeşidi mevcuttur (Aktikan, 2008).

Oluşan hasarlar incelendiğinde bu hasarların nedenlerinin sistem kaynaklı hatalar, detay kaynaklı hatalar olmak üzere ikiye ayrılabilir. Sistem kaynaklı hasarlar hasar görmüş mafsall bağlantıları üzerinde yapılan incelemelerde, yanal rijitliğin yetersiz

olduğu, kolonların yanal rijitlik kapasitesinin düşük olması, ve depremle oluşan aşırı öteleme hareketi bağlantı noktalarında zorlanmaya ve zayıf olan mafsallarda birleşimlerinde Şekil 1.13'te görüldüğü gibi hasar oluşmasına sebep olmuştur. Bazı imalatlarda ise kirişler konsolun uç kısmına yakın oturtulmuş ve yanal öteleme sebebiyle kirişlerin devrilmesi kaçınılmaz olmuştur. Çatı elemanlarında kirişleri arasında bağlantı sağlayan bir yapı elemanının (döşeme veya çapraz) bulunmaması, deprem sırasında stabilite sağlanamamış, kirişler dönmüş ve mesnetteki pimleri sıyırmıştır (Akçaözoglu, 2003).



Şekil 1.13. Kiriş mesnetinde hasar oluşumu (Türkmen ve ark.)

Prefabrik yapılarda en zayıf kalan taraf çatı kısmında bir diyafram bulunmamasıdır. Çatı düzeyinde kirişleri birbirine bağlayan aşık kirişleri bulunsada dahi bir diyafram etkisi göstermemiştir. Bundan dolayı çerçeveler birbirinden bağımsız hareket etmekte ve deprem sırasında hasar kaçınılmaz olmaktadır. Prefabrike yapılara sonradan eklenen ve yapıya bağlanan elemanlar deprem sırasında davranışın öngörülenden farklı olmasına ve olumsuz yönde etkilenmesine sebep olmaktadır. Bu gibi sistem hataları prefabrike yapılarda hasar oluşumuna neden olmuştur (Aktikan, 2008).

Diğer taraftan detay hatalarından mafsallarda bağlantı noktalarında çift pimli bir detay yerine tek pimin kullanılması yanal hareketlerin karşılanmasında zorlanmaların oluşmasına sebep olmuştur. Ayrıca pimlerin kenetlenmesi yeterli düzeyde olmadığından sıyrılmalar oluşmuştur. Bir diğer detay kusuru ise kolon konsollarının detaylandırılmasının iyi yapılmaması yer yer ezilmeler bazı bölgelerde kırılmalara sebep olmuştur (Akçaözoglu, 2003).

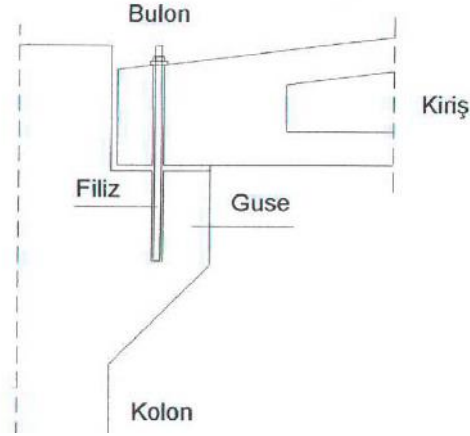
1.6. Prefabrik Yapılarda Oluşan Hasarlar için Çözüm Önerileri

Geçmiş yıllarda yaşanan depremlerde hasar görmüş prefabrik yapılar incelendiğinde aşağıda verilen çözüm önerilerinin hasar oluşumunu azaltacağı düşünülmektedir:

- Proje tasarımı aşamasında prefabrik elemanların bağlantı detaylarında deprem etkisinin tersinir olduğu unutulmamalı her iki yönde de maksimum yükler için tasarım kontrol edilmelidir (Erdem, 2010).
- Tasarım sırasında yönetmeliklerde belirlenen deprem davranışından ziyade yapının olası deprem yükü altında davranışı irdelenerek sağlıklı bir tasarım yapılmalıdır (Durakoğlu, 2006).
- Kolon-kiriş birleşimlerinde bulon ile bağlantı sağlanmalıdır (Bayülke, 1999).
- Prefabrik elemanların üretimleri sırasında kullanılan donatılar bükülürken belirli bir çap etrafında bükülmelidir (Ersoy, 1995).
- Bağlantı bölgelerinde kullanılan yerinde dökme beton harçların rötre oluşturmayacak cinsten olması gerekmektedir (Zorbozan ve ark., 1998).
- Kolonların tasarımı sırasında asimetrik yaklaşımlardan uzak durulmalıdır (Durakoğlu, 2006).
- Zemin etütleri uygun bir şekilde yapılarak elde edilen veriler doğrultusunda temel sistemi çözümleri üretilmelidir (Başkan, 2009).
- Çerçeve sistemli prefabrik yapılarda deprem etkisi altında yeterli üst başlık genişliği sağlanmalıdır (Erdem, 2010).
- Prefabrik elemanlar bazı durumlarda servis yükleri altında maruz kaldıkları yüklerden çok daha fazlasına nakliye, depolama ve montaj aşamalarında maruz kalabilmektedir. Özellikle yapı elemanının taşınma sürecinde nasıl kaldırılacağı vince nasıl bağlanacağı detayları düşünülerek maruz kalacağı yüklere göre tasarımda önlemler alınmalıdır (Zorbozan ve ark., 1998).
- Temele gelecek yüklerin hesap değerlerinden fazla olması durumunda temelde dönme riski oluşacaktır. Bu noktada temelin mühendislik özelliklerinin (zemin cinsi, emniyet gerilmesi, hâkim periyodu, YSS, vb.) tespit edilmesi ve gerekiyorsa zemin iyileştirme teknikleri uygulanması gereklidir. Prefabrike çerçevelerin temelle bağlantısı olan bağ kirişleri sistemin bir bütün olarak

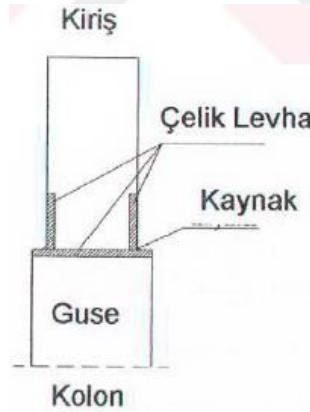
çalışabilecek şekilde detaylandırıldığında temel kaynaklı hasarları da engelleyecektir (Akçaözoglu, 2003).

- Prefabrik yapı elemanları bir tesiste üretilip inşaat sahasına taşındığından, bu elemanlar üretimden montaj aşamasına kadar, yapıya imalatı tamamlandıktan sonra etki edecek servis yüklerinden çok daha fazladır. Dolayısıyla üretim, nakliye ve montaj aşamasında beklenmeyen deformasyonlar ile karşılaşılması için projeye uyulmalıdır. Ayrıca projelerde şartname, koşul ve çizimlere eke olarak elemanların taşınması için detaylara yer verilmelidir. Prefabrike yapılarda elemanlar, yerinde dökülen elemanlardan farklı davranış gösterebilir. Dolayısıyla projelendirme aşamasında farklı oturmalar, deprem ve rüzgar, sıcaklık değişimleri, rötre ve sünme etkilerini azaltacak şekilde projelendirilmelidir. Deneysel analiz sonuçlarına göre yüzeye etkiyen dik kuvvetlerin dağılımı belirlenmeli elemanların yeterli düzeyde burulma rijitliğine ve kesme kuvvetlerini karşılayacak dayanıma sahip olmalıdır (Yüzügüllü, 1993; Bayülke, 1999).
- Yanal kuvvetlere karşı rijitliği sağlayabilmek için kolonların simetrik bir düzende ve yeterli kesitlere sahip olması sağlanmalı veya bu rijitlik çaprazlar yoluyla sağlanacaksa projede diyafram etkisi oluşturacak yatay düzlemde çaprazlar kullanılmalıdır. Deprem esnasında devrilmeyi önlemek için birleşim noktalarında pim yerine çift pimli bir sistem, bulonlu birleşimler, kesme kuvvetini aktaracak nervürlü pimler tercih edilmeli ve kirişin oturtulduğu mesnet bölgeleri olabildiğince geniş tutulmalıdır (Başkan, 2009).
- Yanal rijitliğin sağlanması için kirişlerin uç kısımlarında delik ve gusede dış açılarak Şekil 1.14'te görüldüğü gibi bulanla birleşim yapılması olumlu sonuçlar doğuracaktır (Bayülke, 1999; Akçaözoglu, 2003).



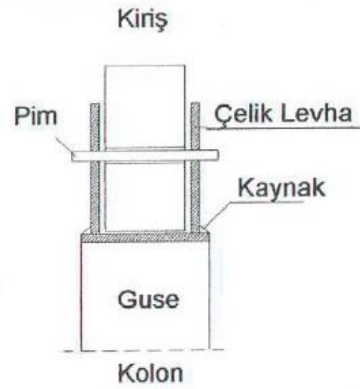
Şekil 1.14. Düşey doğrultuda bulonlu birleşim (Akçaözoglu, 2003)

- Bir diğer alternatif ise Şekil 1.15’te görüldüğü gibi üretim esnasında kirişlerin yan taraflarına yerleştirilen çelik levhalar, yine üretim aşamasında kolondaki konsola yerleştirilmiştir çelik levhaya kaynaklanmalıdır (Bayülke, 1999; Akçaözoglu, 2003).



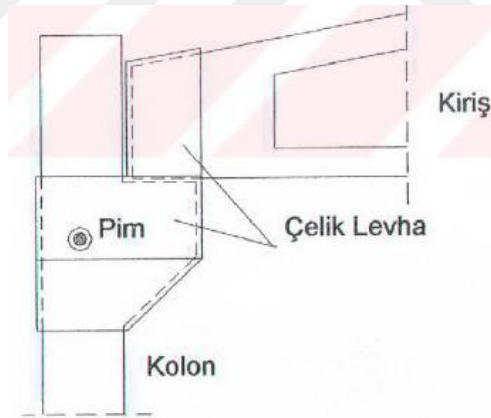
Şekil 1.15. Kirişin çelik levhalar arasında oturtulması (Akçaözoglu, 2003)

- Kolon kiriş birleşiminde alternatif olarak, köprülerde kullanılan klasik mafsal tipinde, kirişin konsolda bulunan bir çelik yuvaya oturtulması ve yatay doğrultuda kirişin ortasından bir pim geçirilerek Şekil 1.16’da görüldüğü gibi birleşim sağlanması yanall rijitliğin sağlanması için uygulanabilecek yöntemlerdendir (Bayülke, 1999; Akçaözoglu, 2003).



Şekil 1.16. Çelik levhalar arasına oturtulan kiriş ve pim bağlantısı (Akçaözoglu, 2003)

- Konsol ve kiriş bağlantısında Şekil 1.17’de görüldüğü gibi kaynaklanmış çelik levhalarla kiriş uç kısmının ve konsolun bağlanması da alternatifler arasındadır (Bayülke, 1999; Akçaözoglu, 2003).



Şekil 1.17. Kaynaklı çelik levhalarla konsol ve kiriş ucunun sarılması (Akçaözoglu, 2003)

- Prefabrik yapılarda bağlantılar, elemanlar arasında kuvvet ve momentleri aktarmalı, deplasman ve dönmeleri sönümleyebilmelidir. Bağlantı noktalarının imalatında sapmalardan kaynaklı bir miktar tolerans bulunmalı ve proje hesabı yaparken bu dikkate alınmalıdır. Yangına karşı dayanıklılık, maliyet ve estetik bağlantı biçiminin seçiminde rol almaktadır. Bağlantı yerlerinin hesaplamaları yapılırken kanunlara, teknik şartnamelere ve konuyla ilgili diğer şartnamelere

dikkat edilmeli, bölgenin durumuna göre özel önlemler alınmalıdır. Ayrıca yapının bütününe ve her elemana düşen her yük ve moment dikkate alınmalıdır. Montaj esnasında birleşim noktalarının kuvvet aktarabilir hale gelinceye kadar, bütün elemanların ve sistemin stabilitesinin önlemler alınarak sağlanması gereklidir. Büzülme, sünme ve ısı değişimlerinden kaynaklı gerilme ve momentler yapının tasarımında dikkate alınmalıdır (Akçaözoglu, 2003).

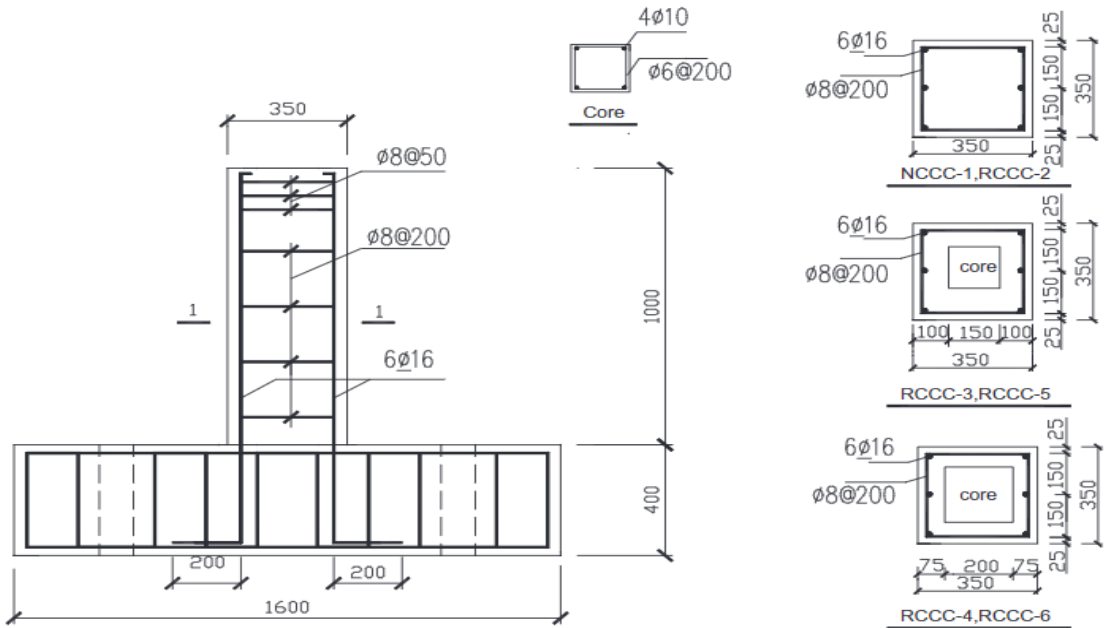


2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Prefabrike yapılarda bağlantı noktalarında yaşanan sıkıntılar nedeniyle bu konu ile ilgili yapılmış birçok çalışma bulmak mümkündür. Çalışma kapsamında incelenen çalışmalar aşağıda verilmiştir:

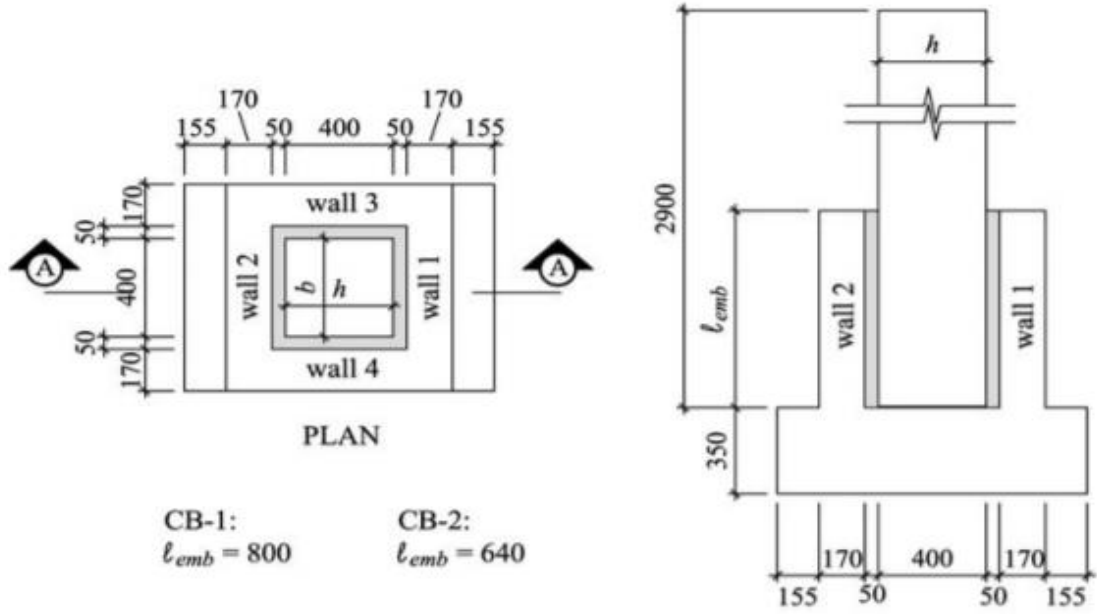
Haraldsson ve ark. 2013 yılında yaptıkları çalışmada, köprü kolonların temel birleşiminde soketli birleşimin sismik davranışını incelemişlerdir. Çalışma kapsamında ankrajlar ile güçlendirilen kolonlar soket bağlantısı ile temele bağlanmıştır. Yapılan çalışmada eksenel yük testlerinde bağlantının beklenenden çok daha fazla yük taşıdığı görülmüştür. Bağlantının sismik davranışının ise yerinde dökme betonarme yapıya göre daha iyi bir davranış sergilemiştir (Haraldsson ve ark., 2013).

Xiao ve ark. 2012 yılında yaptıkları çalışma da, yerinde dökme betonarme kolonlar ile yarı prefabrike kolonların davranışını incelemişlerdir. Şekil 2.1’de gösterildiği gibi bir donatı ve kalıp düzeninde kolon numuneleri hazırlanmıştır. Numunelerde doğal agregaya ve geri dönüştürülmüş agregaya olmak üzere iki tip agregaya kullanılmıştır. Çalışmada agregaya ikame yüzdesi, yerinde döküm, kısmen prefabrik döküm arasındaki farklılıklar ve yarı prefabrike kolonların histeretik davranışları, rijitlikleri ve enerji sönümleme kapasiteleri incelenmiştir. Yarı prefabrike kolonların yerinde dökme kolonlara benzer davrandığı görülmüştür (Xiao ve ark., 2012).



Şekil 2.1. Numunelerin kalıp ve donatı planları (Xiao ve ark., 2012)

Canha ve ark. 2009 yılında yapılan çalışmada, iki adet numune hazırlanmıştır. Numunelerde kolonun soket içerisine gömülü kısımlarının uzunluğu değiştirilmiştir. Genel birleşim bölgesi detayı Şekil 2.2'deki gibidir. Numuneler Şekil 2.3'deki gibi kolon üst noktasında bir çelik kiriş yardımı ile eksantrik kuvvete maruz bırakılmıştır. Sonuç olarak boyuna donatılarda burkulma sonucu akma gerçekleşmiştir. Enine donatılar önemli bir gerilmeye maruz kalmamıştır (Canha ve ark., 2009).

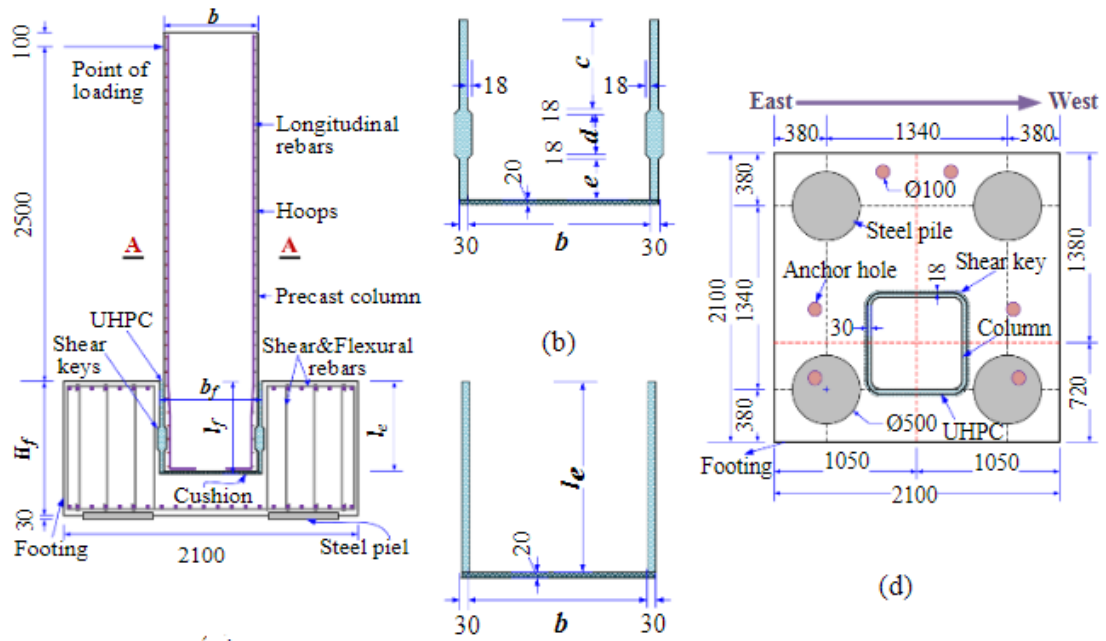


Şekil 2.2. Numunelerin kesit ve planı (Canha ve ark., 2009)



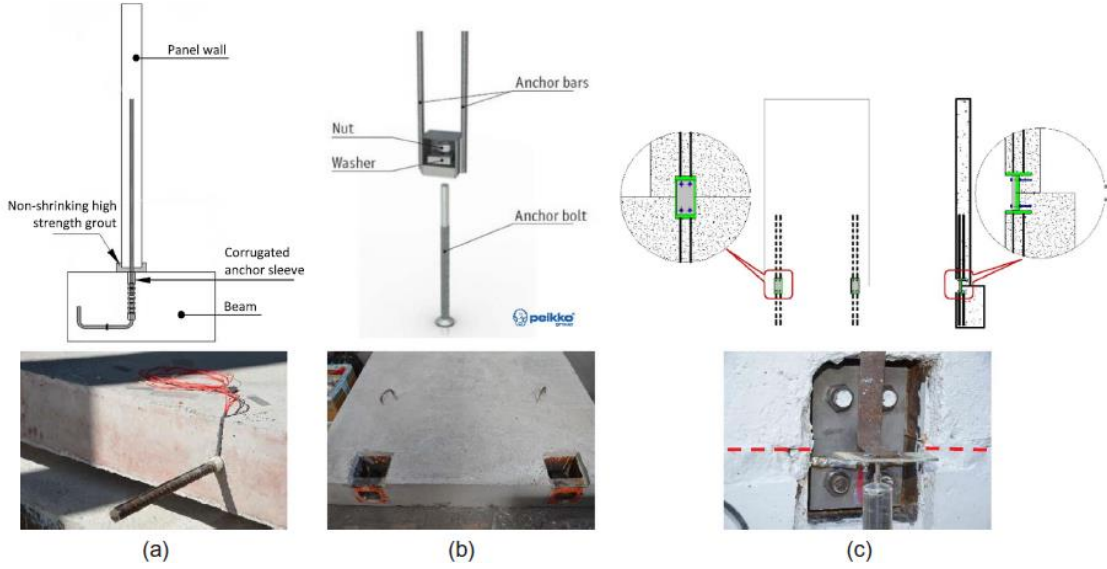
Şekil 2.3. Yükleme düzeneği (Canha ve ark., 2009)

Zhang ve ark. 2021 yılında yaptıkları çalışmada, 1/3 ölçekli ultra yüksek performanslı beton dolgusu ile soketli temel kolon birleşimini incelemişlerdir. Ultra yüksek performanslı betonun enjekte edildiği tüpler Şekil 2.4’de görüldüğü gibi soket içerisine yerleştirilmiştir. Yerinde dökme betonarme kolonların davranışı ile prefabrike geleneksel beton dolgulu soketli birleşim ve ultra yüksekli performanslı beton dolgulu birleşim ile kıyaslamışlardır. Sonuç olarak yapılan çalışmada, yerinde dökme betonarme sisteme eşdeğer sonuçlar elde edilmiştir (Zhang ve ark., 2020a).



Şekil 2.4. Numunelerin kesit ve planı (Zhang ve ark., 2020a)

Psycharis ve ark. prefabrike yapılarda sıklıkla tercih edilen perdelerin temel ile bağlantıları konusunda bir çalışma yapmışlardır. Şekil 2.5’de görüldüğü gibi 3 farklı bağlantı tipi çalışma kapsamında kullanılmıştır.



Şekil 2.5. Çalışmada kullanılan birleşim tipleri, (a) donatı ile ankraj bağlantısı, (b) perde ayağı birleşimi, (c) çelik plakalar ile birleşimi (Psycharis ve ark., 2018)

Üretilen numuneler monotonik ve tersinir tekrarlanır yükleme olmak üzere iki farklı yükleme türü ile test edilmiştir. Tüpler ile donatıların bağlandığı grout doldurulan bağlantılarda enerji sönümleme kapasitesi daha fazla çıkmıştır (Psycharis ve ark., 2018).

Germano ve ark. dolgu betonu olarak çelik lifli yüksek mukavemetli beton kullanılan numuneler hazırlamışlardır. Şekil 2.6’da görüldüğü gibi çelik soket içerisine yerleştirilmiş kolonların davranışını incelemiştir. Çalışmada enine donatı oranı, aksenal yük, lif türü gibi parametreler incelenmiştir. Sonuç olarak bağlantı bölgesindeki yatay donatı aralığının ve liflerin sonucu pozitif etkilediği vurgulanmıştır. Çelik elyaf takviyeli beton dolgusunun yapısal rijitliği, mukavemeti ve enerji sönümleme kapasitesini artırdığı görülmüştür (Germano ve ark., 2015).

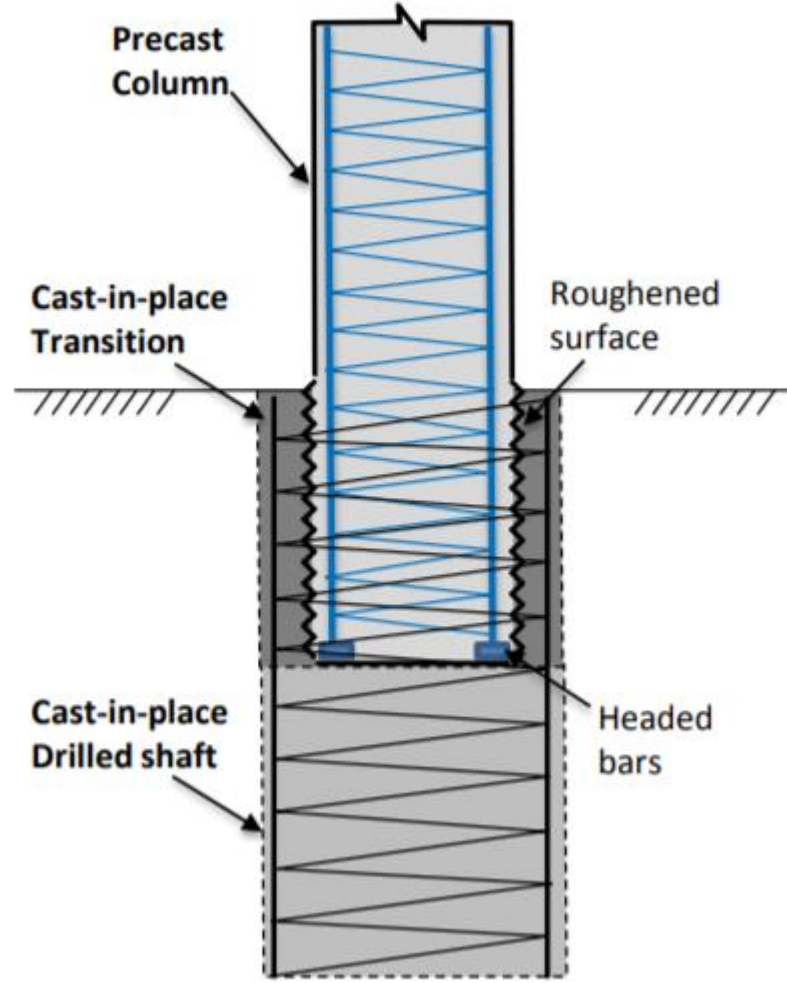


Şekil 2.6. Numunelerin monte edildiği çelik soketler (Germano ve ark., 2015)

Kataoka ve ark. davranışı yarı rijit olan kolon üzerine donatı sürekliliği sağlanarak bağlanmış kiriş ve döşemelerin düşey yük etkisi altında davranışını incelemişlerdir. Yapılan çalışma için bilgisayar ortamında bir model oluşturularak model ile deney sonuçları kıyaslanmıştır. Deney numunelerinde taşıma gücü 242 kN olarak elde edilirken, bilgisayar ortamında oluşturulan modelden elde edilen taşıma gücü 256 kN olmuştur. Model ve numune arasındaki fark yaklaşık olarak %5.78 çıkmıştır. Bağlantı detayındaki donatıların bağlantı kapasitesini artırdığı görülmüştür. Bilgisayar ortamında hazırlanan bütün modellerde başlangıç rijitlikleri aynı iken ilk çatlağın oluşumu davranışı farklılaştırmıştır (Kataoka ve ark., 2017).

Campos ve ark. soketli temel kolon birleşiminde tasarım için bir formülasyon önermişlerdir. Önerilen formülasyon sayesinde boyuna ve enine donatı hesaplandıktan sonra beton kırılma şekline göre sonuçlar doğrulanmaktadır. Önerilen formülasyonun sonuçlarının deneysel sonuçlar ile yakınlaştığı görülmüştür (Campos ve ark., 2011).

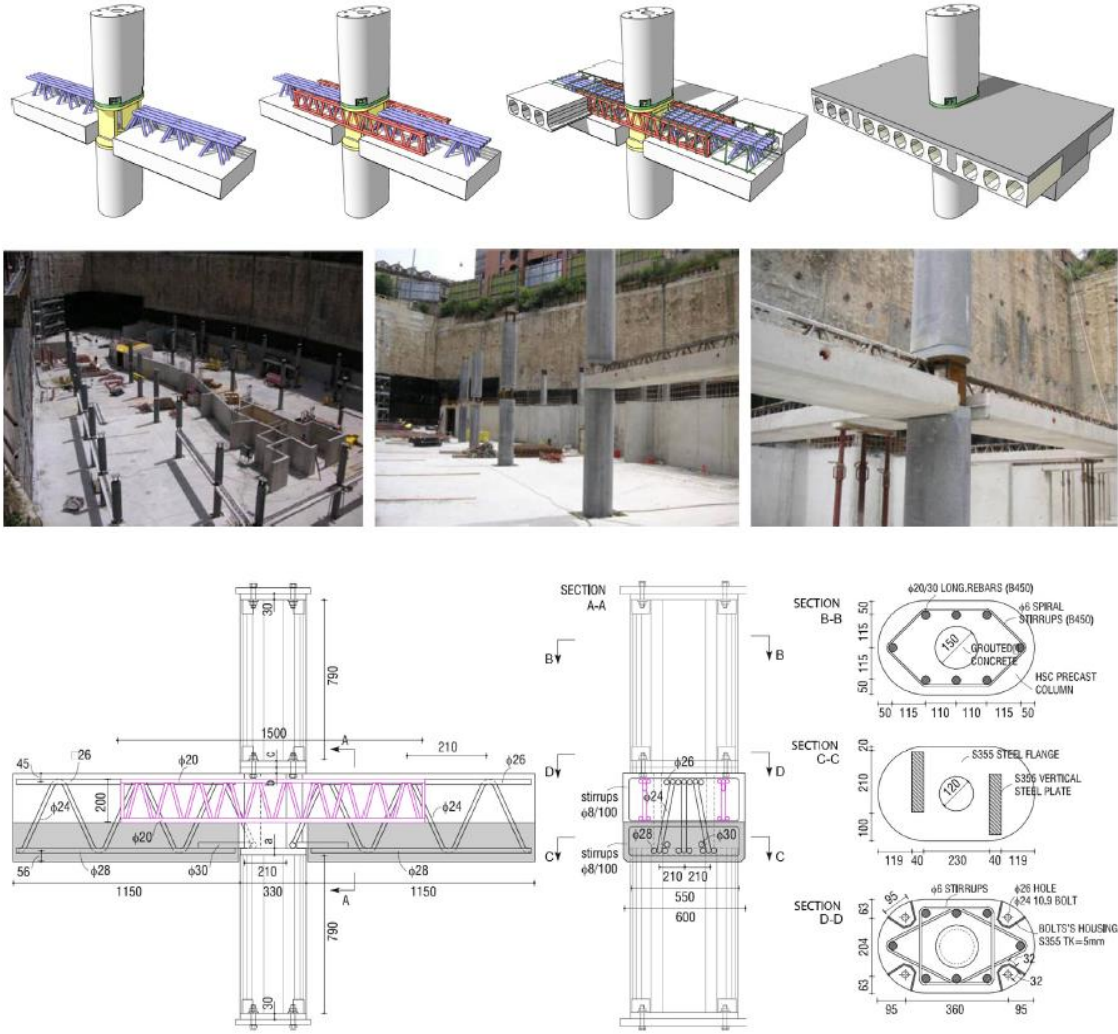
Tran yaptığı tez çalışmasında kolonun oturacağı betonarme bir şaft oluşturulmaktadır. Şaft üzerine oturacak kolonun yüzeyinde pürüzlülük oluşturulmaktadır. Kolon tabanına ankrajlara yerleştirilerek daha etkili bir bağlantı haline getirilmiştir. Bağlantı detayları Şekil 2.7’de verilmiştir. Bağlantı sayesinde montaj için önemli bir tolerans payı elde edilmiştir. Açılan şaft için kullanılan spiral donatı miktarı geleneksel duruma göre yarıya indirilmiş ve sonuç olarak şaftta itme hareketlerinin hasar oluşturmaya neden olmuştur. Betonun küçük ötelenme hareketlerinde çekme dayanımına önemli katkısının olduğu görülmüştür. Ancak büyük döngüsel yüklemelerde betonda çatlamların olduğu ve katkısının önemli ölçüde azaldığı görülmüştür (Tran, 2015).



Şekil 2.7. Numunelerin bağlantı yöntemi (Tran, 2015)

Wang ve ark. 1/3 ölçekli dört adet numune üretmişlerdir. Numunelerin iki tanesi yerinde dökme betonarme olarak referans numunesi iken diğer numuneler soketli ve cep bağlantısı ile üretilmiştir. Üretilen soketli ve cep bağlantıların sismik davranışı yerinde dökme betonarmeye eşdeğer çıkmıştır. İncelenen bütün parametreler yönünden prefabrike sonuçları yerinde dökme betonarmeye göre %15 civarında farklılık göstermiştir (Wang ve ark., 2019).

Huang ve ark. tarafından bir kolon kiriş bağlantısı geliştirilmiştir. Bağlantı detayı ile üretilen numuneler tersinir tekrarlanır yatay yükleme ile test edilmiştir. Geliştirilen bağlantının detayı Şekil 2.8'deki gibidir.



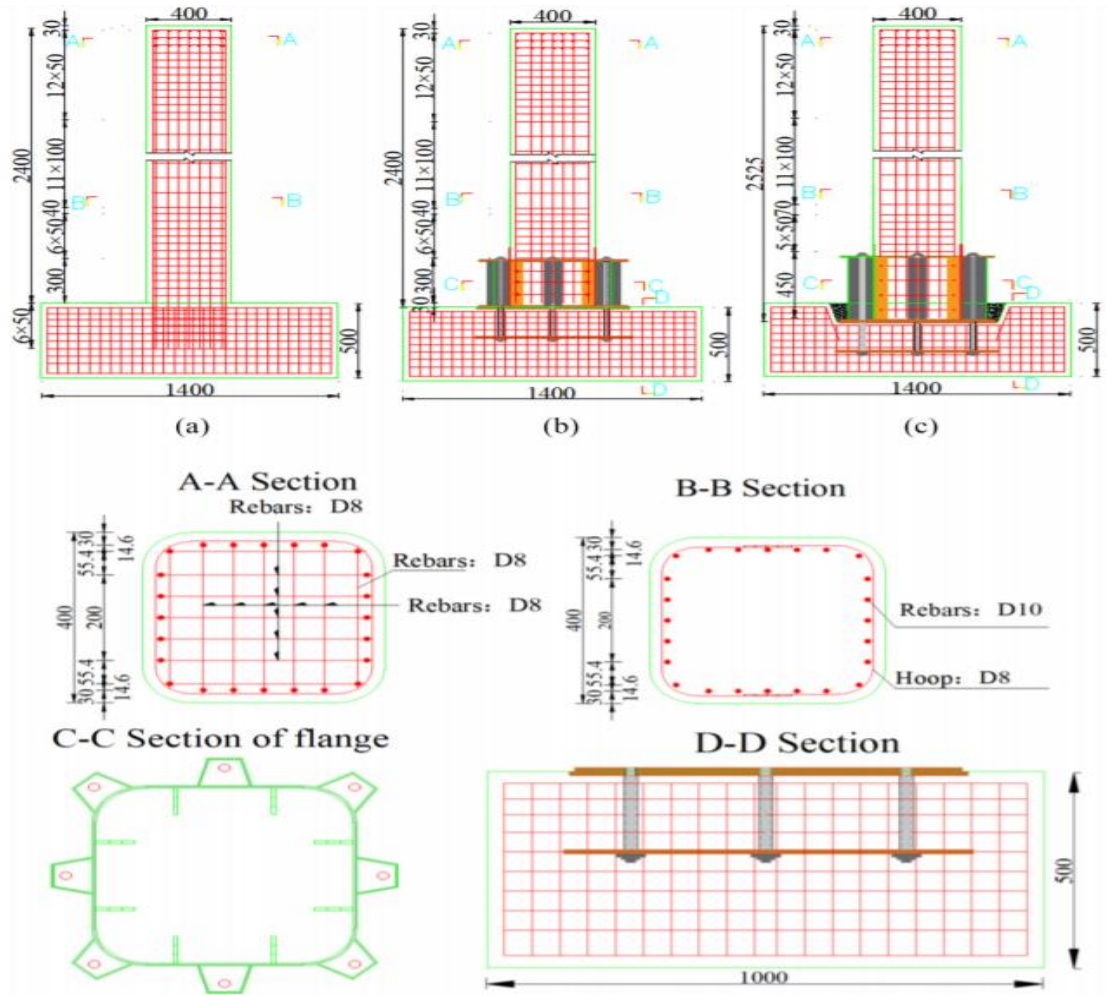
Şekil 2.8. Geliştirilen birleşim türü detayları (Huang ve ark., 2017)

Yapılan çalışmada kullanılan donatının çapı ve birleşim plakasının kalınlığı numuneler arasında farklılık gösteren parametrelerdir. Çalışma sonucunda kolon tabanına CFRP güçlendirmesi yapılmamış numune haricinde bütün numunelerde sünek davranış elde edilmiştir. Kullanılan donatı çapının artması ile dayanımın arttığı görülmüştür. Ayrıca plaka kalınlığının davranışı değiştirmeden daha da inceltilebileceği vurgulanmıştır (Huang ve ark., 2017).

Salloum ve ark. yerinde dökme betonarme, geleneksel prefabrike ve kolon kiriş bağlantısının çelik plakalar ile güçlendirildiği iki açıklıklı bir çerçeve sistemi oluşturmuşlardır. Numuneler kiriş üzerine uygulanan düşey yük ile test edilmiştir. Çalışmada kullanılan numunelerin detayları Şekil 2.9'daki gibidir.

bağlantısı için kullanılan bulonların dayanımları ile sınırlandırıldığı belirtilmiştir (Song ve ark., 2015).

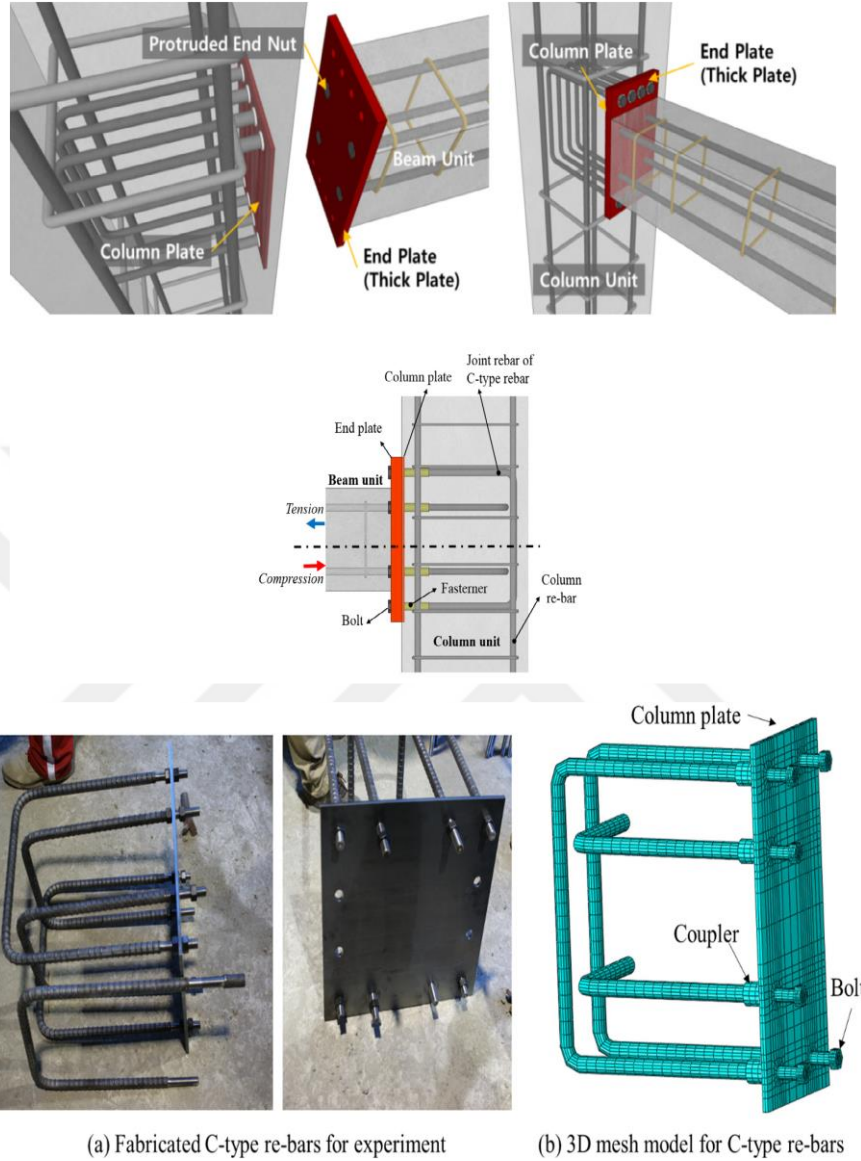
Xie ve ark. 1/10 ölçekli üç adet numune hazırlamışlardır. Hazırlanan numunelerden bir tanesi yerinde dökme betonarme diğer ikisi ise çelik soket içerisine bağlanan numunelerdir. Hazırlanan numuneler Şekil 2.12’de verilmiştir. Hazırlanan numuneler tersinir tekrarlanır yatay yükleme altında test edilmiştir. Soketli numuneler yerinde dökme betonarmeye göre daha yüksek süneklik, daha yüksek başlangıç rijitliği ve daha yüksek enerji sönümleme kapasitesi göstermişlerdir (Xie ve ark., 2020).



Şekil 2.12. Numune detayları (Xie ve ark., 2020)

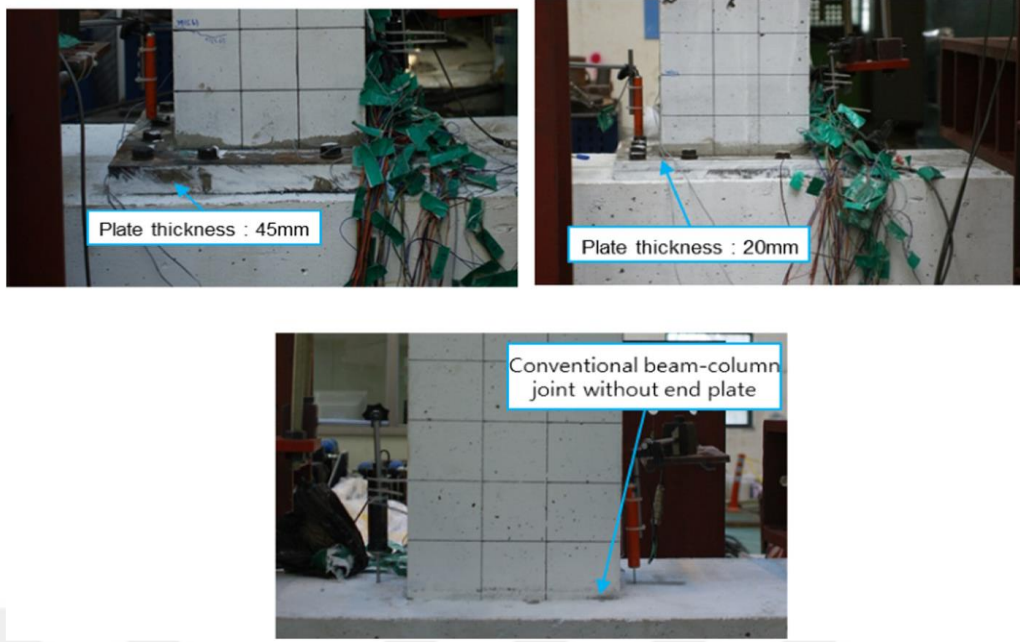
Nzabonimpa ve ark. kolon kiriş bağlantısı için levhalı bir birleşim geliştirmişlerdir. Geliştirilen bağlantının ABAQUS programında modeli hazırlanarak analiz edilmiş daha sonra deneysel çalışma yapılmıştır. Çalışmada önemli parametreler

plaka kalınlığı, bulon sayısı, bulonların yerleşimidir. Numunelerin genel özellikleri Şekil 2.13'deki gibidir.



Şekil 2.13. Birleşim detayları (Nzabonimpa ve ark., 2017)

ABAQUS programında iki farklı metot ile analiz edilmiştir. Bu kabullerden birinde kılcal çatlaklar oluşmadan göçme olduğu kabul edilirken, diğerinde basınç etkisi altında göçme durumuna geldiği kabul edilir. Deneysel numunelerde plaka kalınlığında değişiklik yapılarak iki adet numune elde edilmiştir. Diğer numune de ise monolitik bağlantı kullanılmıştır. Numunelerin genel özellikleri Şekil 2.14'de verilmiştir.



Şekil 2.14. Numunelerin genel özellikleri (Nzabonimpa ve ark., 2017)

Deney sonucunda plaka kalınlığı 45 mm olan numune ile monolitik numunenin benzer davranış gösterdiği görülmüştür. Plaka kalınlığı 20 mm olan numunede ise gerilmelerin plakada yığıldığı ve birleşimin tam olarak çalışmada görülmüştür (Nzabonimpa ve ark., 2017).

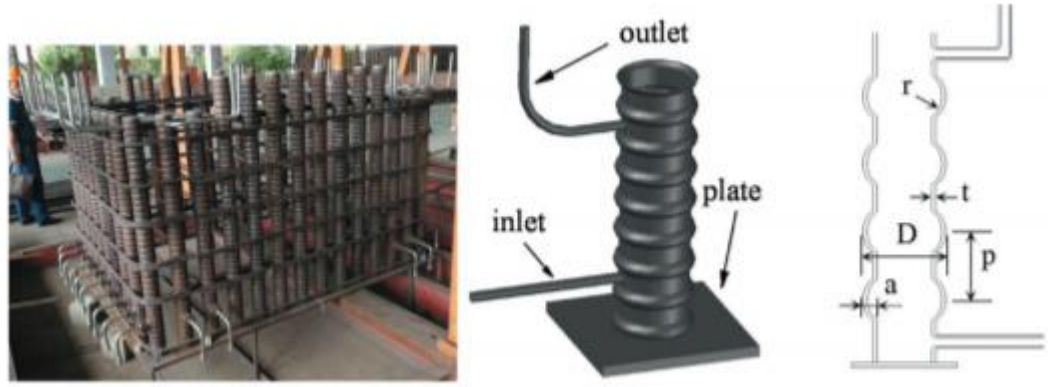
Han ve ark. yaptıkları çalışmada köprü ayaklarının soketli temel bağlantılarını incelemiştir. Çalışma kapsamında hazırlanan numuneler Şekil 2.15’de verilmiştir. Çalışmada soket dolgusu olarak yüksek mukavemetli büzülme yapmayan bir beton kullanılmıştır. Numunelerin yatay yükleme altında yapılan deneylerinde kolon gömme derinliğinin artmasının yük taşıma kapasitesine, sünekliğe ve enerji sönümleme kapasitesine katkı sağladığı görülmüştür (Han ve ark., 2020).



Şekil 2.15. Deney numunesi (Han ve ark., 2020)

Cimmino ve ark. yaptıkları çalışmada, OpenSees programında Avrupa’da tipik olarak kullanılan kolon kiriş bağlantılarını incelemişlerdir. Çalışma kapsamında sismik tasarıma uygun olarak elde edilen olası bağlantı türleri, bağlantı elemanlarına bağlı olarak olası hasar modları ve mevcut formülasyonlar yardımıyla bu hasar modların nasıl açıklandığı incelenmiştir. Tasarımda dört farklı sismik tehlike seviyesi ve iki farklı zemin tipine göre analizler yapılmıştır. Sonuç olarak yapılan hesaplamalarda bağlantıların yetersiz tasarlandığı görülmüştür. Tasarlanan kapasitenin gerekli olan kapasitenin altında kaldığı görülmüştür. Bağlantı donatılarının artırılmasıyla bağlantı dayanımının artırılabilceği önerisinde bulunulmuştur (Cimmino ve ark., 2020).

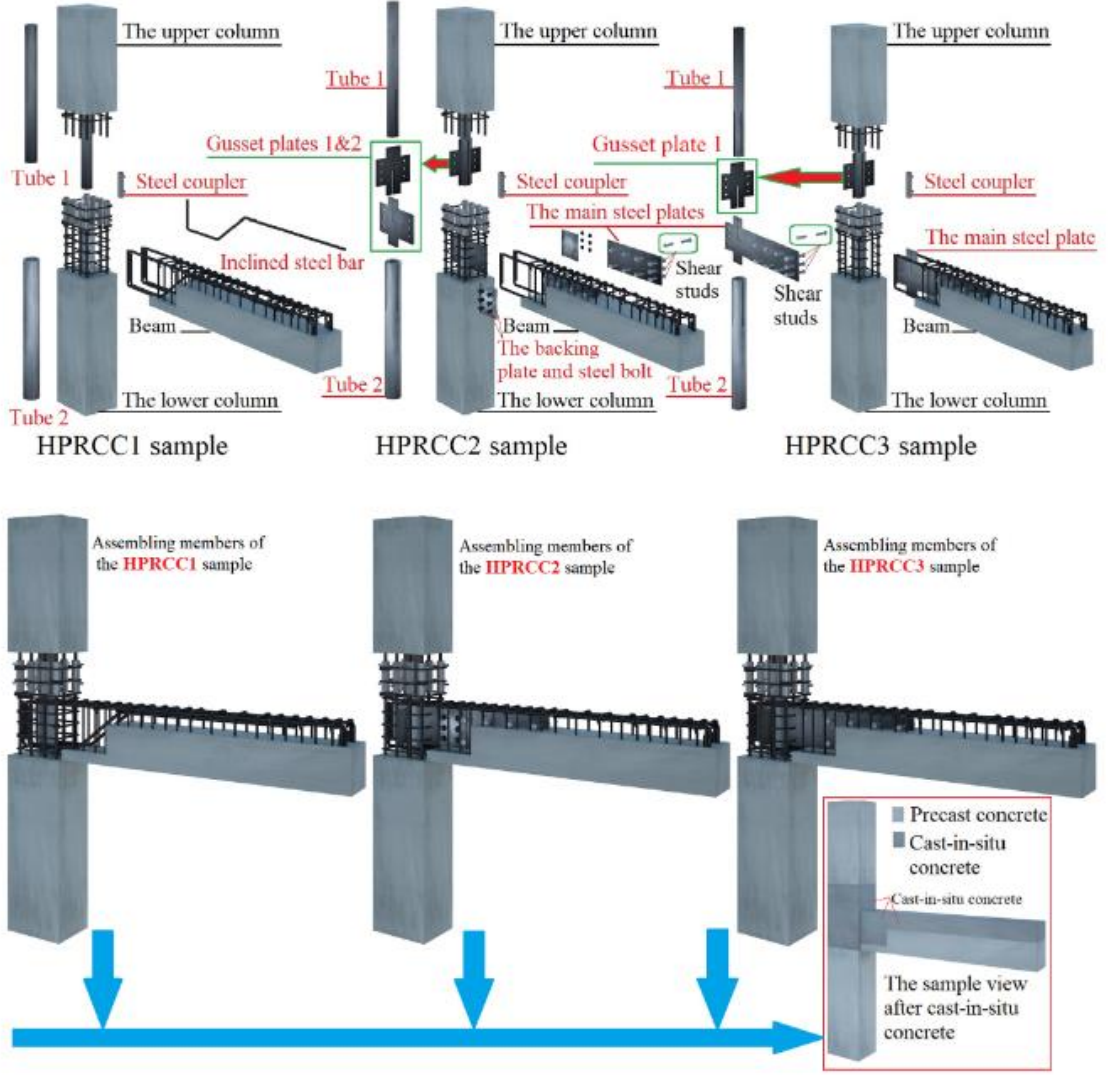
Wang ve ark. oluklu kanal bağlantı elemanları ile köprü ayağı kolonlarını incelemişlerdir. Bağlantı için kullanılan oluklu kanallar Şekil 2.16’da verilmiştir. Çalışma kapsamında öncelikle çekip çıkarma testleri yapılmış inşaat demirine göre 30 kat daha fazla mukavemet elde edilmiştir. İkinci aşamada yerinde dökme betonarme ile oluklu kanal bağlantısı ile üretilmiş köprü kolonların tersinir tekrarlanır yük altında performansı incelenmiştir. Sonuç olarak oluklu kanal bağlantısının yerinde dökme betonarme ile benzer davranış gösterdiği görülmüştür (Wang ve ark., 2020).



Şekil 2.16. Çalışmada kullanılan bağlantının detayları (Wang ve ark., 2020)

Zhang ve ark. kolon kiriş bağlantısında bağlantı bölgesindeki karmaşıklık ve uygulama zorluklarından yola çıkarak bir çalışma hazırlamışlardır. Çalışmada kolon kiriş bağlantı bölgesi için yüksek performanslı beton kullanmışlardır. Yüksek performanslı betonun basınç ve çekme dayanımının yüksek olması ile bağlantı bölgesindeki etriye ve ankraj bağlantılarının azalacağını öngörmüşlerdir. Yatay yük etkisi altında numunelerin testleri yapılmıştır. Yüksek performanslı beton kullanımının etriye ihtiyacını azalttığı ve ankraj uzunluğunu düşürdüğü görülmüştür (Zhang ve ark., 2020b).

Ghayeb ve ark. yaptıkları çalışmada kolon kiriş bağlantısı için yen bir bağlantı türü önermişlerdir. Önerilen bağlantının detayları Şekil 2.17’de verilmiştir. Yerinde dökme betonarme ve geleneksel kolon kiriş bağlantılı prefabrike numuneler referans alınarak deneyler yapılmıştır. Deney numuneleri tersinir tekrarlanır yükler altında incelenmiştir. Geliştirilen bağlantı yük, yer değiştirme, ötelenme oranı, moment taşıma kapasitesi, taşıma gücü, rijitlik ve enerji sönümlleme kapasitesi açısından referans numunelere göre daha iyi performans göstermiştir (Ghayeb ve ark., 2020).



Şekil 2.17. Önerilen bağlantının detayları (Ghayeb ve ark., 2020)

Fan ve ark. montaj süresini kısaltan, düşük maliyetli ve sismik performansı yeterli seviyede olan bir kolon kiriş bağlantısı geliştirmişlerdir. Geliştirilen bağlantının detayları Şekil 2.18’de verilmiştir. Geliştirilen bağlantı ile hazırlanan numuneler tersinir tekrarlanır yükler altında test edilmiştir. Test parametreleri “u” kesitli kiriş içine yerleştirilen takviye çubuğu uzunluğu ve “u” kesitli kiriş içinde kullanılan etriyelerin miktarını içermektedir. Sonuç olarak takviye çubuklarının %50 artması ile yük taşıma kapasitesinde %24 artış sağlandığı görülmüştür (Fan ve ark., 2020).

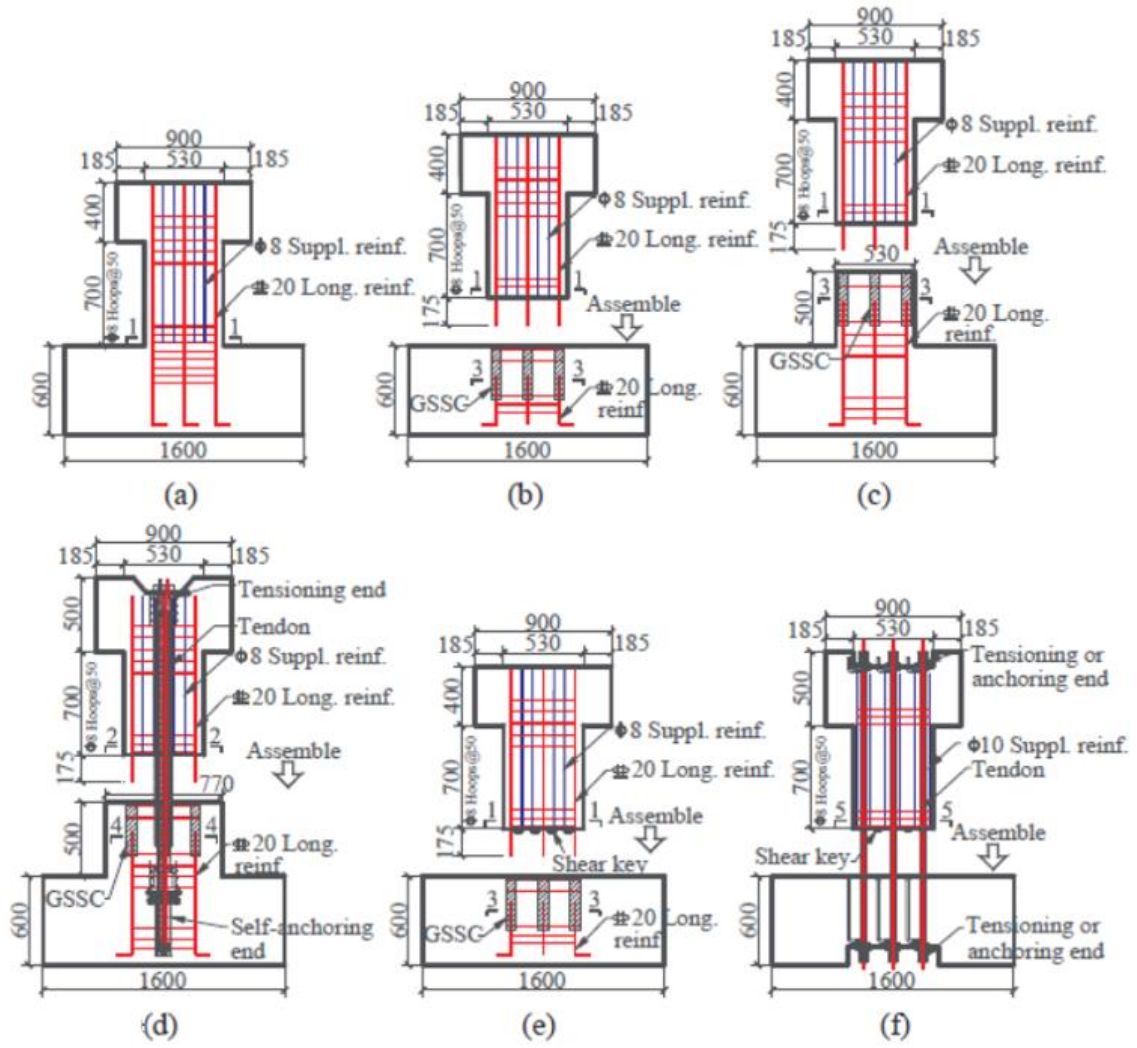


Şekil 2.18. Geliştirilen bağlantı da kiriş imalatı (Fan ve ark., 2020)

Yılmaz ve ark. Sap2000 programı ile 15 tane prefabrike yapı modeli oluşturmuşlardır. Oluşturulan yapı modellerinin doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizlerini yaparak makas kirişlerinin devrilmelerini incelemişlerdir. Çift pimli olarak tasarlanan makasların çok önemli hatalar içermediği görülmüştür. Ancak kapasite tasarımı yapılarak makas kirişlerine gelen kesme kuvvetinin kolon eğilme kapasitelerinden bulunması gerektiği savunulmuştur (Yılmaz ve ark., 2006).

Kayhan ve Şenel Sap2000 programında kolon enkesit boyutu, boyuna donatı oranı, kolon yüksekliği ve etriye aralığı parametrelerine bağlı olarak 16 tane prefabrikasyon yapı modeli geliştirmiştir. Doğrusal olmayan dinamik analiz ile geliştirilen modeller 28 depreme ait 360 ivme kaydı analiz edilmişlerdir. Sonuç olarak kolon enkesit boyutu ve etriye aralığı parametrelerinin hasar görebilirlik üzerinde etkili olduğu ortaya koyulmuştur. Prefabrikasyon yapının rijitlik ve sünekliği üzerinde etkili olan parametrelerin hasar görebilirlik üzerindeki etkisinin fazla olduğu vurgulanmıştır. Kolon enkesit boyutundaki değişikliğin maksimum deplasman talebini değiştirirken, etriye aralığının değişmesi ise deplasman kapasitesini değiştirmektedir (KAYHAN ve ŞENEL, 2010).

Li ve ark. kolon temel bağlantısı için bir çalışma yapmışlardır. Şekil 2.19’da çalışma kapsamında hazırlanan 6 adet numunenin detayları gösterilmiştir.

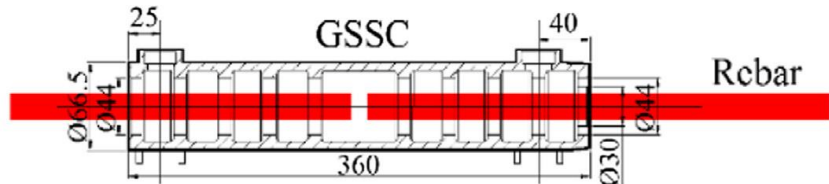


Şekil 2.19. Hazırlanan numunelerin detaylı görünümü (Li ve ark., 2018)

Temel ve kolon donatılarının bağlantısı için bir tüp kullanılmıştır. Donatılar tüp içerisine girdikten sonra grout enjekte edilerek bağlantı sağlanmaktadır. Birleşim elemanı detayı Şekil 2.20'deki gibidir.



(a)



(b)

Şekil 2.20. Birleşim elemanı detayı (Li ve ark., 2018)

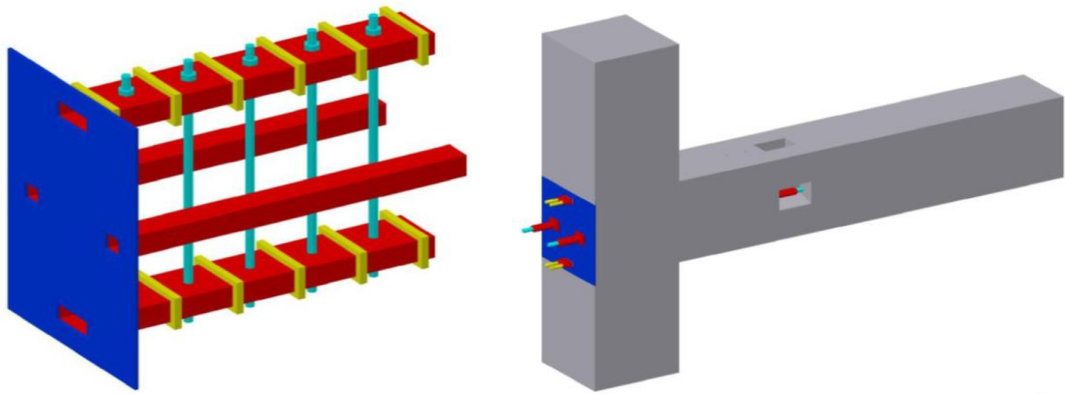
Çalışma sonucunda 2 ve 5 nolu numuneler aynı hasar seviyesini göstermişlerdir. Bu numunelerin deprem performansları göz önüne alınarak yüksek deprem riski içeren bölgelerde kullanılabileceği bildirilmiştir. 4 ve 6 nolu numunelerde kesme kapasitesinde artış gözlemlenmiştir. Ancak bu bağlantıların kullanılabilmesi için özel eklentiler gerektiği bildirilmiştir (Li ve ark., 2018).

Atalay tarafından yapılan tez çalışmasında 6 adet deney numunesi hazırlanmıştır. Ardgerme uygulanan ve bağlantı donatısı çapı değiştirilen numuneler üretilmiştir. Referans olarak üretilen monolitik bağlantılı numunenin özellikleri Çizelge 2.1'deki gibidir.

Çizelge 2.1. Numunelerin genel özellikleri (Atalay, 2010)

Numune	Deney Adı	Başlangıç Ardgerme Miktarı	Açıklama	Aderanssız 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 ardgerme 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 ardgerme 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 ardgerme 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 ardgerme bulonu (PT), alt ve üstte 2φ16 yumuşak donatı (MS) mevcuttur. $M_{ms}/M_r = 0.40$	PT – 1150 mm MS – 130 mm (8φ)

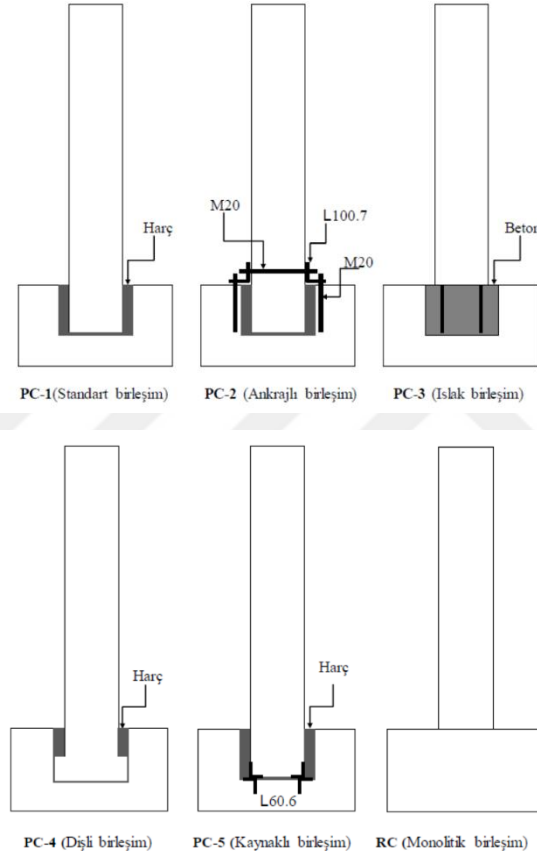
Kolon kiriş bağlantısı detayları ise Şekil 2.21'deki gibidir.



Şekil 2.21. Kolon-kiriş bağlantı detayı (Atalay, 2010)

Çalışma sonucunda HBD_16_20_C numunesinde elde edilen enerji sönümleme kapasitesi monolitik referans numunesine yakın gerçekleşmiştir. Sonuç olarak çalışılan bağlantının prefabrikasyon sektöründe kullanılabileceği bildirilmiştir (Atalay, 2010).

Hamzaçebi 2011 yılında yaptığı tez çalışmasında biri referans numunesi olmak üzere 6 adet numune üretmiştir. Üretilen numunelerin detayları Şekil 2.22’de verilmiştir.



Şekil 2.22. Numune detayları (Hamzaçebi, 2011)

Tersinir tekrarlanır yük altında numunelerin testleri yapılmıştır. Geleneksel soketli birleşimde soket üzerinden mafsallaşma ve sıyrılma gerçekleşmiştir. Yük taşıma kapasiteleri bütün numunelerde benzer çıkmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Prefabrike yapıların üretiminde temel sahada üretilerek üzerine kolonun monte edileceği kutu şeklinde soketler yapılmaktadır. Soket iç ölçüleri her kenardan kolon ölçüsünden 5 cm fazla yapılmaktadır. Bu sayede kolon montajı kolaylaştırılmaktadır. Kolon soket içerisine yerleştirildikten sonra teraziye alınarak kolon kenarlarına ahşap takozlar sıkıştırılmaktadır. Daha sonra mukavemeti düşük ince agregadan yapılan bir beton, bağlantı betonu olarak boşluğa doldurulmaktadır. Bağlantı betonu priz aldıktan sonra takozlar sökülerek üst yapının imalatına devam edilmektedir. Ancak yapıya olası bir yatay yük (deprem, rüzgar v.b) etki ettiğinde Şekil 3.1’de görüldüğü gibi bağlantı betonu zayıf olduğu için ezilerek kolon boşa çıkmaktadır. Hesaplamalar sırasında yapılan ankastre kabulü yerinde uygulanamamaktadır.



Şekil 3.1. Kolon-temel birleşiminde dolgu beton ezilmesi (Karahan, 2008; Özden ve ark., 2012; Yüksel, 2016)

Bu tez çalışmasında mevcut bağlantı betonuna alternatif olarak bir bağlantı betonu geliştirilerek kolon numunelerinde uygulanmıştır. Hazırlanan numuneler depremi benzeştiren yükler altında incelenmiştir.

Bu çalışmada, monolitik bağlantılı bir kolon numunesi ve soketli bağlantıda bağlantı betonu iyileştirilmiş numuneler hazırlanmıştır. Ayrıca bazı numunelere öngerme uygulanarak öngermenin kolon davranışına etkisi incelenmiştir. Hazırlanan numunelerin bilgileri Çizelge 3.1'deki gibidir. Çizelgede verilen bağlantı betonu standart numunelerde, bağlantıda kullanılan beton ince agrega ile üretilmiş basınç dayanımı düşük prefabrikasyon sektöründe standart olarak kullanılan betonu ifade ederken, bağlantı betonu iyileştirilmiş numunelerde ise bağlantıda kullanılan beton tez çalışmasında geliştirilmiş bir karışım ile elde edilmektedir.

Çizelge 3.1. Numune genel bilgileri

Numune Adı	Kesit Boyutları (mm)	Yükseklik (Temel Dahil) (mm)	Beton Sınıfı	Donatı Sınıfı	Telem Kolon Bağlantı Tipi	Öngerme Miktarı (kN)	Bağlantı Betonu Özellikleri
KN1	200/300	2175	C30	B420C	Monolitik	-	-
KN2	200/300	2175	C30	B420C	Soketli	-	Standart
SN3	200/300	2175	C30	B420C	Soketli	180	Standart
SN4	200/300	2175	C30	B420C	Soketli	-	İyileştirilmiş
SN5	200/300	2175	C30	B420C	Soketli	180	İyileştirilmiş

Kolonların düşey taşıyıcı eleman olarak boyutlandırılabilmesi için Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları (TS-500) yönetmeliğinde Denklem 3.1'de verilen şart aranmaktadır (TS-500, 2000).

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

Denklem 3.1'den anlaşılabacağı gibi bir elemanın düşey taşıyıcı eleman olarak kabul edilebilmesi için eksenel yük taşıma kapasitesinin %10'u kadar tasarım eksenel yüküne sahip olması gerekmektedir. Ancak kolon deneyleri yapılırken kolon üzerine eksenel yük yüklenmesi çok zor olmaktadır. Kolon üstüne bir platform yapılarak bu platform üzerinde yük uygulanmalı ve platform kolonun yatay yük etkisi altında yapacağı yer değiştirmelere göre hareket edebilmelidir. Bu nedenle eksenel yükün deneysel aşamada uygulanması oldukça zor olmaktadır. Ayrıca prefabrike yapılar genel olarak tek katlı tasarlanan endüstri yapıları olduğu için kolonlara gelen eksenel yük

miktarı çok düşük kalmaktadır. Bundan dolayı kolonların moment taşıma kapasiteleri düşük olduğundan daha büyük kesitli kolonlar seçmek gerekmektedir. Kolonların dayanım zarfı eğrileri incelendiğinde eksenel yük etkisinin moment taşıma kapasitesini belirli bir seviyeye kadar artırdığı görülmektedir. Bu çalışmada, eksenel yük yerine alternatif olabilecek şekilde kolonlara öngerme uygulanmıştır.

3.1. Numunelerin Boyutlandırılması

Deneylerin yapılacağı Konya Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Deprem Araştırma Laboratuvarında bulunan yük hücresinin kapasitesi, kreyn kirişi yük taşıma kapasitesi göz önüne alınarak numuneler ½ ölçekli olarak üretilmiştir. ½ ölçekli olarak üretilen numunelerin boyunda da kısalma oluşmaktadır. Kolon boyunun kısalması ise kesme davranışını hakim hale getirmektedir. Hazırlanacak numunelerin eğilme davranışı göstererek sünek davranış sergilemesi gerekmektedir. Bu nedenle de numune tasarımında moment taşıma kapasitesi ve kesme kuvveti taşıma kapasitelerinin bilinmesi gerekmektedir. Numunelere yatay yük uygulanacağı için moment taşıma kapasitesine karşılık gelen yatay yük miktarının kesme kapasitesine karşılık gelen yatay yük miktarından daha düşük olması gerekmektedir. Bu sayede kolon moment taşıma kapasitesine ulaştığında hala kesme kuvveti taşıyabilir halde olmalıdır. Bu nedenle numunelerin akma momentlerinin ve tasarım kesme yükü taşıma kapasitelerinin hesaplanmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Deney numunelerinin akma momentleri Ersoy ve Özcebe tarafından “Betonarme/Temel İlkeler” adlı kitapta tanımlanan tasarım esaslarına göre tasarlanmıştır (Ersoy ve Özcebe, 2016). Hesaplamalarda kullanılan parametreler aşağıda verilmiştir:

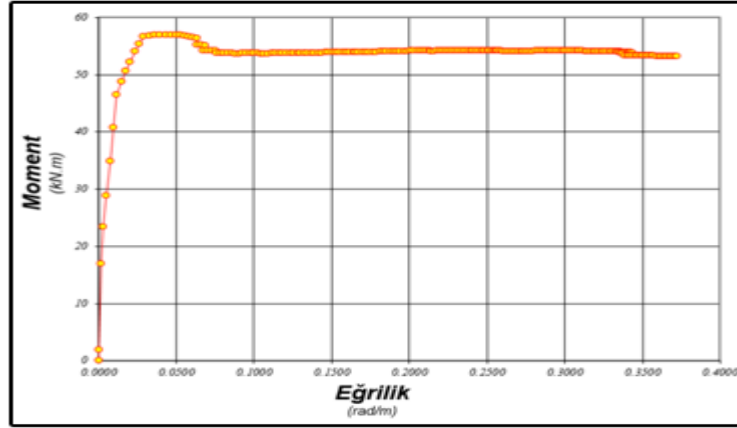
- $b=200 \text{ mm}$
- $h=300 \text{ mm}$
- $f_c=30 \text{ MPa}$
- $f_y=420 \text{ MPa}$
- $f_{yw}=420 \text{ MPa}$
- $d'=25 \text{ mm}$
- $E_c = 3250\sqrt{f_{ck}} + 14000=31800 \text{ MPa}$ (TS-500, 2000)
- $E_s=200000 \text{ MPa}$

- $A_s=113.04 \text{ mm}^2$ (6 Φ 12)
- $\Phi_e=8 \text{ mm}$
- $s=100 \text{ mm}$
- $b_k=150 \text{ mm}$
- $h_k=250 \text{ mm}$
- $N_d=180 \text{ kN}$

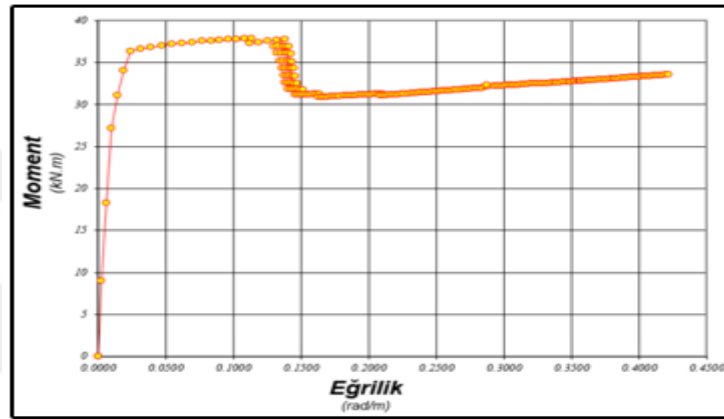
Yukarıda bahsedilen veriler sayesinde moment-eğrilik ilişkisi Şekil 3.2'deki gibidir. Deney numunelerinin akma momenti dayanımları öngermeli ve öngermesiz numuneler için sırasıyla $M_y=56.74 \text{ kN.m}$ ve $M_y=36.83 \text{ kN.m}$ olarak hesaplanmıştır. Deney sırasında kolonlara yatay yükün uygulanması kolon tabanında 1.575 m yukarıdan yapılacağı için akma momentini oluşturacak kesme kuvveti öngermeli ve öngermesiz numuneler için sırasıyla Denklem 3.2 ve 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 3.2. Moment-eğrilik ilişkisi, (a) öngermeli numuneler, (b) öngermesiz numuneler

Deney numunelerinin kesme kuvveti taşıma kapasiteleri TS-500’de tanımlanan hesap yöntemi ile Denklem 3.4, 3.5, 3.6 ve 3.7 kullanılarak hesaplanmıştır (TS-500, 2000):

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

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

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

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

Numunelerin kesme kuvveti taşıma kapasitesi Denklem 3.8, 3.9, 3.10, 3.11 ve 3.12’deki gibi hesaplanmıştır.

$$V_w = \frac{2 \times 50}{100} \times 365 \times 275 = 100375 \text{ N} = 100.38 \text{ kN} \quad (3.8)$$

$$V_{cr} = 0.65 \times 1.27 \times 200 \times 275 = 45402.5 \text{ N} = 45.4 \text{ kN} \quad (3.9)$$

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

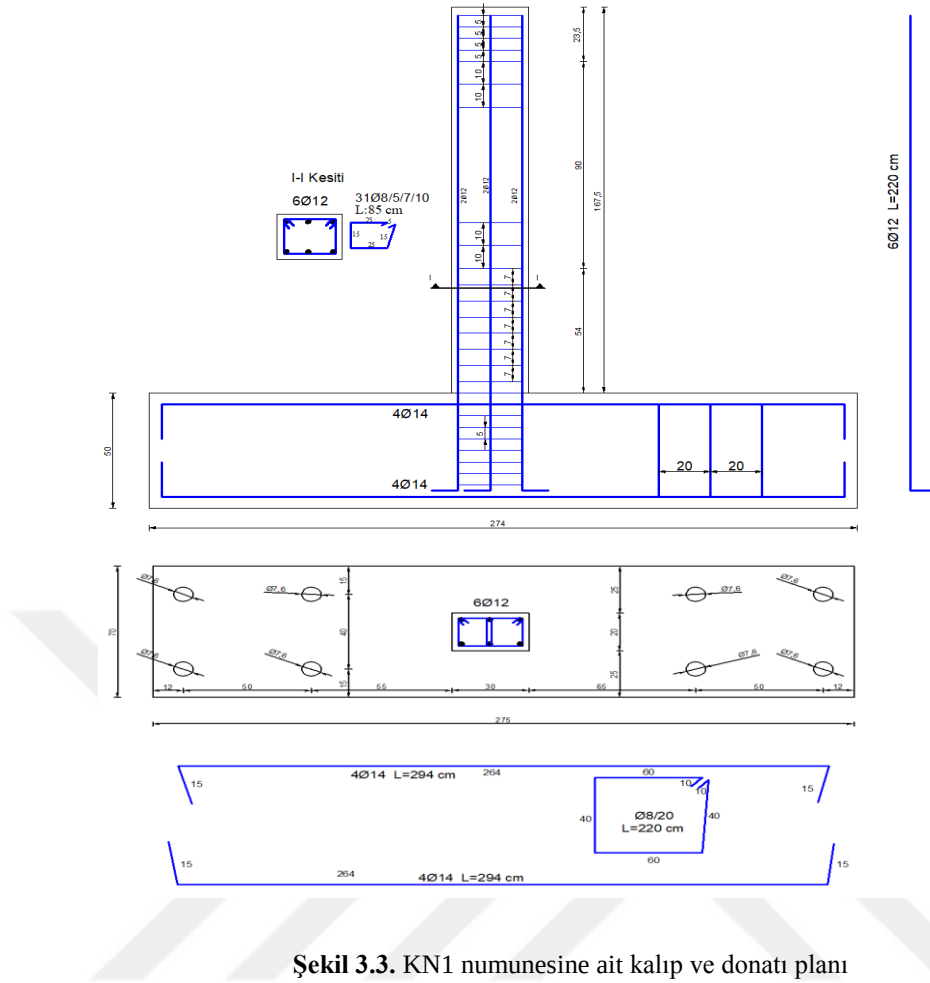
$$V_r = 100.38 + 36.32 = 136.7 \text{ kN} \quad (3.11)$$

$$V_r = 136.7 \text{ kN} \geq V_d = 36.03 \text{ kN} \quad (3.12)$$

Öngermeli ve öngermesiz numuneler için kesme kuvveti taşıma kapasitesi, numunelerin akma momentini oluşturacak kesme kuvvetinden büyük olduğundan numunelerde eğilmenin hakim olduğu bir davranış beklenmektedir.

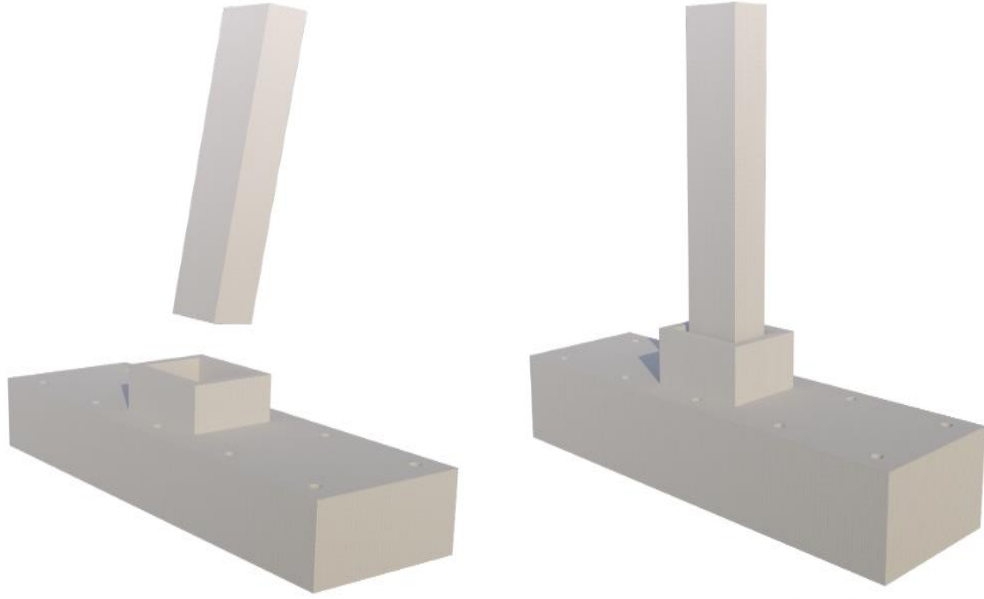
3.2. Numune Bilgileri

Deneysel çalışmalar için hazırlanan numuneler prefabrike endüstrisinde sıklıkla tercih edilen 40x60 cm kesit ölçülerine göre ½ ölçekli tercih edilmiştir. Kolon boyları 167.5 cm olarak seçilmiştir. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde (TBDY-2018) belirlenen prefabrike yapılar için minimum beton sınıfı olan C30 seçilmiştir (TBDY-2018, 2018). Temeller, uygulanacak yatay yük etkisi altında dönme ve oturmalar olmayacak şekilde 50x70x275 cm olarak seçilmiştir. Rijit temellerde boyuna donatı olarak 4Φ14 alt donatı ve 4Φ14 üst donatı kullanılmıştır. Temellerin yatay donatısı ise Φ8/20 olarak seçilmiştir. Kolonlarda boyuna donatı olarak 6Φ12 kullanılmıştır. Hazırlanan numunelerde bağlantı türünün monolitik veya soketli olması durumuna göre kolon donatılarının yerleşimi değişiklik göstermiştir. KN1 numunesi monolitik olarak üretilmiştir. Monolitik birleşimde temelde filiz bırakılarak daha sonra kolon donatısı bindirme ile filizlere bağlanır. Ancak üretilen numunenin yatay döküm yapılabilecek şekilde olması nedeniyle bindirme yerine kolon donatıları yekpare şekilde temel içine kadar uzatılmıştır. KN1 numunesinin kalıp ve donatı planı Şekil 3.3'deki gibidir.



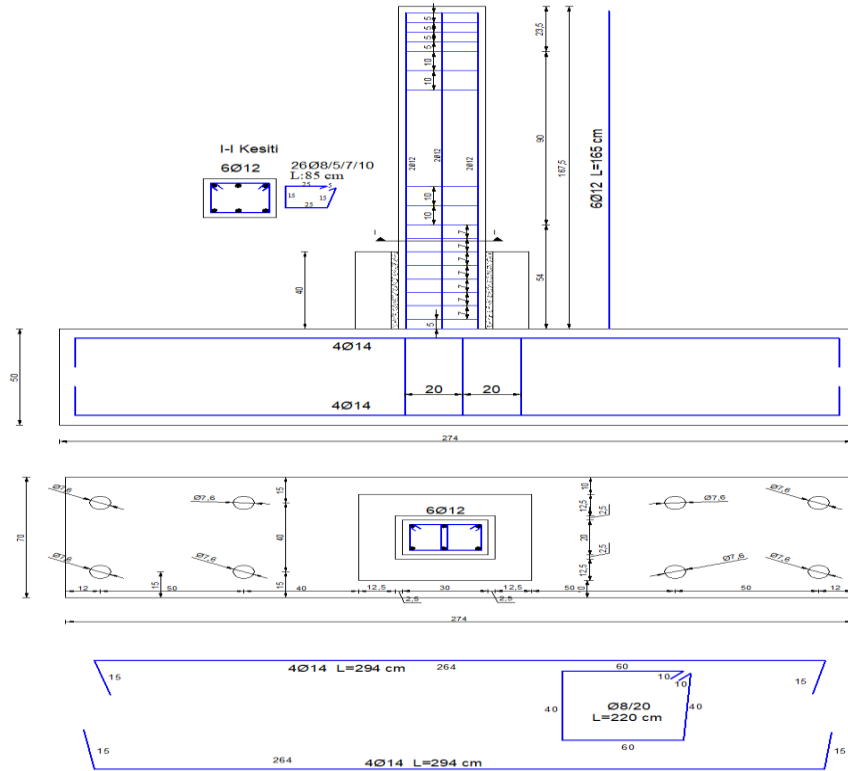
Şekil 3.3. KN1 numunesine ait kalıp ve donatı planı

KN2, SN3, SN4 ve SN5 numuneleri soketli birleşim için üretilmiştir. Bu numunelerde kolon ayrı üretildiği için kolon boyuna donatısı buna uygun yerleştirilmiştir. Temel özellikleri KN1 numunesi ile aynıdır. Farklılık olarak temel dökümü öncesinde soket donatıları temel içerisine yerleştirilmiştir. Daha sonra beton dökümü yapılmıştır. Temel betonu yeteri kadar priz aldıktan sonra soket için kalıp kurularak soket betonu dökülmüştür. Kolonlar ayrı bir kolon kalıbında üretilerek daha sonra soket içerisine monte edilmiştir. Kolonun soket içerisine monte edilmesi aşaması şematik olarak Şekil 3.4'deki gibidir.



Şekil 3.4. Soketli numunelerin temel üzerine montaj aşaması

KN2, SN3, SN4 ve SN5 numunelerinin kalıp ve donatı planı Şekil 3.5'deki gibidir.



Şekil 3.5. Soketli numunelerin kalıp ve donatı planı

3.2.1. Numunelerin Malzeme özellikleri

3.2.1.1. Çimentonun Özellikleri

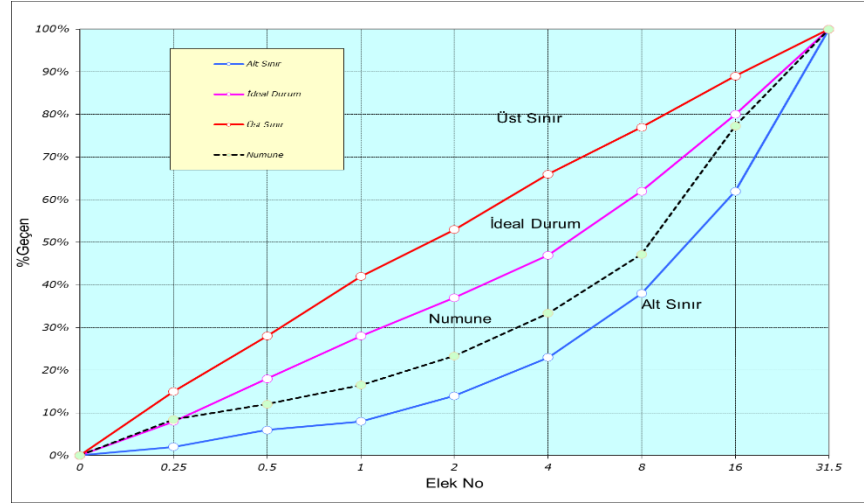
Numunelerin temel ve kolon üretim aşamasında CEM I 42.5 R çimento tercih edilmiştir. Üretimde kullanılan çimento TS-EN 197-1 standartlarına göre üretilmiş bir çimento türüdür (TS-EN197-1, 2012). Kullanılan çimentonun kimyasal bileşimi Çizelge 3.2’deki gibidir.

Çizelge 3.2. Kullanılan 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	-

3.2.1.2. Agreganın Özellikleri

Numunelerde kullanılacak betonun üretiminde kırma taş agregası kullanılmıştır. Agregası granülometrisi “Beton Karışım tasarımı Hesap Esasları” adlı Türk Standardı’na (TS-802) uygun olarak belirlenmiştir (TS-802, 2016). Agregası karışımının granülometrisi Şekil 3.6’daki gibidir.



Şekil 3.6. Agrega granülometrisi

3.2.1.3. Akışkanlaştırıcının Özellikleri

Numunelerin üretiminde kullanılacak beton için Sefar Conslumper 5252 HZ hiper akışkanlaştırıcı beton katkısı tercih edilmiştir. Kullanılan akışkanlaştırıcının teknik özellikleri Çizelge 3.3'deki gibidir.

Çizelge 3.3. Akışkanlaştırıcının teknik özellikleri

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

3.2.1.4. Beton karışım oranları

Numunelerin üretimi esnasında kullanılacak betonda C30 beton sınıfı hedeflenerek karışım oranları belirlenmiştir. Numunelerin hazırlanmasında kullanılan betonun karışım oranları Çizelge 3.4'deki gibidir.

Çizelge 3.4. Beton karışım oranı

Çimento (kg/m ³)	Su (kg/m ³)	Su/Çimento	Hiper Akışkanlaştırıcı (kg/m ³)	Agrega (kg/m ³)		
				0-5	7-15	15-25
330	157	0.48	8	1120	390	385

3.3. Deney Numunelerinin Üretim Aşamaları

Konya ilimize bağlı organize sanayi bölgesinde faaliyet gösteren Presan Prefabrik isimli firmada numunelerin üretimi yapılmıştır. KN1 numunesinin haricinde diğer numunelerde temel-kolon ayrı üretilmiştir. KN1 numunesinin üretiminde kalıp yatay olarak hazırlanarak beton dökülmüştür. Kolonda 2,5 cm paspayı, temelde 5 cm paspayı kullanılmıştır. Temeller içerisine laboratuvardaki rijit döşemeye bağlanabilmesi için belirli aralıklar ile 7 cm çapında borular yerleştirilmiştir. Monolitik olarak üretilen KN1 numunesinin üretim aşamaları Şekil 3.7’de verilmiştir.



Şekil 3.7. KN1 numunesinin üretimi

Soketli olarak tasarlanan numunelerin üretiminde temeller ve kolonlar ayrı ayrı üretilmiştir. Temel üretiminde kalıp içerisine temel donatı 5 cm paspayı bırakılarak yerleştirilmiştir. Laboratuvarda rijit döşemeye bağlanabilmesi için temeller içerisine 7 cm çapında borular yerleştirilmiştir. Soket donatıları temel donatısına bağlanarak temellerin beton dökümü yapılmıştır. Temellere dökülen beton yeterli prizi aldıktan sonra soket için bir kalıp kurularak soket betonu dökülmüştür. Şekil 3.8’de soketli numuneler için temel üretimi aşamaları verilmiştir.



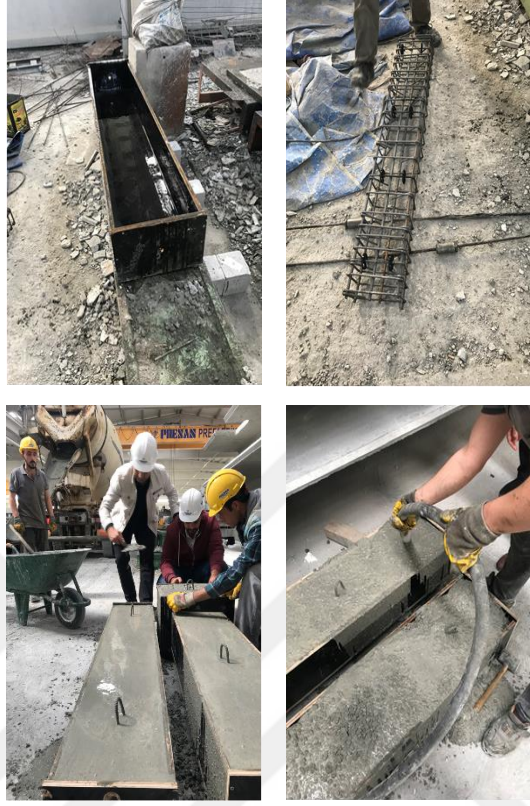
Şekil 3.8. Soketli temel üretim aşamaları

Üretimin yapıldığı firmadaki çelik kalıplar, numuneler için uygun boyutta olmadığından Şekil 3.9’da gösterildiği gibi plywood malzemesinden kolon kalıpları hazırlanmıştır.



Şekil 3.9. Kolon kalıbı imalatı

KN2 ve SN4 numuneleri öngermesiz olarak üretilmiştir. Şekil 3.10'da ise KN2 ve SN3 numunelerine ait üretim aşamaları gösterilmiştir.



Şekil 3.10. KN2 ve SN4 numunelerinin üretim aşamaları

SN3 ve SN5 numuneleri ise öngermeli olarak üretilmiştir. Kolonun alt ve üstüne gelen kalıplara halatların geçeceği delikler kolon merkezine göre açılmıştır. Açılan deliklerin konumu oldukça önemlidir. Çünkü halat tam merkezden geçmezse kolon üzerinde bir eksantrik kuvvet oluşturacaktır. Kolon kalıbı iki rijit duvar arasına sıkıştırılarak donatı yerleşiminden sonra halat kalıp içerisinden geçilerek gerdirilmiştir. Daha sonra beton dökümü yapılmıştır. Kolon burada 7 gün kalıp içinde beklemiştir. Halatlar kesildiğinde beton üzerinde 180 kN büyüklüğünde bir basınç kuvveti oluşacağı için beton yeterli mukavemet almadan halatların kesilmesi kolon betonunda ezilme hasarına yol açabilir. SN3 ve SN5 numunelerinin kolon üretim aşamaları Şekil 3.11'deki gibidir.



Şekil 3.11. SN3 ve SN5 numuneleri üretim aşamaları

Deney numunelerinin imalatı sürecinde kullanılan betondan Şekil 3.12’de görüldüğü gibi küp numuneler alınmıştır. Numuneler üretimden sonra 7 gün boyunca sulanarak kür edilmiştir. Alınan küp numuneler ise 24 saat kalıp içerisinde bekledikten sonra kalıptan çıkarılarak kür havuzuna deney gününe kadar bekletilmiştir. Numunelerin dökümü iki aşamada yapılmıştır. Bu nedenle toplam 18 adet küp beton numunesi alınmıştır. Alınan numuneler 28 gün sonra basınç testine tabi tutulmuştur. Elde edilen basınç test sonuçları 0.8 katsayısı ile çarpılarak eşdeğer silindirik basınç dayanımları hesaplanmıştır. Numunelerin basınç deneyi sonuçları Çizelge 3.5’de

verilmiştir. Basınç deneyleri sonucu ortalama eşdeğer silindir basınç dayanımı 31.27 MPa olarak belirlenmiştir.

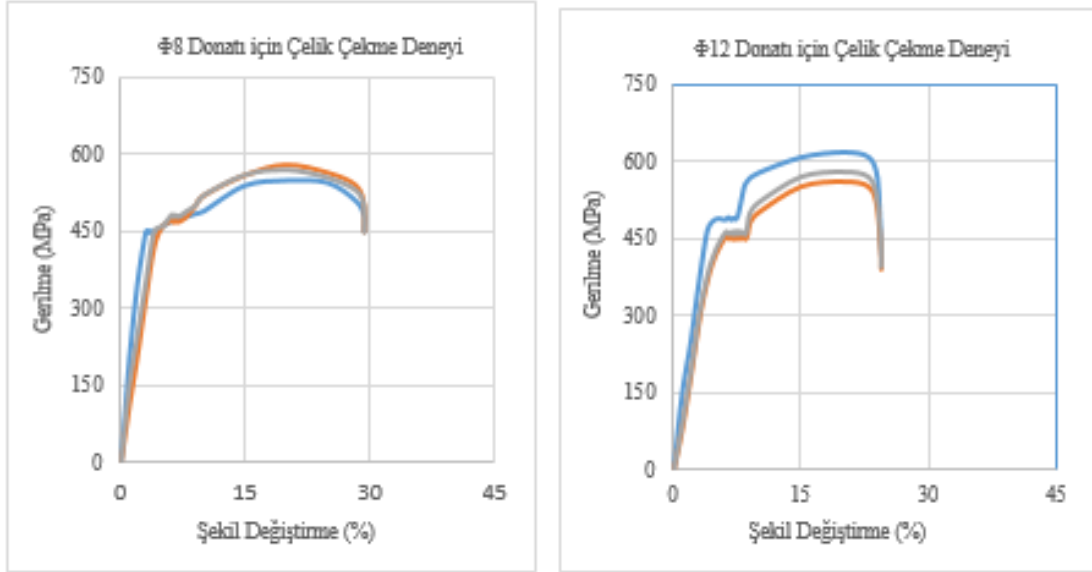


Şekil 3.12. Küp numunelerin kalıplara yerleştirilmesi, kür aşaması, basınç testlerinin yapılması

Çizelge 3.5. Beton numunelerinin basınç dayanım değerleri

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	39.08	32.51	31.27
10	831.60	225	36.96		29.57	
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	

Hazırlanan numunelerin kolonlarında boyuna donatı olarak $\Phi 12$ yatay donatı olarak $\Phi 8$ donatı kullanılmıştır. Donatı çeliğinin uygunluğunun belirlenmesi için iki donatı çapından ayrı ayrı 3'er tane donatı numunesi kesilerek çelik çekme testleri gerçekleştirilmiştir. Deney sonucunda elde edilen gerilme – şekil değiştirme eğrisi Şekil 3.13'deki gibi gösterilmiştir. Deney sonuçları ise TS-708'de belirtilen B420C donatı çeliği sınır değerlerine göre yeterli sonuçlar elde edilmiştir (TS-708, 2010).



Şekil 3.13. Donatı çeliği gerilme – şekil değiştirme eğrisi

3.4. Kolonların Laboratuvar Ortamında Montajının Yapılması

Presan Prefabrik firmasında üretilen numuneler Konya Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Deprem Araştırma Laboratuvarı'na gönderilmiştir. Soketli numunelerin temel ve kolonları ayrı ayrı üretilerek montajı yapılmadan nakledilmiştir. Montajı yapılmış numunelerin nakliye sürecinde hasar görmesi ihtimalinden dolayı montaj yapılmadan nakledilmiştir. Laboratuvarda numunelerin montajı yapılmıştır. Öncelikle kolonlar soket içerisine yerleştirilerek su terazisi ile teraziye alınmıştır. Terazide alınan kolonlar ahşap takozlar yardımıyla sabitlenmiştir. Daha sonra bağlantı betonu boşluğa doldurularak priz alana kadar beklenmiştir. Belirli bir priz süresinden sonra takozlar alınmıştır. KN2 ve SN3 numunelerinde bağlantı betonu olarak standart prefabrike endüstrisinde kullanılan düşük mukavemetli, ince agrega ile üretilen beton kullanılmıştır. SN4 ve SN5 numunelerinde ise bu tez kapsamında üretilen bağlantı betonu kullanılmıştır. Şekil 3.14'de soketli numunelerde kolon montaj aşamaları gösterilmiştir.



Şekil 3.14. Soketli birleşim montaj aşamaları

3.5. Birleşimde Kullanılacak Betonunun Üretilmesi

Bağlantı betonun hazırlanmasında CEM II 42.5 R portland çimento kullanılmıştır. Çimentonun özgül kütlesi 3.2 g/cm^3 'tür. Kullanılan çimentonun kimyasal özellikleri Çizelge 3.6'daki gibidir.

Çizelge 3.6. İyileştirilmiş birleşim betonunda kullanılan çimentonun kimyasal özellikleri

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

Referans numunesinde standart bağlantı betonu karışımı kullanılmıştır. Bu beton için 0-5 mm çapında kırma taş agregası kullanılmıştır. Diğer karışımların agregası ise silis kumudur. Silis kumunun özgül kütlesi 2.54 g/cm^3 'tür ve içerisinde %92.5 SiO₂ bulunmaktadır. Silis kumunun kimyasal özellikleri Çizelge 3.7'deki gibidir.

Çizelge 3.7. Birleşim betonunda kullanılan silika kumunun kimyasal özellikleri

Kimyasal Bileşen	(%)
SiO ₂	92.5
TiO ₂	0.092
CaO	2.42
Al ₂ O ₃	1.86
SO ₃	0.0238
Cr ₂ O ₃	0.259
MgO	0.237
ZnO ₂	0.0169
BaO	0.0033
Fe ₂ O ₃	1.91
K ₂ O	0.651
Na ₂ O	0.027

Hazırlanan karışımlarda işlenebilirliği artırmak için hiper akışkanlaştırıcı kullanılmış ve hiper akışkanlaştırıcının teknik özellikleri Çizelge 3.8’de verilmiştir. Hiper akışkanlaştırıcı çimento ağırlığının %0.5, %0.75, %1.00 ve %1.25’i kadar karışımlarda kullanılmıştır.

Çizelge 3.8. Bağlantı betonu için kullanılan hiper akışkanlaştırıcının teknik özellikleri

Hiper 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

Beton içerisinde hava kalması sonucu priz sonrası boşluklardan dolayı oluşabilecek dayanım kayıplarını önlemek için karışımlarda hava atıcı katkıları kullanılmıştır. Hava atıcı katkının teknik özellikleri Çizelge 3.9’da verilmiştir. Hava atıcı çimento ağırlığının %0.3, %0.4 ve %0.5’i kadar kullanılmıştır.

Çizelge 3.9. Hava atıcı katkının teknik özellikleri

Teknik Özellikler	Değer
Renk	Sarımsı
Donma noktası	0 °C
Klor içeriği	<%0.1
Alkali içeriği	<%4
Yoğunluk	1.01 kg/l
Ph değeri	5.5

Karışımlarda hiper akışkanlaştırıcı ve hava atıcı katkıların kullanım oranları değiştirilerek referans numune ile birlikte 13 değişik beton karışımı ile numune üretilmiştir. Hazırlanan karışımların oranları Çizelge 3.10'daki gibidir.

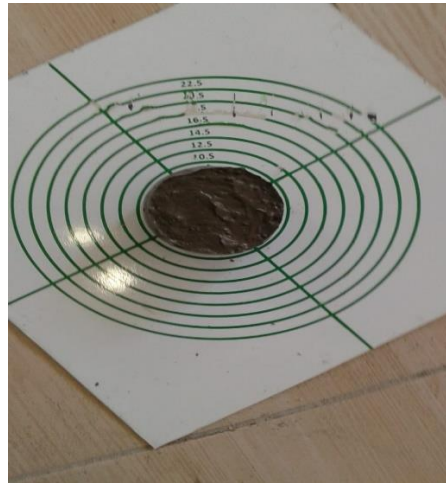
Çizelge 3.10. İyileştirilmiş bağlantı betonu karışım oranları

Numune No	Agrega (kg)	Çimento (kg)	Su (kg)	Hiper akışkanlaştırıcı (kg)	Hava sürükleyici (kg)
N1	1850*	300	240	2.4	-
N2	835**	835	265	4.175	2.505
N3	835**	835	265	4.175	3.340
N4	835**	835	265	4.175	4.175
N5	835**	835	265	6.263	2.505
N6	835**	835	265	6.263	3.340
N7	835**	835	265	6.263	4.175
N8	835**	835	265	8.350	2.505
N9	835**	835	265	8.350	3.340
N10	835**	835	265	8.350	4.175
N11	835**	835	265	10.438	2.505
N12	835**	835	265	10.438	3.340
N13	835**	835	265	10.438	4.175

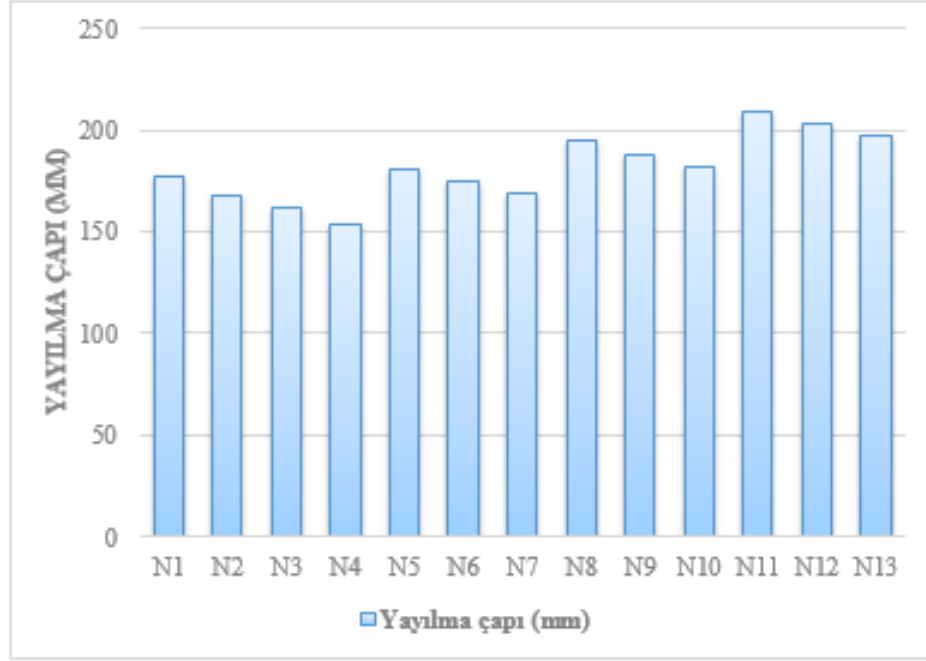
*N1 numunesinde 0-5 mm çapında kırma taş agregası kullanılmıştır.

**Diğer numunelerde silis kumu kullanılmıştır.

Hazırlanan karışımların işlenebilirlik özelliklerini incelemek için yayılma tablası testleri uygulanmıştır. Yayılma tablası testi için çimento hamuru kalıba iki katman halinde yerleştirilmiştir. Her bir katman 10 defa şişlenmiş, daha sonra tabla üzerine yerleştirilen çimento hamurundan kalıp çıkarılmıştır ve yayılma tablasının, üst tablası 15 defa düşürülerek Şekil 3.15'de görüldüğü gibi yayılma çapı ölçülmüştür (TS-EN12350-5, 2010). Şekil 3.15'de N11 numunesinin yayılma testi verilmiştir. Her bir karışım için yayılma çapı sonuçları Şekil 3.16'da verilmiştir.



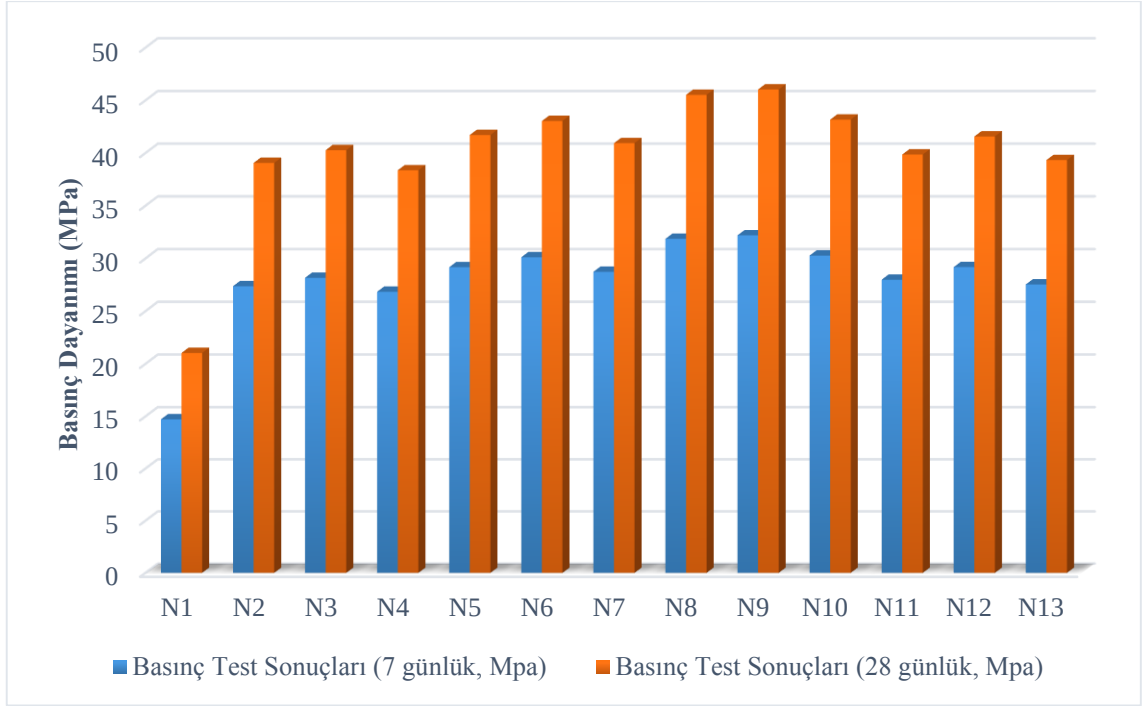
Şekil 3.15. Yayılma tablası deneyi



Şekil 3.16. Yayılma tablası deneyi sonuçları

Sonuçlar incelendiğinde hava atıcı katkının miktarındaki artış betonun işlenebilirliğini azaltmaktadır. Hava atıcı hiper akışkanlaştırıcının etkisini azaltmaktadır.

Numunelerin basınç dayanımlarının belirlenebilmesi için 7 gün ve 28 günlük testler için ayrı ayrı 3'er tane numune alınmıştır. Basınç deneyi numuneleri 15x15x15 cm kalıplar kullanılarak alınmıştır (TS-EN12390-1, 2013). Alınan numuneler kalıba iki katman halinde her katman 25 defa şişlenerek yerleştirilmiştir. Deney numuneleri kalıp içerisinde ilk 16 saat bekletilmiş akabinde 20 °C sıcaklığına alınarak deney anına kadar bekletilmiştir (TS-EN12390-2, 2010). Numunelerin basınç dayanım deneyleri saniyede 0.6 N/mm² yükleme hızına sahip numuneler üzerinde darbe tesiri yapmayacak şekilde basınç deney cihazında yapılmıştır (TS-3114-ISO-4012, 2003). Basınç dayanım deneyi sonuçları her bir karışımdan alınan üçer adet numunenin ortalama sonuçları olarak Şekil 3.17'de verilmiştir. Basınç dayanım sonuçları N9 numunesinde en yüksek elde edilmiştir. Hiper akışkanlaştırıcı oranının %1.25'e çıkması basınç dayanımını olumsuz etkilemektedir.



Şekil 3.17. Basınç numuneleri test sonucu

Sonuç olarak N9 numunesi ile elde edilen sonuçlar doğrultusunda N9 numunesinin karışım oranları SN4 ve SN5 numunelerinde bağlantı betonu olarak kullanılmıştır.

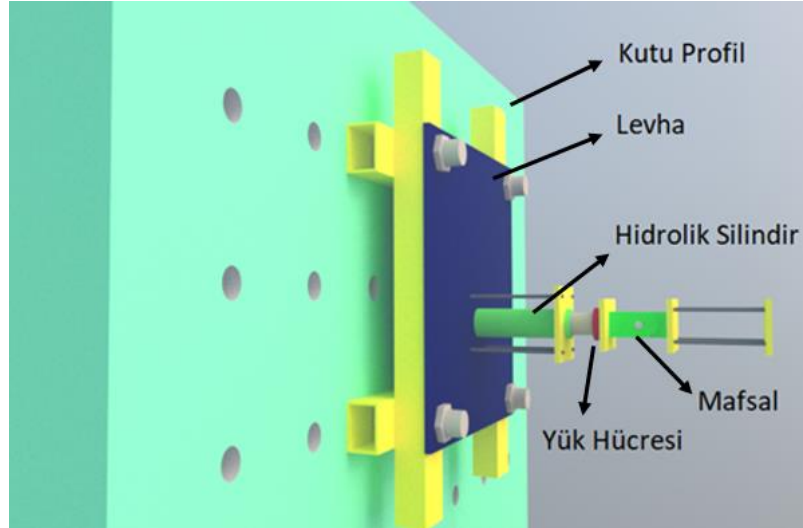
3.6. Deney Düzenekinin Kurulması

Temellere montajı yapılan deney numuneleri, temellerde bulunan delikler ve laboratuvar döşemesinde bulunan delikler sayesinde zemine bağlanmıştır. Zemine bağlanırken temelin uzun kenarında her iki tarafta bulunan 4 adet delik ile bir mil sayesinde rijit döşemeye bağlanmıştır. Yükleme düzeneği ise Şekil 3.18’de verilen reaksiyon duvarına bağlanmıştır.



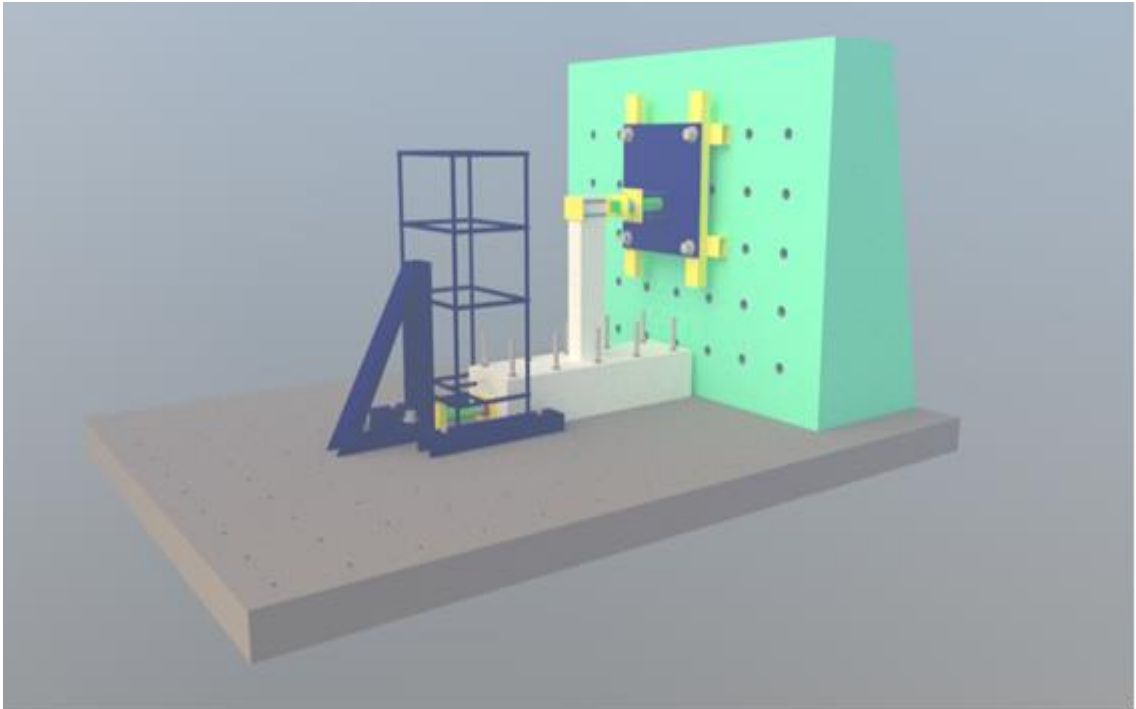
Şekil 3.18. KTÜN, Deprem Laboratuvarı reaksiyon duvarı ve döşeme (Balık, 2012)

Reaksiyon duvarına yükleme düzeneğini sabitlemek için 4 adet kutu profil reaksiyon duvarındaki deliklere miller yardımıyla bağlanmıştır. Her bir kutu profil üzerine 4 cm kalınlığında rijit bir levha sabitlenmiş ve levhaya da numunelere yük aktarımını sağlayacak bir hidrolik silindir bağlanmıştır. Bu hidrolik silindirin çekme ve itme kuvvetini uygulayabilmesi için 4 yollu 3 konumlu pnömatik valfe sahip bir hidrolik pompa bağlanmıştır. Hidrolik silindirin ucuna 500 kN'a kadar basınç ve çekme kuvveti ölçümü yapabilen bir yük hücresi bağlanmıştır. Hidrolik silindir ve diğer yükleme düzeneği elemanlarının kolon tepe yer değiştirmesi sonucu zorlanmasını önlemek için yük hücresi sonrasında bir mafsal başlık oluşturulmuştur. Oluşturulan mafsalın ucuna ise kolona yük aktarımı yapacak 1 cm kalınlığında 20x20 cm boyutlarında bir başlık yapılmıştır. Yükleme bu başlıktan verileceği için normalde kolon boyu 167.5 cm olmasına rağmen kolon serbest boyu plakanın orta noktasında hesaplanarak 157.5 cm olarak alınmıştır. Yükleme düzeneği şematik olarak Şekil 3.19'daki gibidir.



Şekil 3.19. Yükleme düzeneği

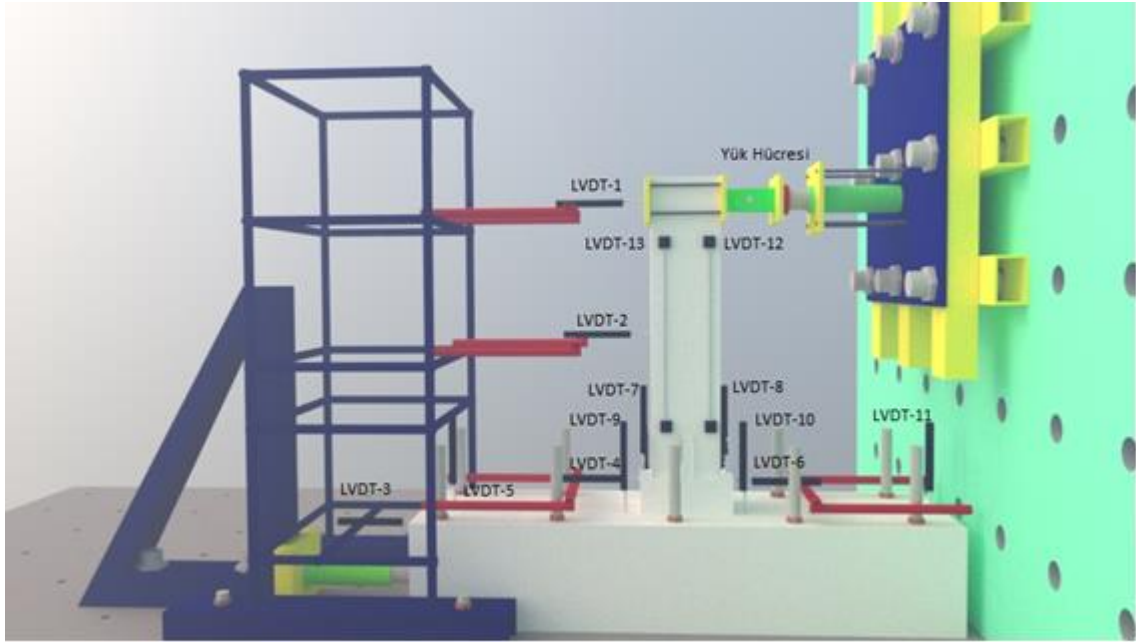
Laboratuvardaki rijit döşemeye sabitlenen temellerin olası yatay hareketini önlemek için iki adet hidrolik silindire sıkıştırılmıştır. Bu silindirlere bir tanesi temel ile reaksiyon duvarı arasına sıkıştırılmıştır. Diğerisi ise yer değiştirme ölçümlerinin yapıldığı potansiyometrik cetvelleri (LVDT) sabitlemek için korniyerler ile yapılmış dayanma yapısı ile temel arasına sıkıştırılmıştır. Yükleme düzeneği şematik olarak Şekil 3.20’de verilmiştir.



Şekil 3.20. Yükleme sisteminin şematik görünümü

3.6.1. Deneylerde Kullanılan Ölçüm Tekniği

Deney numunelerine etki edecek yatay yük, yük hücresi ile ölçülmüştür. Yer değiştirme ölçümleri ise 13 adet LVDT kullanılarak yapılmıştır. Kullanılan LVDT'lerin yerleşimi şematik olarak Şekil 3.21'deki gibidir. LVDT ve yük hücresi yardımıyla okunan veriler bir veri toplayıcıya aktarılmaktadır. Veri toplayıcı ile bilgisayar ortamına aktarılmaktadır.



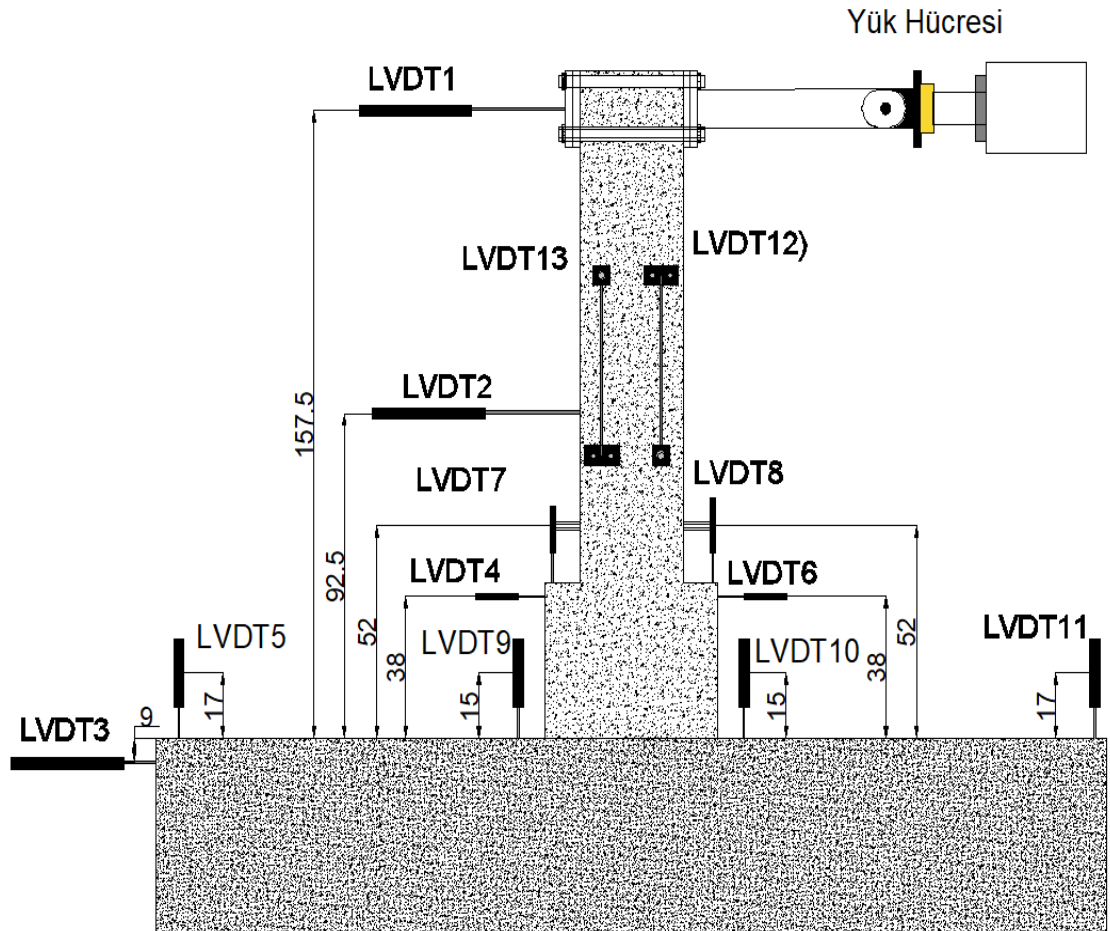
Şekil 3.21. LVDT yerleşimi şematik görünüş

Deney numunelerinden ölçülecek net tepe yer değiştirme Denklem 3.13 ile hesaplanmaktadır.

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

Kolon tepe yer değiştirmesini ölçmek için kullanılan LVDT-1, kolon başlık levhasının ortasına temel üstünden 157,5 cm yukarıya yerleştirilmiştir. LVDT-2, deney sırasında olumsuz bir durum sonucu LVDT-1'den okuma yapılamazsa okuma yapmak için güvenlik amacıyla yerleştirilmiştir. LVDT-2 temel üst seviyesinden 92,5 cm yukarıya yerleştirilmiştir. LVDT-3, LVDT-5 ve LVDT-11 temelde oluşabilecek oturma ve dönmeleri kontrol etmek için yerleştirilmiştir. LVDT-3 temel üst noktasından 9 cm

aşağı kısma yerleştirilmiştir. LVDT-5 ve LVDT-11 birbirine simetrik olarak temel iki ucuna temelin üst kısmından 17 cm yukarı yerleştirilmiştir. LVDT-7 ve LVDT-8 soket üstüne birbirine simetrik olarak yerleştirilmiştir. Kolonda soket üst seviyesinden itibaren oluşacak dönmeleri ölçmek için yerleştirilmiştir. LVDT-7 ve LVDT-8 soket üstünden 12 cm yukarıya, temelin üst kısmından itibaren 52 cm yukarı yerleştirilmiştir. LVDT-4 ve LVDT-6 ise soket yan yüzüne birbirine simetrik olarak yerleştirilmiştir. Bu potansiyometrik cetveller sayesinde kolondan farklı bir şekilde sokette oluşabilecek yer değiştirmeleri ölçmek amaçlanmıştır. LVDT-4 ve LVDT-6 temel üst seviyesinden 38 cm yukarı yerleştirilmiştir. LVDT-9 ve LVDT-10 soket yanına düşey olarak yerleştirilmiştir. Bu LVDT'ler sokette oluşabilecek dönmeleri ölçmek için yerleştirilmiştir. LVDT-9 ve LVDT-10 birbirine simetrik olarak temel üst seviyesinden 15 cm yukarıya yerleştirilmiştir. LVDT-12 ve LVDT-13 ise kolon uzun kenarına, kolon yüzeyine düşey olarak kolonda oluşacak eğriliği ölçmek için yerleştirilmiştir. LVDT yerleşimi ve konumları Şekil 3.22'de, numune üzerinde yerleşimi ise Şekil 3.23'deki gibidir.



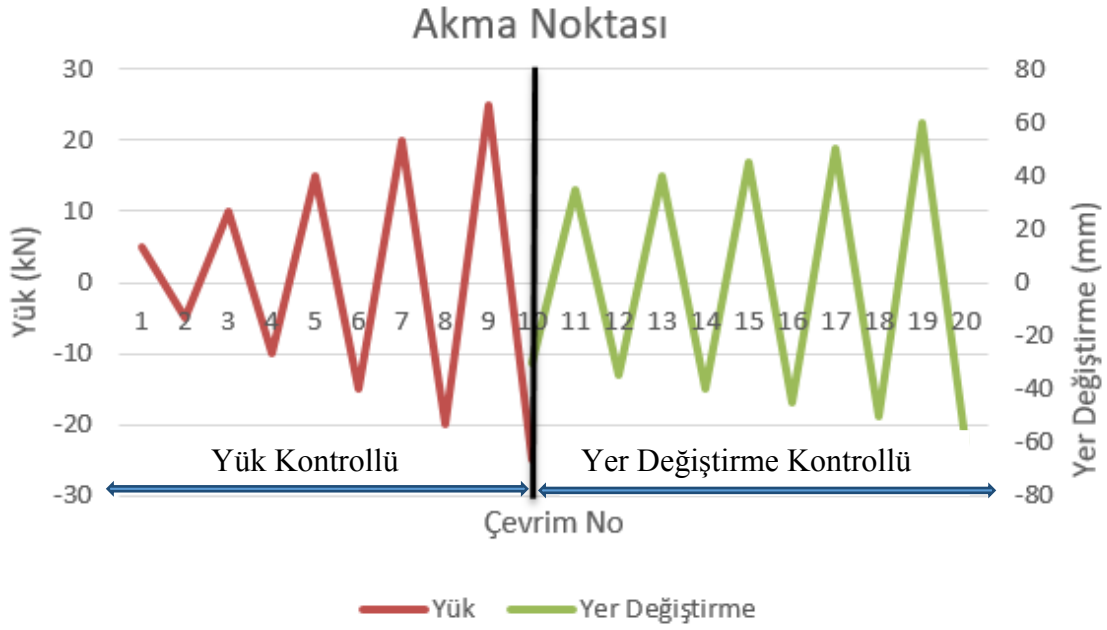
Şekil 3.22. LVDT konumları ve şematik görünümü



Şekil 3.23. Deney numunesi üzerinde LVDT yerleşimi

3.6.2. Deneylerde uygulanan yükleme prosedürü

Deneylerde yükleme programı olarak akma noktasına gelinceye kadar her çevrimde 5 kN yük artışı ile yük kontrollü olarak numuneler yüklenmiştir. Numuneler akma dayanımına ulaştığında, LVDT-1’de okunan yer değiştirme değeri 50 mm ‘yi geçmemişse 50 mm yer değiştirmeye kadar her bir çevrimde 5 mm artış ile, 50 mm’yi geçtikten sonra ise her bir çevrimde 10 mm artış ile yüklemeler yapılmıştır. Numunelerin ulaştığı maksimum yükten %20’yi yük kaybına uğradığı yer ise göçme durumu olarak kabul edilmiştir. Ancak numunelerde oluşacak ileri hasar seviyelerinin incelenebilmesi için yüklemeye devam edilmiştir. Yükleme programına uygun olarak örnek bir yükleme geçmişi Şekil 3.24’deki gibidir.



Şekil 3.24. Yükleme geçmişi

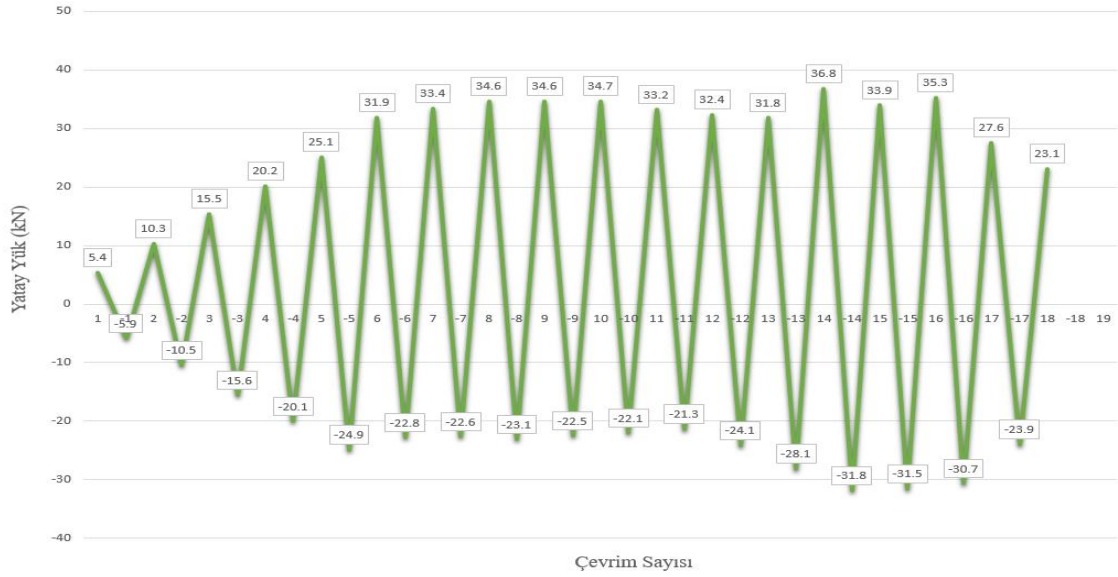
3.7. Yapılan Ölçümlerin Yorumlanması

Bu tez çalışmasında, prefabrikasyon soketli bağlantı için yeni bir betonu karışımı üretilerek depremi benzeştiren yükler altında incelemesi yapılmıştır. Numunelere öngerme uygulanarak hem endüstriyel olarak hem deneysel olarak eksenel yüke davranışına benzerliği incelenmiştir. Numunelerin depremi benzeştiren yükler altında değerlendirilmesi için yük hücresi ve LVDT yardımıyla elde edilen veriler bilgisayar ortamına aktarılarak bazı grafikler elde edilmiştir. Yük-yer değiştirme eğrisi (histeresis eğrisi), yük geçmişi, yer değiştirme geçmişi, süneklik, tüketilen enerji grafiği, rijitlik azalım ve moment-eğrilik grafikleri elde edilmiştir.

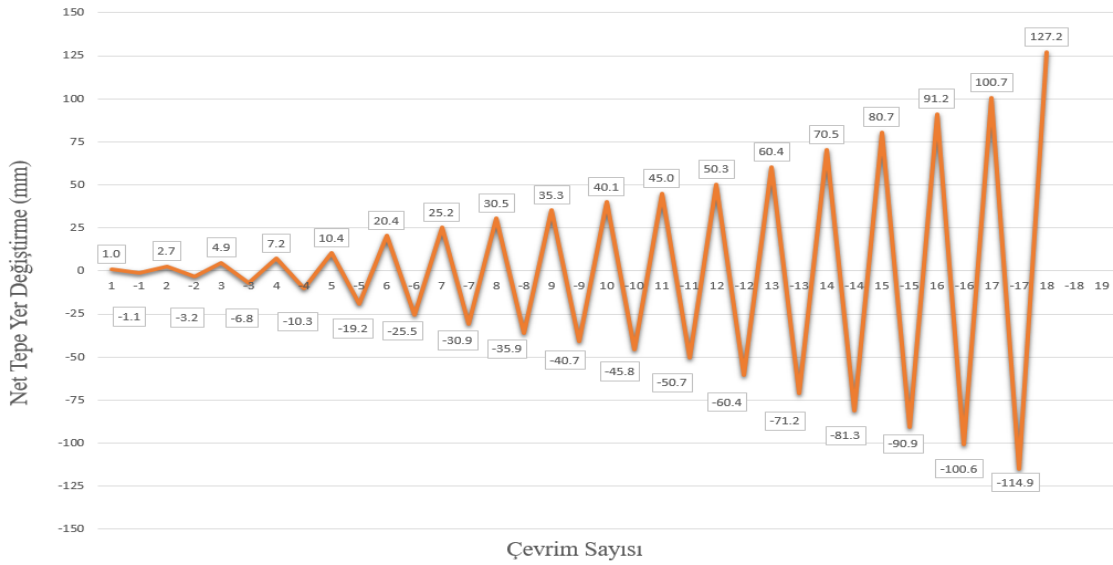
3.7.1. Yer değiştirme geçmişi ve yük geçmişi grafiklerinin oluşturulması

Depremi benzeştiren yatay yükler altında deneyler yapılırken her bir çevrimde 0.125 s aralıklarla elde edilen veriler bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Numune akma noktasına gelene kadar her bir çevrimde en düşük yüke karşılık gelen yer değiştirme değeri, akma dayanımından sonra ise en yüksek yer değiştirmeye karşılık gelen yük değerleri yatay eksenini çevrim sayısını gösteren bir grafiğe aktarılmıştır. Şekil 3.25’de

yük geçmişi grafiği, Şekil 3.26’da ise yer değiştirme geçmişi grafiği KN1 numunesi için örnek olarak verilmiştir.



Şekil 3.25. KN1 numunesine ait yük geçmişi grafiği

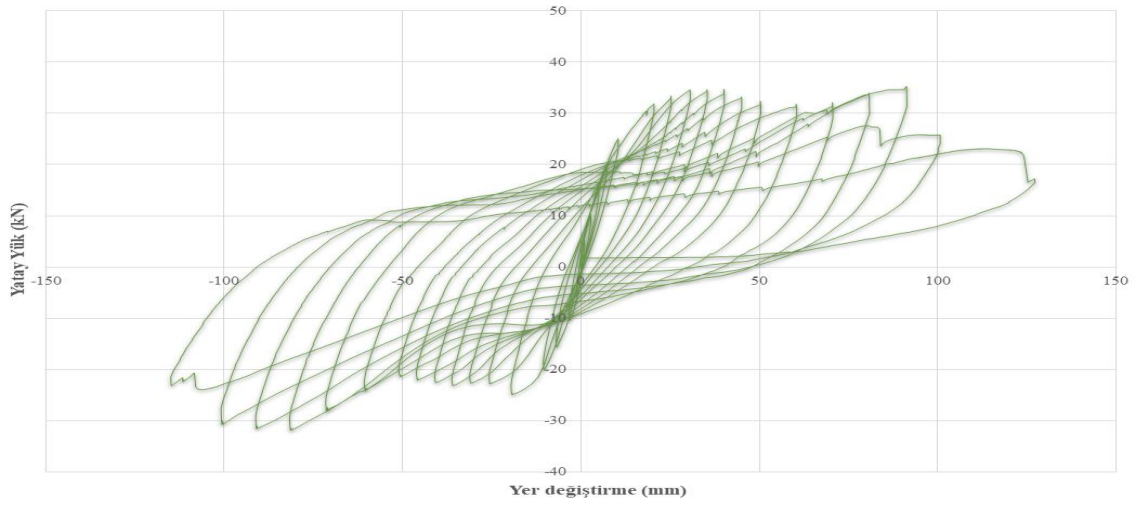


Şekil 3.26. KN1 numunesine ait yer değiştirme geçmişi grafiği

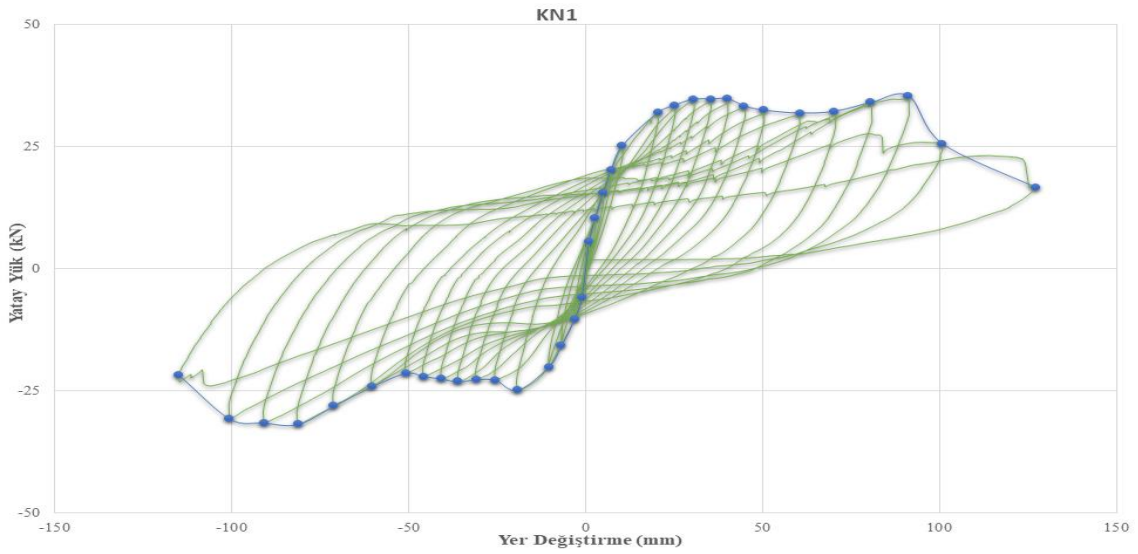
3.7.2. Yük-yer değiştirme eğrisi (histeresis eğrisi) ve dayanım zarfı eğrisinin oluşturulması

Deneylerde veri okuması 0.125 s aralıklarla yapılmıştır. Elde edilen yük verileri ve buna karşılık gelen LVDT-1 ile okunan yer değiştirme verileri kullanılarak yük-yer

değiştirme eğrisi (histeresis eğrisi) oluşturulmuştur. Histeresis eğrisinde pozitif (itme) ve negatif (çekme) yük ve yer değiştirme değerleri birlikte kullanılmıştır. Şekil 3.27’de KN1 numunesine ait histeresis eğrisi verilmiştir. Histeresis eğrisinde akma dayanımına ulaşana kadar maksimum yük değeri ile buna karşılık gelen yer değiştirme değerinin kesişim noktası, akma dayanımından sonra ise maksimum yer değiştirme değeri ve buna karşılık gelen yük değerinin kesişim noktaları birleştirilerek dayanım zarfı eğrileri elde edilmiştir. Dayanım zarfı eğrisinin elde edilmesi Şekil 3.28’de KN1 numunesi için verilmiştir.



Şekil 3.27. KN1 numunesine ait histeresis eğrisi



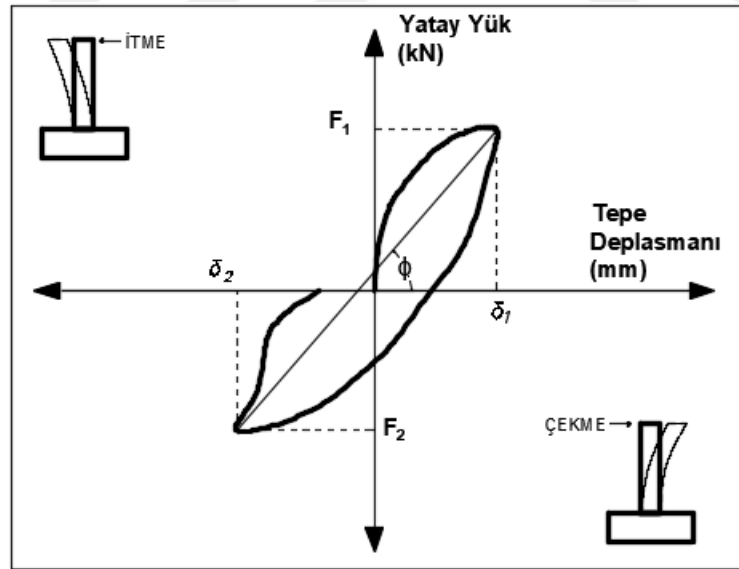
Şekil 3.28. KN1 numunesine ait dayanım zarfı eğrisinin elde edilmesi

3.7.3. Rijitlik azalım grafiğinin oluşturulması

Depremi benzeştiren yükler etkisi altında numunelerde her bir çevrimde hasarlar oluşması sonucu rijitlikte düşüş ortaya çıkacaktır. Her bir çevrimde ulaşılan maksimum yük değeri itme ve çekme çevrimleri için sırasıyla F_1 ve F_2 , her bir itme ve çekme çevriminde maksimum yüke karşılık gelen yer değiştirmeler ise δ_1 ve δ_2 olsun. Rijitlikte (ϕ) meydana gelecek azalma bu durum için Denklem 3.14 ile hesaplanabilir (Öztürk, 2010; Koçer, 2020).

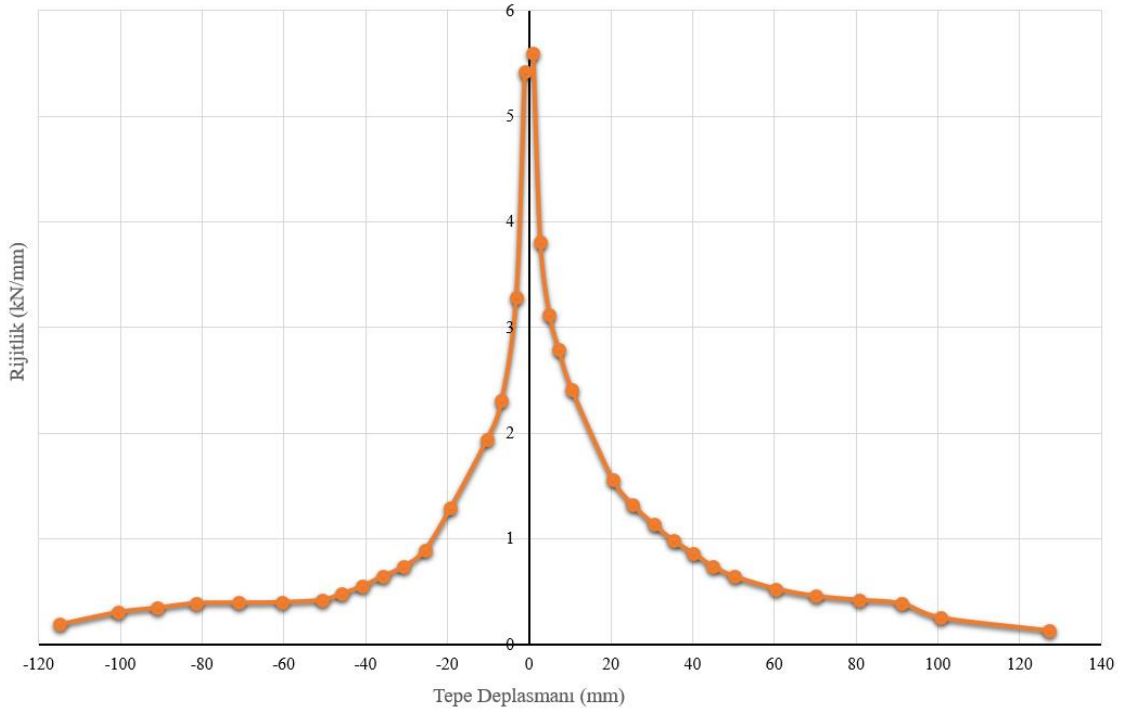
$$\phi = \frac{(|F_1| + |F_2|)}{(|\delta_1| + |\delta_2|)} \quad (3.14)$$

Şekil 3.29'den anlaşılacağı üzere itme çevrimindeki maksimum yük değeri F_1 ve bu yük değerine karşılık gelen yer değiştirme değeri δ_1 pozitif değerlerdir. Çekme çevriminde maksimum yük değeri F_2 ve bu yük değerine karşılık gelen yer değiştirme değeri δ_2 ise negatif değerlerdir. Bundan dolayı rijitlik azalım grafiğinde, grafiğin solu negatif değerleri, sağ ise pozitif değerleri içermektedir.



Şekil 3.29. Rijitlikteki azalmanın hesaplanması (Koçer, 2020)

Her numune için çevrimlerde elde edilen maksimum yük değerleri ve bu yük değerlerine karşılık gelen yer değiştirme değerleri kullanılarak elde edilen rijitlik azalım grafiği Şekil 3.30'da KN1 numunesi için örnek gösterilmiştir.



Şekil 3.30. KN1 numunesi rijitlik azalma grafiği

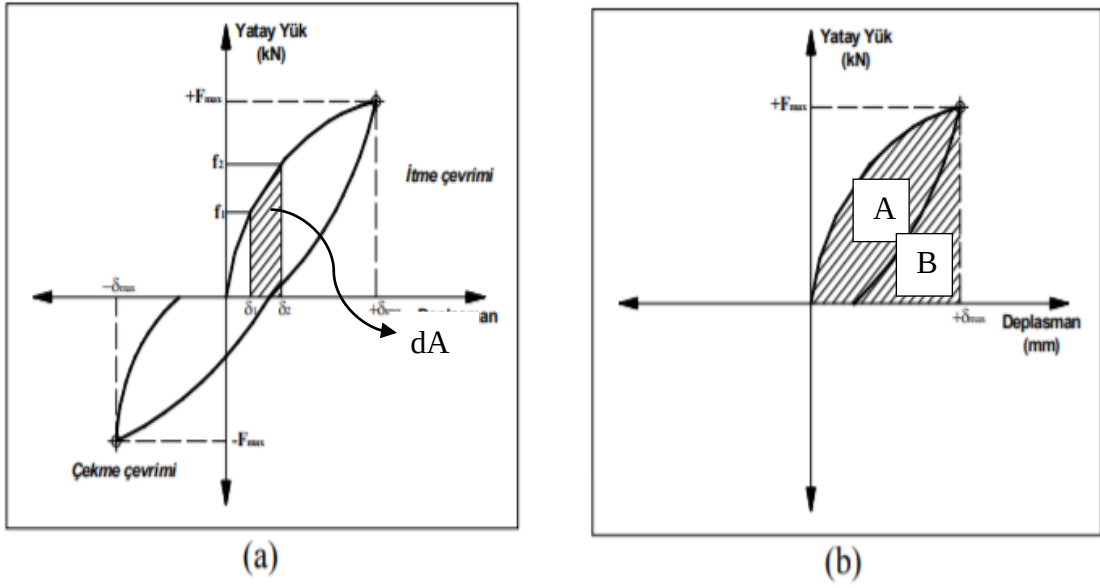
3.7.4. Toplam tüketilen enerji grafiğinin oluşturulması

Bir taşıyıcı elemanın tükettiği enerji, yük-yer değiştirme eğrisi altında kalan alan olarak ifade edilebilir. Eğer taşıyıcı eleman depremi benzeştiren şekilde çevrimsel yüklemeye maruz kalıyorsa yükleme eğrisi ile boşaltma eğrisi arasındaki kalan tüketilen enerji olarak ifade edilebilir (Altın ve ark., 2004; Wang ve ark., 2018). Şekil 3.31(b)'de verilen "A" alanı enerji tüketme kapasitesini ifade etmektedir. Bu eğrinin alanını hesaplamak için eğri sonsuz küçük düşey parçalara bölünürse her bir parça Şekil 3.31(a)'da gösterildiği gibi bir yamuk alanı olacaktır. Deneyler sırasında yer değiştirme ve yük okumaları ardışık olarak 0.125 s'de bir yapıldığı için, ardışık her okuma değeri bir yamuk alanı oluşturacaktır. Şekil 3.31(a)'da verilen yamuğun alanı Denklem 3.15 ile hesaplanabilmektedir.

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

Yukarıda verilen Denklem 3.15'de hesaplanan alanlar her bir çevrim sonrası toplanırsa o çevrimin enerji tüketme kapasitesi belirlenmiş olur. Ancak çevrimsel

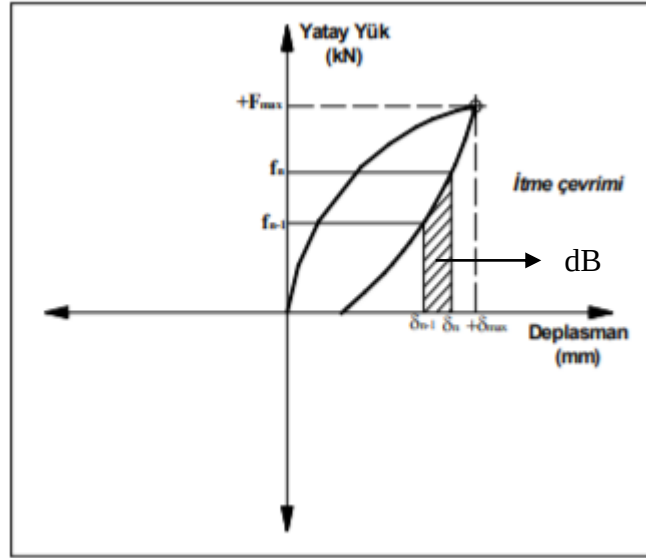
yüklemeye enerji tüketme kapasitesi yükleme ve boşaltma eğrileri arasındaki alanı ifade ettiği için bulunan alandan Şekil 3.31(b)'de verilen “B” alanı çıkarılmalıdır.



Şekil 3.31. Tüketilen enerji miktarının hesaplanması (Balık, 2012)

Şekil 3.32’de boşaltma eğrisi altında kalan “B” alanının hesaplanması gösterilmiştir. Bu alan Denklem 3.16 ile hesaplanabilmektedir. Burada boşaltma sırasında okunan ardışık verilerin her biri bir yamuk alanı oluşturduğu için yamuk alanı olarak hesaplanarak bütün sonuçlar toplanır ve “B” alanı elde edilir.

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



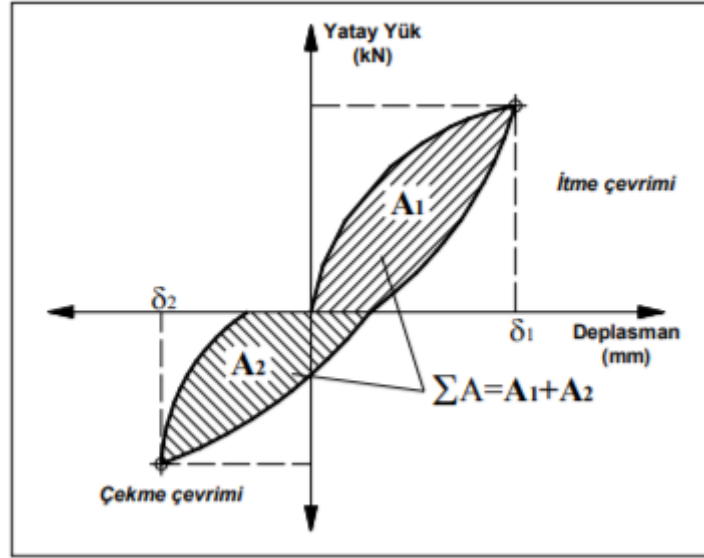
Şekil 3.32. Boşaltma eğrisi altında kalan alanın hesaplanması (Balık, 2012)

Her bir çevrim için elde edilen dA ve her bir çevrimde boşaltma eğrisi altında kalan alanın hesabından elde edilen dB Denklem 3.17’de verildiği gibi birbirinden çıkarılırsa çevrim enerjisi elde edilir.

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

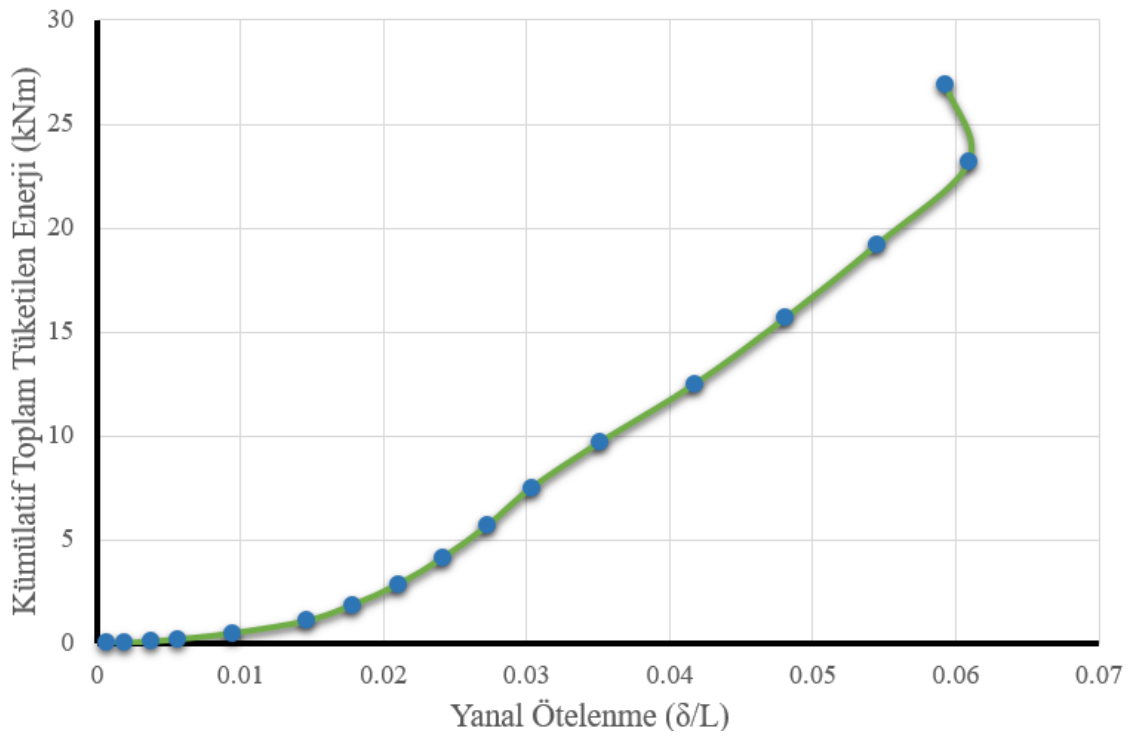
Şekil 3.33’de görüldüğü gibi itme çevriminde yükleme eğrisi ile boşaltma eğrisi arasında kalan alan A_1 , çekme çevriminde yükleme eğrisi ile boşaltma eğrisi arasında kalan alan A_2 toplanarak çevrimin toplam enerjisi elde edilir. Denklem 3.18’de toplam enerjinin hesaplanması verilmiştir.

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



Şekil 3.33. Toplam çevrim enerjisinin hesaplanması (Balık, 2012)

Şekil 3.34’de kümülatif toplam tüketilen enerji grafiği KN1 numunesi için örnek olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.34. KN1 numunesi için kümülatif toplam tüketilen enerji grafiği

3.7.5. Deney numunelerinin sünekliklerinin elde edilmesi

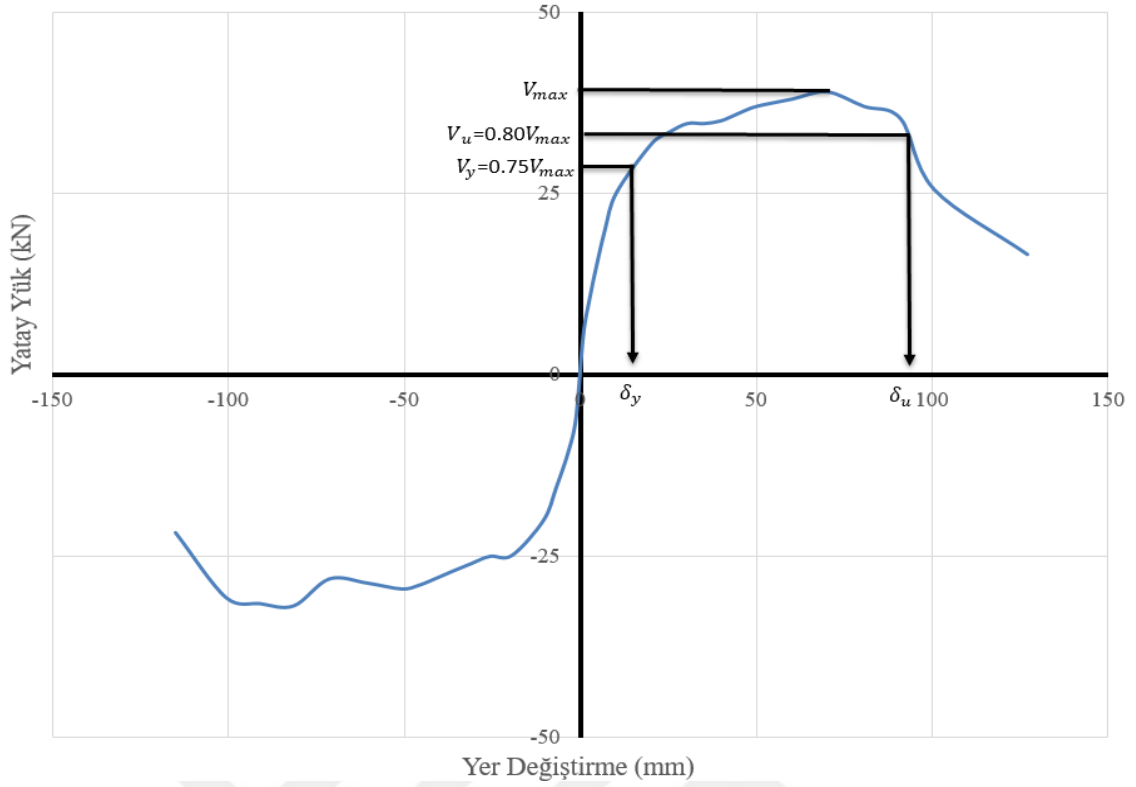
Süneklik ifadesi bir yapı elemanın yük taşıma kapasitesinde önemli kayıplar ortaya çıkmadan büyük yer değiştirme yapabilme kabiliyeti olarak tanımlanabilir. Yapısal elemanlarda bu ifade, göçme durumu olarak kabul edilen yük değerine karşılık gelen yer değiştirme değerinin (δ_u), yapısal elemanın akma dayanımına ulaştığı yük değerine karşılık gelen yer değiştirme değerine (δ_y) oranıdır. Göçme durumundaki yer değiştirme (δ_u) yapısal elemanın maksimum yük değerinden %20 kayıp yaşadığı yük değerine karşılık gelen yer değiştirme değeridir (Alaedini ve ark., 2016; Li ve ark., 2018; Wang ve ark., 2018). Yapısal elemanın akma durumundaki yer değiştirme (δ_y) değeri ise yapısal elemanın en yüksek yük değerinin %75'i olan yük değerine karşılık gelen yer değiştirme değeridir. Yapısal elemanın en yüksek taşıyacağı yükün %75'ine ulaştığında aktığı kabul edilir (Yüksel ve Polat, 2002; Balık, 2012). Denklem 3.19, 3.20 ve 3.21 ile yapısal elemanın sünekliği hesaplanabilir.

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

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

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

Şekil 3.35'de sünekliğin hesaplanmasında kullanılacak parametrelerin elde edilmesi verilmiştir.



Şekil 3.35. Süneklik değerinin hesaplanması

3.7.6. Moment-eğrilik grafiklerinin elde edilmesi

Eğilme ve eksenel yük veya sadece eğilme etkisi altındaki elemanların davranışını en sağlıklı şekilde izlemenin yolu moment-eğrilik ilişkisidir. Moment-eğrilik ilişkisi deneyler sırasında elde edilen veriler ile hesaplanabilmektedir. Kolonun temel ile birleştiği bölgeye yerleştirilen LVDT'ler ile yapılan okumalar moment-eğrilik ilişkisinin elde edilmesinde kullanılmaktadır. Kolona etki eden moment Denklem 3.22'deki gibi hesaplanmaktadır.

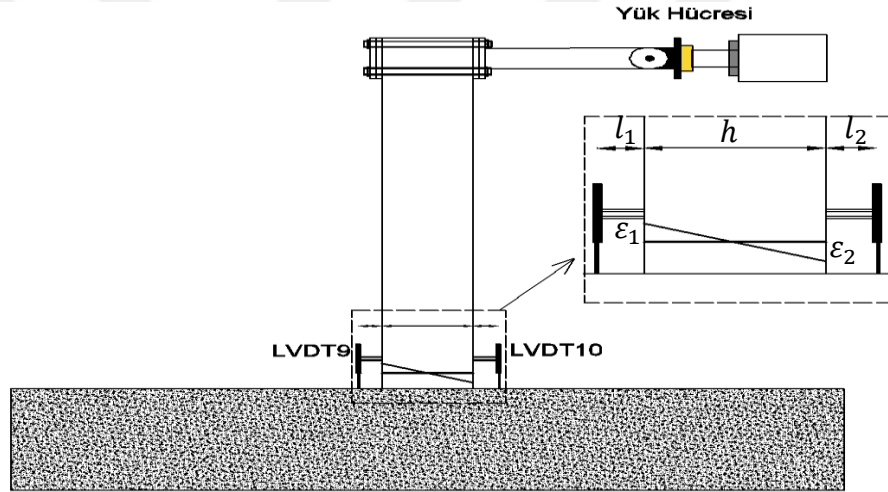
$$M = V \times l_n \quad (3.22)$$

Burada, V ve l_n sırası ile kolona etki eden yatay yükü ve net kolon yüksekliğini ifade etmektedir. Monolitik referans numunesinde kolon net yüksekliği 1.575 m iken soketli numunelerde soket üzerinden hesaplanarak 1.175 m olarak alınmıştır. Kolona her çevrimde etki eden maksimum yatay yükün kolon net yüksekliği ile çarpılması sonucu kolon tabanında oluşan eğilme momenti elde edilmiştir. Kolon tabanında oluşan eğrilik hesaplanırken, monolitik ve soketli numunelere göre ayrı ayrı hesaplamalar

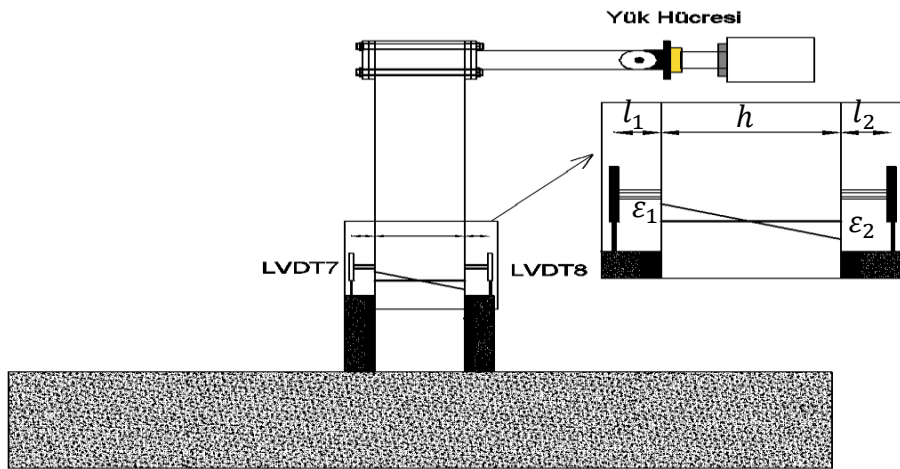
yapılmıştır. Kolonda oluşacak eğrilik Denklem 3.23'deki hesaplanmaktadır (Goksu, 2012).

$$x = \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}{h + l_1 + l_2} \quad (3.23)$$

Burada, x , ε_1 , ε_2 , h , l_1 ve l_2 sırasıyla eğrilik, kolon yüzündeki uzama, kolon yüzündeki kısalma, kolon uzun kenarı, LVDT'nin kolon yüzüne mesafesi olarak ifade edilmektedir. Kolon yüzündeki uzama ve kısaltmalar monolitik numunelerde temel üstünden ölçülürken, soketli numunelerde soket üstünden ölçülmüştür. Monolitik numune için Şekil 3.36a'da verilen, soketli numune için 3.36b'de verilen değerler yardımıyla eğrilik hesap edilmiştir.



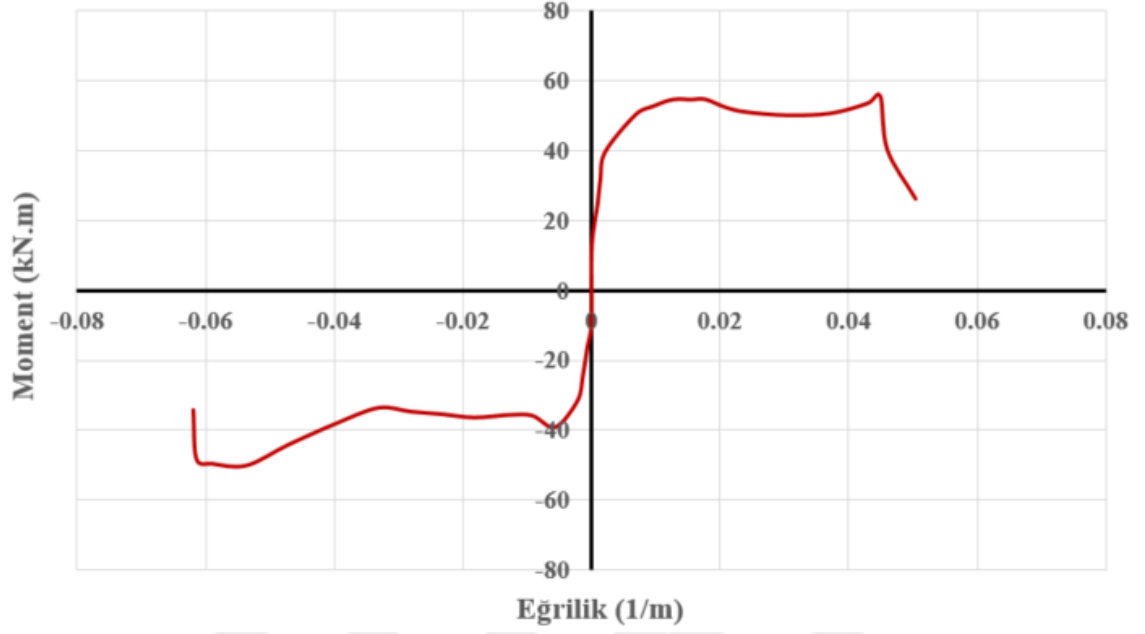
(a)



(b)

Şekil 3.36. Eğrilik hesabında kullanılan değerler, (a) monolitik numune; (b) soketli numune

Şekil 3.36’da verilen değerler yardımıyla elde edilen moment-eğrilik ilişkisi KN1 numunesi için Şekil 3.37’de verilmiştir.



Şekil 3.37. KN1 numunesi için moment-eğrilik ilişkisi

4. NUMUNELERİN DEPREMİ BENZEŞTİREN YATAY YÜK ETKİSİ ALTINDA DENEYLERİNİN YAPILMASI

Bu tez çalışmasında, birleşim tipleri, öngermeli ve öngermesiz üretim özellikleri olan 5 adet deney numunesi depremi benzeştiren yükler altında incelenmiştir. Deney numuneleri akma aşamasına ulaşana kadar 5 kN yük artışı ile yük kontrollü olarak, akma dayanımına ulaştıktan sonra eğer 50 mm yer değiştirmeye ulaşılmamışsa 5 mm artış ile 50 mm'den sonra 10 mm artış ile yer değiştirme kontrollü yüklenmiştir. Deneyler sonucu elde edilen veriler ile yer değiştirme geçmişi, yük geçmişi, dayanım zarfı eğrisi, histeresis eğrisi, rijitlikte azalma eğrisi, enerji tüketme kapasitesi eğrisi ve süneklik değerleri grafikleri oluşturulmuştur. Bu bölümde numune sonuçları verildikten sonra numunelerde elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

4.1. Deney Sonuçları

4.1.1. KN1 numunesinin deneysel sonuçları

KN1, bir döküm olarak üretilen referans numunesidir. Bu numunenin genel özellikleri Çizelge 4.1'deki gibidir.

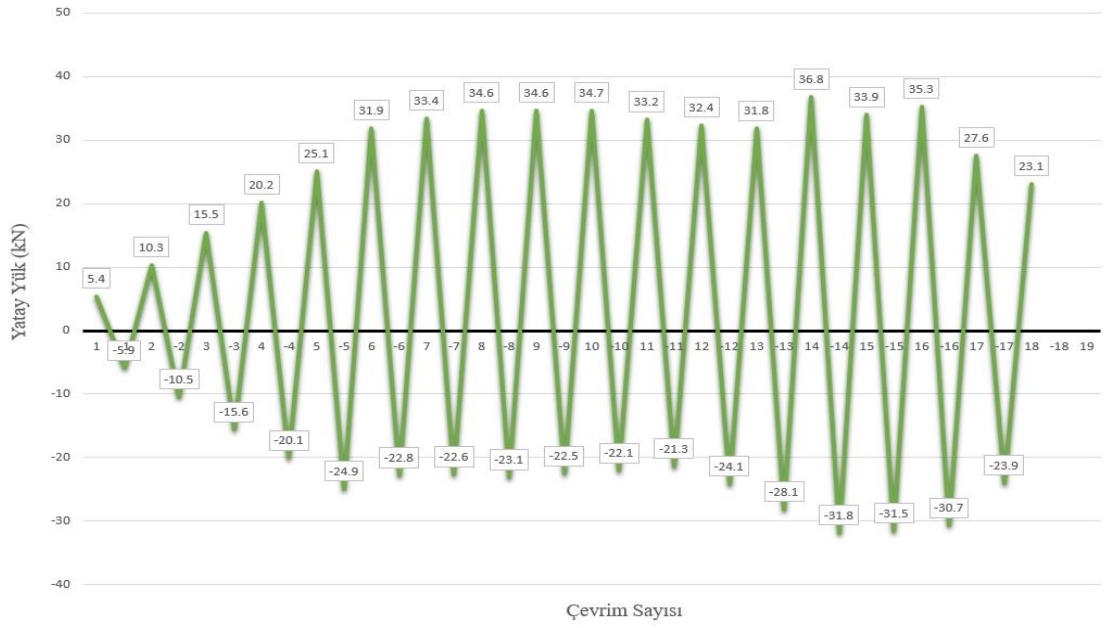
Çizelge 4.1. KN1 numunesi genel özellikleri

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

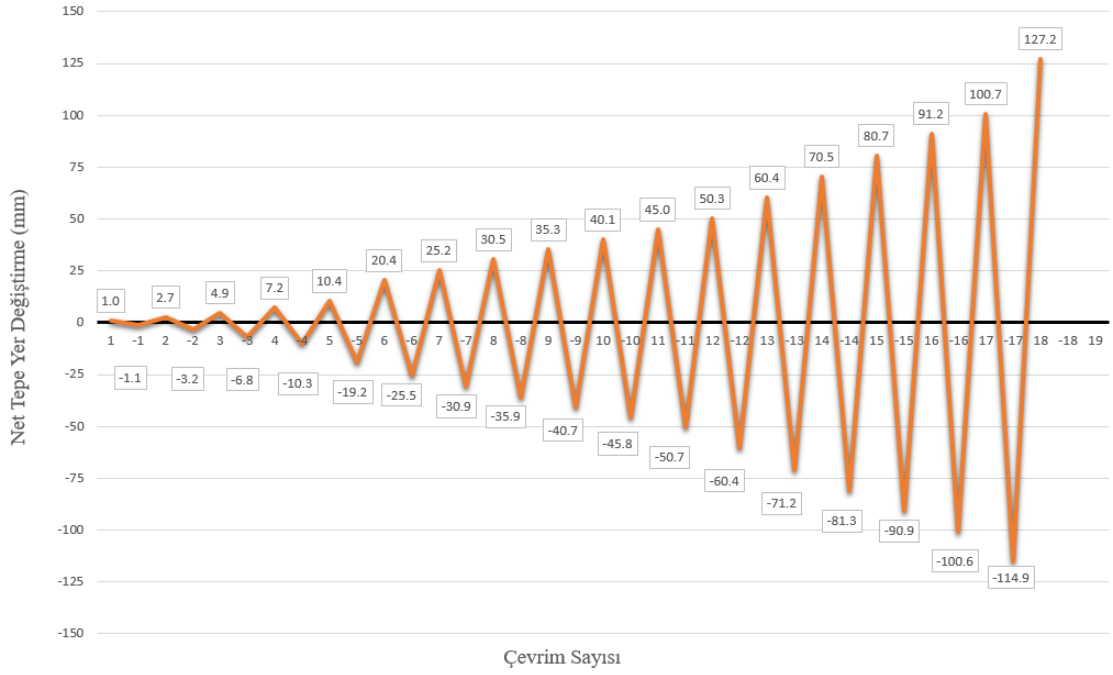
KN1 deney numunesinin deney yapılmadan önceki durumu Şekil 4.1'deki gibidir. KN1 deney numunesinin depremi benzeştiren yatay yük altında test edilmesinden elde edilen yük geçmişi Şekil 4.2'de, yer değiştirme geçmişi ise Şekil 4.3'deki gibidir.



Şekil 4.1. KN1 numunesi deney öncesi



Şekil 4.2. KN1 numunesi yük geçmişi



Şekil 4.3. KN1 numunesi yer değiştirme geçmişi

Yük geçmişi ve yer değiştirme geçmişi grafiğinden okunacağı gibi KN1 numunesi akma durumuna pozitif 6. çevrimde ulaşmıştır. Pozitif 6. çevrime kadar numuneye her çevrimde 5 kN yük artışı ile yükleme yapılmıştır. Bu çevrimde numunede ölçülen yer değiştirme 20 mm olduğu için 50 mm'ye kadar 5 mm yer değiştirme artışı ile yer değiştirme kontrollü olarak yüklemeler yapılmıştır. 50 mm'den sonra ise her çevrimde 10 mm yer değiştirme artışı ile yer değiştirme kontrollü olarak yüklenmiştir. KN1 deney numunesinde deney aşamasında gözlenen hasar oluşumu Çizelge 4.2'deki gibidir.

Çizelge 4.2. KN1 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	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 çevriminde 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.

-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 deney numunesinde ilk hasar +2. çevrimde ortaya çıkmıştır. İlk hasarın olduğu çevrimde numuneye 10.33 kN yük uygulanmıştır. Bu çevrimde yer değiştirme ise 2.77 mm olarak ölçülmüştür. Hasar oluşumunun ilk olarak gözlemlendiği çevrimde numunenin görünümü Şekil 4.4'deki gibidir.



Şekil 4.4. KN1 deney numunesinde ilk hasar oluşumu

KN1 deney numunesi akma durumuna ulaştığında ± 6 . çevrim gerçekleştirilmiştir. +6. çevrim sonucunda numuneye uygulanan kuvvet 31.87 kN'dur. Bu çevrimde numunenin yaptığı yer değiştirme ise 20.43 mm olarak ölçülmüştür. -6. çevrim sonucunda numuneye uygulanan kuvvet -22.79 kN'dur. Bu çevrimde numunenin yaptığı yer değiştirme ise -25.53 mm olarak ölçülmüştür. Akma dayanımına ulaşılan çevrimde mesnet bölgesinde ayrışmalar olmuştur. Kolon yüzünde her iki çevrimde oluşan çatlaklar simetrisi ile birleşmiştir. Oluşan çatlakların bir kısmı çatallanmıştır. KN1 deney numunesinin akma durumunda hasar seviyesi Şekil 4.5'deki gibidir.



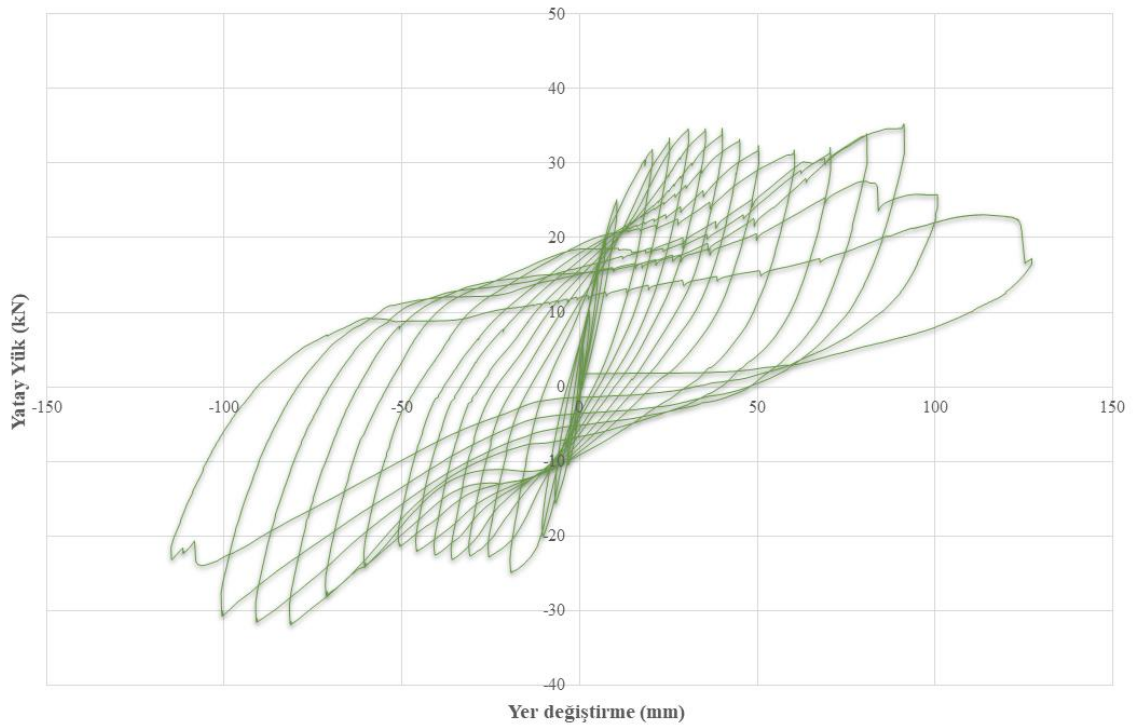
Şekil 4.5. KN1 deney numunesinin akma durumunda hasar seviyesi

KN1 deney numunesinin limit durumu +18. çevrimde gerçekleşmiştir. Limit durumda 16.59 kN kuvvete maruz kalan kolon aynı zamanda 127.22 mm yer değiştirme yapmıştır. Limit durumda kolonun plastik mafsallık bölgesinde kabuk betonda ezilmeler sonucu dökülme olmuştur. Çevrim sırasında basınç bölgesi olan bölgede boyuna donatıda burkulma olmuştur. Göçme öncesi çevrimlerde çekme bölgesi olan bölgede boyuna donatıda kopma olmuştur. Numunenin davranışı genel olarak eğilme davranışı eğilimindedir. Numunede oluşan hasarlar genel olarak plastik mafsallık bölgesinde olmuştur. KN1 deney numunesinde limit durumdaki hasar seviyesi Şekil 4.6'daki gibidir.

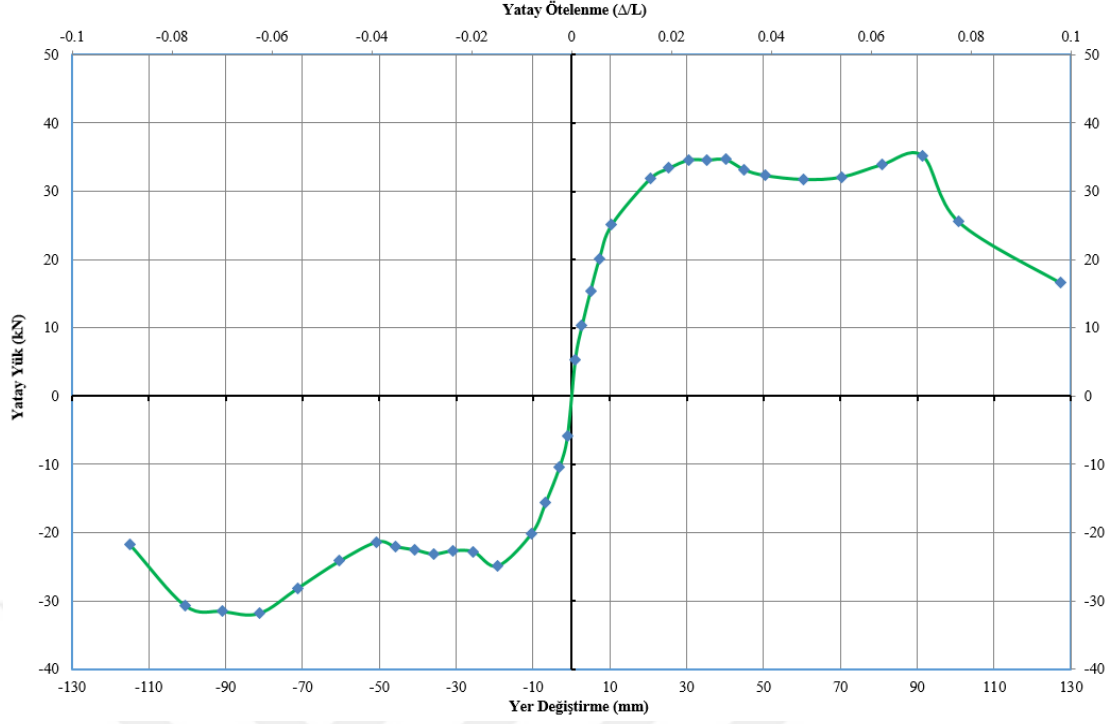


Şekil 4.6. KN1 deney numunesinde limit durum için hasar seviyesi

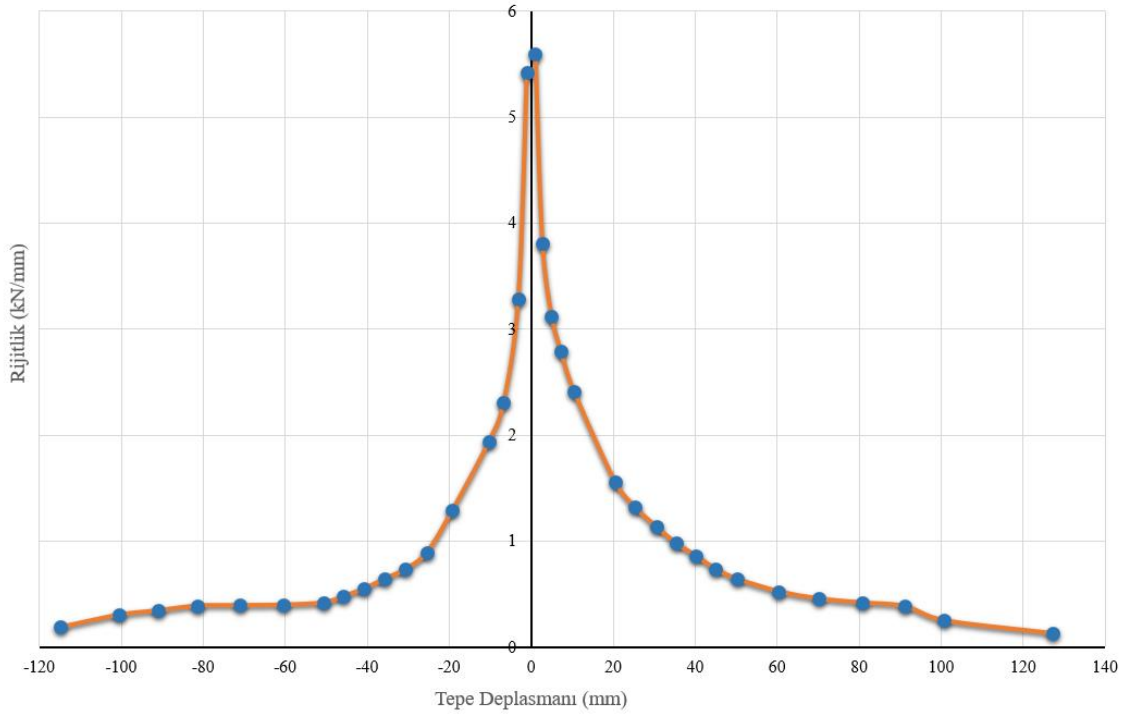
Deney sonucunda elde edilen yer değiştirme ve yük verileri kullanılarak numunelerin davranışı hakkında bilgi edinmek için çeşitli grafikler oluşturulmuştur. Deney sırasında elde edilen yük değerlerine karşılık gelen yer değiştirmeler birleştirilerek şekil 4.7’de görüldüğü gibi yük-yer değiştirme eğrisi oluşturulmuştur. Yük-yer değiştirme eğrisinin tepe noktaları birleştirilerek elde edilen dayanım zarfı eğrisi şekil 4.8’de gösterilmiştir. Her çevrimde numunede oluşan hasardan dolayı meydana gelen rijitlik azalmasını gösteren rijitlik azalma grafiği şekil 4.9’da verilmiştir. Deney numunesinin tükettiği toplam enerjiyi gösteren toplam tüketilen enerji grafiği şekil 4.10’daki gibidir.



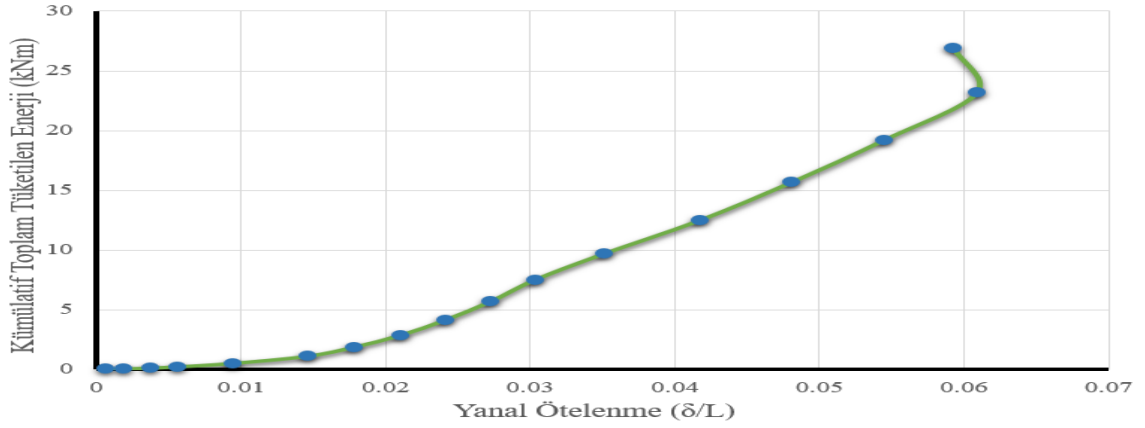
şekil 4.7. KN1 deney numunesinin yük-yer değiştirme eğrisi



Şekil 4.8. KN1 deney numunesinin dayanım zarfı eğrisi



Şekil 4.9. KN1 deney numunesinin rijitlik azalım eğrisi

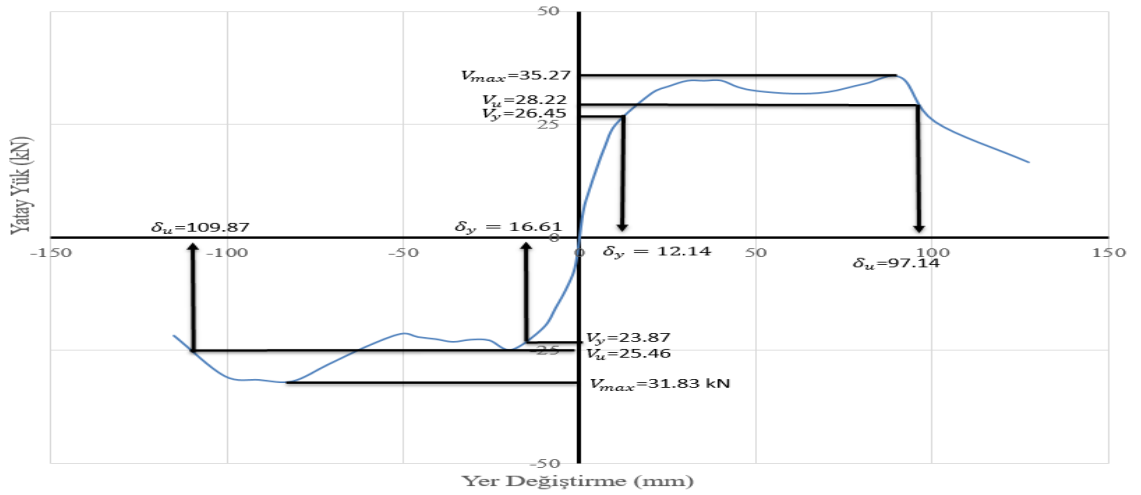


Şekil 4.10. KN1 deney numunesinin toplam tüketilen enerji eğrisi

KN1 deney numunesine ait süneklik değerinin bulunması için gerekli veriler Şekil 4.11’den elde edilerek Çizelge 4.3’de verilmiştir.

Çizelge 4.3. KN1 numunesine ait süneklik değerleri

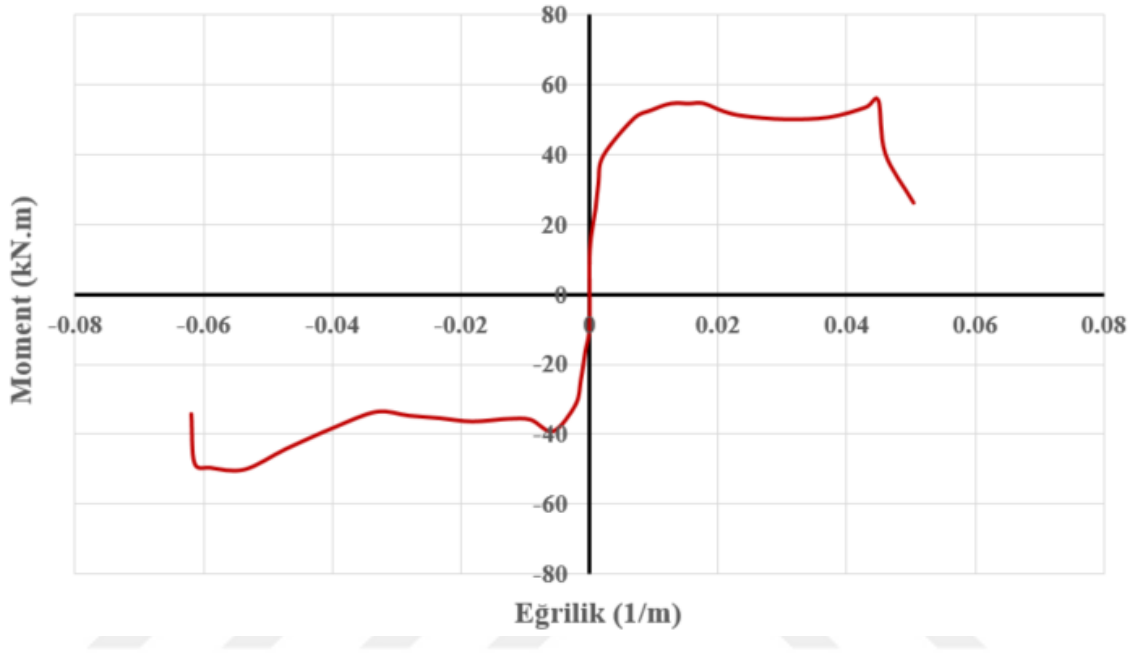
KN1	V_{max} (kN)	V_y (kN)	V_u (kN)	δ_y (mm)	δ_u (mm)	μ	μ_{ort}
İtme	35.27	26.45	28.22	12.14	97.14	8.002	7.309
Çekme	31.83	23.87	25.46	16.61	109.87	6.615	



Şekil 4.11. KN1 deney numunesinin sünekliğinin elde edilmesi

KN1 numunesi için her çevrimde elde edilen maksimum yatay yükün kolon yüksekliği ile çarpılması ile numuneye etki eden eğilme momenti hesaplanmıştır. Kolon temel birleşimine yerleştirilen LVDT9 ve LVDT10 ile yapılan ölçümler sonucu ise eğrilik elde edilmiştir. Eğrilik hesabında kullanılan LVDT’lerin kolon yüzüne mesafesi

ise LVDT9 ve LVDT10 için sırasıyla 85 ve 90 mm olarak ölçülmüştür. Elde edilen moment-eğrilik grafiği Şekil 4.12’de verilmiştir. KN1 numunesinin moment taşıma kapasitesi itme çevrimlerinde 55.54 kN.m iken çekme çevrimlerinde 50.14 kN.m olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.12. KN1 numunesine ait moment-eğrilik ilişkisi

4.1.2. KN2 numunesinin deneysel sonuçları

KN2 numunesi soketli temel olarak üretilen referans numunesidir. KN2 numunesinin genel özellikleri Çizelge 4.4’de verilmiştir.

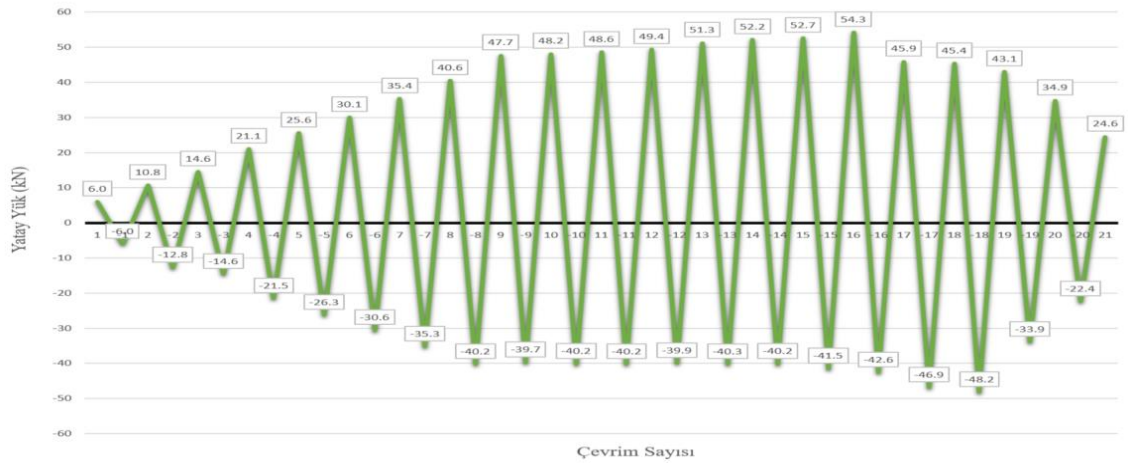
Çizelge 4.4. KN2 numunesi genel özellikleri

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

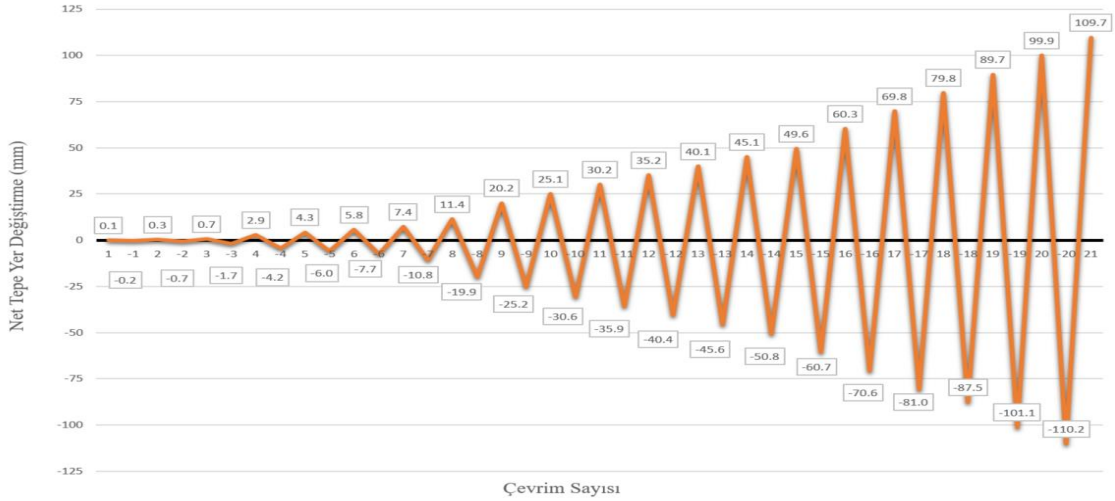
KN2 deney numunesinin deney öncesi durumu Şekil 4.13’te gösterilmiştir. KN2 deney numunesinin depremi benzeştiren yatay yük altında test edilmesinden elde edilen yük geçmişi Şekil 4.14’te, yer değiştirme geçmişi ise Şekil 4.15’te verilmiştir.



Şekil 4.13. KN2 numunesi deney öncesi



Şekil 4.14. KN2 numunesi yük geçmişi



Şekil 4.15. KN2 numunesi yer değiştirme geçmişi

Yük geçmişi ve yer değiştirme geçmişi grafiğinden anlaşılacağı gibi KN2 numunesi akma durumuna pozitif 9. çevrimde ulaşmıştır. Pozitif 9. çevrime kadar numuneye her çevrimde 5 kN yük artışı ile yükleme yapılmıştır. Bu çevrimde numunede ölçülen yer değiştirme 20.2 mm olduğu için 50 mm'ye kadar 5 mm yer değiştirme artışı ile yer değiştirme kontrollü olarak yüklemeler yapılmıştır. 50 mm'den sonra ise her çevrimde 10 mm yer değiştirme artışı ile yer değiştirme kontrollü olarak yüklenmiştir. KN2 deney numunesinde deney aşamasında gözlenen hasar oluşumu Çizelge 4.5'deki gibidir.

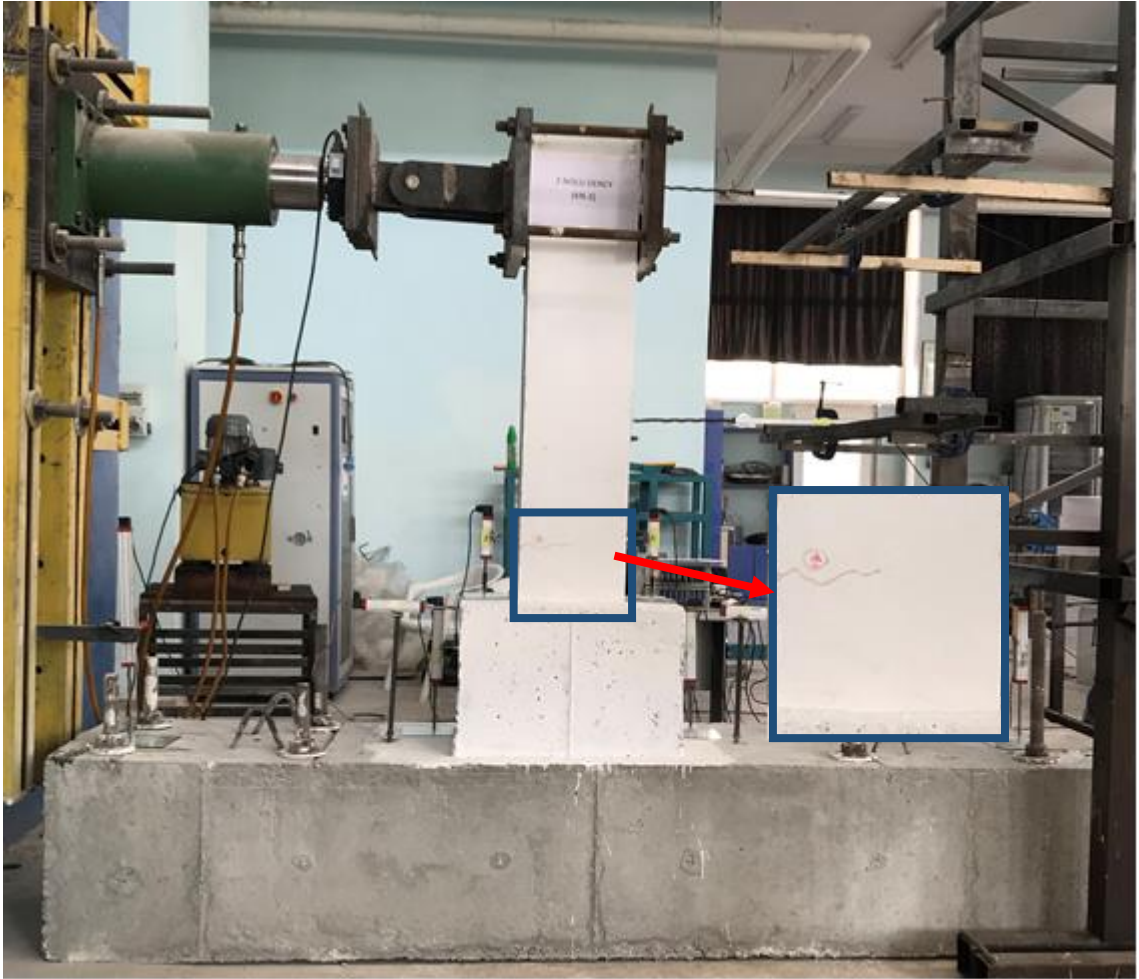
Çizelge 4.5. KN2 numunesinde deney sırasında gözlenen hasarlar

Çevrim No (İtme "+", Çekme "-")	Maksimum Yatay Yük (kN)	Maksimum Tepe Yer Değişirme (LVDT-1) (mm)	Numunede Gözlenen Çatlak ve Hasar Oluşumları
+1	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 15 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 5 cm ve 35 cm yüksekliklerde çatlaklar oluşmuştur. Soket-kolon birleşiminde ayrılmalar başlamıştır.

-4	-21.48	-4.21	Temel üst seviyesinden 5 cm ve 35 cm yüksekliklerde çatlaklar oluşmuştur. Bu çatlaklar itme çevriminde oluşan simetrisi ile birleşmiştir.
+5	25.62	4.35	Temel üst seviyesinden 25 cm ve 55 cm yüksekliklerde çatlaklar oluşmuştur.
-5	-26.29	-5.99	Temel üst seviyesinden 10 cm ve 55 cm yüksekliklerde çatlaklar oluşmuştur. Bazı çatlaklar çatallanmıştır.
+6	30.13	5.76	Temel üst seviyesinden 10 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 48 cm ve 77 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 74 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.

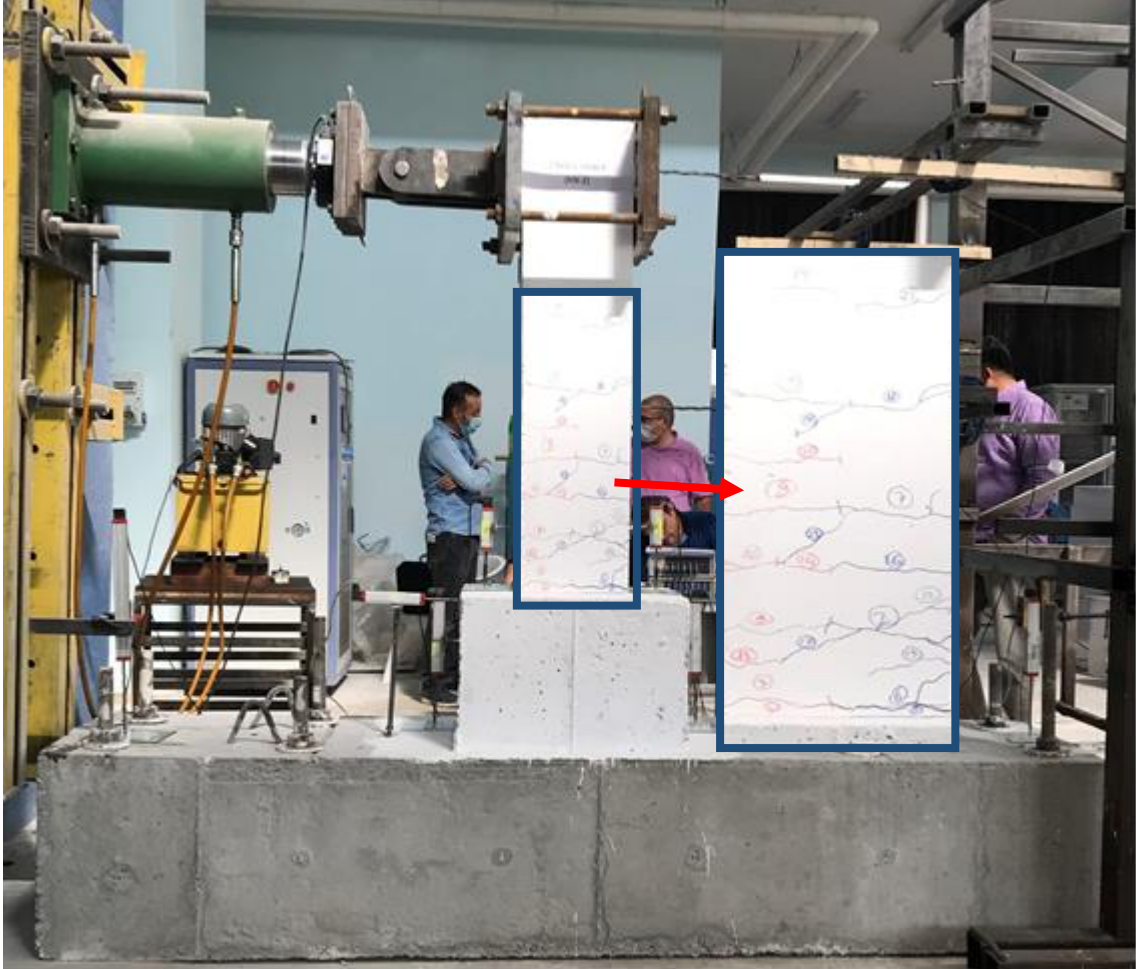
KN2 deney numunesinde ilk hasar +3. çevrimde ortaya çıkmıştır. İlk hasarın oluştuğu çevrimde numuneye 14.62 kN yük uygulanmıştır. Bu çevrimde yer değiştirme ise 0.71 mm olarak ölçülmüştür. Hasar oluşumunun ilk olarak gözlemlendiği çevrimde numunenin görünümü Şekil 4.16'daki gibidir.



Şekil 4.16. KN2 deney numunesinde ilk hasar oluşumu

KN2 deney numunesi akma durumuna ulaştığında -8 ve +9. çevrim gerçekleştirilmiştir. -8. çevrim sonucunda numuneye uygulanan kuvvet -40.24 kN'dur. Bu çevrimde numunenin yaptığı yer değiştirme ise -19.92 mm olarak ölçülmüştür. +9. çevrim sonucunda numuneye uygulanan kuvvet +47.72 kN'dur. Bu çevrimde numunenin yaptığı yer değiştirme ise +20.19 mm olarak ölçülmüştür. Akma dayanımına

ulaşılan çevrimde sokette çok küçük yatay hareketler oluşmuştur. Soket-kolon birleşiminde ayrılmalar oluşmuştur. Kolonda oluşan çatlaklar mesnet bölgesine yoğunlaşmıştır. KN2 deney numunesinin akma durumunda hasar seviyesi şekil 4.17'deki gibidir.



şekil 4.17. KN2 deney numunesinin akma durumundaki hasar seviyesi

KN2 deney numunesinin limit durumu +21. evrimde gerçekleşmiştir. Limit durumda +24.56 kN kuvvete maruz kalan kolon aynı zamanda +109.73 mm yer değiştirme yapmıştır. Limit durumda soket üstünde diyagonal çatlaklar oluşmuştur. Numunede soket-kolon bağlantısında ayrışmalar görülmüştür. Soket kolon arasındaki bağlantı betonunda basınç hasarı oluşmuştur. Mesnet bölgesindeki betonda dökülmeler görülmüştür. evrimlerde basınç bölgesi olan kısımlarda boyuna donatıda burkulmalar oluşmuştur. Son evrimden önceki çevrimde yk boşaltılırken boyuna donatı

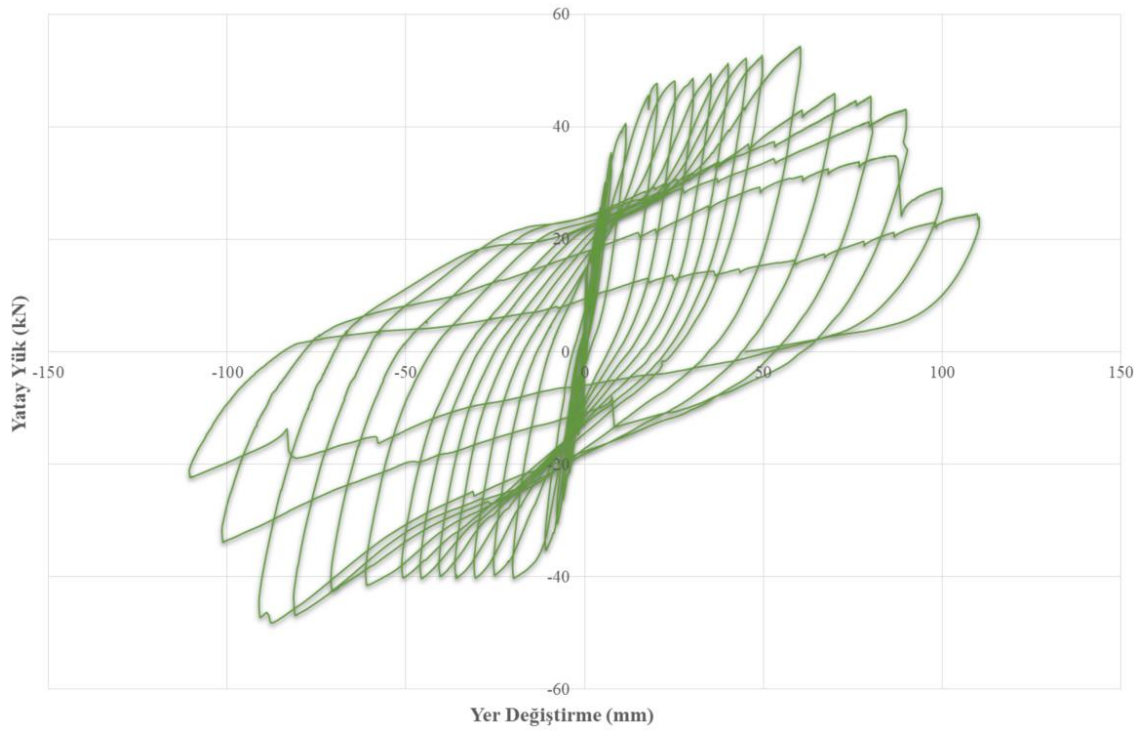
kopmuştur. Son iki çevrimde boyuna donatıda kopmalar olmuştur. KN2 deney numunesinde limit durumdaki hasar seviyesi Şekil 4.18'deki gibidir.



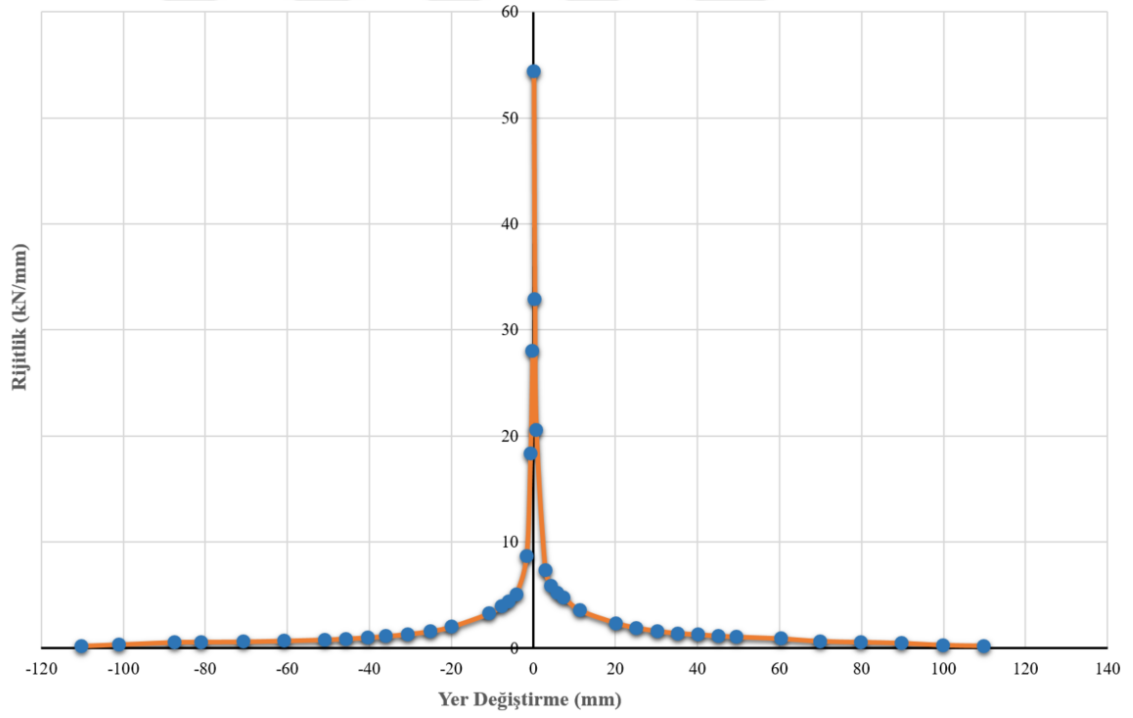
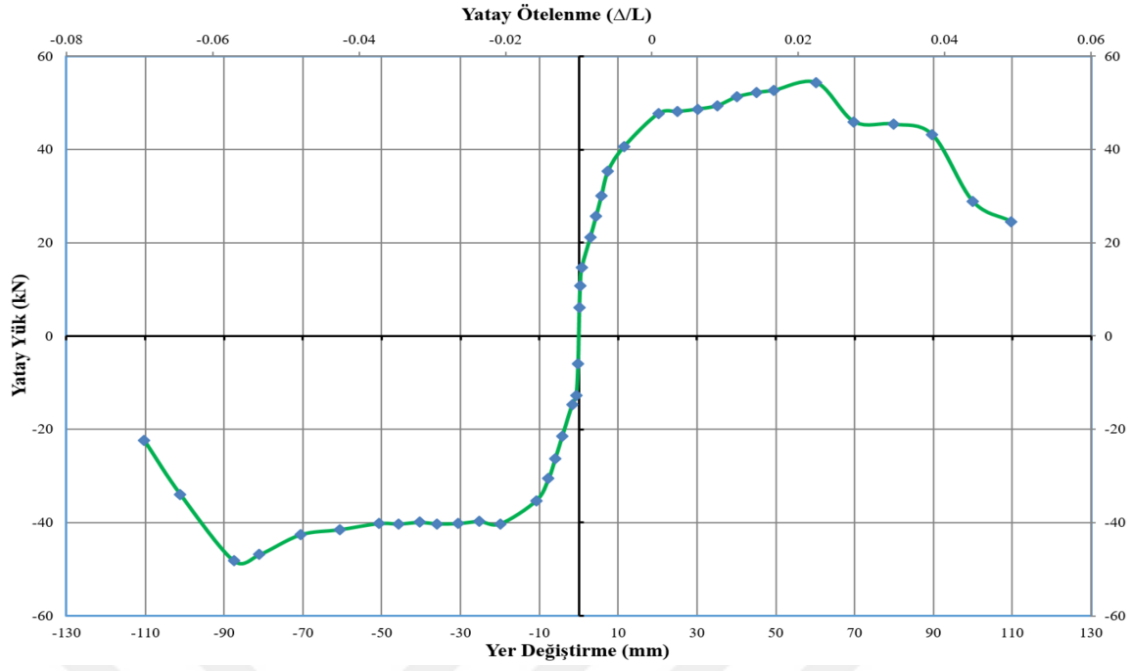
Şekil 4.18. KN2 deney numunesinde limit durum için hasar seviyesi

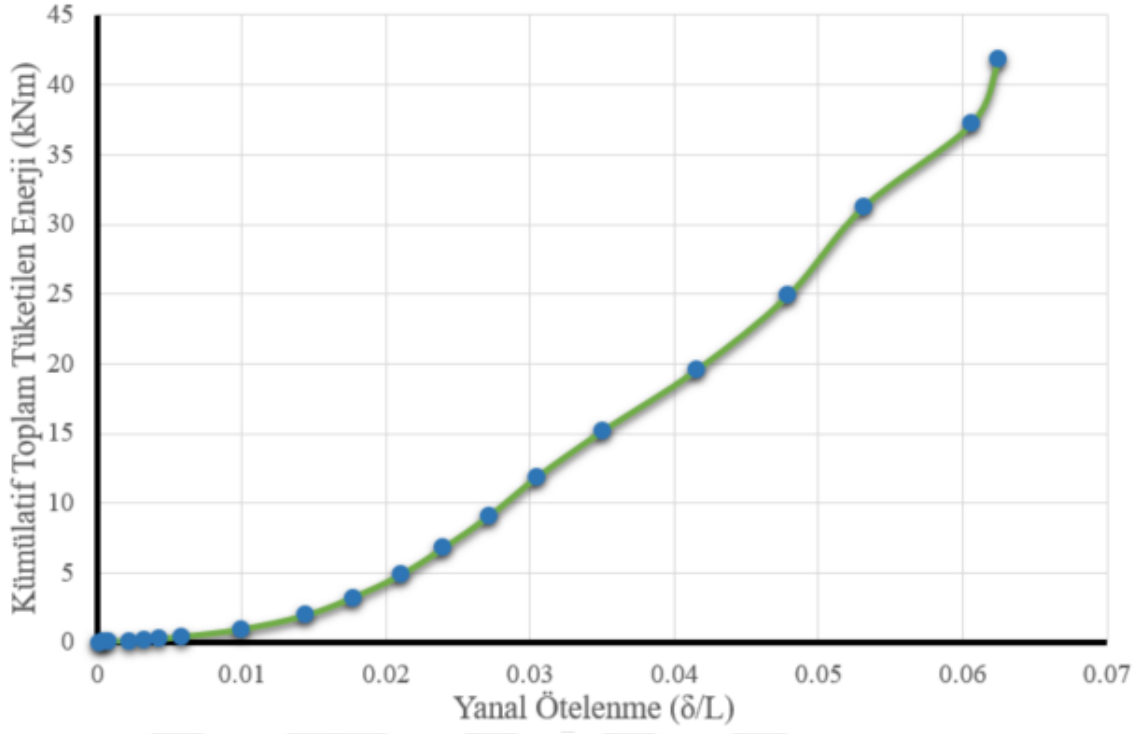
Deney sonucunda elde edilen yer değiştirme ve yük verileri kullanılarak numunelerin davranışı hakkında bilgi edinmek için çeşitli grafikler oluşturulmuştur.

Deney sırasında elde edilen yük değerlerine karşılık gelen yer değiştirmeler birleştirilerek Şekil 4.19’da görüldüğü gibi yük-yer değiştirme eğrisi oluşturulmuştur. Yük-yer değiştirme eğrisinin tepe noktaları birleştirilerek elde edilen dayanım zarfı eğrisi Şekil 4.20’de gösterilmiştir. Her çevrimde numunede oluşan hasardan dolayı meydana gelen rijitlik azalmasını gösteren rijitlik azalma grafiği Şekil 4.21’deki gibidir. Deney numunesinin tükettiği toplam enerjiyi gösteren toplam tüketilen enerji grafiği ise Şekil 4.22’deki gibidir.



Şekil 4.19. KN2 deney numunesinin yük-yer değiştirme eğrisi



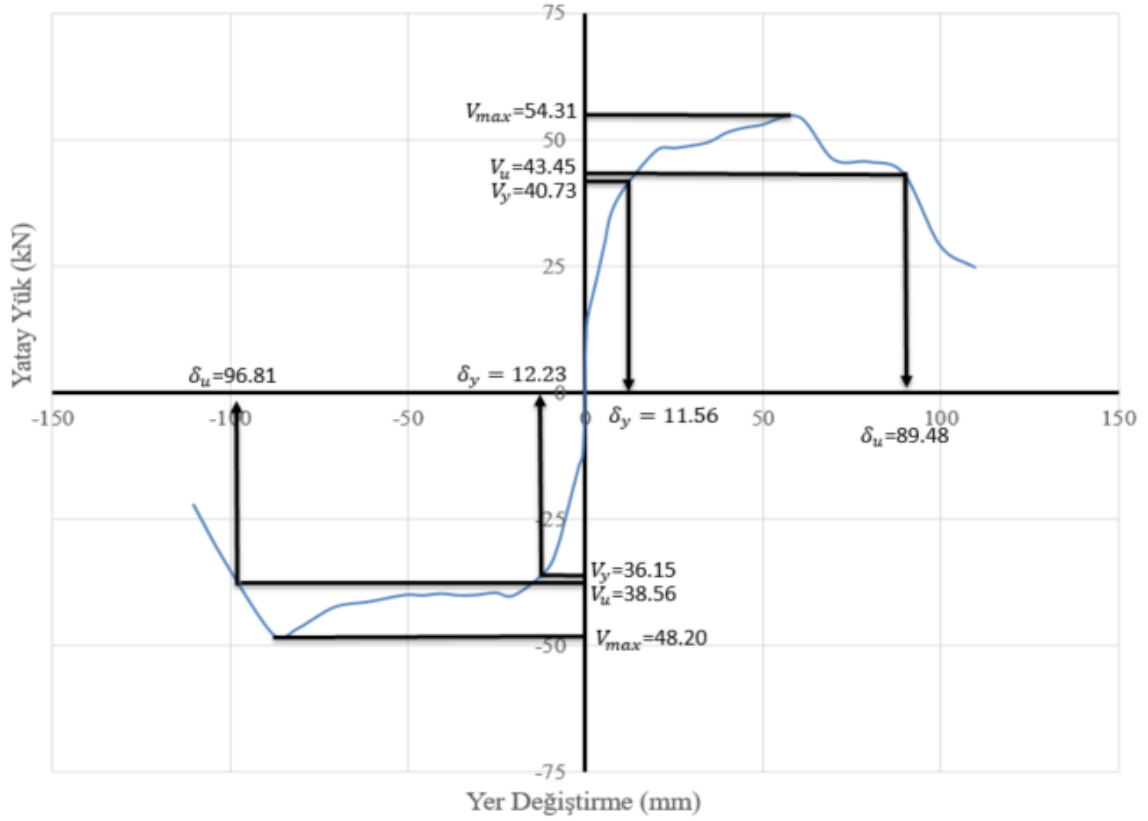


Şekil 4.22. KN2 deney numunesinin toplam tüketilen enerji eğrisi

KN2 deney numunesine ait süneklik değerinin bulunması için gerekli veriler Şekil 4.23'ten elde edilerek Çizelge 4.6'da verilmiştir.

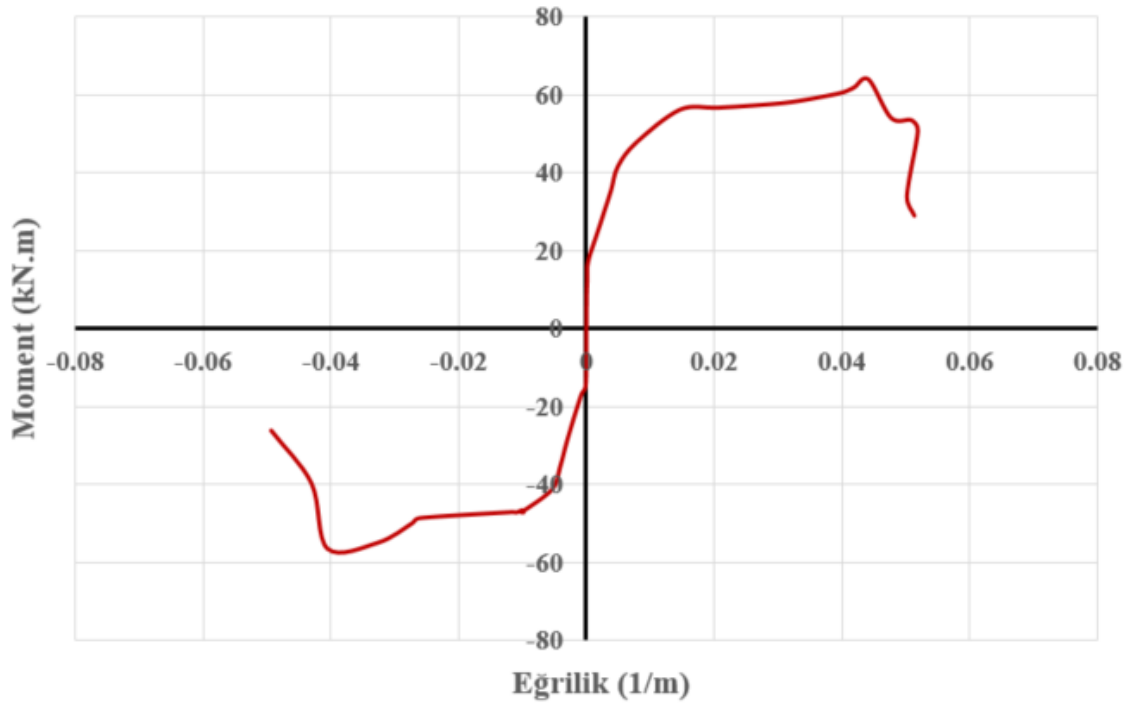
Çizelge 4.6. KN2 numunesine ait süneklik değerleri

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 4.23. KN2 deney numunesinin sünekliğinin elde edilmesi

KN2 numunesi için her çevrimde elde edilen maksimum yatay yükün kolon yüksekliği ile çarpılması ile numuneye etki eden eğilme momenti hesaplanmıştır. Kolon temel birleşimine yerleştirilen LVDT7 ve LVDT8 ile yapılan ölçümler sonucu ise eğrilik elde edilmiştir. Eğrilik hesabında kullanılan LVDT'lerin kolon yüzüne mesafesi ise LVDT7 ve LVDT8 için sırasıyla 85 ve 90 mm olarak ölçülmüştür. Elde edilen moment-eğrilik grafiği Şekil 4.24'te verilmiştir. KN2 numunesinin moment taşıma kapasitesi itme çevrimlerinde 63.82 kN.m iken çekme çevrimlerinde 56.64 kN.m olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.24. KN2 numunesi ait moment-eğrilik ilişkisi

4.1.3. SN3 numunesinin deneysel sonuçları

SN3 numunesi soketli temel olarak üretilen numunedir. SN3 numunesi KN2 numunesi ile aynıdır. Sadece SN3 numunesine öngerme uygulanmıştır. SN3 numunesinin genel özellikleri Çizelge 4.7'deki gibidir.

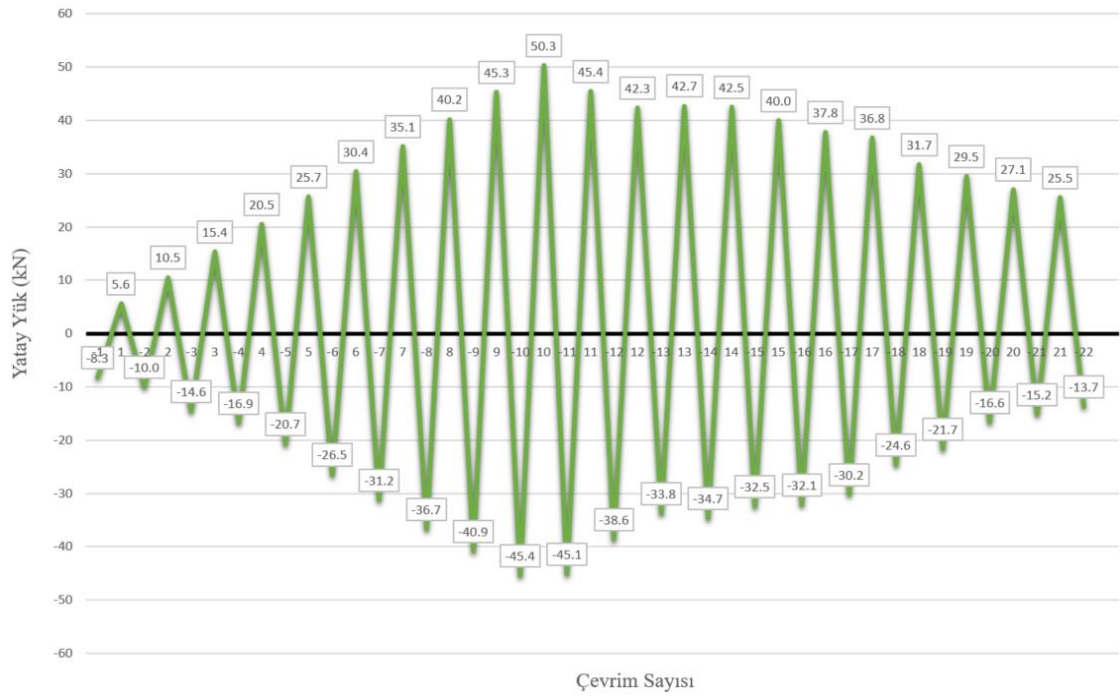
Çizelge 4.7. SN3 numunesi genel özellikleri

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

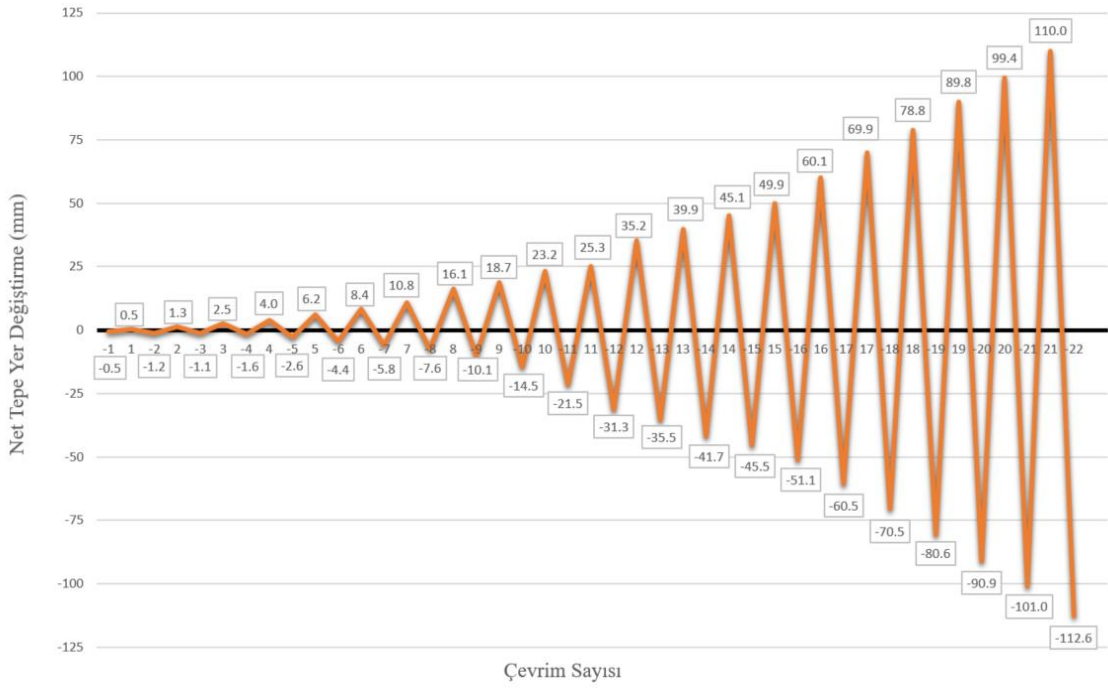
SN3 deney numunesinin deney öncesi durumu Şekil 4.25'te gösterilmiştir. SN3 deney numunesinin depremi benzeştiren yatay yük altında test edilmesinden elde edilen yük geçmişi Şekil 4.26'da, yer değiştirme geçmişi ise Şekil 4.27'deki gibidir.



Şekil 4.25. SN3 numunesi deney öncesi



Şekil 4.26. SN3 numunesi yük geçmişi



Şekil 4.27. SN3 numunesi yer değiştirme geçmişi

Yük geçmişi ve yer değiştirme geçmişi grafiğinden anlaşılacağı gibi SN3 numunesi akma durumuna pozitif 10. çevrimde ulaşmıştır. Pozitif 10. çevrime kadar numuneye her çevrimde 5 kN yük artışı ile yükleme yapılmıştır. Bu çevrimde numunede ölçülen yer değiştirme 23.2 mm olduğu için 50 mm'ye kadar 5 mm yer değiştirme artışı ile yer değiştirme kontrollü olarak yüklemeler yapılmıştır. 50 mm'den sonra ise her çevrimde 10 mm yer değiştirme artışı ile yer değiştirme kontrollü olarak yüklenmiştir. SN3 deney numunesinde deney aşamasında gözlenen hasar oluşumu Çizelge 4.8'deki gibidir.

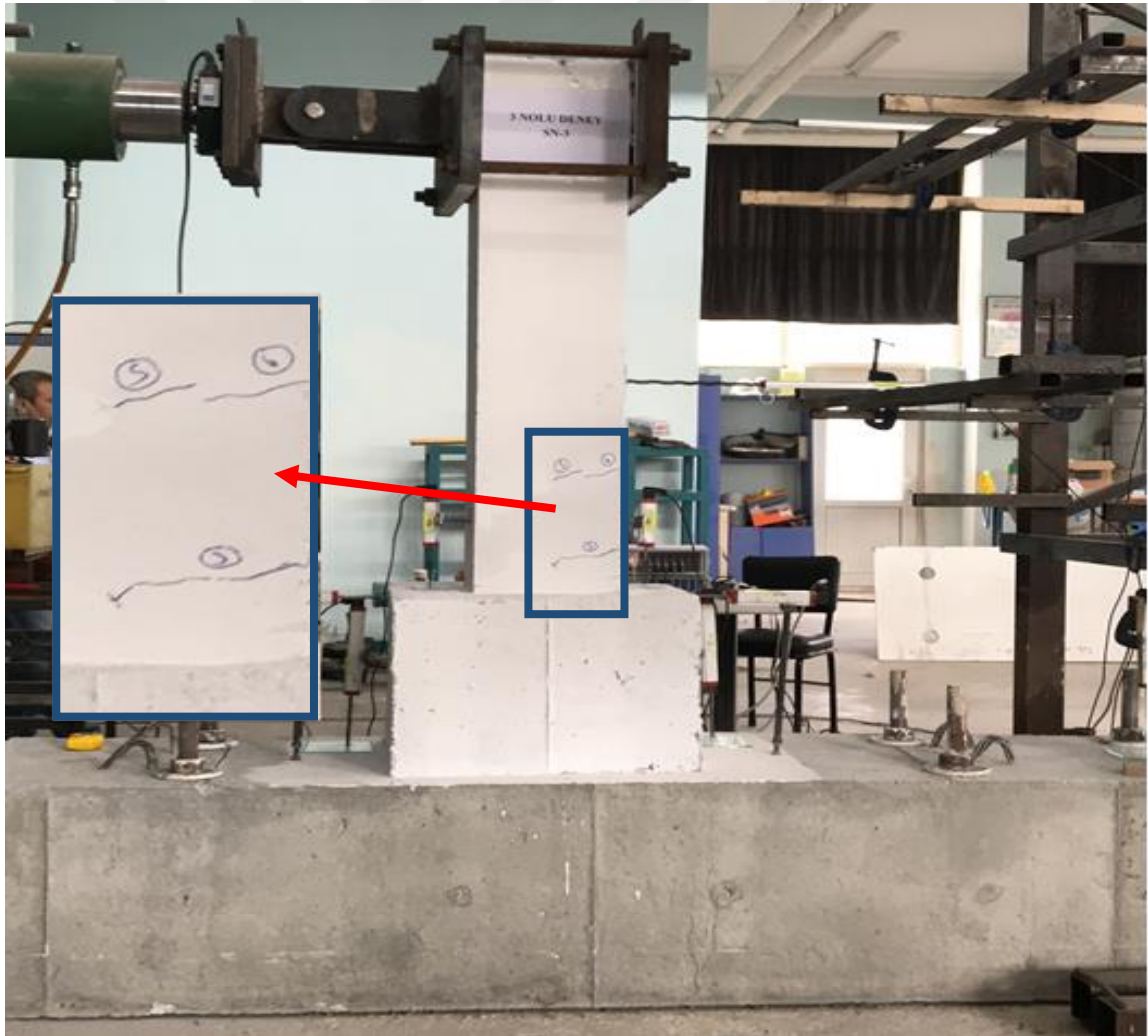
Çizelge 4.8. SN3 numunesinde deney sırasında gözlenen hasarlar

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 7 cm ve 23 cm yüksekliklerde 2 tane çatlak oluşmuştur.
+2	10.54	1.31	Temel üst seviyesinden 3 cm ve 15 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 15 cm 45 cm yüksekliklerde çatlaklar oluştu.
+5	25.67	6.24	Temel üstünden 35 cm yukarıda bir çatlak oluşmuştur.
-6	-26.46	-4.37	Temel üst seviyesinden 55 cm yukarıda bir çatlak oluşmuştur.
+6	30.39	8.44	Temel üst seviyesinden 55 cm yukarıda bir çatlak oluşmuştur.
-7	-31.23	-5.83	Temel üst seviyesinden 5 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 70 cm yukarıda bir çatlak oluşmuştur.
+8	40.19	16.13	Temel üst seviyesinden 55 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 50 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 düzey 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.

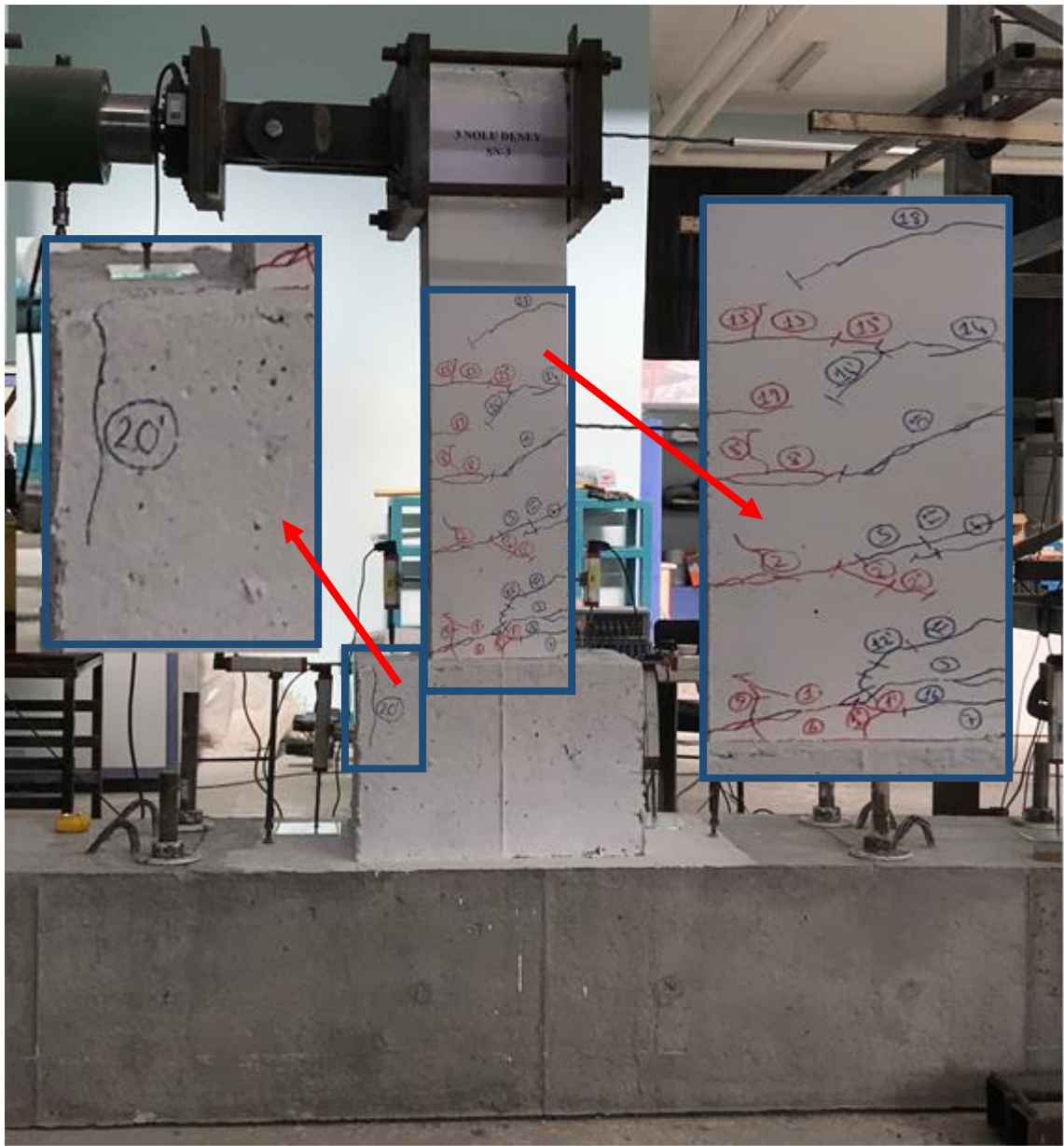
			etmiştir.
+19	29.52	89.81	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
-20	-16.63	-90.90	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
+20	27.06	99.36	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
-21	-15.15	-100.97	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
+21	25.48	110.05	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
-22	-13.71	-112.58	Numune limit duruma ulaşmıştır. Deney sonlandırılmıştır.

SN3 deney numunesinde ilk hasar -2. çevrimde ortaya çıkmıştır. İlk hasarın olduğu çevrimde numuneye -9.97 kN yük uygulanmıştır. Bu çevrimde yer değiştirme ise -1.17 mm olarak ölçülmüştür. Hasar oluşumunun ilk olarak gözlemlendiği çevrimde numunenin görünümü Şekil 4.28’de gösterilmiştir.



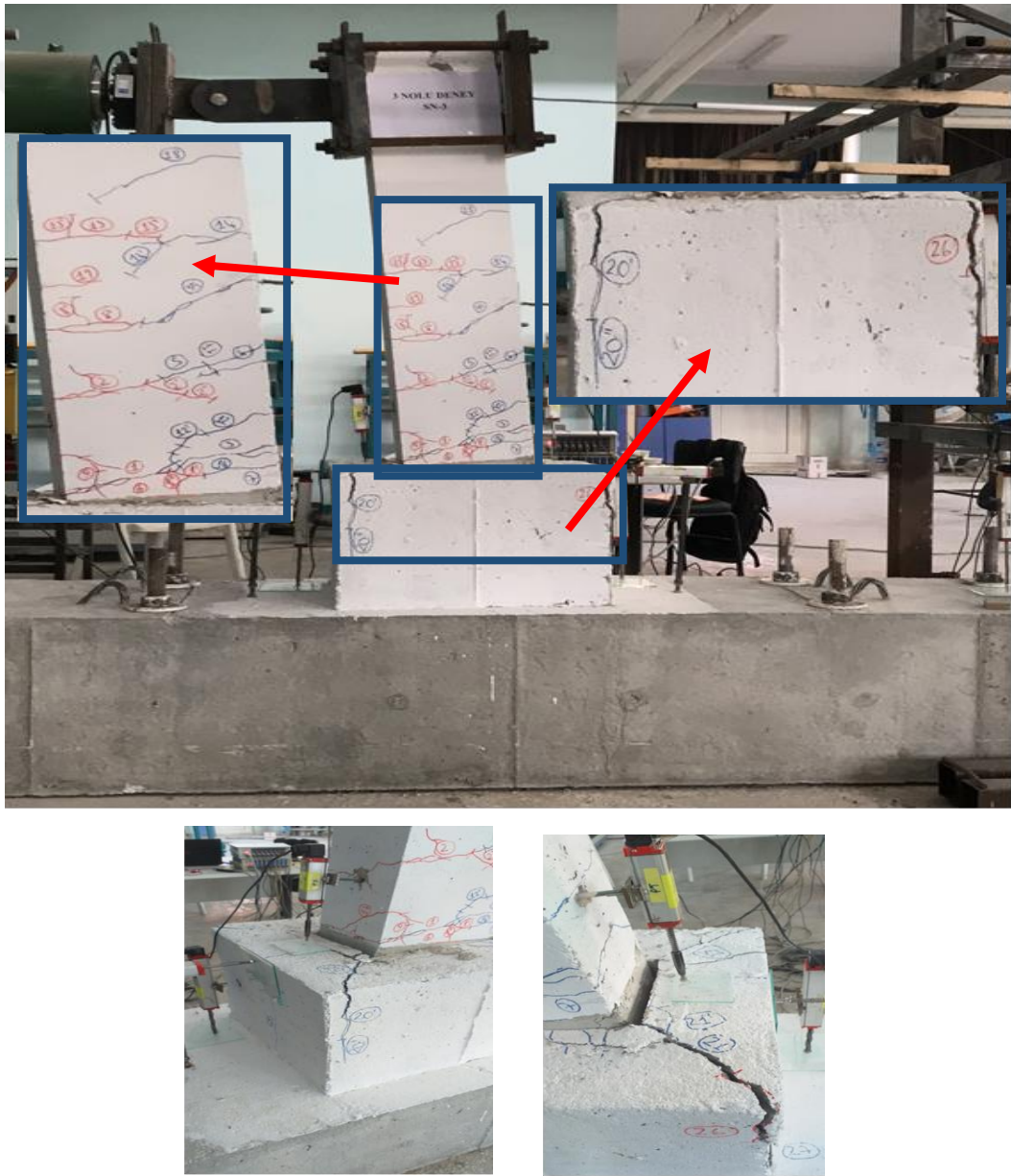
Şekil 4.28. SN3 deney numunesinde ilk hasar oluşumu

SN3 deney numunesi akma durumuna ulaştığında ± 10 . çevrim gerçekleştirilmiştir. +10. çevrim sonucunda numuneye uygulanan kuvvet +50.33 kN'dur. Bu çevrimde numunenin yaptığı yer değiştirme ise +23.25 mm olarak ölçülmüştür. -10. çevrim sonucunda numuneye uygulanan kuvvet -45.37 kN'dur. Bu çevrimde numunenin yaptığı yer değiştirme ise -14.49 mm olarak ölçülmüştür. Akma dayanımına ulaşılan çevrimde soket üstünde diyagonal çatlaklar görülmüştür. Soket kolon birleşiminde ayrışmalar görülmüştür. Bağlantı betonunda basınç hasarları oluşmuştur. SN3 deney numunesinin akma durumunda hasar seviyesi Şekil 4.29'daki gibidir.



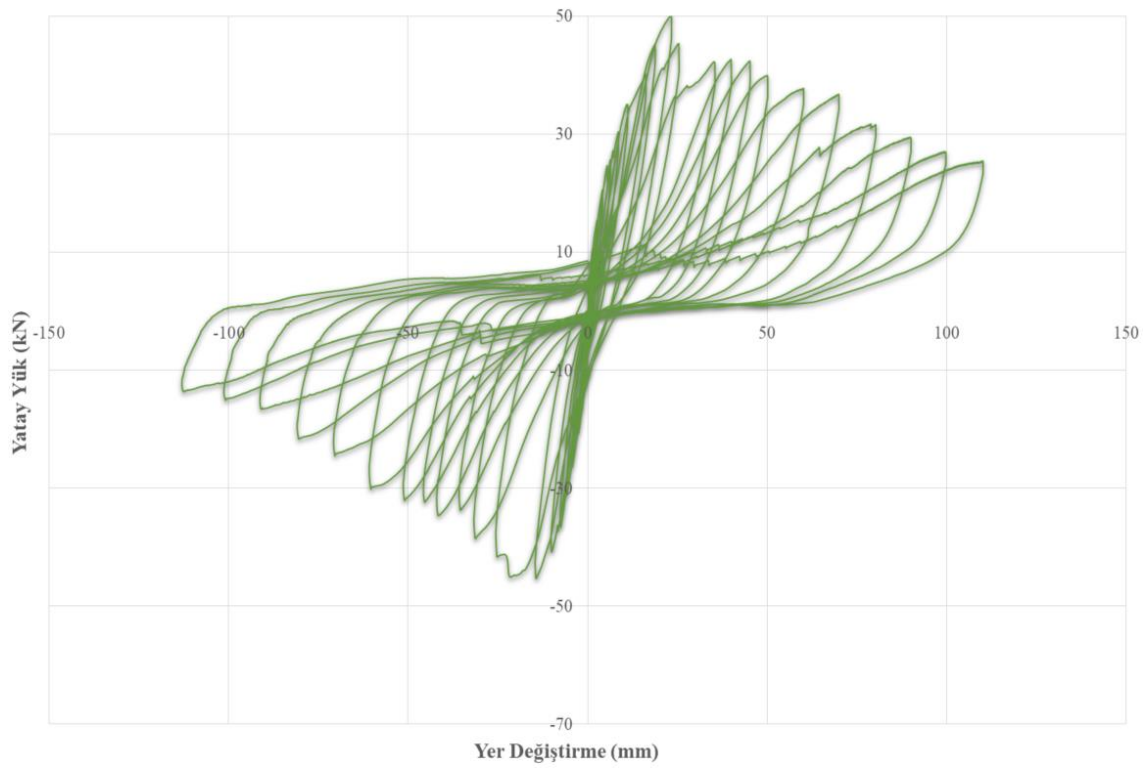
Şekil 4.29. SN3 deney numunesinin akma durumundaki hasar seviyesi

SN3 deney numunesinin limit durumu -22. çevrimde gerçekleşmiştir. Limit durumda -13.71 kN kuvvete maruz kalan kolon aynı zamanda -112.58 mm yer değiştirme yapmıştır. Limit durumda kolonda hasar seviyesi çok ilerlemiştir. Sokette kayda değer bir hasar oluşumu gerçekleşmemiştir. Kolonda mesnet bölgesindeki hasarlar çok ilerlememiştir. Soket üstünde diyagonal çatlaklar gözlenmiştir. Diyagonal çatlaklar yan yüze geçerek düşey yönde ilerlemiştir. Kolonda eğilme hasarları çok fazla olmamıştır. Ancak sokette meydana gelen hasarlar limit duruma ulaşmasına neden olmuştur. SN3 deney numunesinde limit durumdaki hasar seviyesi Şekil 4.30'da verilmiştir.

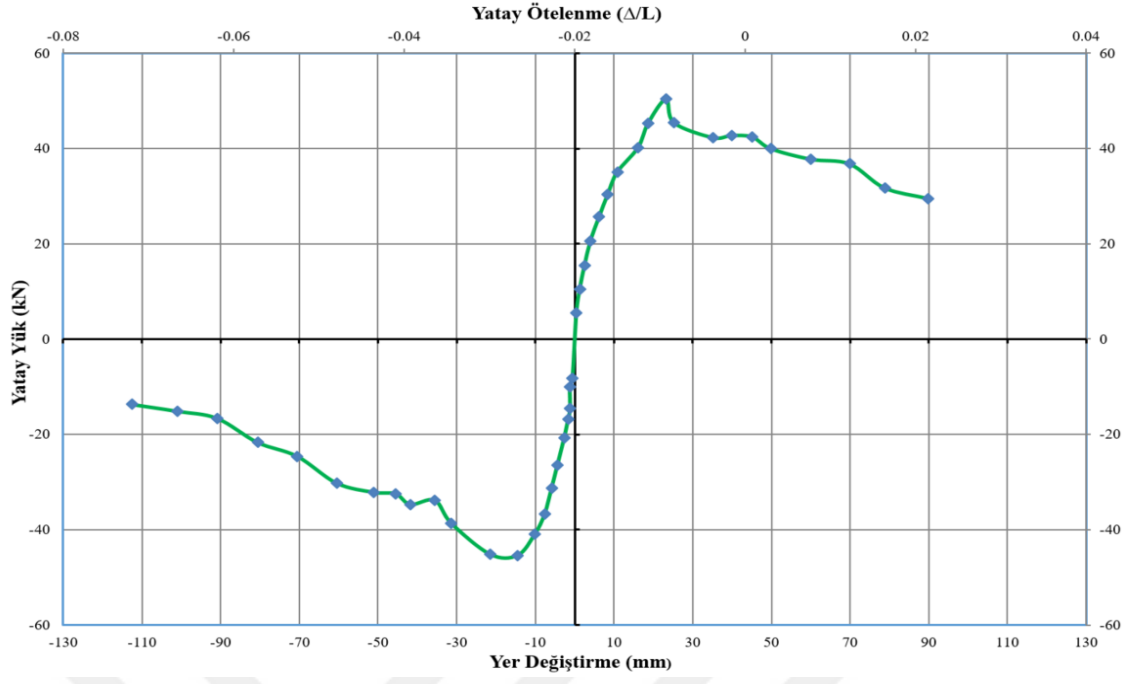


Şekil 4.30. SN3 deney numunesinde limit durum için hasar seviyesi

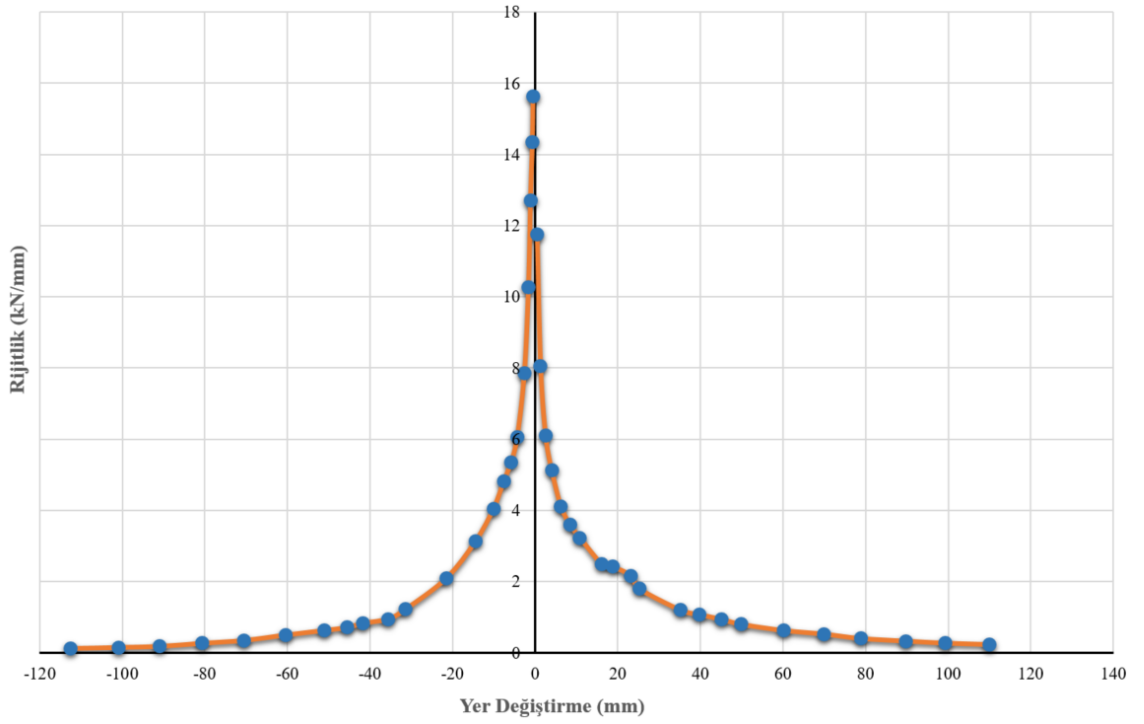
Deney sonucunda elde edilen yer değiştirme ve yük verileri kullanılarak numunelerin davranışı hakkında bilgi edinmek için çeşitli grafikler oluşturulmuştur. Deney sırasında elde edilen yük değerlerine karşılık gelen yer değiştirmeler birleştirilerek şekil 4.31’de görüldüğü gibi yük-yer değiştirme eğrisi oluşturulmuştur. Yük-yer değiştirme eğrisinin tepe noktaları birleştirilerek elde edilen dayanım zarfı eğrisi şekil 4.32’de gösterilmiştir. Her çevrimde numunede oluşan hasardan dolayı meydana gelen rijitlik azalmasını gösteren rijitlik azalma grafiği şekil 4.33’te verilmiştir. Deney numunesinin tükettiği toplam enerjiyi gösteren toplam tüketilen enerji grafiği şekil 4.34’teki gibidir.



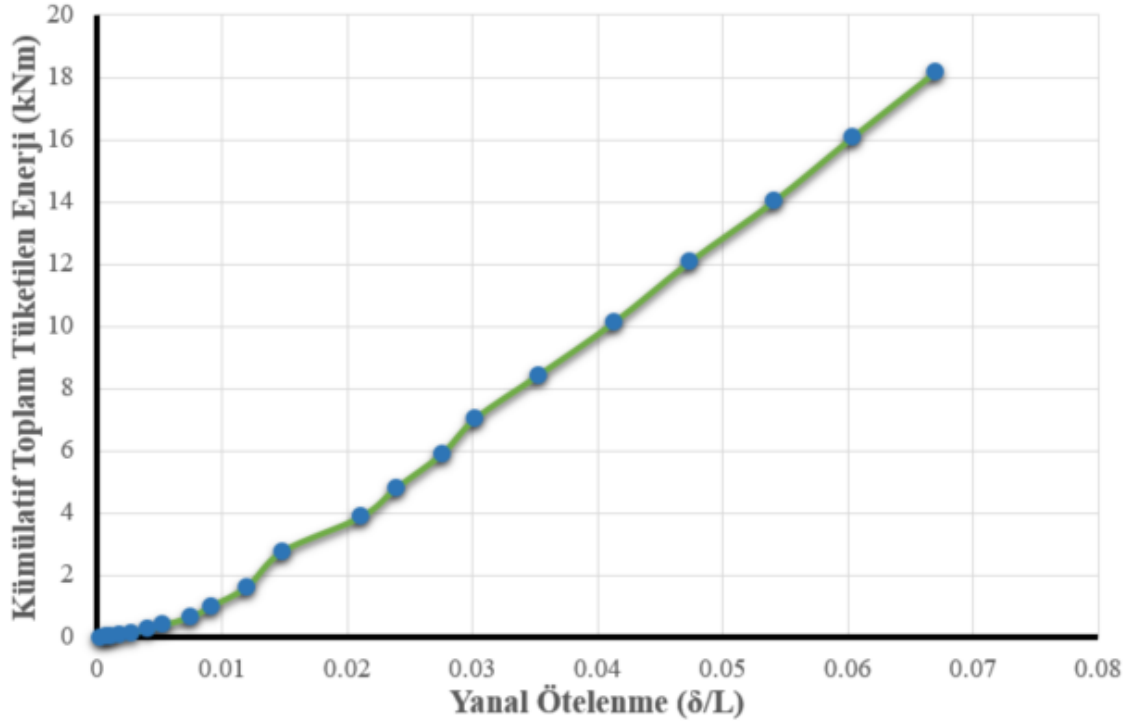
şekil 4.31. SN3 deney numunesinin yük-yer değiştirme eğrisi



Şekil 4.32. SN3 deney numunesinin dayanım zarfı eğrisi



Şekil 4.33. SN3 deney numunesinin rijitlik azalım eğrisi

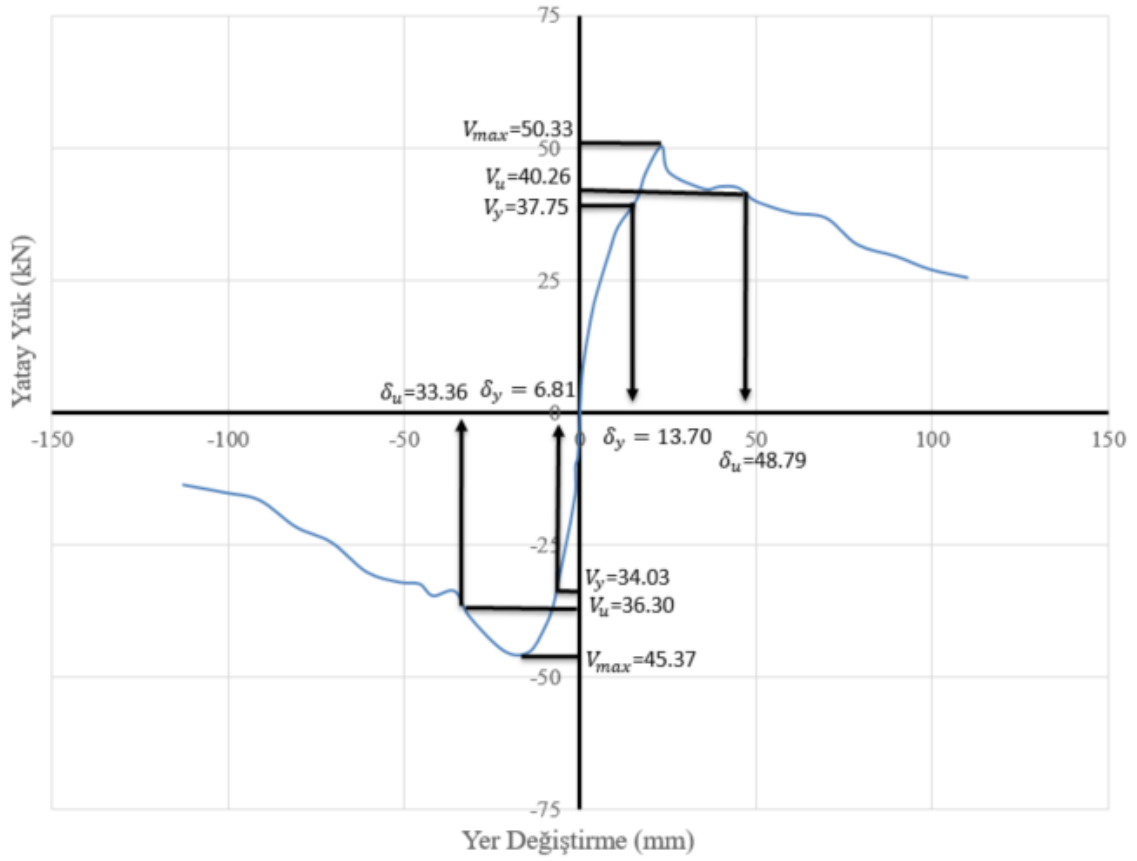


Şekil 4.34. SN3 deney numunesinin toplam tüketilen enerji eğrisi

SN3 deney numunesine ait süneklik değerinin bulunması için gerekli veriler Şekil 4.35'ten elde edilerek Çizelge 4.9'da verilmiştir.

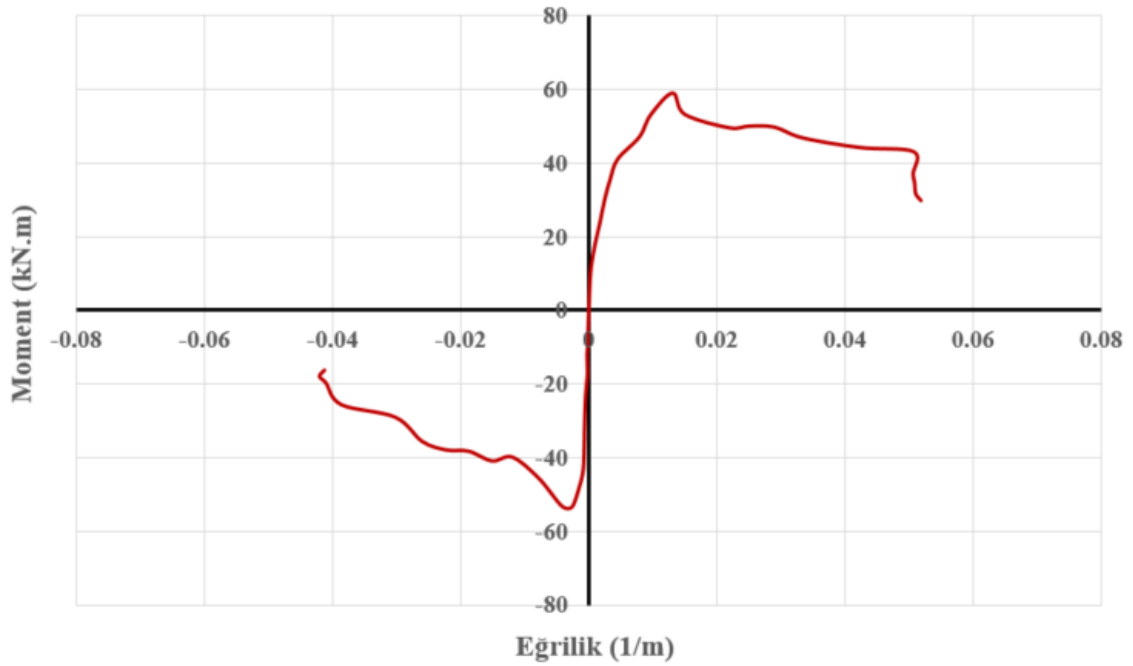
Çizelge 4.9. SN3 numunesine ait süneklik değerleri

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 4.35. SN3 deney numunesinin sünekliğinin elde edilmesi

SN3 numunesi için her çevrimde elde edilen maksimum yatay yükün kolon yüksekliği ile çarpılması ile numuneye etki eden eğilme momenti hesaplanmıştır. Kolon temel birleşimine yerleştirilen LVDT7 ve LVDT8 ile yapılan ölçümler sonucu ise eğrilik elde edilmiştir. Eğrilik hesabında kullanılan LVDT'lerin kolon yüzüne mesafesi ise LVDT7 ve LVDT8 için sırasıyla 85 ve 90 mm olarak ölçülmüştür. Elde edilen moment-eğrilik grafiği Şekil 4.36'da verilmiştir. SN3 numunesinin moment taşıma kapasitesi itme çevrimlerinde 59.14 kN.m iken çekme çevrimlerinde 53.31 kN.m olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.36. SN3 numunesine ait moment-eğrilik ilişkisi

4.1.4. SN4 numunesinin deneysel sonuçları

SN4 numunesi soketli temel olarak üretilen numunedir. SN4 numunesinde bağlantı betonu iyileştirilmiştir. SN4 numunesinin genel özellikleri Çizelge 4.10'daki gibidir.

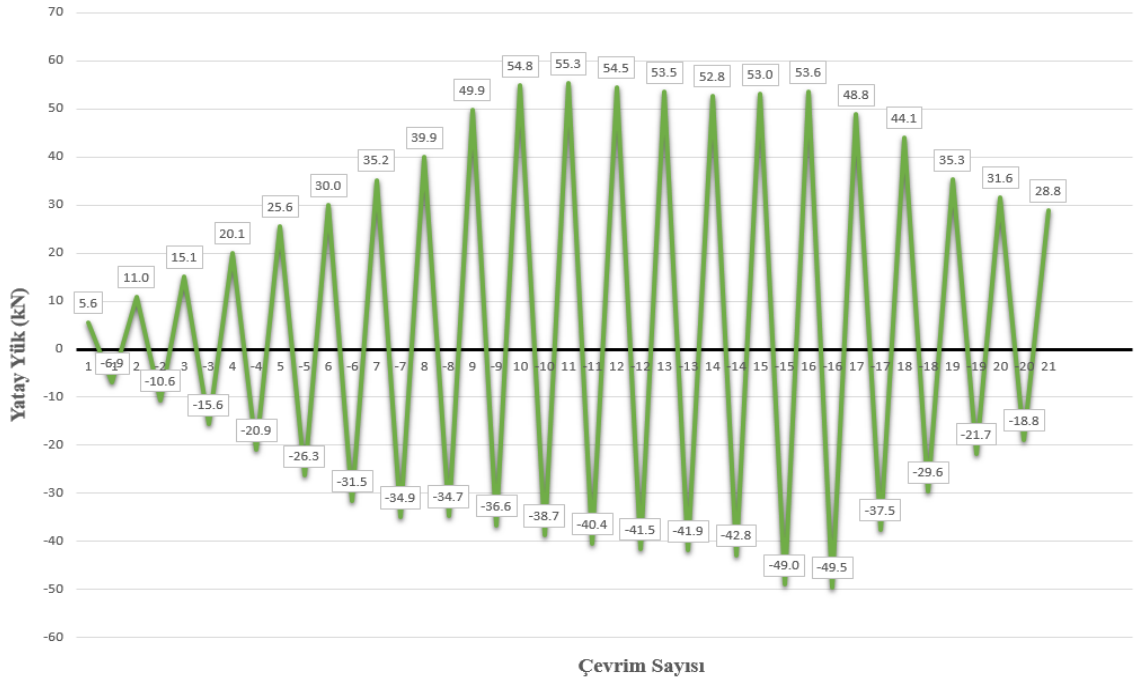
Çizelge 4.10. SN4 numunesi genel özellikleri

Numune Adı	Kesit Boyutları (cm)	Yükseklik (Temel Dahil)(cm)	Beton Sınıfı	Donatı Sınıfı	Temel- Kolon Bağlantı Tipi	Ongerme Miktarı (kN)	Bağlantı Betonu Özellikleri
SN4	20/30	217.5	C30	B420C	Soketli	-	İyileştirilmiş

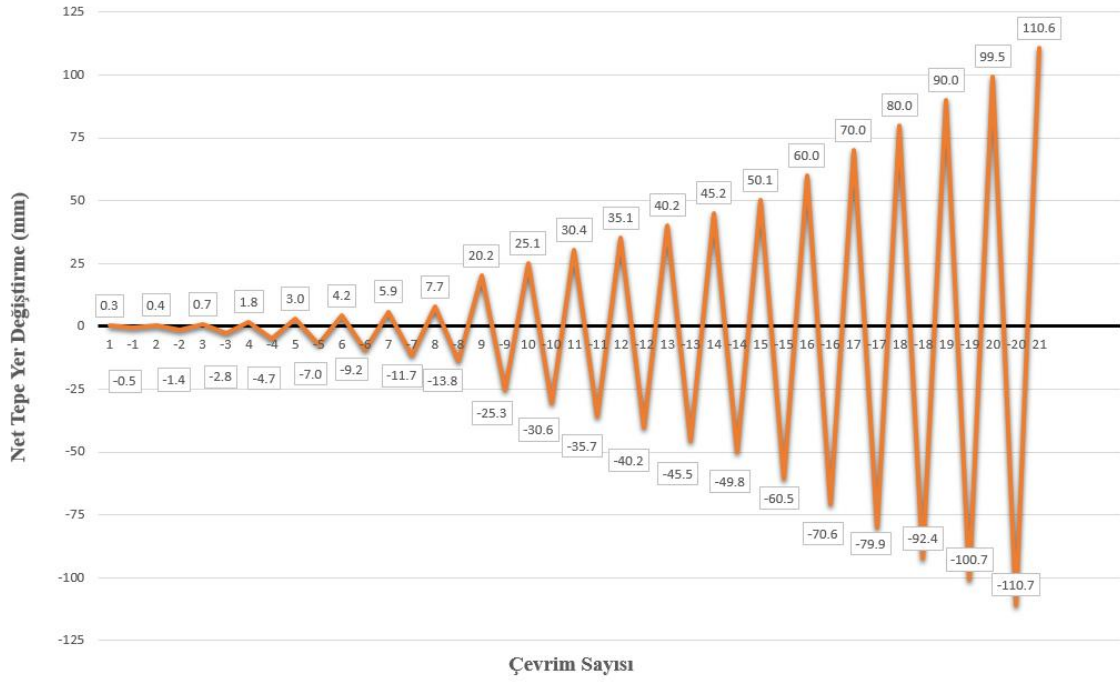
SN4 deney numunesinin deney öncesi durumu Şekil 4.37'de gösterilmiştir. SN4 deney numunesinin depremi benzeştiren yatay yük altında test edilmesinden elde edilen yük geçmişi Şekil 4.38'de, yer değiştirme geçmişi ise Şekil 4.39'daki gibidir.



Şekil 4.37. SN4 numunesi deney öncesi



Şekil 4.38. SN4 numunesi yük geçmişi



Şekil 4.39. SN4 numunesi yer değiştirme geçmişi

Yük geçmişi ve yer değiştirme geçmişi grafiğinden anlaşılacağı gibi SN4 numunesi akma durumuna pozitif 9. çevrimde ulaşmıştır. Pozitif 9. çevrime kadar numuneye her çevrimde 5 kN yük artışı ile yükleme yapılmıştır. Bu çevrimde numunede ölçülen yer değiştirme 20.18 mm olduğu için 50 mm'ye kadar 5 mm yer değiştirme artışı ile yer değiştirme kontrollü olarak yüklemeler yapılmıştır. 50 mm'den sonra ise her çevrimde 10 mm yer değiştirme artışı ile yer değiştirme kontrollü olarak yüklenmiştir. SN4 deney numunesinde deney aşamasında gözlenen hasar oluşumu Çizelge 4.11'deki gibidir.

Çizelge 4.11. SN4 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	5.61	0.25	Hasar ve çatlak oluşumu gözlenmedi.
-1	-6.95	-0.54	Temel üst seviyesinden 55 cm yükseklikte bir çatlak oluşmuştur.
+2	10.97	0.43	Hasar ve çatlak oluşumu gözlenmedi.
-2	-10.62	-1.36	Hasar ve çatlak oluşumu gözlenmedi.
+3	15.07	0.75	Temel üst seviyesinden 55 cm yükseklikte bir çatlak oluşmuştur.

-3	-15.62	-2.85	Temel üst seviyesinden 70 cm yükseklikte bir çatlak oluşmuştur. Soket-kolon birleşiminde bir çatlak oluşmuştur.
+4	20.08	1.80	Temel üst seviyesinden 70 cm yükseklikte bir çatlak oluşmuştur. Soket-kolon birleşiminde bir çatlak oluştu ve simetriği ile birleşti.
-4	-20.90	-4.68	Temel üst seviyesinden 85 cm yükseklikte bir çatlak oluşmuştur.
+5	25.57	2.98	Temel üst seviyesinden 85 cm yükseklikte bir çatlak oluşmuştur.
-5	-26.31	-6.99	Temel üst seviyesinden 98 cm yükseklikte bir çatlak oluşmuştur.
+6	30.00	4.21	Temel üst seviyesinden 50 cm ve 98 cm yüksekliklerde çatlaklar oluşmuştur.
-6	-31.54	-9.18	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
+7	35.21	5.90	Temel üst seviyesinden 92 cm yükseklikte bir çatlak oluşmuştur.
-7	-34.89	-11.70	Bazı çatlaklar çatallanmıştır.
+8	39.92	7.69	Temel üst seviyesinden 90 cm yükseklikte bir çatlak oluşmuştur.
-8	-26.05	-20.27	Sokette açılmalar başladı. Soket üst yüzeyinde diyagonal çatlaklar oluştu. Numune akma dayanımına ulaştı.
+9	49.87	20.16	Soket yan yüzünde düşey yönlü çatlaklar oluştu. Numune akma dayanımına ulaştı.
Numune akma dayanımına ulaşmıştır. Yer değiştirme kontrollü yüklemeye geçilmiştir.			
-9	-36.59	-25.29	Temel soket birleşiminde bir çatlak oluştu.
+10	54.80	25.12	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
-10	-38.72	-30.60	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
+11	55.31	30.39	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
-11	-40.40	-35.70	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
+12	54.49	35.07	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
-12	-41.48	-40.15	Bazı çatlaklar çatallandı.
+13	53.50	40.22	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
-13	-41.85	-45.50	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
+14	52.76	45.19	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
-14	-42.79	-49.83	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
+15	53.03	50.11	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
-15	-48.96	-60.52	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
+16	53.56	60.00	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.

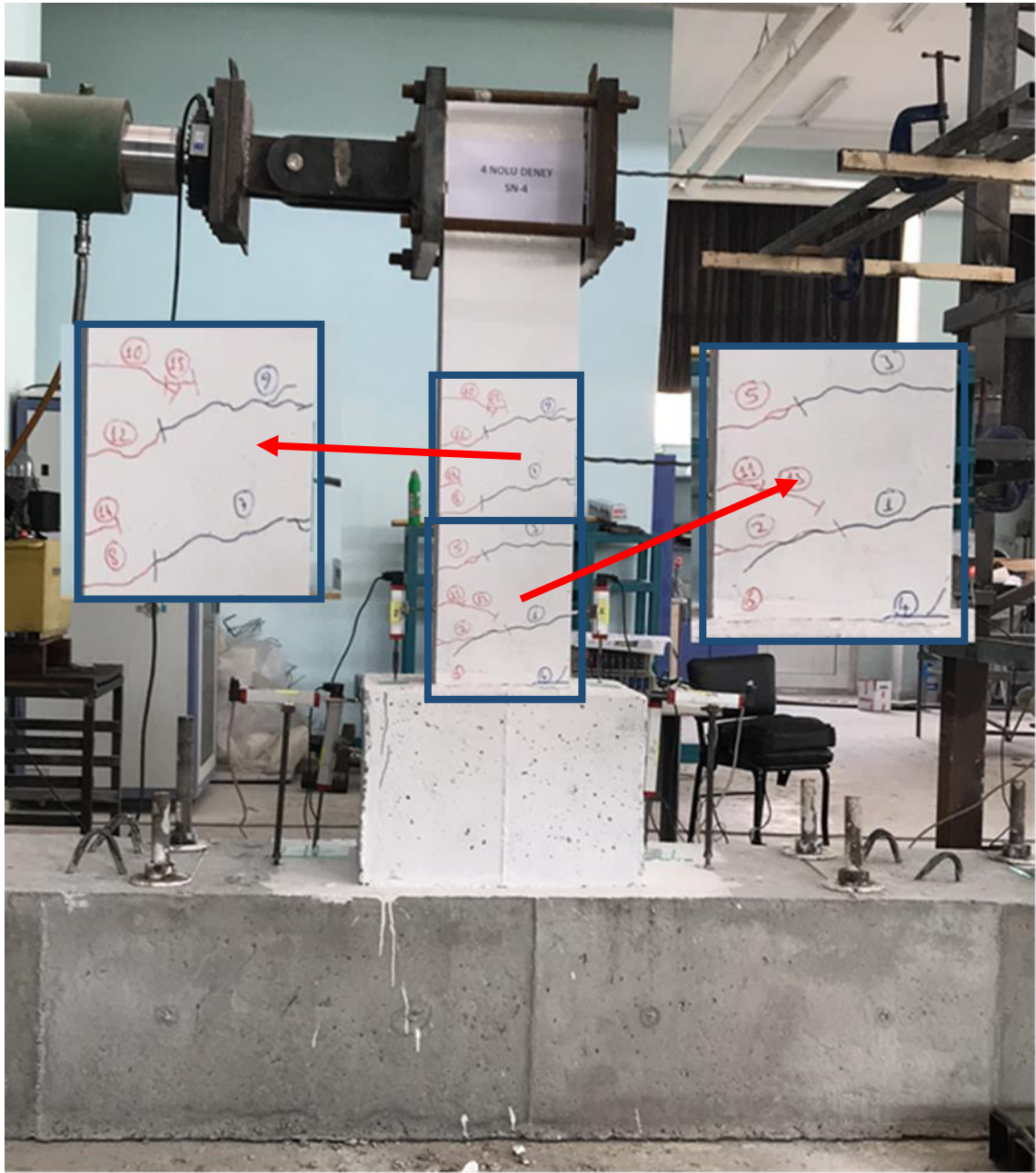
-16	-49.45	-70.57	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
+17	48.81	69.97	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
-17	-37.50	-79.90	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
+18	44.06	80.03	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
-18	-29.62	-92.44	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
+19	35.27	90.04	Soket yan yüzünde kabuk beton ezildi.
-19	-21.74	-100.75	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
+20	31.63	99.47	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
-20	-18.82	-110.71	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
+21	28.84	110.59	Numune limit duruma ulaştı. Deney sonlandırıldı.

SN4 deney numunesinde ilk hasar -1. çevrimde ortaya çıkmıştır. İlk hasarın oluştuğu çevrimde numuneye -6.95 kN yük uygulanmıştır. Bu çevrimde yer değiştirme ise -0.54 mm olarak ölçülmüştür. Hasar oluşumunun ilk olarak gözlemlendiği çevrimde numunenin görünümü Şekil 4.40'ta gösterilmiştir.



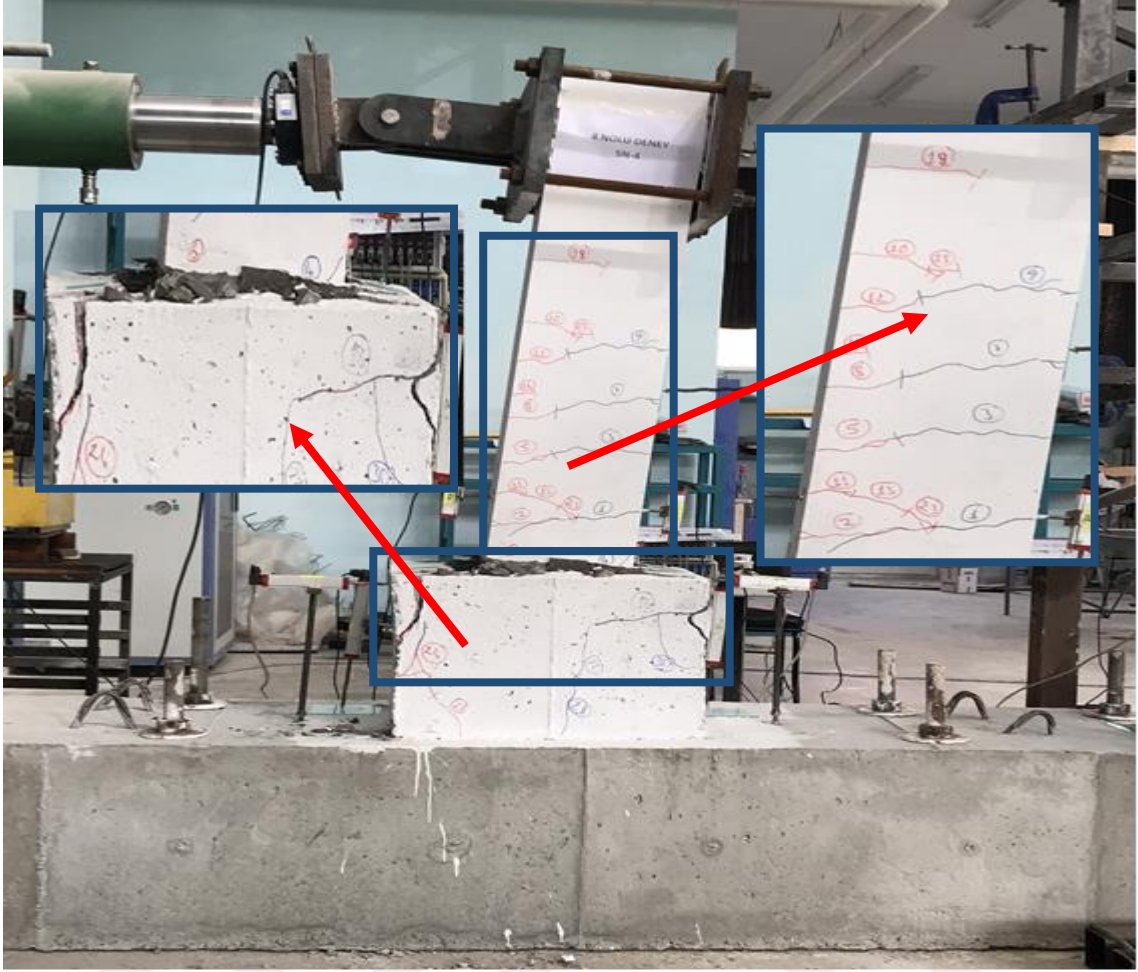
Şekil 4.40. SN4 deney numunesinde ilk hasar oluşumu

SN4 deney numunesi akma durumuna ulaştığında -8. ve +9. çevrim gerçekleştirilmiştir. -8. çevrim sonucunda numuneye uygulanan kuvvet -26.05 kN'dur. Bu çevrimde numunenin yaptığı yer değiştirme ise -20.27 mm olarak ölçülmüştür. +9. çevrim sonucunda numuneye uygulanan kuvvet +49.87 kN'dur. Bu çevrimde numunenin yaptığı yer değiştirme ise +20.16 mm olarak ölçülmüştür. Akma dayanımına ulaşılan çevrimde soket kolon bağlantı bölgesinde ayrışmalar görülmüştür. Sokette diyagonal çatlaklar görülmüştür. SN4 deney numunesinin akma durumunda hasar seviyesi Şekil 4.41'deki gibidir.



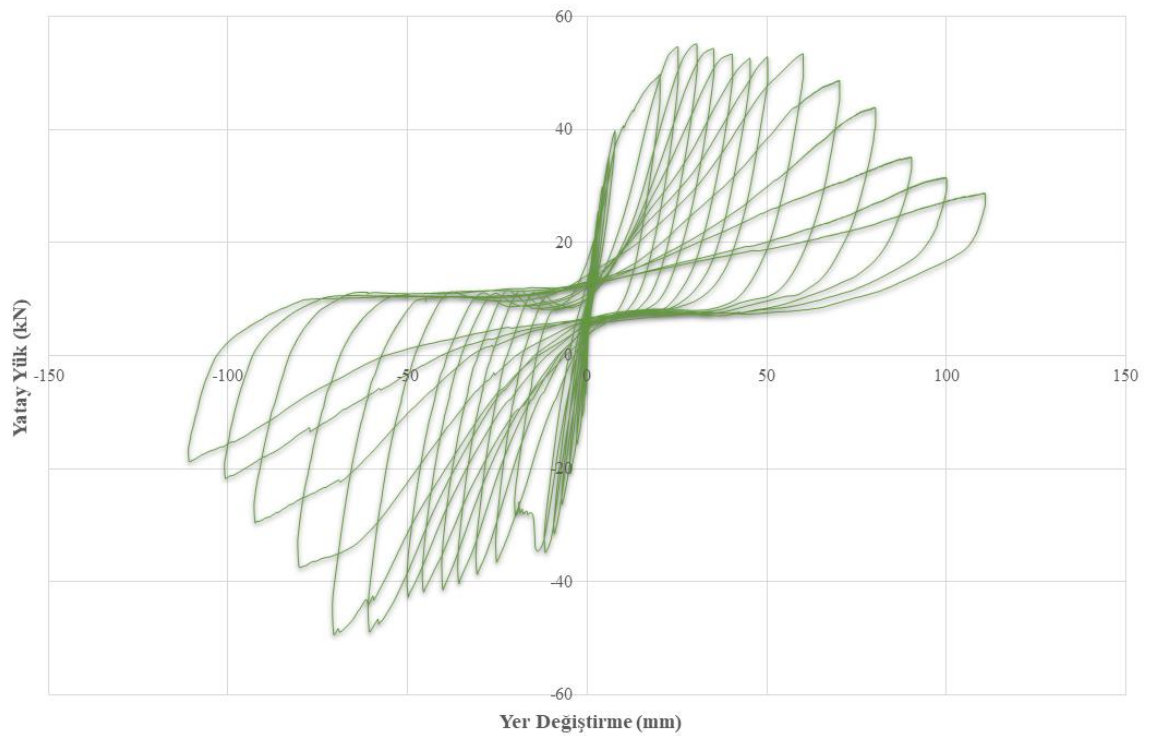
Şekil 4.41. SN4 deney numunesinin akma durumundaki hasar seviyesi

SN4 deney numunesinin limit durumu +21. çevrimde gerçekleşmiştir. Limit durumda +28.84 kN kuvvete maruz kalan kolon aynı zamanda +110.59 mm yer değiştirme yapmıştır. Limit durumda soket kolon bağlantısında ayrışma olmuştur. Bağlantı betonunda basınç hasarı olmuştur. Soketteki diyagonal çatlakların seviyesi ilerlemiş ve soketin köşe noktalarının ayrılmasına neden olmuştur. SN4 deney numunesinde limit durumundaki hasar seviyesi Şekil 4.42’de verilmiştir.

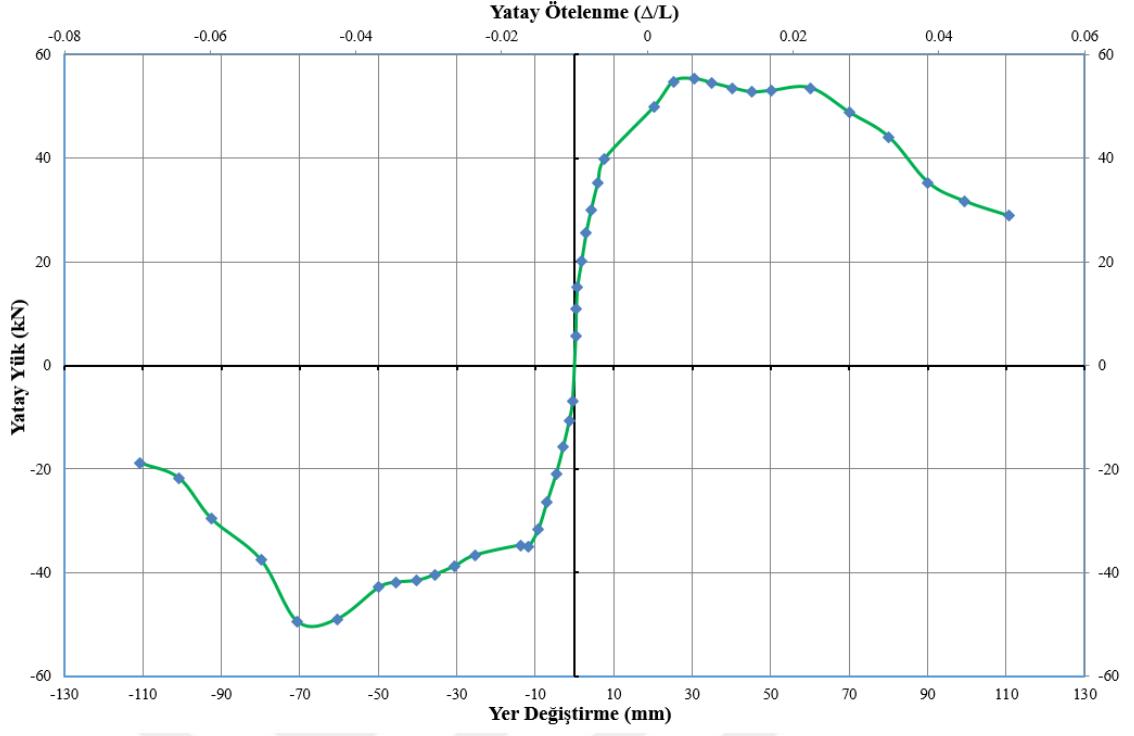


Şekil 4.42. SN4 deney numunesinde limit durum için hasar seviyesi

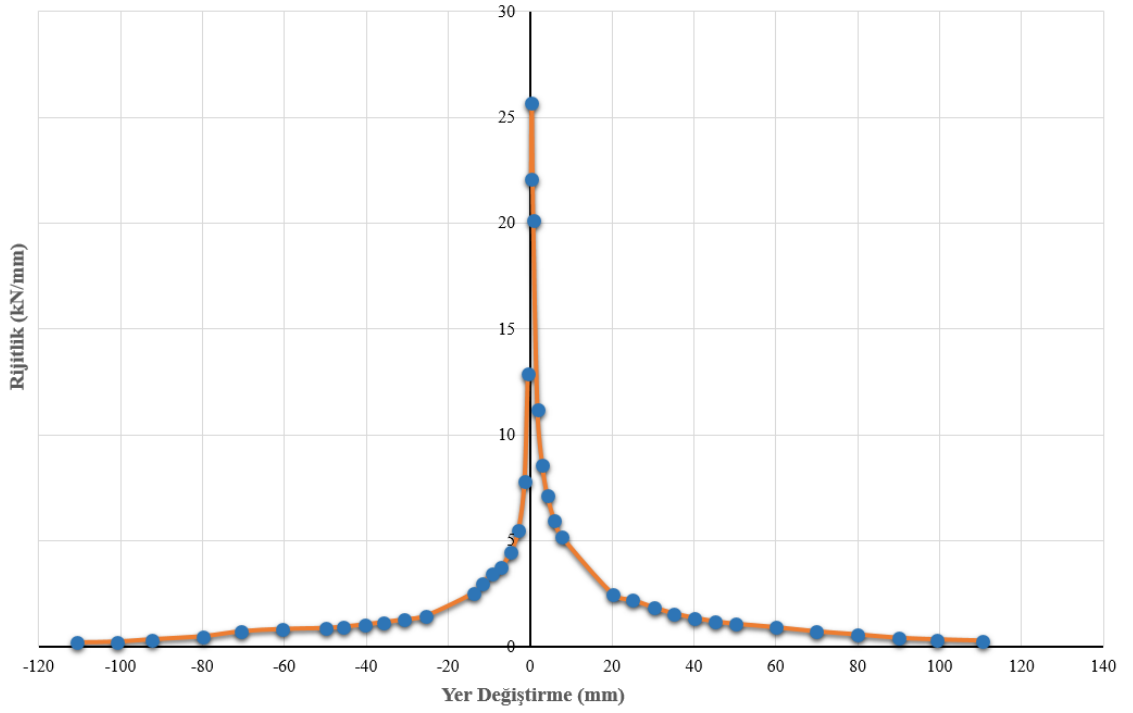
Deney sonucunda elde edilen yer değiştirme ve yük verileri kullanılarak numunelerin davranışı hakkında bilgi edinmek için çeşitli grafikler oluşturulmuştur. Deney sırasında elde edilen yük değerlerine karşılık gelen yer değiştirmeler birleştirilerek şekil 4.43'te görüldüğü gibi yük-yer değiştirme eğrisi oluşturulmuştur. Yük-yer değiştirme eğrisinin tepe noktaları birleştirilerek elde edilen dayanım zarfı eğrisi şekil 4.44'te gösterilmiştir. Her çevrimde numunede oluşan hasardan dolayı meydana gelen rijitlik azalmasını gösteren rijitlik azalma grafiği şekil 4.45'te verilmiştir. Deney numunesinin tükettiği toplam enerjiyi gösteren toplam tüketilen enerji grafiği şekil 4.46'da verilmiştir.



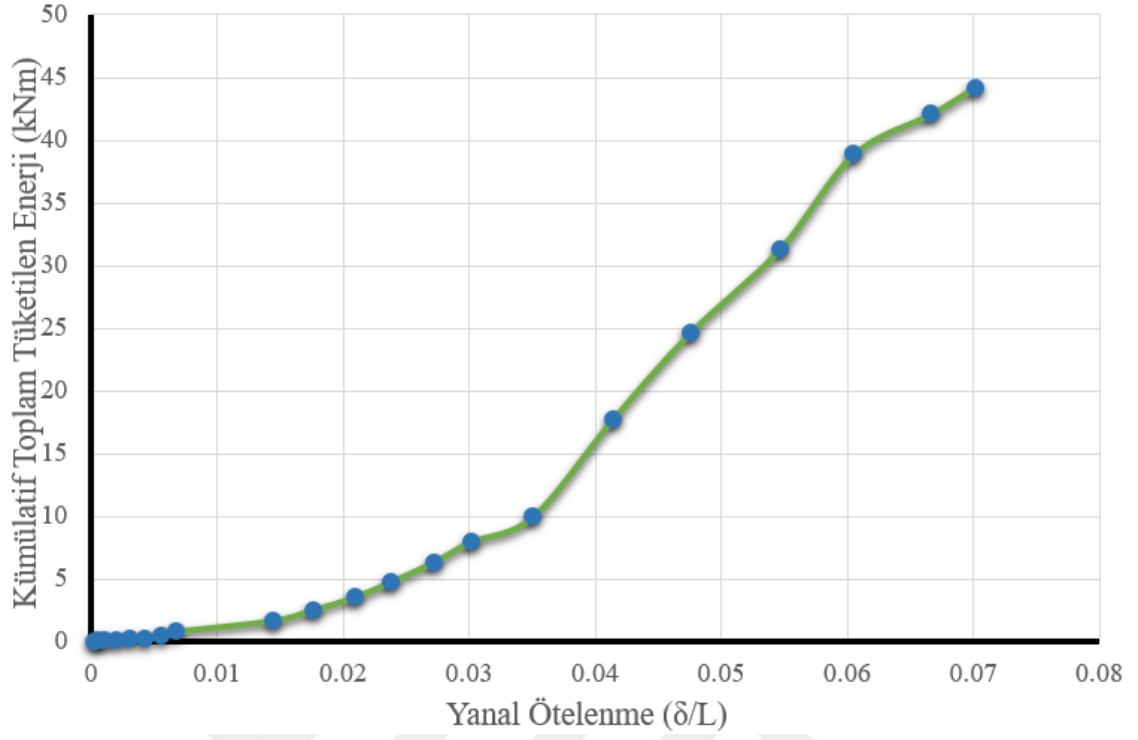
şekil 4.43. SN4 deney numunesinin yük-yer değiştirme eğrisi



Şekil 4.44. SN4 deney numunesinin dayanım zarfı eğrisi



Şekil 4.45. SN4 deney numunesinin rijitlik azalım eğrisi

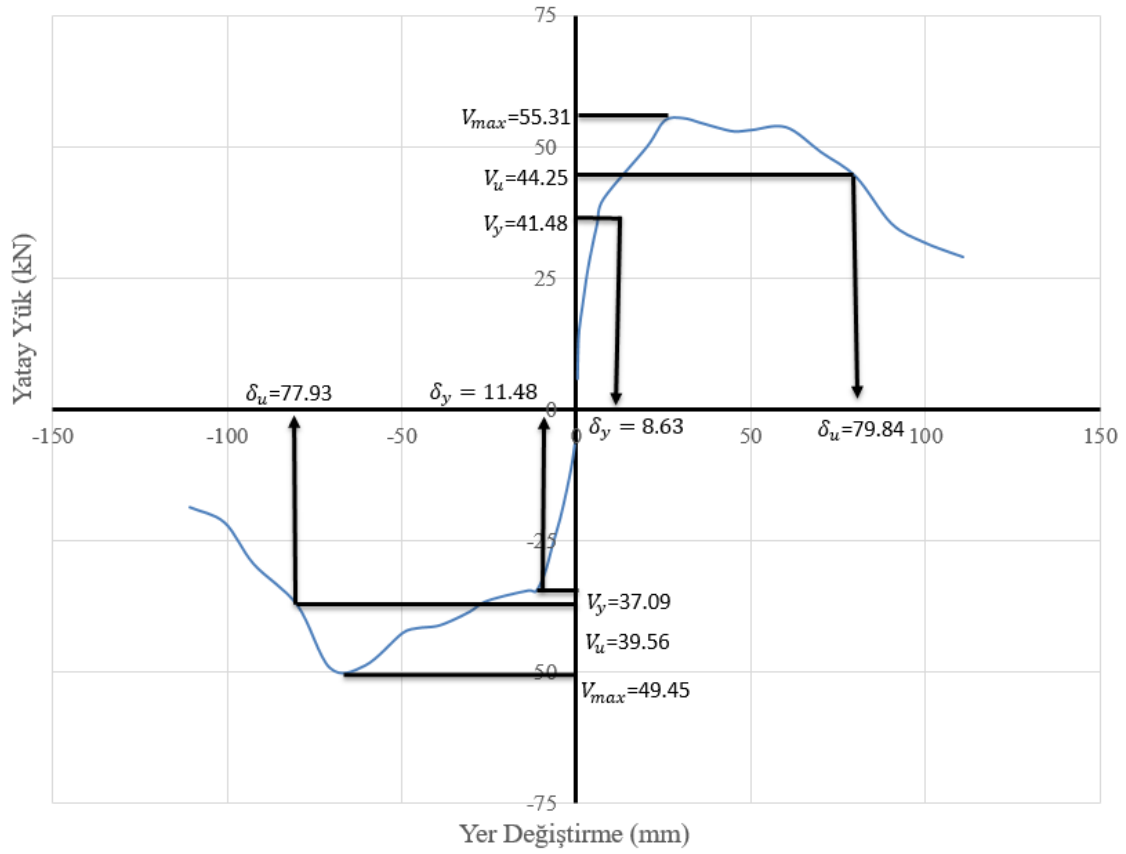


Şekil 4.46. SN4 deney numunesinin toplam tüketilen enerji eğrisi

SN4 deney numunesine ait süneklik değerinin bulunması için gerekli veriler Şekil 4.47’den elde edilerek Çizelge 4.12’de verilmiştir.

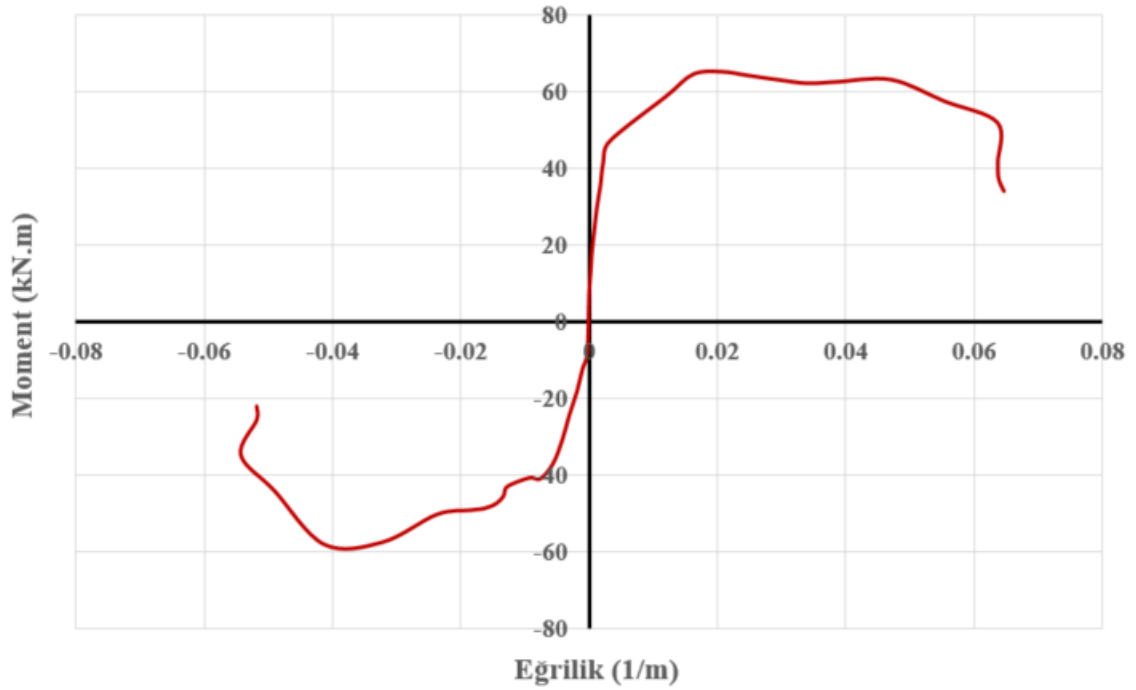
Çizelge 4.12. SN4 numunesine ait süneklik değerleri

SN4	$V_{max}(kN)$	$V_y(kN)$	$V_u(kN)$	$\delta_y(mm)$	$\delta_u(mm)$	μ	μ_{ort}
İtme	55.31	41.48	44.25	8.63	79.84	9.251	8.020
Çekme	49.45	37.09	39.56	11.48	77.93	6.788	



Şekil 4.47. SN4 deney numunesinin sünekliğinin elde edilmesi

SN4 numunesi için her çevrimde elde edilen maksimum yatay yükün kolon yüksekliği ile çarpılması ile numuneye etki eden eğilme momenti hesaplanmıştır. Kolon temel birleşimine yerleştirilen LVDT7 ve LVDT8 ile yapılan ölçümler sonucu ise eğrilik elde edilmiştir. Eğrilik hesabında kullanılan LVDT'lerin kolon yüzüne mesafesi ise LVDT7 ve LVDT8 için sırasıyla 85 ve 90 mm olarak ölçülmüştür. Elde edilen moment-eğrilik grafiği Şekil 4.48'de verilmiştir. SN4 numunesinin moment taşıma kapasitesi itme çevrimlerinde 64.98 kN.m iken çekme çevrimlerinde 58.11 kN.m olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.48. SN4 numunesine ait moment-eğrilik ilişkisi

4.1.5. SN5 numunesinin deneysel sonuçları

SN5 numunesi soketli temel olarak üretilen numunedir. SN5 numunesinde bağlantı betonu iyileştirilmiştir. SN5 numunesine öngerme uygulanmıştır. SN5 numunesinin genel özellikleri Çizelge 4.13'deki gibidir.

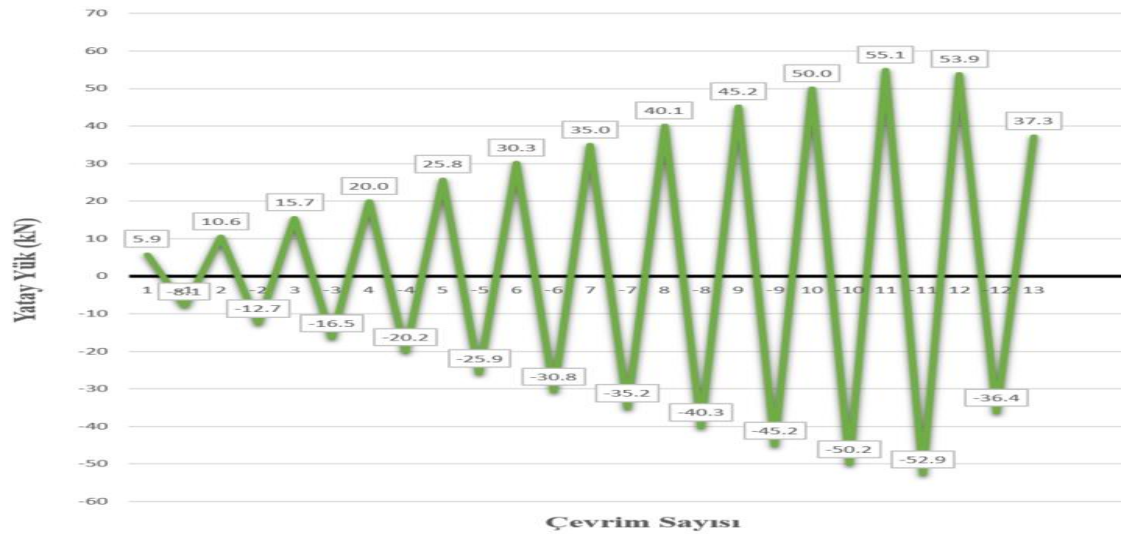
Çizelge 4.13. SN5 numunesi genel özellikleri

Numune Adı	Kesit Boyutları (cm)	Yükseklik (Temel Dahil) (cm)	Beton Sınıfı	Donatı Sınıfı	Temel Kolon Bağlantı Tipi	Öngerme Miktarı (kN)	Bağlantı Betonu Özellikleri
SN5	20/30	217.5	C30	B420C	Soketli	180	İyileştirilmiş

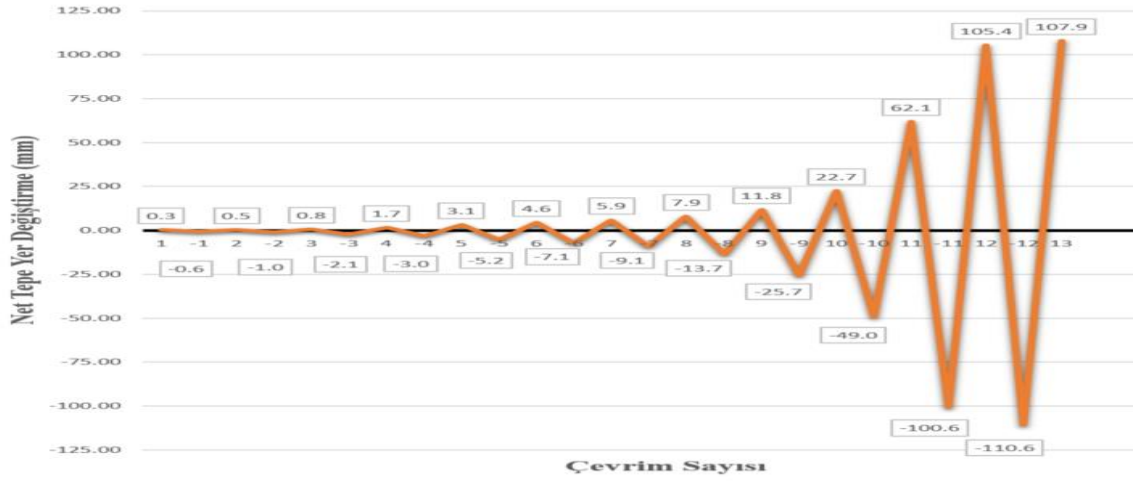
SN5 deney numunesinin deney öncesi durumu Şekil 4.49'da gösterilmiştir. SN5 deney numunesinin depremi benzeştiren yatay yük altında test edilmesinden elde edilen yük geçmişi Şekil 4.50'de, yer değiştirme geçmişi ise Şekil 4.51'deki gibidir.



Şekil 4.49. SN5 numunesi deney öncesi



Şekil 4.50. SN5 numunesi yük geçmişi



Şekil 4.51. SN5 numunesi yer değiştirme geçmişi

Yük geçmişi ve yer değiştirme geçmişi grafiğinden anlaşılacağı gibi SN5 numunesi akma durumuna negatif 11. çevrimde ulaşmıştır. Negatif 11. çevrime kadar numuneye her çevrimde 5 kN yük artışı ile yükleme yapılmıştır. Bu çevrimde numunede ölçülen yer değiştirme -100.6 mm olduğu için 50 mm'ye kadar 5 mm yer değiştirme artışı ile yer değiştirme kontrollü olarak yüklemeler yapılmıştır. 50 mm'den sonra ise her çevrimde 10 mm yer değiştirme artışı ile yer değiştirme kontrollü olarak yüklenmiştir. SN5 deney numunesinde deney aşamasında gözlenen hasar oluşumu Çizelge 4.14'deki gibidir.

Çizelge 4.14. SN5 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	5.90	0.28	Hasar ve çatlak oluşumu gözlenmedi.
-1	-8.08	-0.59	Hasar ve çatlak oluşumu gözlenmedi.
+2	10.61	0.46	Hasar ve çatlak oluşumu gözlenmedi.
-2	-12.66	-0.98	Temel üst seviyesinden 43 cm yükseklikte bir çatlak oluşmuştur.
+3	15.65	0.77	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
-3	-16.54	-2.12	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
+4	19.97	1.69	Soket kolon birleşiminde bir çatlak oluşmuş ve simetriği ile birleşmiştir. Temel üst seviyesinden 60 cm yükseklikte bir çatlak oluşmuştur.
-4	-20.25	-3.01	Temel üst seviyesinden 50 cm yükseklikte bir çatlak oluşmuştur.
+5	25.84	3.14	Temel üst seviyesinden 50 cm yükseklikte bir çatlak oluşmuştur.

-5	-25.93	-5.23	Temel üst seviyesinden 72 cm yukarıda bir çatlak oluşmuştur. Bazı çatlaklar çatallandı.
+6	30.27	4.58	Temel üst seviyesinden 72 cm yukarıda bir çatlak oluşmuştur.
-6	-30.84	-7.15	Temel üst seviyesinden 77 cm ve 89 cm yüksekliklerde çatlaklar oluşmuştur.
+7	35.04	5.90	Temel üst seviyesinden 96 cm yukarıda bir çatlak oluşmuştur.
-7	-35.18	-9.14	Bazı çatlaklar çatallandı.
+8	40.14	7.89	Temel üst seviyesinden 89 cm yukarıda bir çatlak oluşmuştur.
-8	-40.29	-13.66	Soket üzerinde diyagonal çatlaklar oluştu. Temel üst seviyesinden 96 cm yukarıda bir çatlak oluştu.
+9	45.22	11.85	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
-9	-45.22	-25.71	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir. Bağlantı betonunda çatlaklar oluştu.
+10	50.01	22.69	Soket üstünde diyagonal çatlaklar oluştu. Oluşan çatlak soket ön yüzüne düşey olarak uzadı.
-10	-50.16	-49.03	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
+11	55.05	62.06	Sokette oluşan diyagonal çatlaklar açıldı. Numune akma dayanımına ulaştı.
-11	-52.85	-100.58	Sokette oluşan diyagonal çatlaklar açıldı. Numune akma dayanımına ulaştı.
Numune akma dayanımına ulaşmıştır. Yer değiştirme kontrollü yüklemeye geçilmiştir.			
+12	53.94	105.40	Mevcut çatlaklar açılmaya ve uzamaya devam etmiştir.
-12	-36.40	-110.57	Basınç bölgesinde betonda ezilmeler başladı. Boyuna donatıda burkulmalar başladı.
+13	37.34	107.92	Numune göçme durumuna ulaştı. Deney sonlandırıldı.

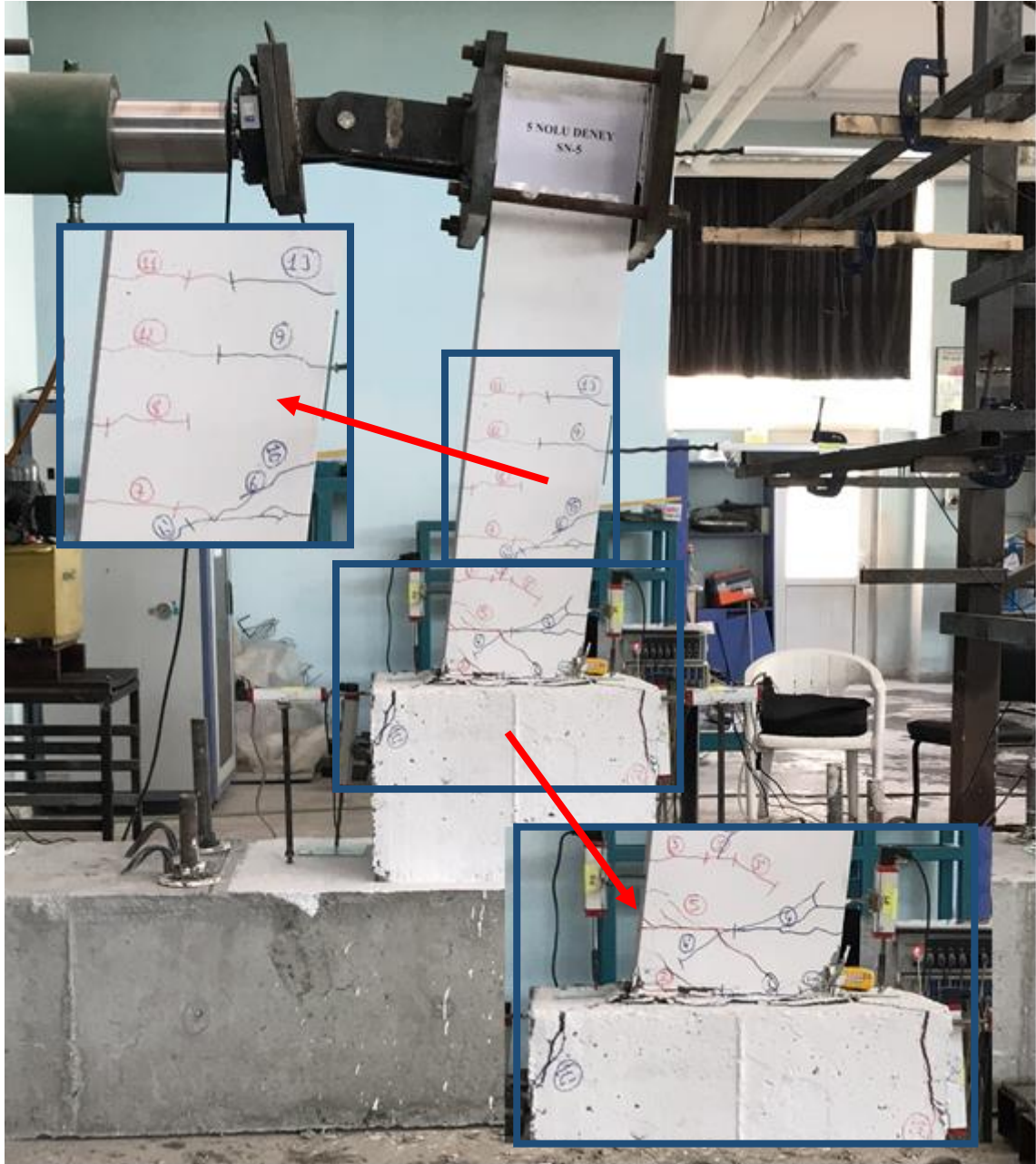
SN5 deney numunesinde ilk hasar -2. çevrimde ortaya çıkmıştır. İlk hasarın oluştuğu çevrimde numuneye -12.66 kN yük uygulanmıştır. Bu çevrimde yer değiştirme ise -0.98 mm olarak ölçülmüştür. Hasar oluşumunun ilk olarak gözlemlendiği çevrimde numunenin görünümü Şekil 4.52’de gösterilmiştir.



Şekil 4.52. SN5 deney numunesinde ilk hasar oluşumu

SN5 deney numunesi akma durumuna ulaştığında ± 11 . çevrim gerçekleştirilmiştir. +11. çevrim sonucunda numuneye uygulanan kuvvet +55.05 kN'dur. Bu çevrimde numunenin yaptığı yer değiştirme ise +62.06 mm olarak ölçülmüştür. -11. çevrim sonucunda numuneye uygulanan kuvvet -52.85 kN'dur. Bu çevrimde numunenin yaptığı yer değiştirme ise -100.58 mm olarak ölçülmüştür. Akma dayanımına ulaşılan çevrimde soket kolon bağlantısında ayrışma görülmüştür. Bağlantı betonu ezilmeye başladı. Soket yüzeyinde diyagonal çatlaklar görülmüştür. Soket

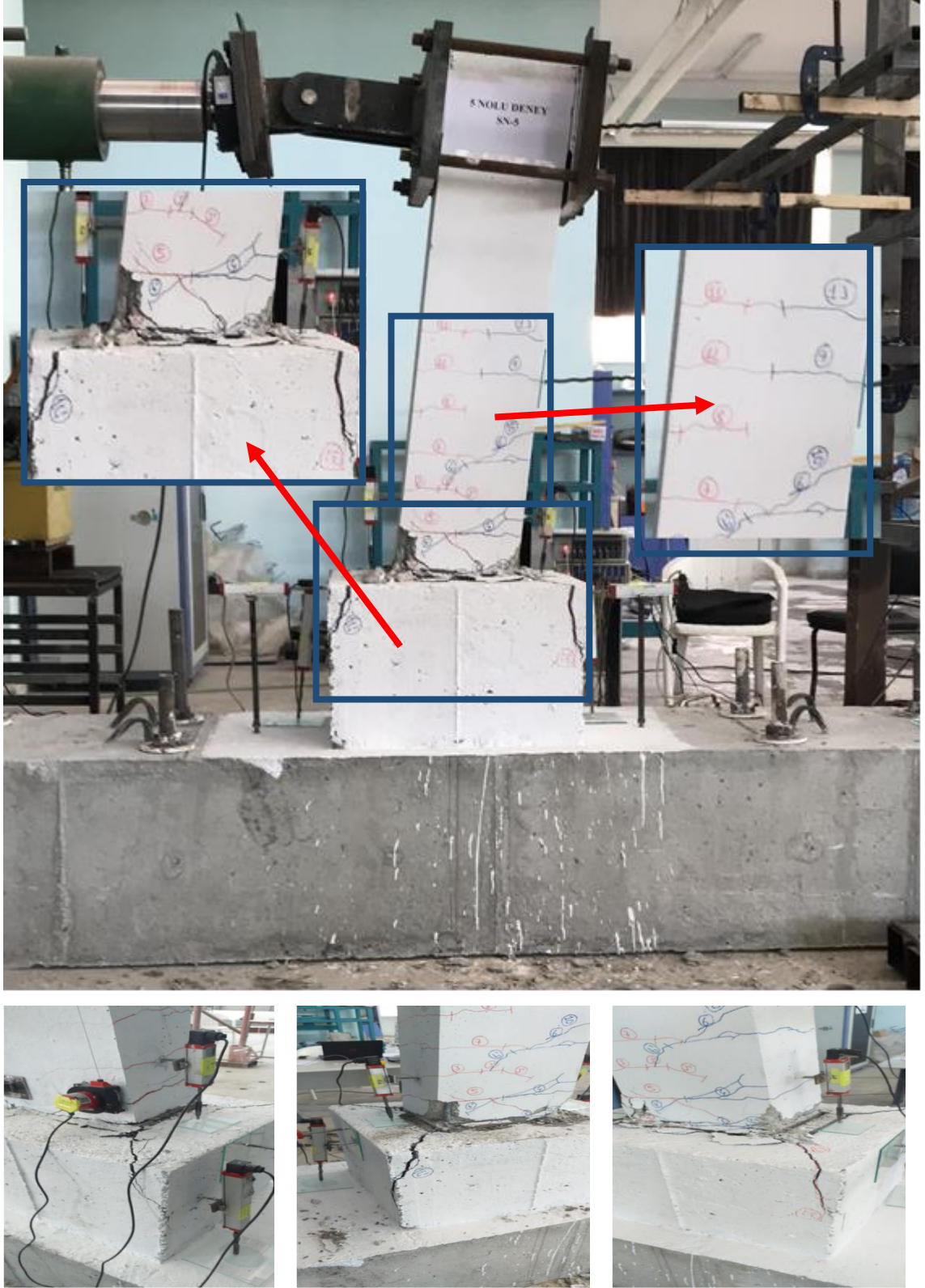
taşıma gücünü aşarak yük taşımaz hale gelmiştir. SN5 deney numunesinin akma durumunda hasar seviyesi Şekil 4.53'teki gibidir.



Şekil 4.53. SN5 deney numunesinin akma durumundaki hasar seviyesi

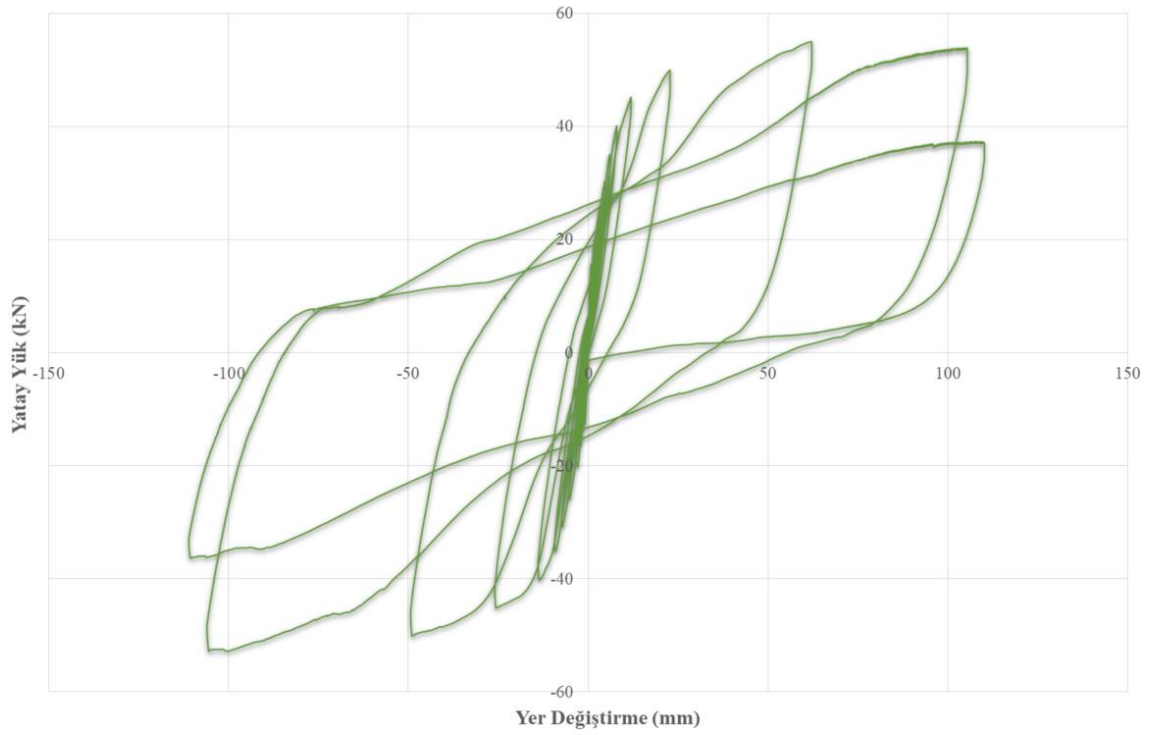
SN5 deney numunesinin limit durumu +13. çevrimde gerçekleşmiştir. Limit durumda +37.34 kN kuvvete maruz kalan kolon aynı zamanda +107.92 mm yer değiştirme yapmıştır. Limit durumda sokette görülen diyagonal çatlaklar ilerlemiştir. Mesnet bölgesinde kabuk betonda dökülme gerçekleşmiştir. Boyuna donatıda burkulma

görülmüştür. SN5 deney numunesinde limit durumdaki hasar seviyesi Şekil 4.54'te verilmiştir.

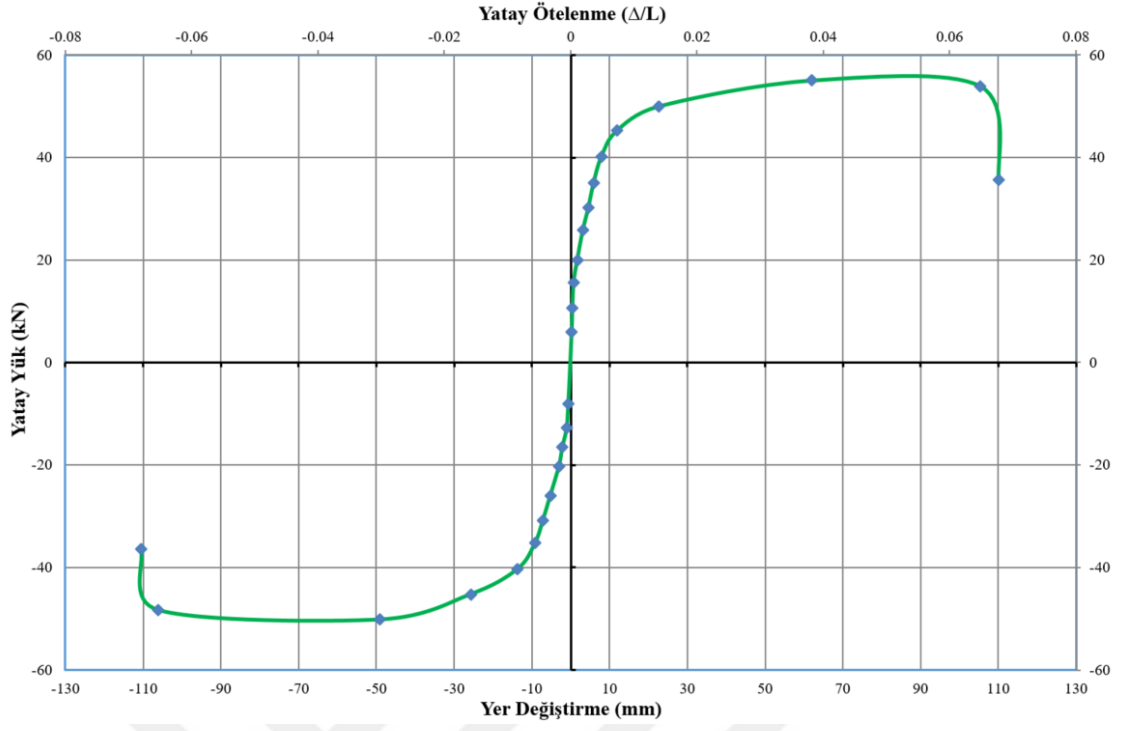


Şekil 4.54. SN5 deney numunesinde limit durum için hasar seviyesi

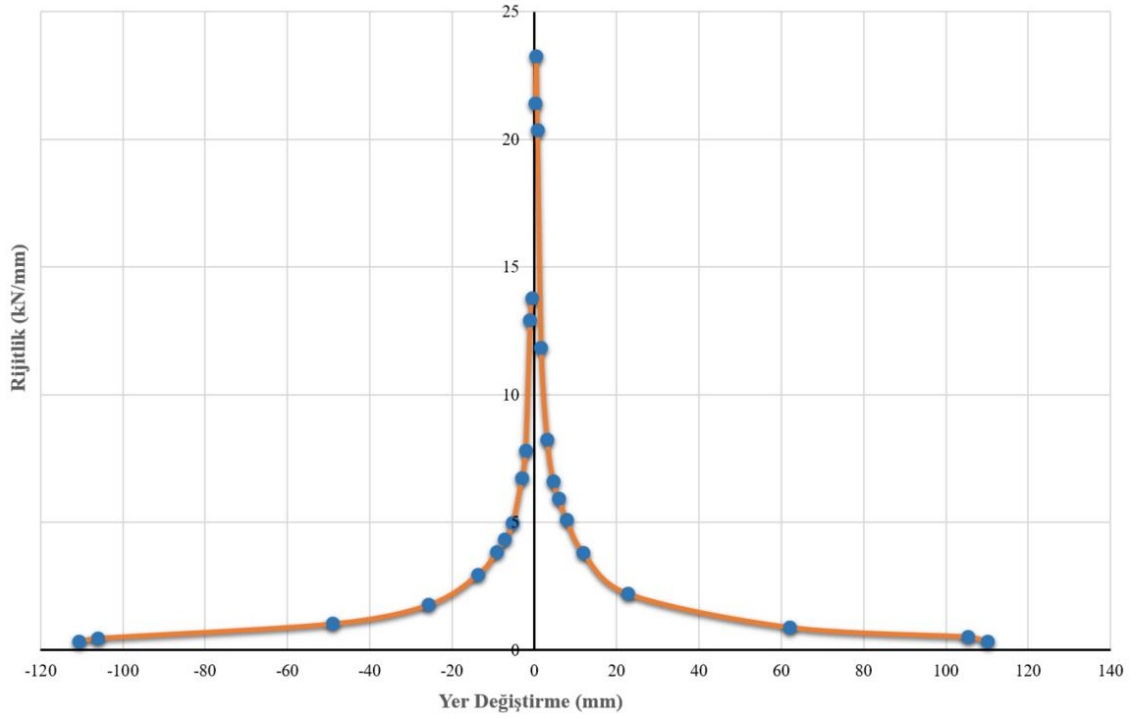
Deney sonucunda elde edilen yer değiştirme ve yük verileri kullanılarak numunelerin davranışı hakkında bilgi edinmek için çeşitli grafikler oluşturulmuştur. Deney sırasında elde edilen yük değerlerine karşılık gelen yer değiştirmeler birleştirilerek şekil 4.55'te grldği gibi yük-yer değiştirme eğrisi oluşturulmuştur. Yük-yer değiştirme eğrisinin tepe noktaları birleştirilerek elde edilen dayanım zarfı eğrisi şekil 4.56'da gösterilmiştir. Her çevrimde numunede oluşan hasardan dolayı meydana gelen rijitlik azalmasını gösteren rijitlik azalma grafiği şekil 4.57'de verilmiştir. Deney numunesinin tükettiği toplam enerjiyi gösteren toplam tüketilen enerji grafiği şekil 4.58'de verilmiştir.



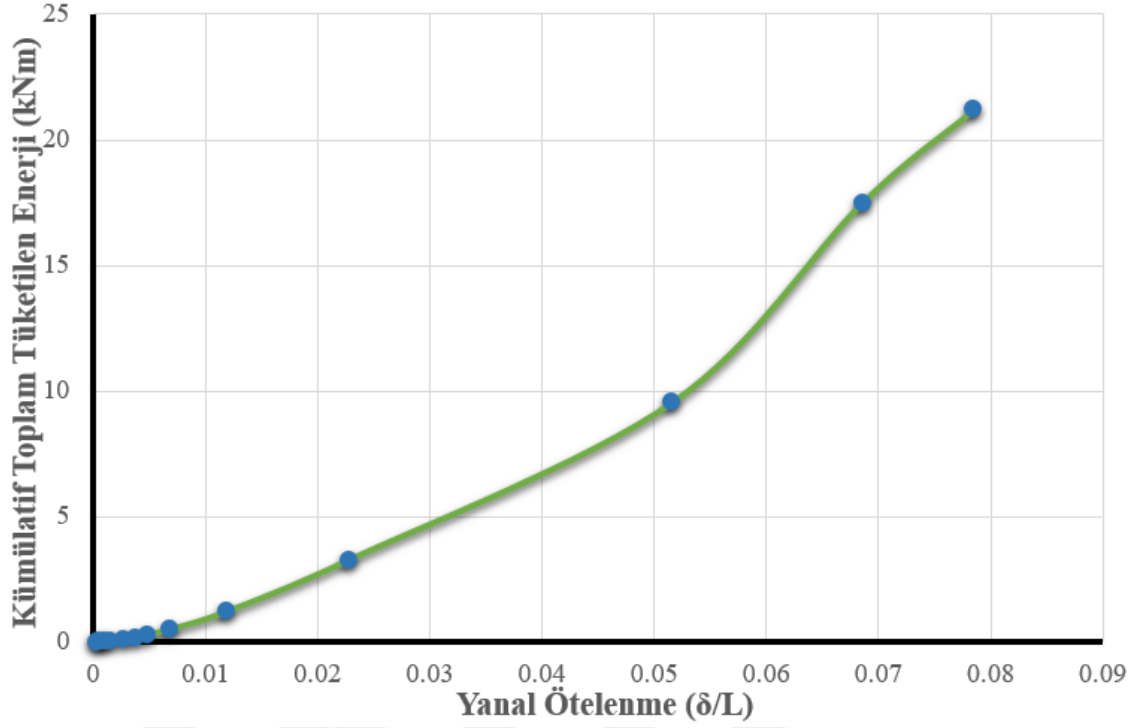
şekil 4.55. SN5 deney numunesinin yük-yer değiştirme eğrisi



Şekil 4.56. SN5 deney numunesinin dayanım zarfı eğrisi



Şekil 4.57. SN5 deney numunesinin rijitlik azalım eğrisi

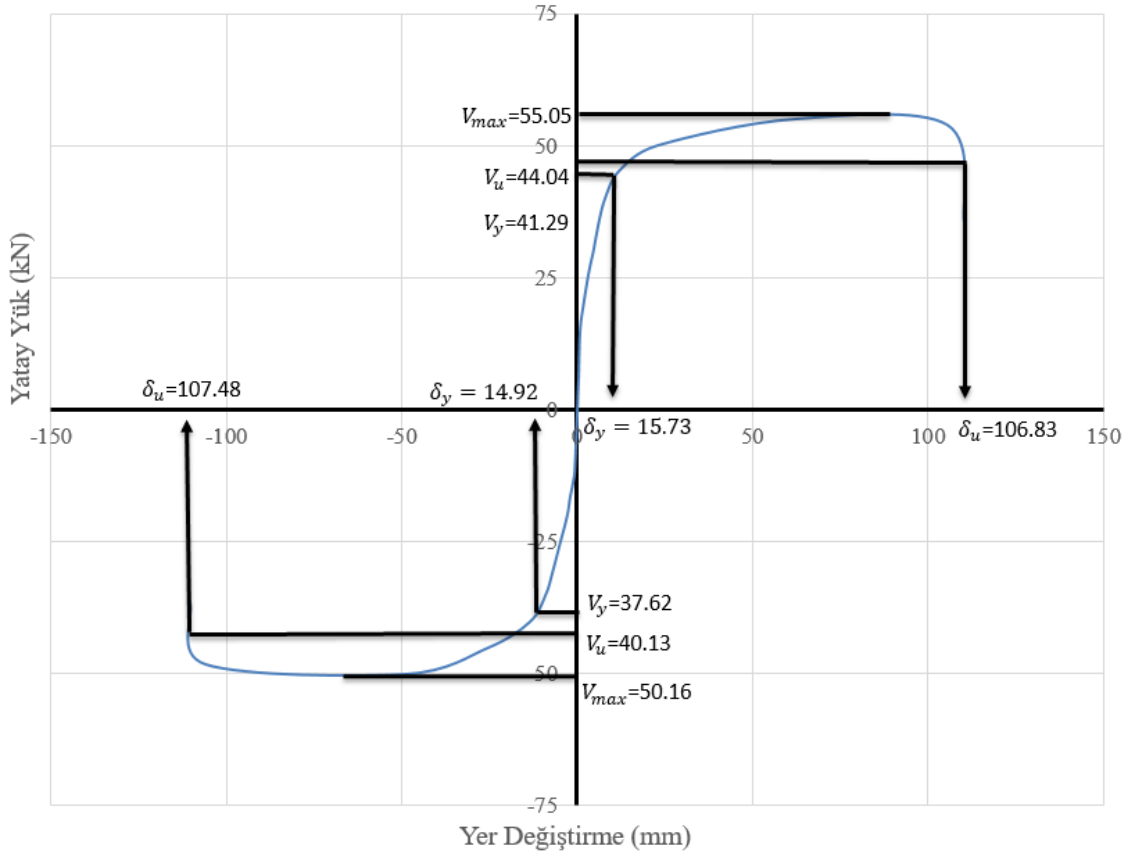


Şekil 4.58. SN5 deney numunesinin toplam tüketilen enerji eğrisi

SN5 deney numunesine ait süneklik değerinin bulunması için gerekli veriler Şekil 4.59'dan elde edilerek Çizelge 4.15'de verilmiştir.

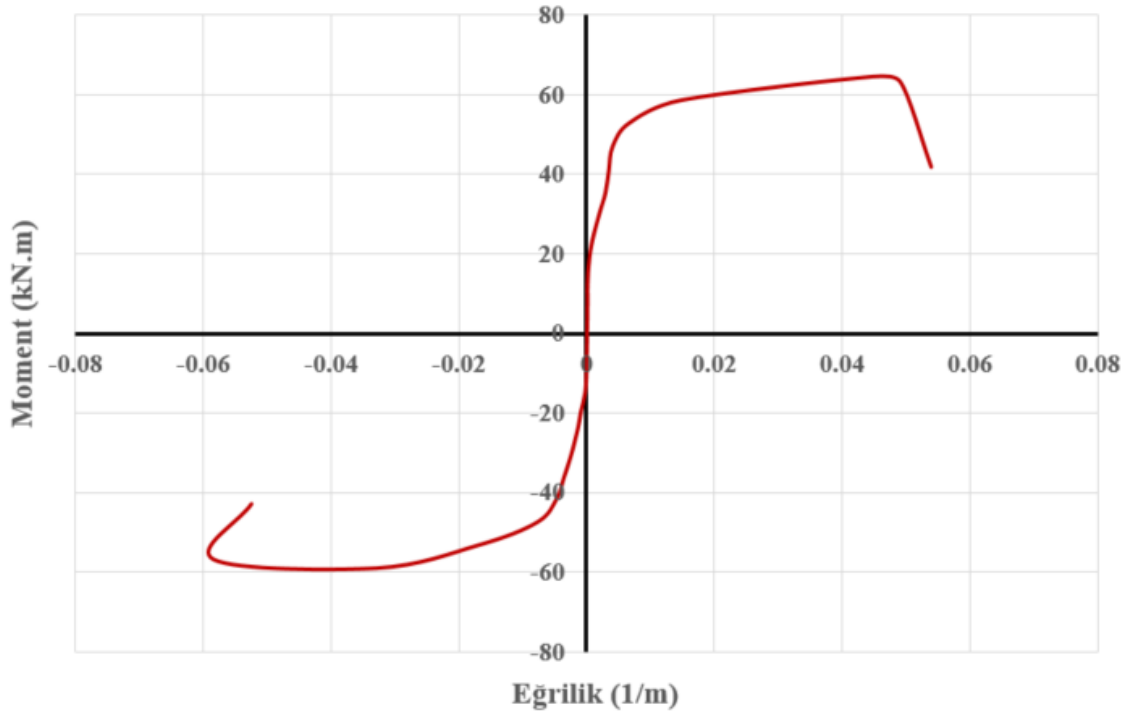
Çizelge 4.15. SN5 numunesine ait süneklik değerleri

SN5	V_{max} (kN)	V_y (kN)	V_u (kN)	δ_y (mm)	δ_u (mm)	μ	μ_{ort}
İtme	55.05	41.29	44.04	15.73	106.83	6.792	6.998
Çekme	50.16	37.62	40.13	14.92	107.48	7.204	



Şekil 4.59. SN5 deney numunesinin sünekliğinin elde edilmesi

SN5 numunesi için her çevrimde elde edilen maksimum yatay yükün kolon yüksekliği ile çarpılması ile numuneye etki eden eğilme momenti hesaplanmıştır. Kolon temel birleşimine yerleştirilen LVDT7 ve LVDT8 ile yapılan ölçümler sonucu ise eğrilik elde edilmiştir. Eğrilik hesabında kullanılan LVDT'lerin kolon yüzüne mesafesi ise LVDT7 ve LVDT8 için sırasıyla 85 ve 90 mm olarak ölçülmüştür. Elde edilen moment-eğrilik grafiği Şekil 4.60'ta verilmiştir. SN5 numunesinin moment taşıma kapasitesi itme çevrimlerinde 64.69 kN.m iken çekme çevrimlerinde 58.94 kN.m olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.60. SN5 numunesine ait moment-eğrilik ilişkisi

4.2. Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması

Bu çalışmada, monolitik ve soketli olarak iki farklı birleşim tipi test edilmiştir. Numunelerin bazılarında öngerme uygulanarak öngermenin eksenel yüke karşı direnci araştırılmıştır. Ayrıca deney numunelerinde standart bağlantı betonu yerine geliştirilen betonun davranışı incelenmiştir. Bahsedilen iki parametre yönünden numunelerin mukayesesi yapılmıştır. Karşılaştırmalar, numunelerin enerji tüketme kapasiteleri, dayanım, süneklik ve rijitlikleri ve moment taşıma kapasiteleri bakımından incelenmiştir.

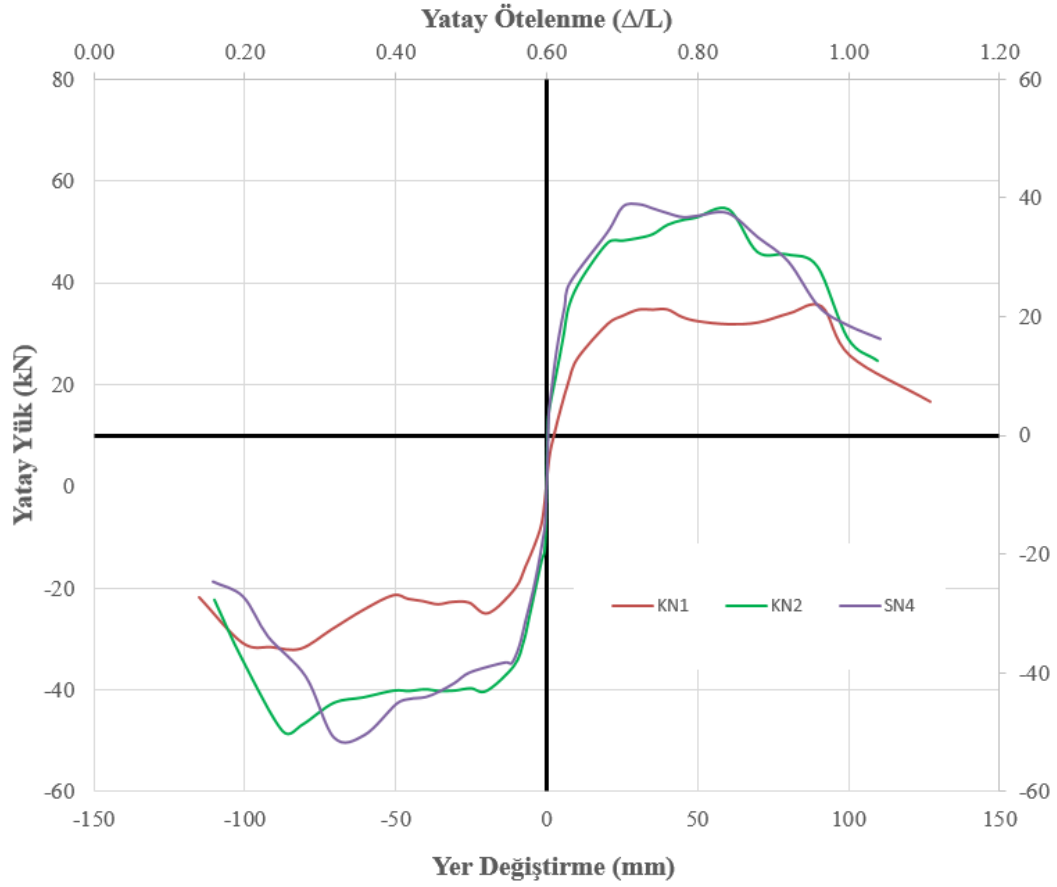
4.2.1. Birleşim yöntemine göre deney numunelerinin karşılaştırılması

KN1, KN2, SN4 deney numunelerinde değişik birleşim türleri uygulanmıştır. KN1 numunesi monolitik, KN2 numunesi soketli ve SN4 numunesi soketli bağlantı ile bağlantı betonu iyileştirilerek üretilmiştir. KN1, KN2 ve SN4 numuneleri için genel özellikler Çizelge 4.16'daki gibidir.

Çizelge 4.16. KN1, KN2, SN4 numunelerinin genel özellikleri

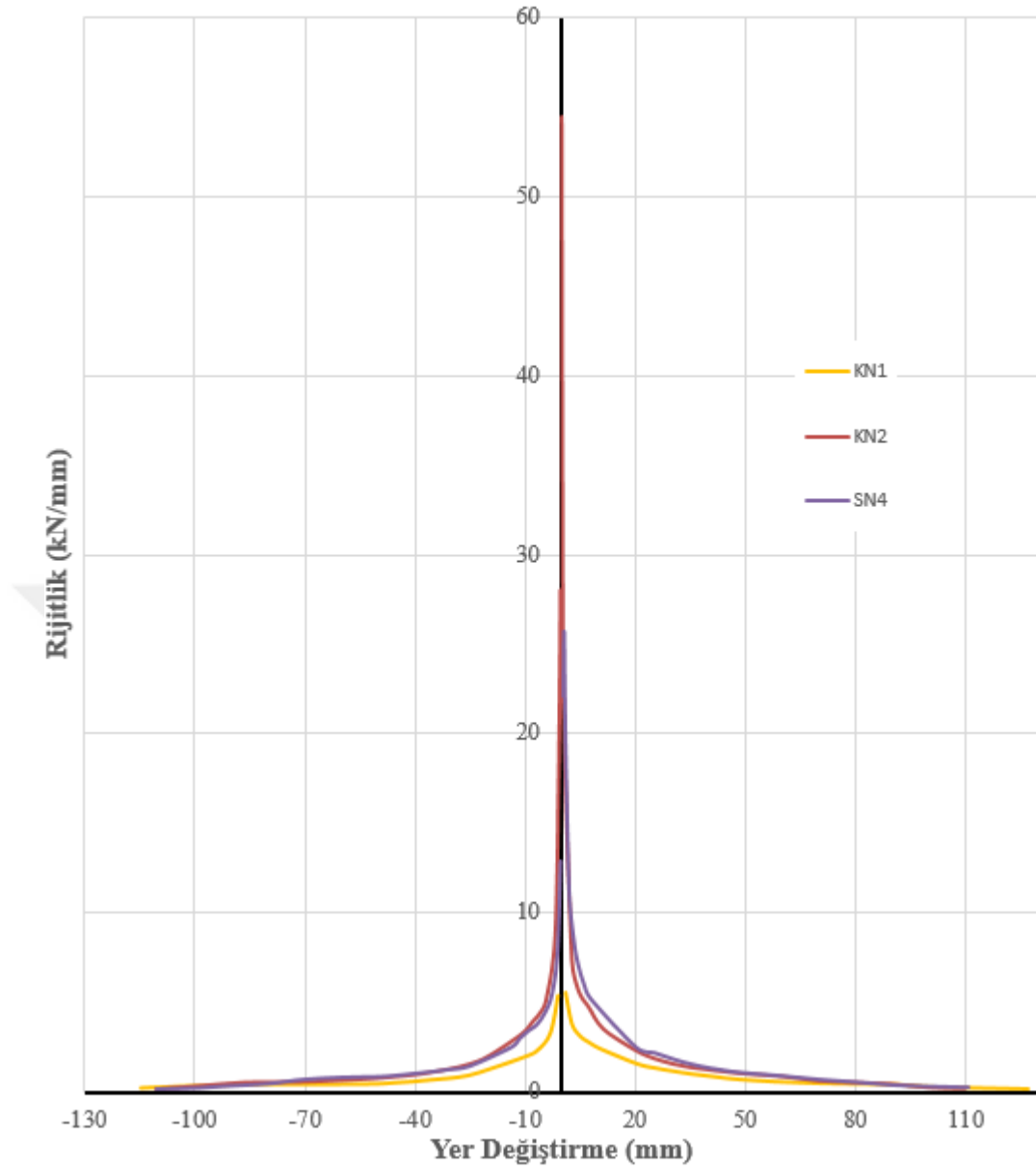
Numune Adı	Kesit Boyutları (cm)	Yükseklik (Temel Dahil)(cm)	Beton Sınıfı	Donatı Sınıfı	Temel- Kolon Bağlantı Tipi	Ongerme Miktarı (kN)	Bağlantı Betonu Özellikleri
KN1	20/30	217.5	C30	B420C	Monolitik	-	-
KN2	20/30	217.5	C30	B420C	Soketli	-	Standart
SN4	20/30	217.5	C30	B420C	Soketli	-	İyileştirilmiş

KN1, KN2 ve SN4 numunelerinin dayanım zarfı eğrileri Şekil 4.61'deki gibidir. KN1, KN2 ve SN4 numunelerine itme çevriminde etki eden maksimum yatay kuvvet sırasıyla 35.27 kN, 54.31 kN ve 55.31 kN'dur. KN1, KN2 ve SN4 numunelerine çekme çevriminde etki eden en yüksek yatay kuvvet sırasıyla 31.83 kN, 48.20 kN ve 49.45 kN'dur. KN2 numunesi KN1 numunesine göre itme çevriminde %54, çekme çevriminde ise %51.4 daha fazla yatay kuvvet taşıdığı tespit edilmiştir. SN4 numunesi KN1 numunesine göre itme çevriminde %56.8, çekme çevriminde ise %55.4 daha fazla yatay yük taşımıştır. SN4 numunesi KN2 numunesine göre itme çevriminde %1.8, çekme çevriminde ise %2.6 daha fazla yatay yük taşımıştır. Bağlantı betonu iyileştirilen SN4 numunesinde, bağlantı betonunun rijit bir plaka gibi yükü kolondan sokete aktarması sonucu KN2 numunesinin soketine göre SN4 numunesinin soketi daha fazla hasar görmüştür. SN4 numunesinde zayıf halka olan soket hasar görerek yük taşıyamaz hale gelmesine neden olmuştur. SN4 numunesinde kolonda önemli hasarlar oluşmadan soketten dolayı göçme durumu oluşmuştur.



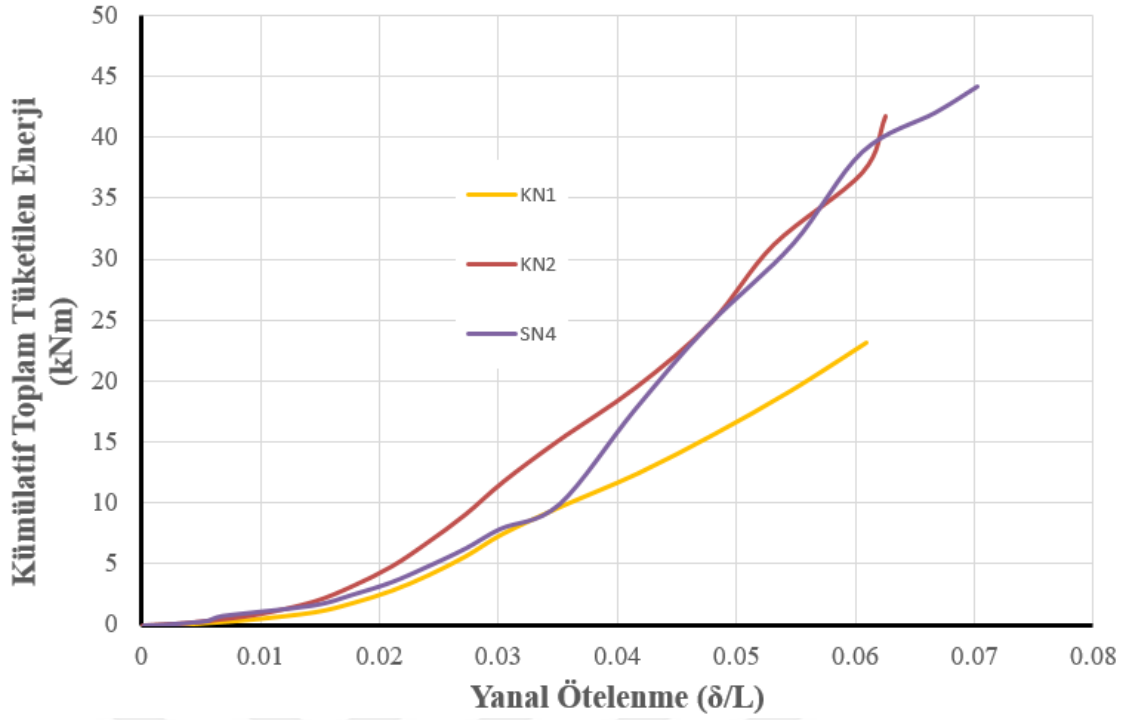
Şekil 4.61. KN1, KN2 ve SN4 deney numunelerine ait dayanım zarfı eğrileri

KN1, KN2 ve SN4 numunelerinin rijitlik azalım grafiği Şekil 4.62'deki gibidir. KN1, KN2 ve SN4 numunelerinin başlangıç rijitlikleri itme çevrimi için sırasıyla 5.59, 54.42 ve 25.68 kN/mm'dir. KN1, KN2 ve SN4 numuneleri için başlangıç rijitlikleri çekme çevriminde sırasıyla 5.42, 28.03 ve 12.88 kN/mm'dir. SN4 numunesine ait başlangıç rijitliği KN1 numunesine göre yüksek çıkarken KN2 numunesine göre düşük çıkmıştır.



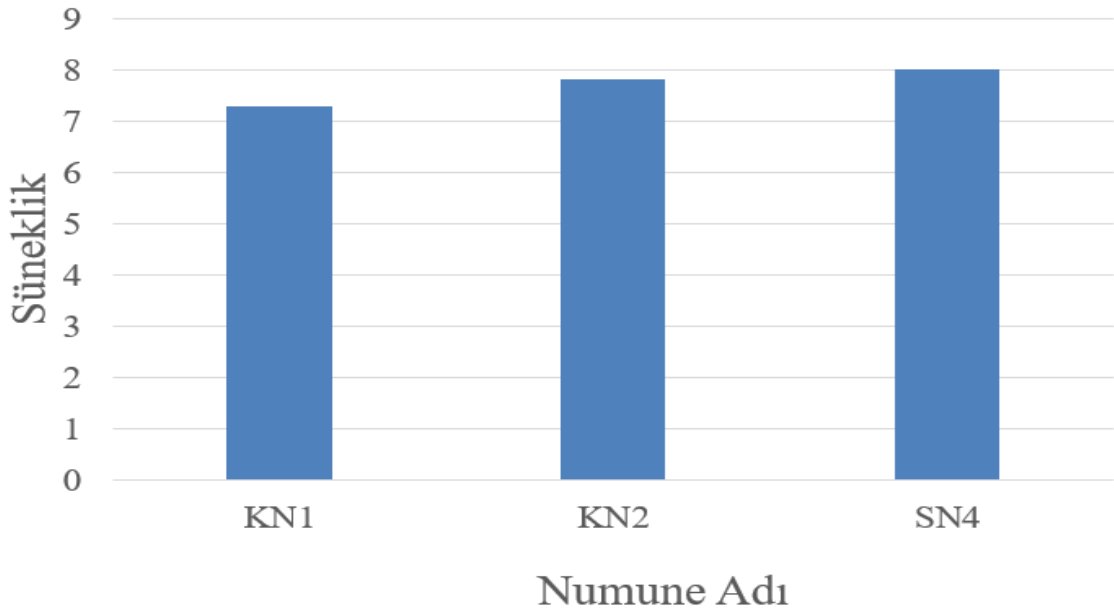
Şekil 4.62. KN1, KN2 ve SN4 numunelerinin rijitlik azalması grafiği

KN1, KN2 ve SN4 numunelerinin yatay yük etkisi altında her bir çevrimde tükettiği enerjileri gösteren kümülatif enerji tüketim grafiği Şekil 4.63'teki gibidir. KN1, KN2 ve SN4 numunelerinin toplam tükettikleri enerji sırasıyla 23.17, 41.80 ve 44.16 kN.m'dir. Tüketilen enerjiler incelendiğinde SN4 numunesi KN1 ve KN2 numunesinden daha fazla enerji tüketmiştir. Görülmektedir ki bağlantı betonunun iyileştirilmesi numunenin enerji sönmüleme kapasitesinde %5.6'lık bir artış sağlamıştır.



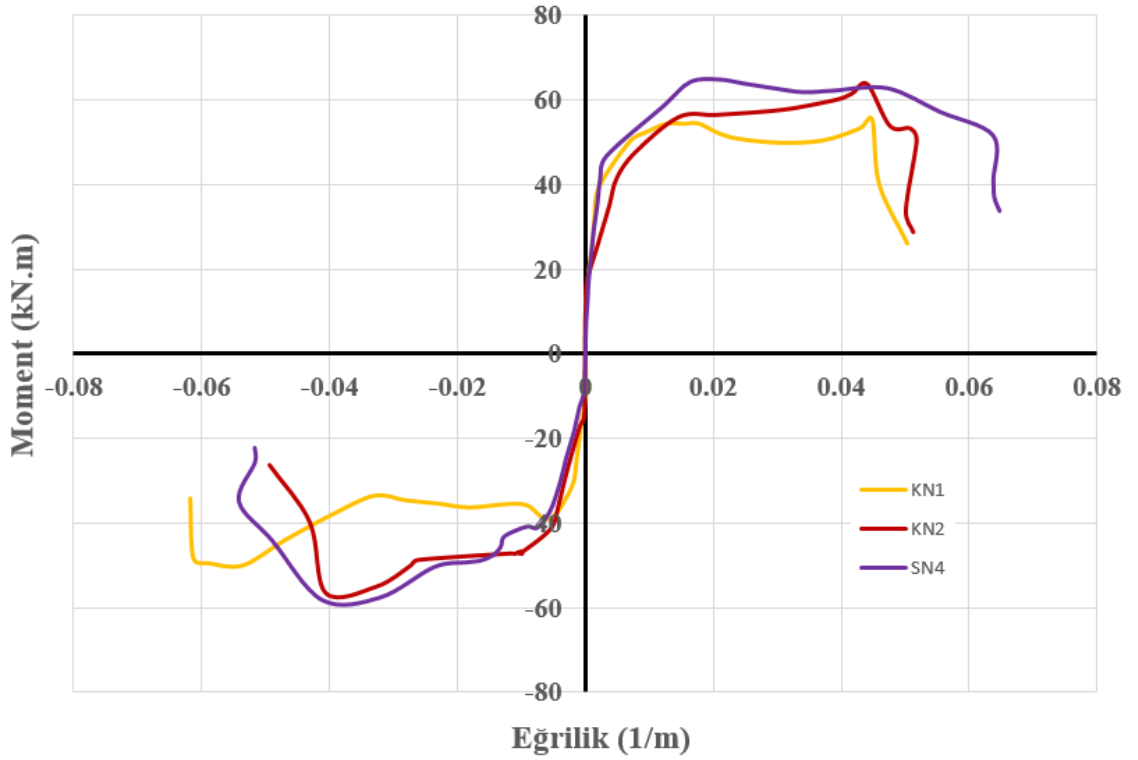
Şekil 4.63. KN1, KN2 ve SN4 numunelerinin kümülatif toplam tüketilen enerji grafiği

KN1, KN2 ve SN4 numunelerinin süneklikleri Şekil 4.64'te verilmiştir. SN4 numunesi KN1 ve KN2 numunelerine göre daha fazla süneklik göstermiştir. Bağlantı betonunun iyileştirilmesi sünekliği olumlu yönde etkilemiştir.



Şekil 4.64. KN1, KN2 ve SN4 numunelerinin süneklik grafiği

KN1, KN2 ve SN4 numunelerinin moment-eğrilik ilişkisi Şekil 4.65'te verilmiştir. KN1, KN2 ve SN4 numunelerinin moment taşıma kapasiteleri itme çevrimleri için sırasıyla 55.54, 63.82 ve 64.98 kN.m olarak elde edilmiştir. KN1, KN2 ve SN4 numunelerinin moment taşıma kapasiteleri çekme çevrimleri için sırasıyla 50.14, 56.64 ve 58.11 kN.m olarak elde edilmiştir. SN4 numunesi KN1 numunesine göre itme ve çekme çevrimlerinde sırasıyla %17 ve %15.90 daha fazla moment taşımıştır. SN4 numunesi soketli referans numunesi olan KN2 numunesine göre itme ve çekme çevrimlerinde sırasıyla %1.82 ve %2.60 daha fazla moment taşımıştır.



Şekil 4.65. KN1, KN2 ve SN4 numunelerine ait moment-eğrilik ilişkisi

4.2.2. Öngermenin numuneler üzerindeki etkilerinin karşılaştırılması

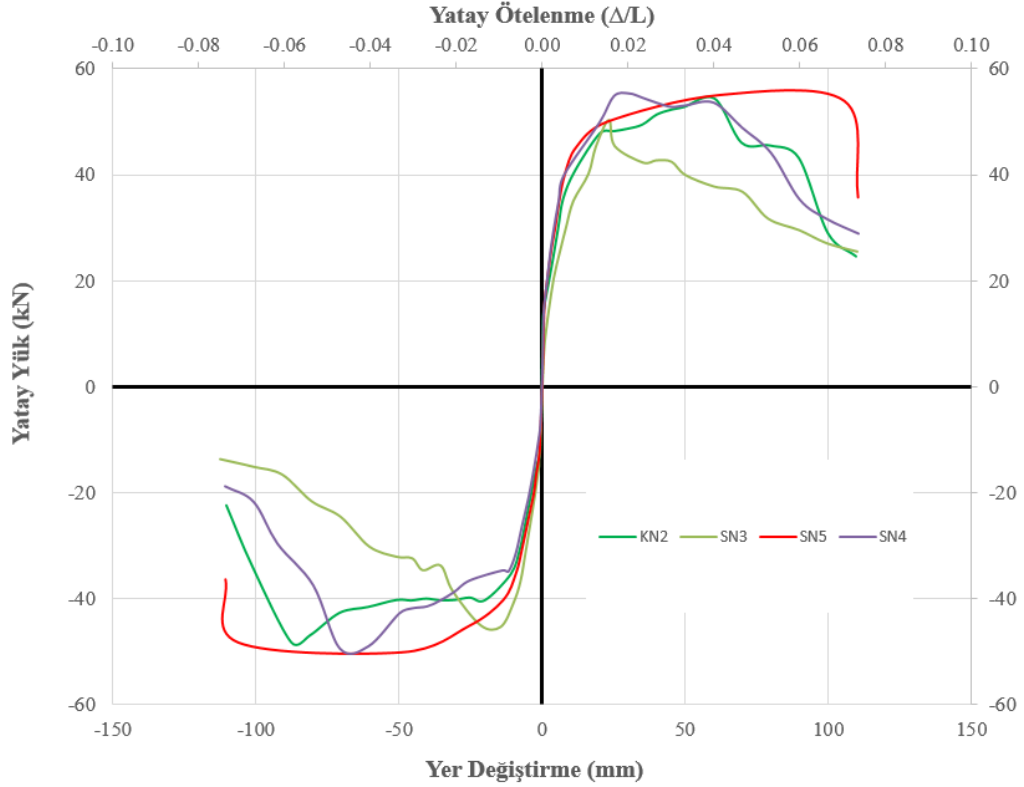
Bir elemanın düşey taşıyıcı eleman olarak boyutlandırılabilmesi için eksenel yük taşıma kapasitesinin en az %10'u kadar üzerinde eksenel yük olması gerekmektedir (TS-500, 2000). Deneysel çalışmalarda kolonların üzerine eksenel yük uygulanması oldukça zahmetli olmaktadır. Eksenel yük için kolon üzerine platform kurulması ve bu platformun kolonun yer değiştirmesine uygun olarak hareketli olması gerekmektedir.

Bu durumlar düşünüldüğünde kolonlara eksenel yük uygulamak için farklı arayışlar ortaya çıkmaktadır. Bu tez çalışması kapsamında kolonlara öngörme uygulanarak eksenel yük etkisinin elde edilip edilemeyeceği incelenmiştir. Bu nedenle öngermeli ve öngermesiz numuneler hazırlanmıştır. Öngermeli ve öngermesiz numune çiftleri KN2, SN3, SN4 ve SN5 numuneleridir. Bu numunelerin genel özellikleri Çizelge 4.17'deki gibidir.

Çizelge 4.17. KN2, SN3, AN4, AN5, AN6, AN7, AN8 ve AN9 numunelerinin genel özellikleri

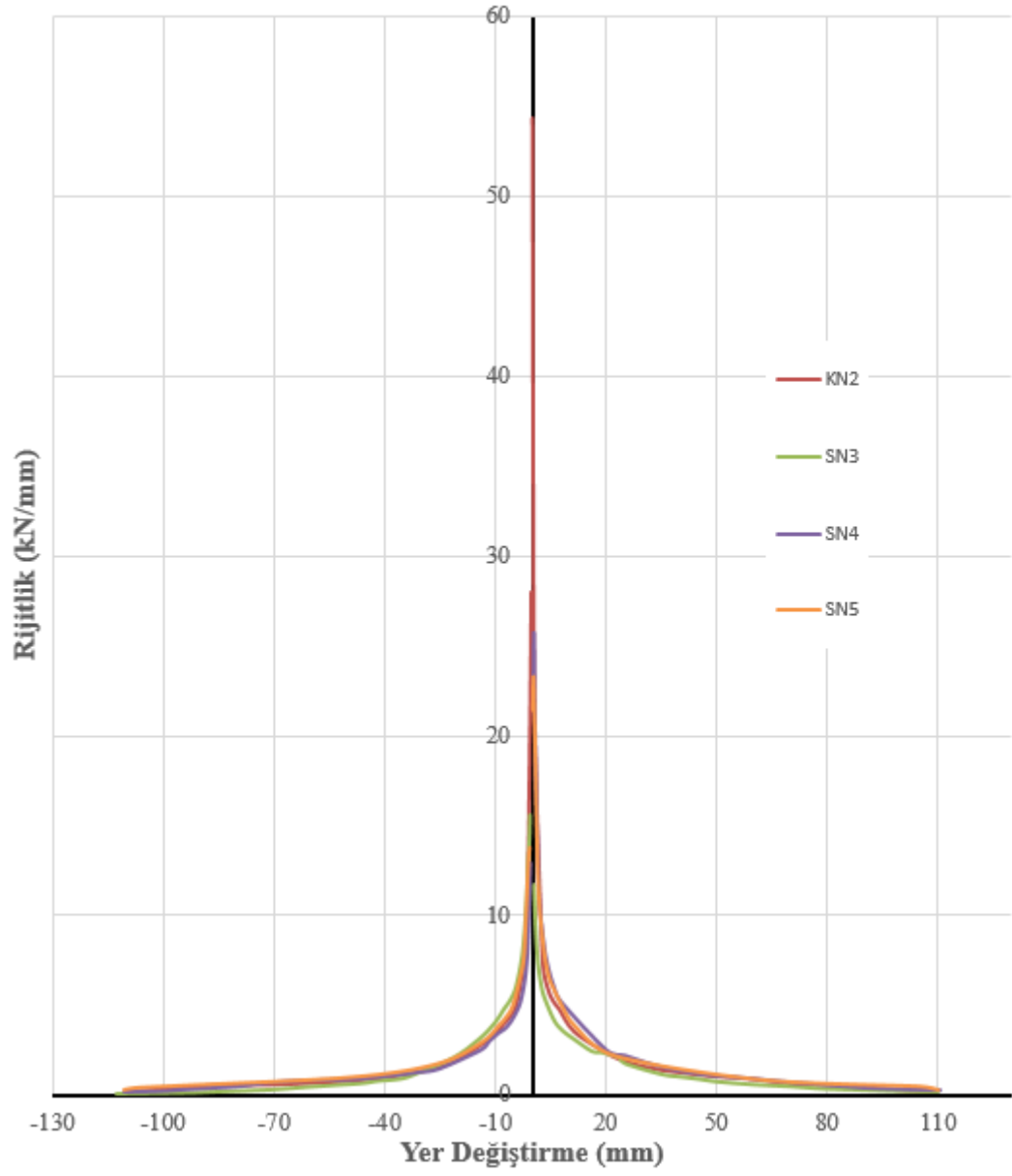
Numune Adı	Kesit Boyutları (cm)	Yükseklik (Temel Dahil)(cm)	Beton Sınıfı	Donatı Sınıfı	Temel-Kolon Bağlantı Tipi	Öngörme Miktarı (kN)	Bağlantı Betonu Özellikleri
KN2	20/30	217.5	C30	B420C	Soketli	-	Standart
SN3	20/30	217.5	C30	B420C	Soketli	180	Standart
SN4	20/30	217.5	C30	B420C	Soketli	-	İyileştirilmiş
SN5	20/30	217.5	C30	B420C	Soketli	180	İyileştirilmiş

KN2, SN3, SN4 ve SN5 numunelerine ait dayanım zarfı eğrileri Şekil 4.66'daki gibidir. KN2, SN3, SN4 ve SN5 numunelerinin itme çevrimlerinde maruz kaldığı maksimum yatay yük sırasıyla 54.31 kN, 50.33 kN, 55.31 kN ve 55.05 kN'dur. KN2, SN3, SN4 ve SN5 numunelerinin çekme çevrimlerinde maruz kaldığı maksimum yatay yük sırasıyla 48.20 kN, 45.37 kN, 49.45 kN ve 48.31 kN'dur. Öngermeli numunelerde eksenel yük etkisi ile bir miktar moment taşıma kapasitesinde artış dolayısıyla yatay yük taşıma kapasitesinde artış beklenmektedir. Ancak sonuçlar incelendiğinde öngermeli numunelerin daha az yatay yük taşıdığı görülmektedir. Burada öngörme için kullanılan halatların sıyrılma ihtimali söz konusudur. Bu nedenle taşıma kapasitesinde düşüş görülmüştür.



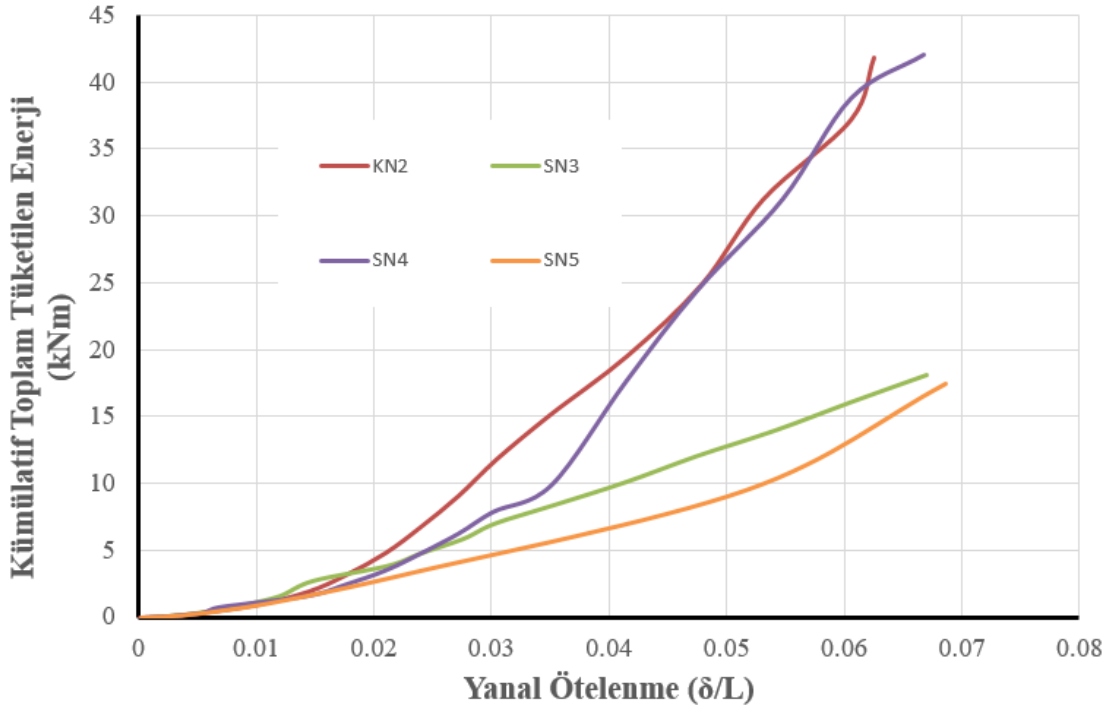
Şekil 4.66. KN2, SN3, SN4 ve SN5 numunelerinin dayanım zarfı

KN2, SN3, SN4 ve SN5 numunelerinin deneyler sonucu elde edilen rijitlik azalım grafikleri Şekil 4.67’de verilmiştir. KN2, SN3, SN4 ve SN5 numunelerinin itme çevriminde başlangıç rijitlikleri sırasıyla 54.42, 11.75, 25.68 ve 23.24 kN/mm’dir. KN2, SN3, SN4 ve SN5 numunelerine ait çekme çevrimleri için başlangıç rijitlikleri sırasıyla 28.03, 15.63, 12.88 ve 13.76 kN/mm’dir. SN5 numunesinin çekme çevriminde başlangıç rijitliği SN4 numunesine göre yüksek çıkarken, itme çevriminde daha düşük çıkmıştır. SN3 numunesinin KN2 numunesine göre başlangıç rijitliği çekme ve itme çevrimlerinde daha düşük çıkmıştır. Öngerme etkisi ile daha yüksek başlangıç rijitliği beklenirken başlangıç rijitlikleri daha düşük çıkmıştır. Öngerme halatında sıyrılma ihtimali bunun oluşmasında önemli bir etken olmaktadır.



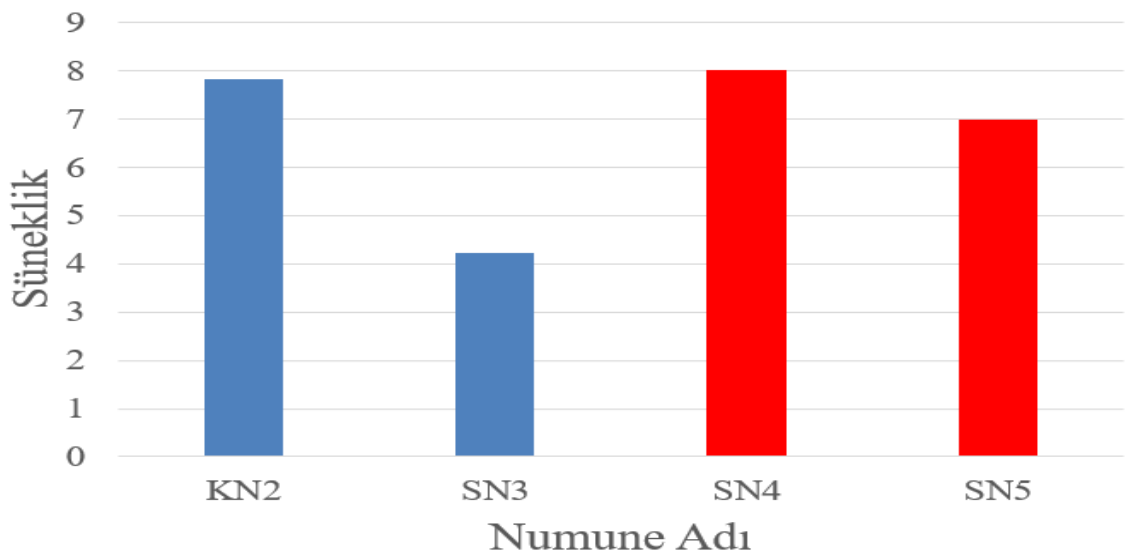
Şekil 4.67. KN2, SN3, SN4 ve SN5 numunelerinin rijitlik azalması grafiği

KN2, SN3, SN4 ve SN5 numunelerinin her bir çevrimde tükettiği enerjiden yola çıkılarak elde edilen kümülatif toplam tüketilen enerji grafiği Şekil 4.68'deki gibidir. KN2, SN3, SN4 ve SN5 numunelerine ait toplam tüketilen enerji sırasıyla 41.80, 18.15, 44.16 ve 21.19 kN.m'dir. Öngerme etkisi ile numunelerin daha az enerji tükettiği görülmektedir. Öngerme etkisi ile gevrek bir davranış sonucu enerji tüketme kapasitesinin azalması beklenmektedir. Sonuç olarak öngermeli numunelerde enerji tüketme kapasitesinde azalma olduğu görülmüştür.



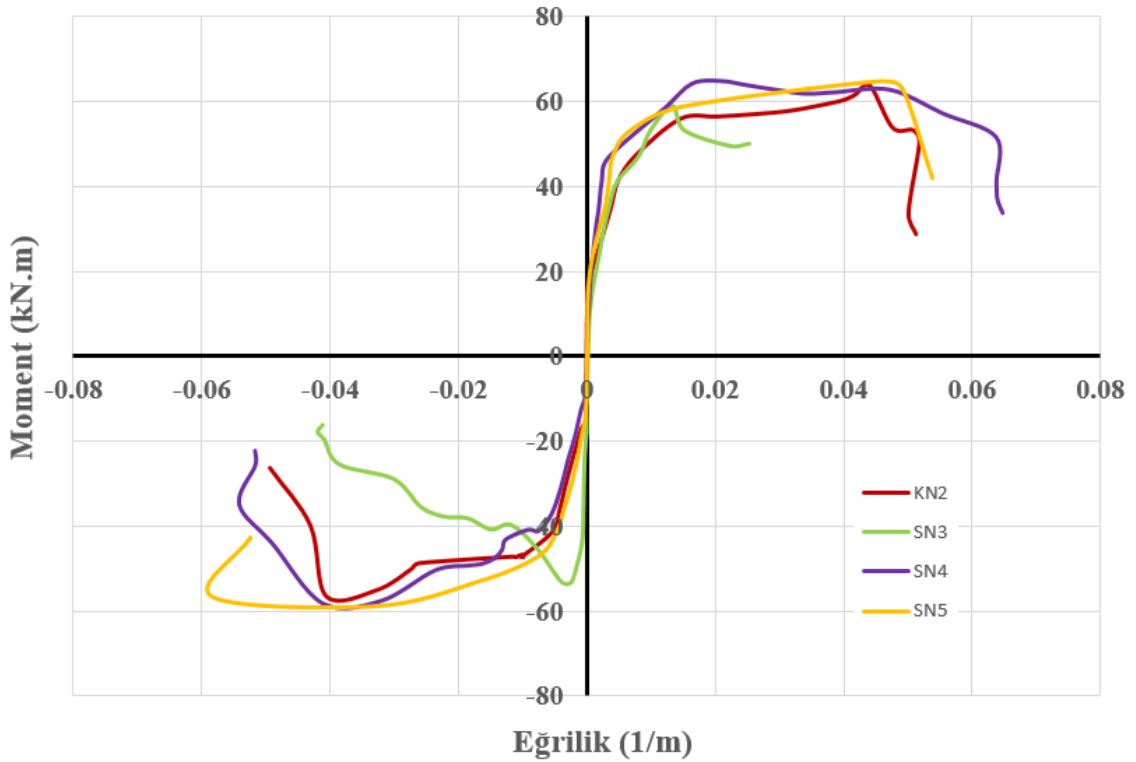
Şekil 4.68. KN2, SN3, SN4 ve SN5 numunelerinin kümülatif toplam tüketilen enerji grafiği

KN2, SN3, SN4 ve SN5 numunelerine ait süneklik grafiği Şekil 4.69'daki gibidir. Öngerme etkisi ile numunelerde sünekliğin bir miktar azalması beklenmektedir. SN3 numunesi KN2 numunesine göre daha az sünek davranırken, SN5 numunesi de SN4 numunesine göre daha az sünek bir davranış sergilemiştir. Öngerme etkisi ile beklenen gevrek davranış SN3 ve SN5 numunelerinde elde edilmiştir.



Şekil 4.69. KN2, SN3, SN4 ve SN5 numunelerinin süneklik grafiği

KN2, SN3, SN4 ve SN5 numunelerinin moment-eğrilik ilişkisi Şekil 4.70’te verilmiştir. KN2, SN3, SN4 ve SN5 numunelerinin moment taşıma kapasiteleri itme çevrimleri için sırasıyla 63.82, 59.14, 64.98 ve 64.69 kN.m olarak elde edilmiştir. KN2, SN3, SN4 ve SN5 numunelerinin moment taşıma kapasiteleri çekme çevrimleri için sırasıyla 56.64, 53.31, 58.11 ve 58.94 kN.m olarak elde edilmiştir. SN3 numunesi KN2 numunesine göre itme çevrimlerinde %7.33 daha az moment taşırken çekme çevrimlerinde ise %5.89 daha az moment taşımıştır. SN4 numunesi SN5 numunesine göre itme çevrimlerinde %0.5 daha az moment taşırken çekme çevrimlerinde %1.43 daha fazla moment taşımıştır.



Şekil 4.70. KN2, SN3, SN4 ve SN5 numunelerine ait moment-eğrilik ilişkisi

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında, prefabrike temel kolon birleşiminde kullanılan soketli bağlantıda soket içerisinde kullanılan bağlantı betonunun etkisi ve öngermenin eksenel yük yerine uygulanıp uygulanamayacağı incelenmiştir. Soketli bağlantılar ankastre bağlantı olarak kabul edilmektedir. Ancak kullanılan bağlantı betonunun düşük mukavemetli olması, yerleşim yerinin dar olmasından dolayı yerleşim problemi yaşanması, soketlere ve temel yük aktarımında sorun ortaya çıkarmaktadır. Soket betonunun yanal yük etkisi altında ezilmesi sonucu ankastre özelliği kaybedilerek yapının toptan göçmesine neden olmaktadır. Çalışma kapsamında yüksek mukavemetli, hızlı priz alan, işlenebilirliği yüksek bir beton kullanılarak davranışta iyileştirme amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında bulunan sonuçlar “5.1. Sonuçlar” bölümünde verilmiştir.

5.1. Sonuçlar

Çalışma kapsamında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Prefabrike sektöründe kullanılan standart betonun depremi benzeştiren yükleme altında ezildiği ve görevini yerine getiremediği görülmüştür. Numunenin sokete yük aktarmadan hasar gördüğü ve göçme durumuna ulaştığı görülmektedir.
- Bağlantı betonu olarak geliştirilen betonun rijit bir levha gibi davranarak kolondan gelen yükü sokete aktardığı görülmüştür.
- Bağlantı betonunun iyileştirilmesi sayesinde yük taşıma kapasitesinde yaklaşık %3'lük bir artış görülmüştür.
- Bağlantı betonunun iyileştirilmesi sonucu sünekliğinde arttığı gözlenmiştir.
- Bağlantı betonunda yapılan iyileştirme ile numunenin enerji sönümleme kapasitesinde de %5.6'lık bir artış elde edilmiştir.
- SN4 numunesinde moment taşıma kapasitesinde KN1 numunesi göre %17, KN2 numunesine göre %2.60 daha fazla moment taşımıştır.
- Geliştirilen bağlantı betonu ile moment taşıma kapasitesinde artışlar oluşmuştur.
- Bağlantı betonunun iyileştirilmesi sonucu prefabrike kolon üretiminde diğer zayıf halkalar ortaya çıkmıştır.

- Soket bağlantısında kullanılan donatının yetersizliği nedeniyle sokette diyagonal çatlaklar oluşarak numune göçme durumuna ulaşmıştır.
- Soket davranışının güçlendirilmesi durumunda geliştirilen bağlantı betonu ile yatay yük taşıma kapasitesinde önemli artışlar olacaktır. Çünkü SN4 ve SN5 numunelerinde hasarın tamamı sokette gerçekleşmiştir. Kolonda ciddi hasarlar oluşmadan göçme durumu oluşmuştur. Soketin iyileştirilmesi durumunda kolon kapasitesinden daha etkin bir şekilde yararlanmak mümkün olacaktır.
- Kolon tabanında uygulanan etriye sıklaştırmasının yetersizliği nedeniyle soketin hemen üzerinde kolon boyuna donatılarında burkulmalar olduğu görülmüştür.
- Geliştirilen bağlantı betonu ile montaj sırasında bağlantı betonu için priz bekleme süresi kısaltılarak montaj aşamasında zaman kazanılması sağlanmaktadır.
- Soket kolon bağlantısı için bırakılan boşluk mevcut bağlantı betonu karışımı için yetersizdir. Boşluğun az olması betonun tam yerleşmesini engellemektedir. Boşluğun darlığından dolayı vibrasyon uygulaması da yapılamamaktadır.
- Bu çalışma kapsamında geliştirilen beton karışımı ile herhangi bir müdahale olmadan betonun kendiliğinden yerleşmesi sağlanmıştır. Bu sayede soket ile kolon arasında boşluksuz bir yapı elde edilmiştir.
- Bağlantı betonunun hazırlanması sırasında hava atıcı katkı kullanılmıştır. Hava atıcı katkının miktarındaki artış betonda işlenebilirliği azaltmaktadır. Hava atıcı, akışkanlaştırıcı katkının özelliğini kaybetmesine neden olmaktadır.
- Öngerme uygulanan numunelerde beklenen sonuçlar tam olarak elde edilememiştir. Öngermeli numunelerde beklendiği gibi süneklik ve enerji sönümleme kapasitesi azalmıştır. Ancak yatay yük taşıma kapasitesinde bir artış gözlenmemiştir.
- Öngerme için kolon içerisine yerleştirilen halatlar üzerindeki basınç yükünü betona sadece aderans ile aktarmaktadır. Bu nedenle halatlarda meydana gelecek sıyrılma çekirdek betona zarar vererek öngermesiz numunelere kıyasla daha düşük yatay yük taşıma kapasitesi sonuçları çıkmasına neden olmuştur.
- Öngerme uygulanan numunelerde öngerme halatının kolonun tam merkezinde geçmesi gerekmektedir. Aksi takdirde kolonda eksantrik kuvvet oluşmasına neden olacaktır. Bu da, öngerme uygulamasını çok hassas hale getirmekte ve işçilik hatalarından ortaya çıkacak etkiyi artırmaktadır.

- Öngerme halatı gerildikten sonra beton dökümü yapıp, betonun öngermenin vereceği basıncı alacak mukavemete ulaşması beklenilmektedir. 7 günlük bir bekleyiş kalıpları bu süre zarfında kullanılmaz hale getirmektedir.
- Bu çalışmalarda kolon boyutları 20x30 cm olmasına rağmen eksenel yük taşıma kapasitesinin %10'u 180 kN olarak hesaplanmıştır. Daha büyük kesitler ve daha yüksek eksenel yükler düşünüldüğünde uygulamanın ahşap kalıplarda yapılması durumunda öngerme halatı kesildiğinde kalıplarda kalıcı hasarlar oluşması muhtemeldir.
- Öngerme etkisi altında kolonlarda kalıcı deformasyonun azaldığı ve öngerme halatının yardımıyla bir yay gibi davranarak tekrardan eski pozisyonunu aldığı görülmektedir.

5.2. Öneriler

Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar doğrultusunda aşağıdaki öneriler sunulmuştur:

- Her iki bağlantı betonu da belirli bir seviyeden sonra kolon yüzeyinden ayrılmaya neden olmuştur. Bu nedenle bağlantı betonu olarak yüzeye tutunma özelliğine sahip bir beton çalışması yapılmalıdır. Bu sayede kolonun bağlantı betonu ile tam aderansı sağlanacaktır.
- Bağlantı betonunda yapılan iyileştirme soketlerin imalatındaki eksiklikleri ortaya çıkarmıştır. Soketlerde kullanılan yatay donatının yetersizliği nedeniyle sokette diyagonal çatlaklar oluşarak soket yük taşımaz hale gelmiştir. Prefabrike soketlerin yatay donatılarının kullanım miktarları ile ilgili çalışmalar yapılarak soketlerin geliştirilmesi gerekmektedir.
- Prefabrike kolonlarda yatay donatı için sıklaştırma bölgesi kolon tabanından değil soket ortasından başlanarak hesaplanmalı ve soket yüzeyinden sonra en az kolon uzun kenarının iki katı (2h) kadar yukarıya devam ettirilmelidir. Soket yeterli davranışı gösterdiği takdirde soket yüzeyi bir mesnet gibi davranacak ve hasarlar soket yüzeyinin üzerinde oluşacaktır.
- Bağlantı betonu ile kolon yüzeyi arasında gerekli aderansı sağlamak için soket iç yüzüne ve kolonun soket içerisinde kalan yüzeyine dişler oluşturulabilir. Bu sayede yük aktarımı daha düzenli bir şekilde gerçekleşecektir.

- Prefabrike yapılara etki eden yanal yükler (deprem, rüzgar v.b.) soketler üzerinde önemli çekme gerilmeleri oluşturmaktadır. Çalışmadan da anlaşılacağı gibi oluşan çekme gerilmeleri soket köşelerinde diyagonal çatlaklara neden olmaktadır. Oluşan çatlaklar ise kolon ve diğer yapı elemanlarında hasar oluşmadan yapının toptan göçmesine neden olmaktadır. Bu nedenle soket dış yüzüne bütün çevreyi saracak şerit şeklinde çelik lamalar ile bir kutu yapılarak soketteki çekme gerilemelerinin hasar oluşturmaya mani olunabilir.
- Yanal yük altında soketlerde oluşan diyagonal çatlakları önlemek için soket betonu fiber katkılı olarak hazırlanabilir. Bu sayede çekme gerilmelerine karşı dayanım artırılacaktır.
- Kolonlara eksenel yük uygulanmasına alternatif olarak sunulan öngerme uygulamasının daha fazla numune ile tekrardan incelenmesi, kapsamlı bir şekilde çalışılması gerekmektedir.
- Öngerme halatlarında sıyrılmayı önlemek için kolonun alt ve üst yüzüne çelik plakalar yerleştirilmelidir.
- Kolonun kalıp içerisinde bekleme süresini kısaltmak için kolonda boşluk bırakılarak kalıptan çıkardıktan sonra halat ile germe işlemi yapılabilir.
- Bu çalışmada öngerme sadece kolona uygulanarak temele yük aktarma işlemi yapılmamıştır. Halatın bir ucu temel dökümü sırasında temel içerisinde bırakılarak kolon montajı sırasında halat ile basınç kuvveti verilebilir. Bu sayede basınç gerilmesi temele aktarılacaktır.
- Bu çalışmada, numunelerin eksenel yük taşıma kapasitelerinin %10'u kadar öngerme uygulanmıştır. Farklı eksenel yük seviyeleri için numuneler hazırlanarak farklı öngerme uygulamaları ile birlikte geniş kapsamlı bir çalışma yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

- ACI-133, 2012, Acceptance criteria for mechanical connector systems for steel reinforcing bars, www.icc-es.org.
- ACI-374-2R-13-01, 2013, Guide for testing reinforced concrete structural elements under slowly applied simulated seismic loads, ACI Committee 374, American Concrete Institute.
- Akçaözoglu, S., 2003, Endüstri Yapılarının Üretiminde Kullanılan Prefabrik Betonarme İskelet Sistemler ve 1998 Adana–Ceyhan Depreminde Bu Sistemlerde Ortaya Çıkan Sorunlar, *Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana*.
- Aktikan, S., 2008, Betonarme prefabrik sanayi yapılarının deprem etkisinde davranışının incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri*.
- 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).
- Anadol, K., 1996, Prefabrikasyon Türkiye'de tasarımcılardan neler bekliyor, *Beton Prefabrikasyon Dergisi*, 40, 17-27.
- Atalay, H. M., 2010, Moment aktarabilen prefabrike kolon-kiriş birleşimlerinin tersinir yükler etkisindeki performansı, Doktora Tezi, *Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli*.
- 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*.

- Başkan, T., 2009, Prefabrike Yapı Tasarımında Taşıyıcı Sistem Düzenleme Esasları, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Bayülke, N., 1999, Haziran 1998 Adana Ceyhan Depreminde Prefabrike Yapı Hasarı Ve Değerlendirmeler, *Çözümler, Öneriler*.
- Campos, G. M., Canha, R. M. F. ve El Debs, M. K., 2011, Design of precast columns bases embedded in socket foundations with smooth interfaces, *IBRACON Structures and Materials Journal*, 4 (2).
- Canha, R. M. F., Ebeling, E. B., de Cresce El, A. L. H. ve El Debs, M. K., 2009, Analysing the base of precast column in socket foundations with smooth interfaces, *Materials and structures*, 42 (6), 725-737.
- Cimmino, M., Magliulo, G. ve Manfredi, G., 2020, Seismic collapse assessment of new European single-story RC precast buildings with weak connections, *Bulletin of Earthquake Engineering*, 18 (15), 6661-6686.
- Durakoğlu, S., 2006, Depremde hasar görmüş prefabrike betonarme yapıların onarım ve güçlendirme yöntemleri, *Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara*.
- Erdem, Y. Ş., 2010, Prefabrik yapıların deprem davranışı ve 1998 deprem yönetmeliğinin uygulama esasları, Yüksek Lisans Tezi, *Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Üniversitesi, Isparta*.
- Ersoy, U. ve Tankut, T., 1987, Depreme dayanıklı prefabrike yapılar, temel ilkeler. Türkiye İnşaat Mühendisliği IX. Teknik Kongresi: 89-103.
- Ersoy, U., 1995, Prefabrike çerçevelerin deprem mukavemeti ile ilgili bir irdeme, 3. *Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İTÜ*, 142-160.
- Ersoy, U., 1997, Prefabrike betonarme yapı birleşimlerinin deprem davranışı, rapor no: INTAG-504, *Tübitak, Ankara*.
- Ersoy, U. ve Özcebe, G., 2016, Betonarme/Temel ilkeler, Evrim Yayınları, p.
- 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, Prefabrike yapılarda birleşim bölgelerinin düzenlenmesi ve tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Germano, F., Tiberti, G., Plizzari, G. ve Colombo, A., 2015, Experimental behavior of precast HSFRC columns in steel socket foundation under cyclic loads, *Engineering Structures*, 102, 230-248.
- 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.
- Goksu, C., 2012, Seismic behavior of RC columns with corroded plain and deformed reinforcing bars, *PhD, Istanbul Technical University, Turkey*.
- Hamzaçebi, S., 2011, Prefabrike yapılarda kolon-temel birleşimlerinin deneysel olarak incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon.
- Han, Y., Dong, J. ve Wang, L., 2020, Experimental Study on the Seismic Performance of Socket Bridge Piers, *Advances in Civil Engineering*, 2020.
- Haraldsson, O. S., Janes, T. M., Eberhard, M. O. ve Stanton, J. F., 2013, Seismic resistance of socket connection between footing and precast column, *Journal of Bridge Engineering*, 18 (9), 910-919.
- 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.
- Kaplan, S. A., 1998, Prefabrike yapıların hesap metodları, *Bilbeyki Yayınları, No:3*, p. 80-91.
- Karahan, A. E., 2008, Türkiye'deki prefabrike betonarme sanayi yapılarının performans değerlendirmesinde dolgu duvar etkisinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta.
- 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.
- KAYHAN, A. H. ve ŞENEL, Ş. M., 2010, Tek katlı prefabrik sanayi yapıları için hasar görülebilirlik eğrileri, *Teknik Dergi*, 21 (104), 5161-5184.

- 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.
- Küçükkayalar, S. ve Aydınay, B., 2000, Prefabrike beton çerçeveli sistemlerin deprem esnasındaki davranışının irdelenmesi ve alınması gereken önlemler. 10. Prefabrikasyon Sempozyumu Bildirileri, Deprem ve Prefabrikasyon. İstanbul: 109-115.
- Larousse, B., 1992, İstanbul: Milliyet Yayınları, Cilt.
- 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.
- Martin, L. D. ve Korkosz, W. J., 1982, Connections for precast prestressed concrete buildings, *Technical Report No:2, Prestressed Concrete Institute, Chicago*.
- 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.
- Özden, Ş., Atalay, H. M., Akpınar, E., Doyranlı, Ö. ve İmren, Ö., 2012, Betonarme prefabrik yapıların 23 Ekim 2011 Van depreminde gözlenen performansı, *Beton Prefabrikasyon Dergisi*, 103, 11-19.
- Öztürk, M., 2010, Deprem dayanımı yetersiz betonarme çerçevelerin bağ kirişli dış perde duvar uygulaması ile güçlendirilmesi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- 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.
- Song, L., Guo, T. ve Cao, Z., 2015, Eperimental study of a self-centering prestressed concrete frame subassembly, *Engineering Structures*, 88 (2015), 176-188.
- TBDY-2018, 2018, Türkiye bina deprem yönetmeliği. Ankara, Afet ve Acil Durum Başkanlığı.
- Toprak, Z., 2002, Prefabrike sanayi yapılarının deprem etkisine göre değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- TPB, 2003, 2003 yılı prefabrikasyon sektör raporu, 1-93, Ankara.

- Tran, H. V., 2015, Drilled shaft socket connections for precast columns in seismic regionsi Doktora Tezi, *University of Washington, Civil and Environmental Engineering* Washington.
- TS-500, 2000, Betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları. Ankara, Türk Standartları Enstitüsü.
- TS-708, 2010, Beton çelik çubukları, Türk Standartları Enstitüsü.
- TS-802, 2016, Beton karışım tasarımı hesap esasları, Türk Standartları Enstitüsü.
- TS-3114-ISO-4012, 2003, Beton-Deney numunelerinin basınç dayanımı tayini, Türk Standartları Enstitüsü.
- TS-3233, 1979, Öngerilmeli beton yapıların hesap ve yapım kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- 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, Türk Standartları Enstitüsü.
- TS-EN12350-5, 2010, Beton-Taze beton deneyleri-Bölüm 5: Yayılma tablası deneyi, Türk Standartları Enstitüsü.
- TS-EN12390-1, 2013, Beton-Sertleşmiş beton deneyleri-Bölüm 1: Deney numunesi ve kalıplarının şekil, boyut ve diğer özellikleri, Türk Standartları Enstitüsü.
- TS-EN12390-2, 2010, Beton-Sertleşmiş beton deneyleri-Bölüm 2:Dayanım deneylerinde kullanılacak deney numunelerinin hazırlanması ve küre tabi tutulması, Türk Standartları Enstitüsü.
- Tümer, Ç., 2006, Prefabrike yapılarda kenetli birleşimlerin tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Türkmen, M., Demir, F., Çırak, İ. F. ve Tekeli, H., Kolon-kiriş birleşimleri mafsallı prefabrike yapılarda deprem etkilerinden oluşan sorunlar ve öneriler.
- 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.
- Wang, Z., Li, T., Qu, H., Wei, H. ve Li, Y., 2019, Seismic Performance of Precast Bridge Columns with Socket and Pocket Connections Based on Quasi-Static Cyclic Tests: Experimental and Numerical Study, *Journal of Bridge Engineering*, 24 (11), 04019105.

- Wang, Z., Wu, C., Li, T., Xiao, W., Wei, H. ve Qu, H., 2020, Experimental Study on the Seismic Performance of Improved Grouted Corrugated Duct Connection (GCDC) Design for Precast Concrete Bridge Column, *Journal of Earthquake Engineering*, 1-22.
- Xiao, J., Huang, X. ve Shen, L., 2012, Seismic behavior of semi-precast column with recycled aggregate concrete, *Construction and Building Materials*, 35, 988-1001.
- Xie, Q., Zhao, X., Yao, X., Hao, W. ve Hu, F., 2020, Seismic behaviors of precast assembled bridge columns connected with prestressed threaded steel bar: Experimental test and hysteretic model, *Advances in Structural Engineering*, 1369433220903988.
- Yılmaz, S., Kuyucular, A., Şenel, Ş. M. ve İnel, M., 2006, Betonarme prefabrik yapıların deprem dayanımı: Makas kirişinin devrilmesi, *Teknik Dergi*, 18 (87), 4157-4160.
- Yüksel, E., 2016, Depreme dayanıklı betonarme önüretimli yapılarda tasarım, <http://imoistanbul.org/imoarsiv/seminer-notlari-ekim-2016/ercan-yuksel/sunum.pdf>. [22 Eylül 2020].
- Yüksel, İ. ve Polat, Z., 2002, Betonarme çerçeve sistemlerinde sistem akma parametrelerinin tespiti, *Uluslararası Yapı ve Deprem Mühendisliği Sempozyumu*.
- Yüzügüllü, Ö., 1993, Yapılarda birleşimlerin deprem performansının geliştirilmesi konusunda yapılan çalışmalar. 7. Prefabrikasyon Sempozyumu Bildirileri. İstanbul.
- Yüzügüllü, Ö., 1995, Depreme Dayanıklı Prefabrike Yapı Tasarımında Son Gelişmeler, *Beton Prefabrikasyon Dergisi* (34), 5-10.
- 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, Z.-Y., Ding, R., Nie, X. ve Fan, J.-S., 2020b, Seismic performance of a novel interior precast concrete beam-column joint using ultra-high performance concrete, *Engineering Structures*, 222, 111145.
- Zorbozan, M., Barka, G. ve Sarıfakıoğlu, F., 1998, Ceyhan depreminde prefabrik yapılarda görülen hasarlar, nedenleri ve çözüm önerileri *Beton Prefabrikasyon Dergisi*, 48, 20-24.

