## <u>İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ</u>

## PREFABRİK BETONARME YAPI SİSTEMLERİNDE KULLANILAN MOMENT AKTARAN BİR BİRLEŞİMİN DENEYSEL VE KURAMSAL İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ahmet BAL

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Deprem Mühendisliği Programı

OCAK 2012

## <u>İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ</u>

### PREFABRİK BETONARME YAPI SİSTEMLERİNDE KULLANILAN MOMENT AKTARAN BİR BİRLEŞİMİN DENEYSEL VE KURAMSAL İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ahmet BAL (501091211)

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Deprem Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ercan YÜKSEL

OCAK 2012

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501091211 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Ahmet BAL, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "PREFABRİK BETONARME YAPI SİSTEMLERİNDE KULLANILAN MOMENT AKTARAN BİR BİRLEŞİMİN DENEYSEL VE KURAMSAL İNCELENMESİ" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı :	Doç. Dr. Ercan YÜKSEL	
	İstanbul Teknik Üniversitesi	

Jüri Üyeleri :	Prof. Dr. Engin ORAKDÖĞEN	
	İstanbul Teknik Üniversitesi	

.....

**Doç. Dr. Yasin FAHJAN** Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü

Teslim Tarihi :19 Aralık 2011Savunma Tarihi :30 Ocak 2012

iv

Anneme,

vi

## ÖNSÖZ

Yüksek lisans tezi olarak sunulan bu çalışmada, AB 7.Çerçeve Programı kapsamındaki SAFECAST projesi içerisinde gerçekleştirilen endüstri tipi betonarme prefabrik yapı sistemlerinde kullanılan bir moment aktaran bir birleşim deneysel ve analitik bakımdan incelenmiştir. Bu kapsamda 5 adet deney gerçekleştirilmiş; ardından birleşimin iyileştirilmesi ve iyileştirilmiş numunelerin performansını belirlemek için 2 deney daha gerçekleştirilmiştir.Gerçekleştirilen deneylerin analitik değerlendirilmesi yapılmıştır.

Tez çalışmamın her aşamasında bilgi ve tecrübeleriyle bana yol gösteren, değerli danışman hocam Doç. Dr. Ercan YÜKSEL'e, çalışma boyunca yardımlarını benden esirgemeyen Prof. Dr. H. Faruk KARADOĞAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Yük. İnş. Müh. Aytaç ŞAHİN, ve çalışmalarım boyunca desteğini benden esirgemeyen, birikimi ile beni yönlendiren Mimar A.Şafak TUNA ile başta teknisyen Ahmet ŞAHİN olmak üzere Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarı çalışanlarına yardımlarından ötürü teşekkürü bir borç bilirim.

Maddi ve manevi desteğini benden esirgemeyen bu günlere gelmemi sağlayan aileme saygı ve sevgilerimi sunar, teşekkür ederim.

Ocak 2012

Ahmet BAL (İnşaat Mühendisi)

viii

# İÇİNDEKİLER

## <u>Sayfa</u>

ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ	xiii
ŞEKİL LİSTESİ	XV
ÖZET	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1 Prefabrike Yapı Sistemleri ve Moment Aktaran Birleşimler	1
1.2 Önceki Çalışmalar	2
1.3 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	4
2. ENDÜSTRİ TİPİ PREFABRİK YAPI SİSTEMLERİNDE KULLANII	LAN
MOMET AKTARAN KOLON-KİRİŞ BİRLEŞİMİ İÇİN	
GERÇEKLEŞTİRİLEN BEŞ DENEY	5
2.1 Deney Numunelerinin Hazırlığı	5
2.1.1 Deney numuneleri	5
2.1.2 Deney numunelerinin üretimi	10
2.1.3 Malzeme deneyleri	12
2.1.3.1 Beton deneyleri	13
2.1.3.2 Çelik deneyleri	13
2.1.4 Deney düzeneği	14
2.1.4.1 Ölçüm düzeneği	16
2.1.4.2 Ölçümlerin değerlendirilmesi	
2.2 Deneysel Çalışma	21
2.2.1 Monotonik yükleme	
2.2.1.1 Endüstri tipi numunede monotonik yükleme pozitif moment (I	ГМРМ)
2.2.1.2 Endüstri tipi numunede monotonik yükleme negatif moment se	xt 1
(ITMNM-1)	
2.2.1.3 Endüstri tipi numunede monotonik yükleme negatif moment se	et 2
(ITMNM-2)	
2.2.2 Çevrimsel yükleme	
2.2.2.1 Endüstri tipi numunede çevrimsel yükleme-1 (ITC-1)	
2.2.2.2 Endüstri tipi numunede çevrimsel yükleme-2 (ITC-2)	
2.2.3 Deney sonuçlarının karşılaştırılması	
<b>3. ENDUSTRI TIPI PREFABRIK YAPI SISTEMLERINDE KULLANII</b>	JAN Mi
IYILEŞTIRILMIŞ MOMENT AKTARAN KOLON-KIRIŞ BIRLEŞI	MI
IÇIN GEKÇEKLEŞI IKILEN IKI DENEY	
3.1 Deney Numunelerinin Hazirligi	
3.1.1 Deney numuneleri	
3.1.2 Deney numunelerinin üretimi	

3.1.3 Malzeme deneyleri	80
3.1.3.1 Beton deneyleri	80
3.1.3.2 Çelik deneyleri	80
3.1.4 Deney düzeneği	81
3.1.4.1 Ölçüm düzeneği	82
3.1.4.2 Ölçümlerin değerlendirilmesi	87
3.2 Deneysel Çalışma	87
3.2.1 Çevrimsel Yükleme	87
3.2.1.1 İyilrştirilmiş Endüstri tipi numunede çevrimsel yükleme-1	
(R-ITC-1)	87
3.2.1.2 İyileştirilmiş Endüstri tipi numunede çevrimsel yükleme-2	
(R-ITC-2)	97
3.2.2 Deney sonuçlarının karşılaştırılması	105
4. MOMENT AKTARAN KOLON-KİRİS BİRLESİMİ İCİN	
4. MOMENT AKTARAN KOLON-KİRİŞ BİRLEŞİMİ İÇİN GERÇEKLEŞTİRİLEN DENEYSEL ÇALIŞMALARIN İYİLEŞTİRİ NUMUNELERLE GERÇEKLEŞTİRİLEN DENEYSEL ÇALIŞMALA	LMİŞ AR
4. MOMENT AKTARAN KOLON-KİRİŞ BİRLEŞİMİ İÇİN GERÇEKLEŞTİRİLEN DENEYSEL ÇALIŞMALARIN İYİLEŞTİRİ NUMUNELERLE GERÇEKLEŞTİRİLEN DENEYSEL ÇALIŞMAL İLE KARŞILAŞTIRILMASI	LMİŞ AR 115
4. MOMENT AKTARAN KOLON-KİRİŞ BİRLEŞİMİ İÇİN GERÇEKLEŞTİRİLEN DENEYSEL ÇALIŞMALARIN İYİLEŞTİRİ NUMUNELERLE GERÇEKLEŞTİRİLEN DENEYSEL ÇALIŞMALA İLE KARŞILAŞTIRILMASI 4.1 Endüstri Tipi Moment Aktaran Kolon-Kiriş Birleşimine Ait Deney	LMİŞ AR 115
<ul> <li>4. MOMENT AKTARAN KOLON-KİRİŞ BİRLEŞİMİ İÇİN GERÇEKLEŞTİRİLEN DENEYSEL ÇALIŞMALARIN İYİLEŞTİRİ NUMUNELERLE GERÇEKLEŞTİRİLEN DENEYSEL ÇALIŞMALA İLE KARŞILAŞTIRILMASI</li> <li>4.1 Endüstri Tipi Moment Aktaran Kolon-Kiriş Birleşimine Ait Deney Sonuçlarının Karşılaştırılabilirliği</li> </ul>	LMİŞ AR 115 115
<ul> <li>4. MOMENT AKTARAN KOLON-KİRİŞ BİRLEŞİMİ İÇİN GERÇEKLEŞTİRİLEN DENEYSEL ÇALIŞMALARIN İYİLEŞTİRİ NUMUNELERLE GERÇEKLEŞTİRİLEN DENEYSEL ÇALIŞMALA İLE KARŞILAŞTIRILMASI</li> <li>4.1 Endüstri Tipi Moment Aktaran Kolon-Kiriş Birleşimine Ait Deney Sonuçlarının Karşılaştırılabilirliği</li> <li>4.2 Deneylerin Enerji Yutma Kapasiteleri Açısından Değerlendirilmesi</li> </ul>	LMİŞ AR 115 115 115
<ul> <li>4. MOMENT AKTARAN KOLON-KİRİŞ BİRLEŞİMİ İÇİN GERÇEKLEŞTİRİLEN DENEYSEL ÇALIŞMALARIN İYİLEŞTİRİ NUMUNELERLE GERÇEKLEŞTİRİLEN DENEYSEL ÇALIŞMALA İLE KARŞILAŞTIRILMASI</li> <li>4.1 Endüstri Tipi Moment Aktaran Kolon-Kiriş Birleşimine Ait Deney Sonuçlarının Karşılaştırılabilirliği</li> <li>4.2 Deneylerin Enerji Yutma Kapasiteleri Açısından Değerlendirilmesi</li> <li>4.3 Deneylerin Yük Yerdeğiştirme Kapasiteleri Açısından Değerlendirilmesi</li> </ul>	LMİŞ AR 115 115 115 esi 116
<ul> <li>4. MOMENT AKTARAN KOLON-KİRİŞ BİRLEŞİMİ İÇİN GERÇEKLEŞTİRİLEN DENEYSEL ÇALIŞMALARIN İYİLEŞTİRİ NUMUNELERLE GERÇEKLEŞTİRİLEN DENEYSEL ÇALIŞMALA İLE KARŞILAŞTIRILMASI</li></ul>	LMİŞ AR 115 115 115 esi 116 117
<ul> <li>4. MOMENT AKTARAN KOLON-KİRİŞ BİRLEŞİMİ İÇİN GERÇEKLEŞTİRİLEN DENEYSEL ÇALIŞMALARIN İYİLEŞTİRİ NUMUNELERLE GERÇEKLEŞTİRİLEN DENEYSEL ÇALIŞMALA İLE KARŞILAŞTIRILMASI</li> <li>4.1 Endüstri Tipi Moment Aktaran Kolon-Kiriş Birleşimine Ait Deney Sonuçlarının Karşılaştırılabilirliği</li> <li>4.2 Deneylerin Enerji Yutma Kapasiteleri Açısından Değerlendirilmesi</li> <li>4.3 Deneylerin Yük Yerdeğiştirme Kapasiteleri Açısından Değerlendirilmesi</li> <li>4.4 Deneylerin Birleşim Bölgesinin Hasarı Açısından Değerlendirilmesi</li> </ul>	LMİŞ AR 115 115 esi 116 117
<ul> <li>4. MOMENT AKTARAN KOLON-KİRİŞ BİRLEŞİMİ İÇİN GERÇEKLEŞTİRİLEN DENEYSEL ÇALIŞMALARIN İYİLEŞTİRİ NUMUNELERLE GERÇEKLEŞTİRİLEN DENEYSEL ÇALIŞMALA İLE KARŞILAŞTIRILMASI</li></ul>	LMİŞ AR 115 115 esi 116 117 121
<ul> <li>4. MOMENT AKTARAN KOLON-KİRİŞ BİRLEŞİMİ İÇİN GERÇEKLEŞTİRİLEN DENEYSEL ÇALIŞMALARIN İYİLEŞTİRİ NUMUNELERLE GERÇEKLEŞTİRİLEN DENEYSEL ÇALIŞMALA İLE KARŞILAŞTIRILMASI</li></ul>	LMİŞ AR 115 115 esi 116 117 121
<ul> <li>4. MOMENT AKTARAN KOLON-KİRİŞ BİRLEŞİMİ İÇİN GERÇEKLEŞTİRİLEN DENEYSEL ÇALIŞMALARIN İYİLEŞTİRİ NUMUNELERLE GERÇEKLEŞTİRİLEN DENEYSEL ÇALIŞMALA İLE KARŞILAŞTIRILMASI</li></ul>	LMİŞ AR 115 115 esi 116 117 121
<ul> <li>4. MOMENT AKTARAN KOLON-KİRİŞ BİRLEŞİMİ İÇİN GERÇEKLEŞTİRİLEN DENEYSEL ÇALIŞMALARIN İYİLEŞTİRİ NUMUNELERLE GERÇEKLEŞTİRİLEN DENEYSEL ÇALIŞMALA İLE KARŞILAŞTIRILMASI</li></ul>	LMİŞ AR 115 115 esi 116 117 121 121 127
<ul> <li>4. MOMENT AKTARAN KOLON-KİRİŞ BİRLEŞİMİ İÇİN GERÇEKLEŞTİRİLEN DENEYSEL ÇALIŞMALARIN İYİLEŞTİRİ NUMUNELERLE GERÇEKLEŞTİRİLEN DENEYSEL ÇALIŞMALA İLE KARŞILAŞTIRILMASI</li></ul>	LMİŞ AR 115 115 esi 116 117 121 121 127 129

### KISALTMALAR

- ITMNM-1: Industrial Type Monotonic Negative Moment Set 1ITMNM-2: Industrial Type Monotonic Negative Moment Set 2ITMPM: Industrial Type Monotonic Positive MomentITC-1: Industrial Type Cyclic-1ITC-2: Industrial Type Cyclic-2R-ITC-1: Revision Industrial Type Cyclic-1
- **R-ITC-2** : Revision Industrial Type Cyclic-2

xii

# ÇİZELGE LİSTESİ

## <u>Sayfa</u>

<b>Cizelge 2.1</b> : Beton basing denevi sonuclari	13
Cizolgo ? ? · Calik cakma danavi sonuclari	13
Çizelge 2.2 . Çelik çekile deleyi sonuçları	15
<b>Çizelge 2.3 :</b> Yerdeğiştirme ölçer tıpı, kanal numarası ve eleman kodu	19
Çizelge 2.4 : Numune 2'ye ait deney sonrası elde edilen kritik değerler	22
Çizelge 2.5 : Numune 3'ye ait deney sonrası elde edilen kritik değerler	29
Çizelge 2.6 : Numune 5'e ait deney sonrası elde edilen kritik değerler	38
Çizelge 2.7 : Numune 4'a ait tersinir-tekrarlı çevrimler durumu	46
Çizelge 2.8 : Numune 6'a ait tersinir-tekrarlı çevrimler durumu	54
Çizelge 2.9 : Numune 4 ve Numune 6'a ait deney sırasında elde edilen çevrimler	rin
enerji ve davranış açısından değerlendirilmesi	63
Çizelge 3.1 : Beton basınç deneyi sonuçları	80
Çizelge 3.2 : Çelik çekme deneyi sonuçları	81
Çizelge 3.3 : Yerdeğiştirme ölçer tipi, kanal numarası ve eleman kodu	86
Çizelge 3.4 : Rev Numune 1'e ait tersinir-tekrarlı çevrimler durumu	89
<b>Cizelge 3.5 :</b> Rev Numune 2'ye ait tersinir-tekrarlı çevrimler durumu	98
Çizelge 3.6 : Rev Numune 1 ve Rev Numune 2'ye ait deney sırasında elde ediler	n
çevrimlerin enerji ve davranış açısından değerlendirilmesi	. 107

xiv

## ŞEKİL LİSTESİ

## <u>Sayfa</u>

Q . I9 1	1.		4
Şekii I.	1:	Salecast projesi konut upi kolon-kiriş birleşim bolgesi	4
Şekii 2.	1:	Deney numunesi genei gorunuşu	ว
Şekil 2.	2:	Deney numunesi ust gorunuşu	6
Şekil 2.	3:	Genel birleşim detayı a-a kesidi	/
Şekil 2.	4:	Genel birleşim detayi b-b kesidi	/
Şekil 2.	5:	Deney numunesi c-c kesidi donati yerleşimi	8
Şekil 2.	6: 7	Deney numunesi b-b kesidi donati yerleşimi	9
Şekil 2.	7:	Deney numunesi a-a kesidi donati yerleşimi	9
Şekil 2.	8:	Deney numunesi d-d kesidi donati yerleşimi	10
Şekil 2.	9:	Kolon donatisi ve kaliptan çıkarılması	10
Şekil 2.	10:	Uretilen taşıyıcı kırış ve boşluklu döşeme	11
Şekil 2.	11:	Dıkılen kolona taşıyıcı kırışın oturtulması	11
Şekil 2.	12:	Taşıyıcı ve talı kırışın guseye kaynaklanması	11
Şekil 2.	13:	Hasır çeliğin boşluklu döşeme üzerine yerleştirilmesi	12
Şekil 2.	14:	Birleşimde kullanılan ankraj donatıları	12
Şekil 2.	15 :	Deney düzeneği	15
Şekil 2.	16 :	Deney düzeneğinin laboratuvardaki görünüşü	15
Şekil 2.	17:	Hidrolik kriko ile kolona eksenel yük verilmesi işlemi	16
Şekil 2.	18:	Olçüm düzeneğinin genel görünüşü	16
Şekil 2.	19 :	Olçüm düzeneğinin farklı görünüşleri	17
Şekil 2.	20:	Olçüm aletlerinin ön cephede yerleşimi ve kanal numaraları	17
Şekil 2.	21:	Olçüm aletlerinin arka cephede yerleşimi ve kanal numaraları	18
Şekil 2.	22 :	Sağ cephe yerdeğiştirme ölçerler, kanal numaraları ve mesafe kodları.	18
Şekil 2.	23 :	Ön ve arka yerdeğiştirme ölçerler, kanal numaraları ve mesafe kodları	18
Şekil 2.	24:	Taşıyıcı kiriş birleşim bölgesi yerdeğiştirme ölçer konumu	20
Şekil 2.	25 :	Kuvvet-yerdeğiştirme diyagramı ve deneyde gözlenen önemli olaylar.	22
Şekil 2.	26 :	Deney sırasında oluşan çatlaklar	23
Şekil 2.	27:	Deneye sırasında donatı ve kaynaklarıın kopması	23
Şekil 2.	28:	Numune düzlemine dik ve düzlem içi yerdeğiştirmeler	24
Şekil 2.	29 :	Taşıyıcı kiriş alt ucunda kaydedilen dönmeler	24
Şekil 2.	30:	Taşıyıcı kiriş alt ucunda kaydedilen dönmeler	25
Şekil 2.	31 :	Taşıyıcı kiriş alt ucunda kaydedilen dönmeler	25
Şekil 2.	32 :	Taşıyıcı kiriş alt ucunda kaydedilen dönmeler	25
Şekil 2.	33 :	Göreli ötelenme oranına göre gusedeki açılma	26
Şekil 2.	34 :	Göreli ötelenme oranına göre gusedeki açılma	26
Şekil 2.	35 :	Göreli ötelenme oranına göre kiriş ve döşeme arasındaki açılma	27
Şekil 2.	36 :	Göreli ötelenme oranına göre kiriş ve döşeme arasındaki açılma	27
Şekil 2.	37:	Kolon yerdeğiştirmesi-yatay kuvveti	28
Şekil 2.	38 :	Kuvvet-yerdeğiştirme diyagramı	28
Şekil 2.	39:	Numunede oluşan çatlak durumu	29

Şekil 2.40 : Deney sırasında numunede oluşan kesme ve eğilme çatlakları	
Şekil 2.41 : Deney sırasında oluşan hasar dağılımı	
Şekil 2.42 : Deney sırasında oluşan hasar dağılımı	
Şekil 2.43 : Numune düzlemine dik ve düzlem içi yerdeğiştirmeler	
Şekil 2.44: Taşıyıcı kiriş alt ucunda kaydedilen dönmeler	
Şekil 2.45 : Taşıyıcı kiriş alt ucunda kaydedilen dönmeler	
Şekil 2.46 : Taşıyıcı kiriş alt ucunda kaydedilen dönmeler	
Şekil 2.47 : Taşıyıcı kiriş alt ucunda kaydedilen dönmeler	
Şekil 2.48 : Göreli ötelenme oranına göre gusedeki açılma	
Şekil 2.49 : Göreli ötelenme oranına göre gusedeki açılma	
Şekil 2.50 : Göreli ötelenme oranına göre kiriş ve döşeme arasındaki açılma .	
Şekil 2.51: Göreli ötelenme oranına göre kiriş ve döşeme arasındaki açılma	
Şekil 2.52 : Kolon yerdeğiştirmesi-yatay kuvveti	
Şekil 2.53 : Kuvvet- yerdeğiştirme diyagramı	
Şekil 2.54 : Deney sırasında oluşan hasar dağılımı	
Şekil 2.55 : Numunede etriye kopması	
Şekil 2.56 : Deney sırasında kopan boyuna donatı	
Şekil 2.57 : Numune düzlemine dik ve düzlem içi yerdeğiştirmeler	
Şekil 2.58 : Taşıyıcı kiriş alt ucunda kaydedilen dönmeler	
Şekil 2.59 : Taşıyıcı kiriş alt ucunda kaydedilen dönmeler	
Şekil 2.60 : Taşıyıcı kiriş alt ucunda kaydedilen dönmeler	
Şekil 2.61 : Taşıyıcı kiriş alt ucunda kaydedilen dönmeler	
Şekil 2.62 : Göreli ötelenme oranına göre gusedeki açılma	
Şekil 2.63 : Göreli ötelenme oranına göre gusedeki açılma	
Şekil 2.64 : Göreli ötelenme oranına göre kırış ve döşeme arasındakı açılma .	
<b>Şekil 2.65 :</b> Göreli ötelenme oranına göre kırış ve döşeme arasındakı açılma .	
Şekil 2.66 : Kolon yerdeğiştirmesi-yatay kuvveti	
Şekil 2.67 : Kuvvet- yerdeğiştirme diyagramı	
<b>Şekil 2.68 :</b> Leevrim grubu sonucu numude oluşan hasar durumu	
Şekil 2.69 : 3.çevrim grubu sonucu numude oluşan hasar durumu	
<b>Sekil 2.70 :</b> Deney sonunda numunede oluşan hasar durumu	
<b>Sekil 2.71 :</b> Kirişte kaydedilen donmeler(ust), moment egrilik (alt)	
Sekil 2.72 : Kirişte kaydedilen dönmeler(ust), moment egrilik (alt)	
Sekil 2.73 : Kirişte kaydedilen dönmeler(ust), moment egrilik (alt)	
Sekil 2.74 : Kirişte kaydedilen donmeler(ust), moment egrilik (alt)	
Sekil 2.75 : Yerdeğiştirme tonksiyonunun adım sayısı ile ilişkisi	
Sekil 2.70 : Kuvvet- yerdeğiştirme diyağramı	
Sekil 2.77: 1. ve 2. Çevinin sonucu numunede oluşan hasal durumur	
Sekil 2.78 : Numunede oluşan haşar durumu	
Sekil 2.79: Nulliuliede oluşalı hasal durullu	
Sokil 2.80 : Kirişte kaydedilen dönmeler(üst), moment eğrilik (alt)	<i>31</i> 58
Sokil 2.82 · Kiriste kaydedilen dönmeler(üst), moment eğrilik (alt)	50
Sakil 2.82 · Kiriste kaydedilen dönmeler(üst), moment eğrilik (alt)	60
Sekil 2.84 · Numune 4 ve numune 6've ait kuvvet verdeğiştirme divagramı	
Sekil 2.85 · Numune 4 ve numune 6'va ait viðisimli enerii divagrami	01 67
Sekil 2.86 : Numune 4 arka (back) vüzde olusan catlaklar	02 67
Sekil 2.87 : Numune 6 arka (back) vüzde oluşan çatlaklar	
Sekil 2.88 : Numune 4 ön (front) vüzde oluşan çatlaklar	68
Sekil 2.89 • Numune 6 ön (front) vüzde oluşan çatlaklar	
yein =102 + 1 tuniune 0 on (nont) juzue orușun șutluktur	

Şekil 2.90 : Sol (left) yüzde oluşan çatlaklar	69
Şekil 2.91 : Sağ (right) yüzde oluşan çatlaklar	70
Şekil 3.1 : Revize edilen plaka detayı	72
Şekil 3.2 : Kolon üst görünüşü	73
Şekil 3.3 : Kolon yan görünüşü	74
Şekil 3.4 : Kolon a-a kesidi ve donatı yerleşimi	74
Şekil 3.5 : Kolon üst plaka ve kaynak detayı	75
Şekil 3.6 : Kolon gusesi plaka ve kaynak detayı	75
Şekil 3.7 : Numune a-a kesidi	76
Şekil 3.8 : Numune b-b kesidi	76
Şekil 3.9 : Numune c-c kesidi	77
Şekil 3.10 : Numune d-d kesidi ve donatı yerleşimi	77
Şekil 3.11 : Kiriş alt plaka ankrajı ve kolon donatısı	78
<b>Şekil 3.12 :</b> Kiriş alt plakasının etriye ve boyuna donatı ile birleşimi	78
Şekil 3.13 : Kiriş donatısı ve beton dökümü	78
<b>Şekil 3.14 :</b> Taşıyıcı ve tali kırışlerin kolana birleştirilmesi	79
Şekil 3.15 : Boşluklu döşeme ve üst ıslak birleşim	79
Şekil 3.16 : Topping betonunun dökülmesi ve üst islak birleşim	79
Şekil 3.17: Deney düzeneği	82
<b>Şekil 3.18 :</b> Deney düzeneğinin laboratuvardaki görünüşü	82
<b>Şekil 3.19 :</b> Olçum duzeneginin genel gorunuşu	83
<b>Şekil 3.20 :</b> Olçum aletlerinin on cepnede yerleşimi ve kanal numaraları	83
Şekil 3.21 : Olçum aletlerinin arka cephede yerleşimi ve kanal numaraları	84
Sekii 3.22 : Olçum aletlerinin sag cepnede yerleşimi ve kanal numaraları	84 folor
şekii 5.25 : Olçum aletterinin on cepnede yerleşinin, kanal numaraları ve mesa	10101 05
Sakil 3 24 · Ölgüm alatlarinin arka ganhada yarlaşimi kanal numaraları ya maş	0 <i>J</i> afalar
şekii 3.24. Olçum alcuerinin arka cepilede yerleşinin, kanar numarararı ve mes	85
Sekil 3 25 · Verdeğiştirme fonksiyonunun adım sayısı ile ilişkişi	83 88
Sekil 3.26 • Kuvvet verdeğiştirme divagramı	88
<b>Sekil 3.27:</b> Döseme ve kiriste ilk cevrimde olusan hasar durumu	89
Sekil 3.28 :Döseme ve kiriste 2 cevrimde oluşan hasar durumu	90
Sekil 3.29: Numunede 4. ve 5. cevrimde oluşan haşar durumu	
<b>Sekil 3.30 :</b> Birlesim bölgesinde %2 drift sevivesinde oluşan haşar ve burkulan	
donatılar	91
<b>Şekil 3.31 :</b> 7.Çekme çevriminde kopan boyuna doantılar ve ayrışan halatlar	92
Şekil 3.32 : Kirişte kaydedilen dönmeler(üst), moment eğrilik (alt)	93
Şekil 3.33 : Kirişte kaydedilen dönmeler(üst), moment eğrilik (alt)	94
Şekil 3.34 : Kirişte kaydedilen dönmeler(üst), moment eğrilik (alt)	95
Şekil 3.35 : Kirişte kaydedilen dönmeler(üst), moment eğrilik (alt)	96
Şekil 3.36 : Yerdeğiştirme fonksiyonunun adım sayısı ile ilişkisi	97
Şekil 3.37: Kuvvet yerdeğiştirme diyagramı	97
Şekil 3.38 : Kolon döşeme arayüzünde ve kirişte ilk çevrimde oluşan hasarlar	99
Şekil 3.39 : Döşeme ve kirişte 2.çevrimde oluşan hasarlar	99
Şekil 3.40 :Numunede 3 ve 4. İtme çevrimlerinde oluşan hasarlar	100
Şekil 3.41 : Birleşim bölgesinde %1.50 drift seviyesinde oluşan hasar ve %2 dr	iftte
burkulan donatılar	100
Şekil 3.42 : Kirişte kaydedilen dönmeler(üst), moment eğrilik (alt)	101
	101
Şekil 3.43 : Kirişte kaydedilen dönmeler(üst), moment eğrilik (alt)	101

Şekil 3.45 :	Kirişte kaydedilen dönmeler(üst), moment eğrilik (alt)104
Şekil 3.46 :	Rev numune 1 ve rev numune 2'ye ait kuvvet yerdeğiştirme diyagramı
-	
Şekil 3.47:	Rev numune 1 ve rev numune 2'ye ait yığışımlı enerji yutma diyagramı
2	
Şekil 3.48 :	Sol (left) yüzde oluşan çatlaklar
Şekil 3.49 :	Rev numune 1 arka (back) yüzde oluşan çatlaklar
Şekil 3.50 :	Rev numune 2 arka (back) yüzde oluşan çatlaklar
Şekil 3.51 :	Rev numune 1 ön (front) yüzde oluşan çatlaklar
Şekil 3.52 :	Rev numune 2 ön (front) yüzde oluşan çatlaklar
Şekil 3.53 :	Sağ (right) yüzde oluşan çatlaklar 114
Şekil 4.1 :	Deneylere ait enerji yutma kapasiteleri
Şekil 4.2 :	Çevrimsel deneylere ait yük deplasman diyagramları116
Şekil 4.3 :	Numune6 ve rev numune2'ye ait yük deplasman diyagramıları117
Şekil 4.4 :	Numune 6'da %2 drift seviyesinde birleşim bölgesinde oluşan hasar.118
Şekil 4.5 :	Rev numune 1'de %2 drift seviyesinde birleşim bölgesinde oluşan hasar
	durumu
Şekil 5.1 :	Deney numunesinin genel görünümü ve numuneye ait matematik model
Şekil 5.2 :	Kolon kesidi ve keside ait moment eğrilik ilişkisi
Şekil 5.3 :	Kiriş kesidi ve keside ait moment eğrilik ilişkisi (TİP1-TİP2) 123
Şekil 5.4 :	Kiriş kesidi ve keside ait moment eğrilik ilişkisi (TİP7-TİP8) 123
Şekil 5.5 :	Kiriş kesidi ve keside ait moment eğrilik ilişkisi (TİP9-TİP10) 124
Şekil 5.6 :	Döşemenin basınç durumu için yatay yük yerdeğiştirme ilişkisi 125
Şekil 5.7 :	Döşemenin çekme durumu için yatay yük yerdeğiştirme ilişkisi125

### PREFABRİK BETONARME YAPI SİSTEMLERİNDE KULLANILAN MOMENT AKTARAN BİR BİRLEŞİMİN DENEYSEL VE KURAMSAL İNCELENMESİ

#### ÖZET

Yüksek lisans tezi olarak sunulan bu çalışmada betonarme endüstri tipi prefabrik yapı sistemlerinde kullanılan bir moment aktaran kolon - kiriş birleşim detayının deneysel ve kuramsal olarak incelenmesinden oluşmaktadır. Deneysel bölümde, mevcut endüstri tipi bir prefabrike yapı örneğinden alınmış birbirine özdeş 1/2 ölçekli üç deney numunesinin, İTÜ Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarında tek yönlü artan yani monotonik; iki deney numunesinin ise çift yönlü değişken yatay yükler etkisindeki deneyleri yapılmıştır. Deneysel sonuçlar numunelerin matematik modelleri oluşturularak kuramsal açıdan değerlendirilmiştir. Ardından mevcut birleşim detayında revizyonlar yapılarak birleşimin moment aktarma kapasitesinin ve deprem performansının iyileştirilmesi amacıyla birbirine özdeş 1/2 ölçekli iki deney numunesinin, laboratuvarda çift yönlü değişken yatay yükler etkisindeki deneyleri gerçekleştirilmiş ve oluşturulan matematik modelle edilen kuramsal çalışmalar karşılaştırılmıştır. Sonuç kısmında yapılan revizyonların numune davranışına etkisi analitik ve deneysel olarak karşılaştırılmıştır.

Çalışmanın birinci bölümünde, prefabrik betonarme yapı sistemleri ile moment aktaran birleşimler, moment aktaran kolon-kiriş birleşimlerine ait önceki çalışmalar, tez çalışmasının genel amacı ve kapsamı yer almaktadır. Kolon-kiriş birleşimlerinin prefabrik betonarme yapıların deprem performansına etkisi incelenmiştir. Betonarme prefabrike kolon-kiriş birleşimlerinin deprem performanslarının kuramsal ve deneysel incelendiği ve tez çalışmalarını da kapsayan(halen devam eden) SAFECAST Projesi'den bahsedilmiştir.

İkinci bölümde, numunenin üretim aşamaları, deney düzeneği ve deneysel çalışma anlatılmış, monotonik ve çevrimsel yükleme ile ilgili sonuçlar incelenmiştir.

Üçüncü bölümde, iyileştirilen numunenin üretim aşamaları, deney düzeneği ve deneysel çalışma anlatılmış, gerçekleştirilen çevrimsel yükleme ile ilgili sonuçlar değerlendirilmiştir.

Dördüncü bölümde, yapılan revizyonlarla birlikte iyileştirilen numunenin davranışının mevcut numune davranışı ile karşılaştırılması ve revizyonların birleşimin (moment aktaran kolon-kiriş birleşimi) davranışına etkisi incelenmiştir. Revizyonlu numuneler ve önceki numunelerde deney sırasında oluşan hasarların düzeyleri karşılaştırıldı. Tüm deney numunelerinin enerji yutma kapasiteleri histeritik çevrimlere ayırma yapılarak değerlendirildi.

Beşinci bölümde, deney numunelerine ait matematik model oluşturulmuştur. Bu model artan yatay yükler etkisinde kuramsal olarak incelenmiş ve elde edilen kuramsal sonuçlar, deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. İyileştirilen numunelere ait

deneysel çalışma gerçekleştirilen kuramsal çalışma ile karşılaştırılmış ve sonuçları irdelenmiştir.

Altıncı ve son bölümde; birleşim detayında gerçekleştirilen revizyonların numunenin performansına etkisi incelenmiştir. Ayrıca yapılan revizyonların moment aktaran kolon-kiriş birleşimine etkisi deneysel ve analitik olarak değerlendirilmiştir.

.

#### EXPERIMANTAL AND ANALYTICAL EVALUATION OF the MOMENT RESISTING BEAM-COLUMN CONNECTION USED in PRECAST REINFORCED CONCRETE STRUCTURAL SYSTEMS

#### SUMMARY

In this study, the earthquake behavior of a precast beam-column connection has been investigated in experimental and analytical manner. In the experimental part of the work, three 1/2 scale, identical beam-column specimens have been tested in the laboratory by using monotonic loading and two1/2 scale, identical beam-column specimens have been tested by using the cycling loading.

The cast-in-situ welded connection is applied at bottom face of the beams and additional re-bars and cast-in-situ concrete is introduced at the upper part of the beams. After that the specimen was revised and tested on cycling loading in the laboratory. In addition that structural model was constituted and the obtained analytical results are compared with the experimental results. In the final chapter, effects of the revisions which are applied on specimens are compared as experimental and analytically.

In the first chapter, detailed literature survey is being presented covering previous studies on the prefabricated beam-column connections; in addition to that the general purpose of thesis is explained. In this chapter; advantage of prefabrication and history of prefabrication in Turkey is mentioned. The moment resisting beam-column connections types are explained and the moment resisting beam-column connection types which are commonly used in Turkey are discussed. Several precast building showed the poor performance during the earthquake in Turkey because of the deficiencies in the precast connections.

The experimental and analytical studies showed that these buildings have not enough horizontal load carrying capacity because of the beam-column connections. So the moment resisting beam-column connections which are being used in Turkey should be tested under earthquake similar loads. There is a research project named SAFECAST in FP7 program. Istanbul Technical University is the partner of the project. The purpose of SAFECAST Project is the unified performance based perspective in which the problem of the characterization of the seismic behavior of connections will be dealt with. Such complex problem, in fact, needs to be dealt with in a unified performance based framework, since when dimensioning and designing the system for an optimum performance under earthquake loading, all the other basic performance requirements, i.e. durability, deformability limits, energy. In this context, experimental studies have been conducted in Structural and Earthquake Engineering Laboratory of ITU for the moment resisting beam-column connections which are being used in Turkey. This M.Sc. study consists of experimental and analytical studies for industrial type moment resisting beam-column connection in SAFECAST Project.

In the second chapter, production phases of specimens, experimental setup and the details of the experimental studies are given. The experimental studies cover three specimens tested for monotonic type loading (for negative moment and for positive moment on beam) and two specimens tested for cyclic type loading. The experimental study is conducted in the form of reversal cyclic beam top displacements for constant column axial force.

Loading protocol consists of push and pull steps and each displacement targets are repeated three times. Strength, stiffness, ductility, rotation at some critical sections was measured and evaluated for specimens subjected to monotonic and cycling loading. Results obtained with monotonic and cyclic loading are compared. Results of specimens that effect of cycling loading are evaluated in terms of yield and maximum strength, yield displacement, ultimate displacement (reduction of strength by 15% and total failure of the connection) and ductility. Also specimens subjected to cycling loading are evaluated energy capacities of the industrial type connection. For two specimens subjected to cycling loading, force-displacement hystereses are seperated to evaluate their shape through the whole test.

The beam flexural crack was observed first on the connection area. Steel plate that is positioned at the bottom face of the beam was started to separate. Both longitudinal and lateral reinforcement were ruptured in 2% drift ratio on *Specimen 4* (ITC-1) and *Specimen 6* (ITC-2). Connection area is not rigid for *Specimen 4* (ITC-1) and *Specimen 6* (ITC-2). The experiment did not reach 4% drift ratio because of the weak behavior of *Specimen 4* (ITC-1) and *Specimen 6* (ITC-1) and *Specimen 6* (ITC-2). A lot of shear cracks were observed on the specimen. Especially shear cracks were observed on the beam-column connection area.

The load carrying capacity of *Specimen* 6 (ITC-2) is higher than the load capacity of *Specimen* 4 (ITC-1) for the moment direction which is creating tension at the slab. But load capacity of *Specimen* 6 (ITC-2) is similar to load capacity of *Specimen* 4 (ITC-1) for the moment direction which is creating compression at the slab. The energy consumption capacity of *Specimen* 6 (ITC-2) is higher than energy capacity of *Specimen* 4 (ITC-1).

In the third chapter, production phases of the revised specimens, experimental setup and the details of the experimental studies are presented. Purpose of the revisions is explained in this chapter. The most important revisions made are related with the diameter of the lateral reinforcement, length of welding and horizontal steel plates which are welded to the main plate of beam. The detail should be improved so that the early damage observed in stirrup welding should be removed. The distance between lateral specimens should also be reduced in the connection zone. The code restriction for not welding the bottom longituional reinforcement on plate should be reviewed. Welding length could be increased. There are two identical revised specimen tested for the cyclic loading. The results obtained from the cyclic loading are compared. The experimental results obtained for the specimens subjected to cyclic loading are evaluated in terms of yield and maximum strength, yield displacement, ultimate displacement, plastic damages, ductility, energy capacities of the industrial type connection. Energy capacities of the specimens are evaluated by seperating the hysteretic cycles of force-displacement grafics.

The buckling was observed on the longitudinal bars in 2% drift ratio on the revised *Specimen 1* (R-ITC-1) and revised *Specimen 2* (R-ITC-2).

The longitudinal bars were broken in 3% drift ratio on *Specimen 1* (R-ITC-1) and *Specimen 2* (R-ITC-2). Connection area are rigid for *Specimen 1* (R-ITC-1) and *Specimen 2* (R-ITC-2).

In the revised specimens, flexural cracks were observed above the connection area on the beam. Flexural cracks were also observed on columns in 1.5% drift ratio. This phenomenon signs that there is rigid connection area on the beam-column connection till 1.5% drift ratio.

The load capacity of the revised *Specimen 1* (R-ITC-1) is similar to load capacity of the revised *Specimen 2* (R-ITC-2) for both the moment directions. The energy consumption capacity of the revised *Specimen 2* (R-ITC-2) is higher than the energy capacity of *Specimen 1* (R-ITC-1).

In the fourth chapter, behavior of the revised specimens and behavior of the existing specimens are compared. Effect of the revisions on the behavior of the moment resisting beam-column connection is evaluated. Levels of damages are compared for existing and revised specimens. Energy capacities of the moment resisting beam-column connection are evaluated for all specimens tested for the cyclic loading.

In the fifth chapter, the simple mathematical models of the specimens are presented and analyzed for the increasing lateral loads. The model is subjected to lateral load increments. The analytically obtained top displacement versus beam shear relation is compared with the corresponding experimental results.

Monotonic loading test results are used for this purpose. *Specimen 2* is used for the case of the moment direction which is creating compression at the slab and *Specimen 5* is used for the case of the moment direction which is creating tension at the slab. Although the results obtained for the moment direction which is creating tension at the slab are very close to each other in terms of ductility, this similarity does not exist for the opposite moment direction. The results obtained for the moment direction which is creating compression at the slab, are very close to each other in terms of loading capacity, this similarity does not exist for the opposite moment direction.

Initial stiffness and ultimate load capacities of both type of connections are good estimated in the performed nonlinear-static analysis. These are important parameters to be used in the design. So it can be concluded that the revised connection style in which welding of stirrups to the steel connector plate and welding of longitudinal bars of beam to the steel plate, are effective to create more rigid connections.

In the final chapter, the general results achieved in the experimental and analytical studies are presented. The effects of the revisions which are applied on the moment resisting beam-column connection are evaluated as experimental and analytically manner.

The concrete quality used in the wet connection zone is effective on the general performance of the beam-column connections. Precast slab elements are in a monolithic behavior till almost the end of the tests.

Revisions made on the specimens are increased the lateral load capacities and ductility for the two moment directions which are creating compression at the slab and tension at the slab. In one direction the lateral strength is almost lost; the load carrying capacity in the other direction still remains high for improved specimens. Energy consumption capacities increased in the improved specimens.

### 1. GİRİŞ

#### 1.1 Prefabrike Yapı Sistemleri ve Moment Aktaran Birleşimler

Önceden üretilmiş elemanlarla yapım anlamına gelen prefabrikasyon, genel olarak yapıyı oluşturan eleman ve bileşenlerin üretim tesislerinde seri ve özel olarak üretilerek yapım sahasında birleştirilmesi esasına dayanan bir yapım sekli olarak da tanımlanabilir. Prefabrikasyon; inşaat süresini kısaltması, yüksek dayanımlı beton ve özel teknikler (öngerilim, ardgerilim, özel kesit ve boşluklar vb.) kullanımına olanak sağlaması, iklim koşullarından etkilenmeme, fabrikasyon sebebiyle kalite kontrolünün sağlanması, ekonomik kesitler kullanılarak büyük açıklıkların geçilmesi gibi avantajlarına rağmen; üretim, nakliye ve montajda yaşanan sorunlar ile kullanım esnasında işlevsellik ve estetik ile ilgili bazı problemleri beraberinde getirmektedir. Prefabrike elemanlar kullanılarak çok çeşitli taşıyıcı sistemler kurmak mümkündür. Bu sistemler kullanılan prefabrike elemanların cinsine, birleştirme tarzına veya davranışına göre çeşitli sınıflara ayrılabilirse de prefabrike yapılar taşıyıcı sistemlerine göre panel sistemler ve çerçeveli sistemler olarak iki ana gruba ayrılmaktadır. Bu sistemlerin içerisinde en yaygın olarak kullanılan çerçeve sistemlerdir. Bunlarda ankastre kolonlara oturan sabit mafsallı kirişlerle kurulan sistemler, ve ankastre kolonlara oturan rijit bağlantılı kirişlerle kurulan sistemler olarak iki türdür. Türkiye'de prefabrikasyon 1960'lı yıllarda uygulanmaya başlanmıştır. Türkiye'de prefabrikasyon teknolojisi, kolay montaj, kısa sürede imalat gibi nedenlerden dolayı özellikle sanayi yapılarında tercih edilmektedir. Ancak yakın geçmişte yaşanan büyük depremlerde, prefabrik yapılarda ağır hasarların gözlenmesi, bu tür yapı sistemleri için yeni birleşim detaylarının geliştirilmesini gerekli kılmıştır. Yapıların deprem yükleri etkisindeki davranışını, birleşim detaylarının dayanım, stabilite ve yük dağıtabilirlik özellikleri etkilemektedir.

Deprem sonrası prefabrik yapıların hasar ve yıkım sebepleri araştırıldığında, yapıların büyük çoğunluğunun, yeterli yanal rijitliğe sahip olmaması, kesme kapasitesinin yetersiz olması, diyafram hareketinin yetersizliği, kalite-kontrol

1

yetersizliği ve bağlantı bölgelerinde hatalı detaylandırmalardan dolayı kötü performans gösterdiği görülmektedir. [1].

Prefabrik yapı sisteminin deprem güvenliğinin belirlenmesi için birleşim bölgelerinin deprem sırasında oluşacak tersinir-tekrarlı yükler altında, monolitik yapı davranışına benzer süneklik ve dayanıma sahip olduğunun deneysel ve kuramsal olarak gösterilmesi gerekmektedir. [2].

#### 1.2 Önceki Çalışmalar

Park; Yeni Zelenda'da prefabrik betonarme döşemeleri, moment aktaran çerçeveleri ve taşıyıcı pano sistemleri incelemiştir. Prefabrik betonarme elemanların birleşimlerine yönelik tasarım ve üretimi üzerine çalışmıştır.[3]

Jianguo, Jian, Zan, Yao, Yafei; öngerilmeli prekast kolon, prekast kiriş ve döşemeden oluşan Scope adı verilen prefabrik bir yapı sistemini incelenmiştir.[4]

Ersoy; moment aktarabilen bağlantılara sahip prefabrike çerçeveleri kuru bağlantılı ve ıslak bağlantılı birleşim olarak iki durumda ele almış ve bunları monolitik (yekpare) olarak hazırlanmış bir birleşimle karşılaştırmıştır.

Korkmaz ve Tankut; prekast birleşimlerin sismik davranışı üzerine odaklanan kapsamlı bir araştırma programı yapmışlardır. Burada amaç kirişler arasında moment dayanımlı bir bağlantı detayı geliştirmektir.[5]

Ertaş ve Özden; bulonlu, yerinde dökümlü (ıslak) ve kaynaklı kompozit birleşimler olarak 3 grupta topladığı prefabrik kolon-kiriş birleşim detayını yerdeğiştirme kontrollü ve tersinir-tekrarlı yükler etkisinde inceleyerek monolitik sistem deneyi ile karşılaştırmıştır. Deney numuneleri; monolitik numune (M), ıslak birleşimde kolonda birleşim (CIPC) ve kirişte birleşim (CIPB) numuneleri, kompozit birleşim (CMP-W) numunesi, bulonlu birleşim (MOD-B) numunesi olmak üzere 5 adettir. Deney numunesi çok katlı bir yapının 2. Kat dış kolon-kiriş birleşimini temsil etmektedir. Deney elemanları yaklaşık ½ ölçekli üretilmiş olup kiriş kesiti 300x500 mm, kolon kesiti 400x400 mm, kolon yüksekliği 1920 mm, ve kiriş temiz açıklığı 1600 mm'dir. Üretilen deney numunelerinde nominal beton dayanımı 40 MPa olarak seçilmiştir. Kompozit deney numunesi haricinde tüm numunelerde aynı tip yumuşak nervürlü donatı kullanılmıştır. Tüm birleşimler aynı yükleme patronu ve test düzeneğinde test edilmiş ve sonuçlar kapasite, süneklilik ve enerji tüketim performanslarına göre kıyaslanmıştır. Dayanım göçme tipi ve süneklik açısından test sonuçları ile teorik sonuçlar karşılaştırıldığında Mod-B numunesi haricinde teorik eğilme kapasitelerinin deney sonuçlarından bir miktar daha yüksek olduğu görülmüştür. Bunun sebebinin M, CIPC, CIPB ve KMP-W numunelerinde prefabrik kirişte kılcal boyutta da olsa kesme çatlağı oluştuğu tespit edilmiştir. CIPC, CIPB, KMP-W ve Mod-B numunelerinin kapasite ve enerji tüketim performansları bakımından deprem bölgelerinde kullanılabilir olduğu görülmüştür. Mod-B, numuneler arasında kapasite, süneklik ve enerji tüketim kriterlerine göre en iyi performansı göstermiştir. Islak ve kuru birleşimlerin tersinir-tekrarlı davranışlarının monolitik sisteme çok yakın olduğu görülmüştür. Kompozit birleşim detayında ise kaynaklı tarafın performansı monolitik sisteme kıyasla daha düşük seviyede olduğu gözlenmiştir, [6].

Kaya ve Arslan; ard germeli prekast kolon-kiriş birleşimlerini farklı yük seviyeleri için deneysel olarak incelemiş ve ANSYS programı ile 3D doğrusal olmayan sonlu eleman analizini yapmıştır.

Kaplan; yüksek lisans tez çalışması içerisinde SAFECAST projesinin endüstri tipi birleşimini tersinir tekrarlı yükler altında performansını incelemiş, pilot numune olarak incelediği birleşimin basitleştirilmiş bir matematik modelini kullanarak artan yatay yükler altında kuramsal olarakta değerlendirmiştir.Elde ettiği kuramsal ve deneysel sonuçları karşılaştırmıştır. Kiriş üst başlığında çekme olan durumda kuramsal sonuçların deneysel sonuçlarla çok yakın olarak elde etmesine karşın bu benzerliği ters yönlü moment etkisinde geçerli olmadığı sonucunu elde etmiştir.[7]

Şahin; yüksek lisans tez çalışması içerisinde SAFECAST projesinin konut tipi birleşim detayını monotonik tek yönlü ve tersinir tekrarlı yükler altında dört adet numune üzerinde test etmiş, birleşime ait matematik model kurarak artan yatay yükler altında kuramsal olarakta değerlendirmiştir, Şekil1.1. Elde ettiği kuramsal ve deneysel sonuçları karşılaştırmıştır. Çubuk sistem modeli ile artan yükler etkisi altında dayanım ve yerdeğiştirme bakımından öngörülen numune davranışının, deneylerde artan yükler etkisi altında incelenen numunelerden elde edilen numune davranışına ait veriler ile karşılaştırıldığında, sonuçların birbirlerine çok yakın olduğunu görüşüne varmıştır.[8]



Şekil 1.1: Safecast projesi konut tipi kolon-kiriş birleşim bölgesi

### 1.3 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu tez çalışmasının ana amacı; İTÜ Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarı'nda gerçekleştirilen FR7-SAFECAST araştırma projesi kapsamında deneysel ve analitik olarak incelenecek olan endüstri tipi prefabrike bir kolon-kiriş kompozit(ıslak+kuru) birleşime ait deneylerin gerçekleştirilmesi, elde edilen sonuçların birbirleriyle ve bilgisayar programı yardımıyla elde edilecek teorik hesap sonuçları ile karşılaştırılarak birleşimin sismik performansının belirlenmesidir.

Bu tez çalışması kapsamında ise; İTÜ İnşaat Fakültesi Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarı'nda beş adet özdeş endüstri tipi numune monotonik tek yönlü ve tersinir tekrarlı yüklemeler altında incelenmiştir. Sonrasında deney numunesinin matematik modeli oluşturularak analitik yönden incelenmiş ve deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Ardından ortaya çıkan eksikliklerin tamamlanması ve numune davranışının iyileştirilmesi amacıyla revize edilmiş iki deney numunesi tersinir tekrarlı yükleme altında denenerek elde edilen sonuçlar analitik çalışma ile karşılaştırılmıştır.Yapılan değişiklerin numune davranışına, süneklik ve dayanıma etkisi tartışılmıştır.

# 2. ENDÜSTRİ TİPİ PREFABRİK YAPI SİSTEMLERİNDE KULLANILAN MOMENT AKTARAN KOLON–KİRİŞ BİRLEŞİMİ İÇİN GERÇEKLEŞTİRİLEN BEŞ DENEY

#### 2.1 Deney Numunelerinin Hazırlığı

SAFECAST adında Avrupa Birliği Araştırma Projesi kapsamında ele alınan, endüstri tipi prefabrike yapıların incelenecek olan kolon-kiriş birleşim bölgesine ait numuneler, prefabrik betonarme bir yapıdan 1/2 geometrik ölçekle çıkarılmış halleridir. Proje kapsamında incelenecek olan endüstri tipi prefabrike yapıya ait birleşim detayında, kolon kirişin üst donatılarını ve sonradan konulan u montaj donatılarının eklenebilmesi için boşluklu imal edilmektedir. Kolonda bulunan gusenin üzerine plaka kolon doantıları hazırlanırken fabrikada kaynaklanmaktadır. Kirişin guseye oturacak alt kısmına çelik plaka üretim esnasında kaynaklanmaktadır. Şantiyede guseye kiriş konulmakta ve ardından plakalar birbirine kaynaklanmaktadır. Birleşimin üst kısmı ise şantiyede prekast boşluklu döşeme elemanlarının kiriş üzerine yerleştirilmesinden sonra u montaj donatılarının kolonda bırakılan boşluklardan yerleştirilip beton dökülmesiyle tamamlanır.



Şekil 2.1 : Deneyde kullanılacak endüstri tipi kolon-kiriş birleşim bölgesi

#### 2.1.1 Deney numuneleri

SAFECAST araştırma projesi kapsamında incelenen endüstri tipi prefabrik yapıların birleşim detayı için 5 adet özdeş numune üretilmiştir. Numunelerden üç adedi tek yönlü artan statik yükler etkisi altında, diğer iki tanesi ise tersinir-tekrarlı yerdeğiştirme çevrimleri etkisi altında incelenmiştir. SAFECAST araştırma projesi kapsamı içerisinde incelenen endüstri tipi prefabrik yapılara ait numuneler proje bütünlüğünü sağlayacak şekilde tez içerisinde numaralandırılması gerçekleştirilecektir. Tez çerçevesinde numuneler; projedeki sıralamaya ve isimlendirilmeye sadık kalınarak adlandıracaktır.

1/2 geometrik ölçekli üretilen numuneler, kolon, ana taşıyıcı kiriş, tali kirişler, döşeme tablası, kavrama betonundan oluşmaktadır. Numuneye ait üst görünüş, a-a ve b-b kesitleri sırasıyla Şekil 2.2, Şekil 2.3 ve Şekil 2.4'te gösterilmiştir.



Şekil 2.2 : Deney numunesi üst görünüşü



Şekil 2.3 : Genel birleşim detayı a-a kesiti



Şekil 2.4 : Genel birleşim detayı b-b kesiti



Şekil 2.5: Deney numunesi c-c kesidi donatı yerleşimi

Kolon kesiti 400x400 mm, boyu 3185 mm'dir. Kolon birleşim bölgesi 135mm boşluklu olarak üretilmiştir. Guse kolonla birlikte dökülmektedir. Guse plakası kolona akrajı sağlanmış olan donatılara kolonda beton dökümü gerçekleştirilmeden önce kaynaklanmaktadır. Kaynaklama işleminde plakanın buruşmaması için donatıların kaynaklama sırasına özen gösterilmiştir. Kolonun boyunca 16 adet  $\Phi$ 16 mm donatı kullanılmıştır. Paspayı 40 mm'dir.

Taşıyıcı kiriş 1980mm uzunluğunda, kesiti 350x300 mm'dir. Kiriş kesiti  $2\Phi 16+3/8$ ''halat+ $2\Phi 8+4\Phi 8$  boyuna donatısı içermektedir.  $4\Phi 16$  üst donatısı kolonkiriş birleşimi oluşturulması aşamasında sürülecektir. Tali kirişlerin kesiti 150x350 mm, uzunluğu ise 380 mm'dir. Döşeme tablası olarak  $1200 \times 2250$  mm boyutlarında boşluklu prekast panel kullanılmıştır. Boşluklu panellerin üzerine 3.5 cm topping betonu R106 hasır çelik döşendikten sonra dökülmüştür. Donatıların kesitlerde görünümleri Şekil 2.5, Şekil 2.6, Şekil 2.7 ve Şekil 2.8 de görülmektedir. Tali kirişte ve prekast döşeme elemanları arasında da sürekliliği sağlamak için (tali kirişlerde birleştirme işleminden sonra  $2\Phi 18$  düz boyuna donatı, döşeme parçaları arasında ise  $\Phi 6$  çaplı 50cm uzunluğunda donatılar ) ankraj donatıları kullanılmaktadır.



Şekil 2.6: Deney numunesi b-b kesidi donatı yerleşimi



Şekil 2.7: Deney numunesi a-a kesidi donatı yerleşimi



Şekil 2.8: Deney numunesi d-d kesidi donatı yerleşimi

## 2.1.2 Deney numunelerinin üretimi

Numunelerin üretimi Yapı Merkezi Prefabrikasyon A.Ş tarafından gerçekleştirilmiştir. Donatıların kalıplara yerleştirilmesinin ardından beton dökümü gerçekleştirilmiştir. Beton dökümünde vibrasyon işlemi uygulanmıştır. Kolon donatısı ve kolonun kalıptan çıkmış hali Şekil 2.9 da görülmektedir.



Şekil 2.9: Kolonun donatısı ve kalıptan çıkarılması

Üretilen taşıyıcı kiriş ve boşluklu döşeme panelleri Şekil 2.10'da görülmektedir.


Şekil 2.10: Üretilen taşıyıcı kiriş ve boşluklu döşeme paneli



Şekil 2.11: Dikilen kolona taşıyıcı kirişin oturtulması

Elemanların üretimi tamamladıktan sonra montaj için kolonun dikilmesi ve taşıyıcı kirişin guseye oturtulması Şekil 2.11 de görülmektedir.

Tali kirişin ve taşıyıcı kirişin kolonda bulunan guselere kaynaklanması ve bunun ardından kalıp kurularak ara boşluklarına grout harcının dökülmesi Şeki 2.12'de görülmektedir.



Şekil 2.12: Taşıyıcı ve tali kirişin guseye kaynaklanması



Şekil 2.13: Hasır çeliğin boşluklu döşeme üzerine yerleştirilmesi

Boşluklu döşeme üzerine hasır çeliğin yerleştirilmesi Şekil 2.13'de gösterilmiştir.Bu işlemin ardından tali kiriş doğrultusunda  $2\Phi 18$  lik L ankraj donatısı, taşıyıcı kiriş doğrultusunda ise U şeklinde hazırlanmış  $2\Phi 16$  boyuna donatısı yerleştirilmiştir, Şekil 2.14.



Şekil 2.14: Birleşimde kullanılan ankraj donatıları

Döşeme üzerine dökümü yapılan kavrama betonu prizini aldıktan sonra numune kalıptan çıkarılmıştır, Şekil 2.14.

# 2.1.3 Malzeme deneyleri

Malzeme deneyleri, İTÜ İnşaat Fakültesi Yapı Malzemeleri Laboratuvarı'nda bulunan pres ve çekme aletlerinde gerçekleştirilmiştir. Beton silindir numuneler için

basınç deneyleri, tüm prefabrik elemanlarda kullanılan beton çelikleri için çekme deneyleri gerçekleştirilmiştir.

#### 2.1.3.1 Beton deneyleri

Her deney numunesinin üretimi aşamasında kullanılan betonların basınç dayanımlarının belirlenmesi amacıyla kolon-kiriş betonu ve kavrama (topping) betonundan yeterli sayıda numune alınmış ve Yapı Merkezi Prefabrikasyon A.Ş. Kalite Kontrol Laboratuvarında kırılarak Çizelge 2.1 deki sonuçlar elde edilmiştir.

Numune	7 gün Dayanım Ort. (MPa)	28 gün Dayanım Ort. (MPa)	39 gün Dayanım Ort. (MPa)
Kolon ( No 2-3-4-5-6)	43.6	45.5	47.2
Kiriş ( No 2-3-4-5-6)	39.5	40.8	-
Topping Betonu ( No 2-3-4-5-6)	31.1	34.2	-

Çizelge 2.1 :Beton basınç deneyi sonuçları

#### 2.1.3.2 Çelik deneyleri

Her deney numunesinin üretimi aşamasında kullanılan betonarme çeliklerinden yeterli sayıda numune alınmış ve İTÜ Malzeme Laboratuvarı'nda deneye tabi tutulmuştur. Elde edilen sonuçlar ve yönetmeliklerdeki sınır değerler Çizelge 3.2'de verilmiştir.

UYGULANAN STANDART :TS 708-TS 138 DENEY SONUCU BULUNAN DEĞERLER						LAB. ORTAM SICAKLIĞI : 18ºC				TS 708 - Değer	SINIR LERİ
	Anma Capı	Ölçüm Capı	Kütle	Akma Da	yanımı	Çekme I	Dayanımı	Çekme Akma	Kopma Uzama	Anma Kütlesi	Anma Kütlesi
NO	(mm)	(mm)	Kg/m	Kuvvet kN	Ger. N/mm <sup>2</sup>	Kuvvet kN	Ger. N/mm <sup>2</sup>	Oranı Rm/Re	Oranı %	Kg/m Min	Kg/m Max
1	8	7,98	0,393	25,5	507	30,4	605	0,84	27	0,371	0,418
2	8	8,11	0,406	26,5	527	32,4	644	0,82	22	0,371	0,418
3	8	8,13	0,407	26,5	527	31,4	625	0,84	28	0,371	0,418
4	8	8,12	0,407	26,5	527	31,4	625	0,84	26	0,371	0,418
5	8	7,90	0,385	22,6	449	27,5	546	0,82	26	0,371	0,418
6	8	8,0	0,387	26,5	527	29,9	595	0,89	29	0,371	0,418
7	10	9,9	0,604	40,2	512	45,1	575	0,89	30	0,589	0,644
8	10	9,91	0,605	40,2	512	46,1	587	0,87	25	0,589	0,644
9	10	9,9	0,604	40,2	512	46,1	587	0,87	28	0,589	0,644
10	10	9,9	0,604	40,2	512	46,1	587	0,87	26	0,589	0,644

Çizelge 2.2: Çelik çekme deneyi sonuçları

UYGULANAN STANDART :TS 708-TS 138 DENEY SONUCU BULUNAN DEĞERLER					LAB. (	ORTAM S	ICAKLIĞ	I: 18 <sup>0</sup> C	TS 708 - DEĞER	-SINIR LERİ	
Anma Ölçüm Kütle		Akma Dayanımı		Çekme Dayanımı		Çekme Akma	Kopma Uzama	Anma Kütlesi	Anma Kütlesi		
NO	(mm)	(mm)	Kg/m	Kuvvet kN	Ger. N/mm <sup>2</sup>	Kuvvet kN	Ger. N/mm <sup>2</sup>	Oranı Rm/Re	Oranı %	Kg/m Min	Kg/m Max
15	12	12,0	0,896	56,9	503	68,7	607	1,20	26	0,848	0,927
16	12	11,9	0,883	55,9	494	67,7	599	1,18	27	0,848	0,927
17	18	17,7	1,932	129,0	507	153,0	601	0,84	26	1,910	2,090
18	18	17,7	1,933	128,5	505	153,0	601	0,84	28	1,910	2,090
19	18	17,7	1,933	128,5	505	152,1	598	0,85	27	1,910	2,090
20	18	17,6	1,929	128,5	505	153,0	601	0,84	27	1,910	2,090

Çizelge 2.2 (devam): Çelik çekme deneyi sonuçları

TS 708-TS 138 sınır değerleri:

Akma (N/mm <sup>2</sup> min)			Çekme (N/mm <sup>2</sup> min)			Kopma Uzama Oranı (% min)			
Nervürlü	Düz	Hasır	Nervürlü	Düz	Hasır	Nervürlü	Düz	Ha	ISIT
420	220	500	500	340	550	12	18	5	8

## 2.1.4 Deney düzeneği

Deneysel çalışma, İTÜ İnşaat Fakültesi Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarı'nda bulunan rijit deney döşemesi üzerine bağlanmış özel bir deney düzeneği kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Yükleme düzeneği, yön değiştiren yükler etkisinde oluşan tepki kuvvetlerinin rijit döşemeye güvenli bir şekilde aktarımını sağlamaktadır. Yatay yükleme, bilgisayarla kontrol edilen  $\pm$  250 kN ve  $\pm$  300 mm yerdeğiştirme kapasiteli MTS marka hidrolik veren ile yapılmıştır.

Reaksiyonu betonarme reaksiyon duvarına aktarılan, her iki ucunda iki yönlü mafsallar yer alan hidrolik verenin numuneye bağlanması için, 4 adet  $\Phi$ 18 mm çaplı yüksek dayanımlı ankraj bulonu kullanılmıştır.

Deney numunelerinde kolonda sabit eksenel kuvvet ENERPAC RC506 hidrolik kriko ile oluşturulmuş, oluşturulan bu eksenel kuvvet TML CLP-100 CMP yük ölçer ile ölçülmüştür, Şekil 2.22. Tüm numunelerde eksenel yük, deney boyunca kolon dayanım değerinin %10'u kadar değerde sürekli olarak uygulanmıştır.



Şekil 2.15: Deney düzeneği



Şekil 2.16: Deney düzeneğinin laboratuvardaki görünüşü



Şekil 2.17: Hidrolik kriko ile kolona eksenel yük verilmesi işlemi

# 2.1.4.1 Ölçüm düzeneği

Numune davranışını belirlemek üzere kritik noktalara yerdeğiştirme ölçerler konularak okumalar yapılmıştır. Tüm yerdeğiştirme ölçerler hem itmede hem de çekmede okuma yapabilecek şekilde yerleştirilmişlerdir. Yerdeğiştirme ölçümlerinde farklı ölçüm boylarına sahip TML marka CDP-5, CDP-10, CDP-25, CDP-50 ve CDP-100 tipi yerdeğiştirme ölçerler kullanılmıştır.Yerdeğiştirme kontrollü olarak gerçekleştirilen deneyde, kontrol yerdeğiştirmesi, hidrolik veren hizasına yerleştirilen yerdeğiştirme ölçer ile gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerin hassaslığının korunması için yerdeğiştirme ölçerlerin ölçüm alan başlıklarının temas ettiği yüzeylere pürüzsüz sehpalar ve camlar yerleştirilmiştir. Kavrama betonu ile prekast döşeme elemanları arasında olabilecek açılmayı belirlemek için PI tipi yerdeğiştirme ölçerler kullanılmıştır. Ölçüm düzeneğinin genel görünüşü Şekil 2.18 ve Şekil 2.19'da verilmiştir.



Şekil 2.18: Ölçüm düzeneğinin genel görünüşü



Şekil 2.19:Ölçüm düzeneğinin farklı görünüşleri

Kiriş boyunca yerdeğiştirmeyi ölçmek için CDP-100 ve CDP-50 tipinde, kolonun yükleme hareketini ölçmek ve numunenin düzlem dışı hareketini tespit etmek amacıyla da CDP-25 tipi yerdeğiştirme ölçerler kullanılmıştır. Bu yerdeğiştirme ölçerler, yardımcı profiller üzerinde sabitlenerek ölçümler alınmıştır. Yerdeğiştirme ölçüm düzeneği ve kanal numaraları, numunenin üzerindeki konumlarına göre Şekil 2.20, Şekil 2.21 ve Şekil 2.22'da verilmiştir.



Şekil 2.20:Ölçüm aletlerinin ön cephede yerleşimi ve kanal numaraları



Şekil 2.21:Ölçüm aletlerinin arka cephede yerleşimi ve kanal numaraları



Şekil 2.22:Sağ cephe yerdeğiştirme ölçerler, kanal numaraları ve mesafeler



Şekil 2.23: Ön ve arka cepheyerdeğiştirme ölçerler ve mesafeleri

5 numune üzerine yerleştirilen yerdeğiştirme ölçerlerin numune üzerindeki konumlarına her ne kadar sadık kalınmıştır.

Ölçüm düzeneği toplam 16 adet yerdeğiştirme ölçer, 2 adet PI ölçer ve 1 adet yük ölçerden oluşmaktadır. Ölçümlerde kullanılan yerdeğiştirme ölçerlerin kanal numaraları ve kodları Çizelge 2.3'te verilmiştir.

Yerdeğiştirme Ölçer Tipi	Kanal No	Eleman Kodu	Açıklama
CDP 25	11	FLV(1)	FLV(1): Ön cephe sol kısım 1 nolu
CDP 25	12	FRV(1)	yerdeğiştirme ölçer
CDP 25	13	FLV(2)	BRH: Arka cephe sağ kısım yatay
CDP 25	14	FRV(2)	yerdeğiştirme ölçer
CDP 5	15	FLV(3)	F:Front
CDP 5	16	FRV(3)	L:Left
CDP 5	17	FLV(4)	V:Vertical
CDP 5	18	FRV(4)	H:Horizontal
CDP 5	19	FLH	B: Back
CDP 5	20	FRH	Ön ve arka cephe yerdeğiştirme ölçerler
CDP 5	21	BLH	
CDP 5	22	BRH	
SDP 200	23	RH(1)	RH(1): Sağ cephe 1 nolu yatay
CDP 100	24	RH(2)	yerdeğiştirme ölçer
CDP 50	25	RH(3)	
CDP 50	26	RH(4)	Sağ cephe yerdeğiştirme ölçerler
CDP25	27	FH(1)	
CDP25	28	FH(2)	Düzlem dışı yerdeğiştirme ölçerler

Çizelge 2.3 : Yerdeğiştirme ölçer tipi, kanal numarası ve eleman kodu

Yerdeğiştirme Ölçer Tipi	Kanal No	Eleman Kodu	Açıklama
PI	29	F-Pİ	
PI	30	B-Pİ	Ön ve arka cephe Pi ölçerler

Çizelge 2.3 (devam) : Yerdeğiştirme ölçer tipi, kanal numarası ve eleman kodu

### 2.1.4.2 Ölçümlerin değerlendirilmesi

5 numunede de deney sonucu ölçüm düzeneğinin okumaları ile oluşan yük, şekildeğiştirme ve yerdeğiştirme verileri bilgisayar ortamına aktarılarak EXCEL programı vasıtasıyla işlenmiştir.

Yük-yerdeğiştirme grafiğinin çizimi için, hidrolik veren hizasındaki yerdeğiştirme ölçerin okumaları kullanılmıştır. Kolon-kiriş birleşim bölgesine yerleştirilen yerdeğiştirme ölçerlerden alınan veriler vasıtasıyla bu bölgedeki kritik kesitlere ait şekildeğiştirme, dönme ve eğrilik değerleri hesaplanmıştır. Şekil 2.24'de değerlerin elde edilmesi için yerdeğitirme ölçerde kullanılan mesafeler verilmiştir.



Şekil 2.24: Taşıyıcı kiriş birleşim bölgesi yerdeğiştirme ölçer konumu

Şekildeğiştirme değerleri, yerdeğiştirme ölçerlerden alınan verilerin ölçüm boyuna bölünmesi ile elde edilmiştir, Denklem (2.1).

$$\varepsilon_1 = \frac{\Delta_1}{a}, \ \varepsilon_2 = \frac{\Delta_2}{a}$$
 (2.1)

Kesitteki dönmenin belirlenmesi için, iki yerdeğiştirme ölçerden okunan değerlerin farkının ölçüm yapılan yerdeğiştirme ölçerler arasındaki mesafeye bölünmesi ile elde edilmiştir, Denklem (2.2).

$$\theta = \frac{\Delta_1 - \Delta_2}{x} \quad (\text{Radyan}) \tag{2.2}$$

Kesitteki eğrilik değerleri ise iki yerdeğiştirme ölçerden okunan verilerle elde edilen şekildeğiştirme değerlerinin ara mesafeye oranlanmasıyla elde edilmiştir, Denklem (2.3).

$$\chi = \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{x} \quad (1/m) \tag{2.3}$$

#### 2.2 Deneysel Çalışma

Üretim safhaları bir önceki bölümde açıklanan deney numuneleri, İTÜ İnşaat Fakültesi Yapı ve Deprem Laboratuvarı'nda, taşıyıcı kirişe bağlı hidrolik veren vasıtasıyla monotonik ve tersinir-tekrarlı yüklemeler etkisinde incelenmişlerdir. Tüm numunelerde kolona, eksenel yük taşıma kapasitelerinin %10'una karşılık gelen 250 kN'luk eksenel kuvvet, deney boyunca sabit tutularak etkitilmiştir.

#### 2.2.1 Monotonik yükleme

SAFECAST kapsamında incelenen endüstri tipi 5 deney numunesinden Numune 2, Numune 3, Numune 5 tek yönlü artan yükler etkisi altında incelenmişlerdir. Bu deney numunelerinde monotonik yükleme (İtme-Çekme Deneyi) uygulanmasının amacı, yakın fay etkisi oluşturduğu yüksek hızlı darbe içeren ve büyük bir enerji girişine sebep olan etkinin, prefabrike endüstri yapıların birleşim bölgelerinin davranışları üzerindeki etkilerini incelemektir. Yüklemeye; Numune 2'de yüklemeye döşemenin basınçta olduğu (taşıyıcı kiriş kesidinde pozitif yönlü moment oluşturan doğrultu) doğrultuda, Numune 3 ve Numune 5'te ise döşemenin çekmede olduğu (taşıyıcı kiriş kesidinde negatif yönlü moment oluşturan doğrultu) doğrultuda başlanmıştır ve maksimum yük seviyesinin %85'i seviyesindeki deplasman değerinden diğer yöne dönülmüştür.

#### 2.2.1.1 Endüstri tipi numunede monotonik yükleme pozitif moment (ITMPM)

Numune 2' de döşemesinin basınç etkisinde bırakılan ve taşıyıcı kiriş kesitinde pozitif moment oluşturacak şekilde verilen tek yönlü artan yükler etkisi altında gösterdiği davranış incelenmiştir. Taşıyıcı kirişe hidrolik veren aracılığıyla etkitilen yatay yük ile veren hizasından alınan yer değiştirme okumaları arasındaki ilişki Şekil 2.25'te gösterilmiştir. Grafik üzerinde gösterilen önemli kuvvet ve yerdeğiştirme noktaları, Çizelge 2.4'te açıklanmıştır.



Şekil 2.25: Kuvvet-yerdeğiştirme diyagramı ve deneyde gözlenen önemli olaylar

Monotonik yükleme-Döşemenin basınçta olduğu durum				
"Akma" Dayanımı <sup>*</sup>	107 kN			
Maksimum dayanım	117 kN			
"Akma" Uzaması <sup>*</sup> (d <sub>y</sub> )	7.4 mm			
Kopma uzaması (d <sub>u,15%</sub> ; maksimum dayanımın %85'ine karşılık gelen)	6.26 mm			
Kopma uzaması (d <sub>u,tot</sub> ; birleşimin güç tükenmesine karşılık gelen)	61 mm			
Süneklik oranı	$7 (d_{u,15\%}/d_y)$			

Çizelge 2.4 : Numune 2'ye ait deney sonrası elde edilen kritik değerler

\* "Akma" noktaları yatay kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi yardımıyla belirlenmiştir.

Deney, döşemenin basınçta bırakıldığı tek yönlü yükleme ile başlamıştır. Yerdeğiştirmenin  $\delta$ = 3.00 mm ve ona karşılık gelen dayanımın f = 66 kN olduğu anda ilk eğilme çatlağı oluşmuştur. Kirişteki ilk kesme çatlağı f=90kN 'na karşılık gelen d=5,15mm yerdeğiştirmesinde oluştu, Şekil 2.26.



Şekil 2.26: Deney sırasında oluşan çatlaklar

İlerleyen adımlarda etriye kaynaklandığı plakadan koptu ve ölçülen kuvvet ve deplasman f=103kN , d=51mm idi. Boyuna donatı f=67kN , d=61 mm yük deplasman değerinde koptu, Şekil 2.26.



Şekil 2.27: Deney sırasında donatı ve kaynakların kopması

Hidrolik veren hizasında numune düzlemine dik doğrultuda meydana gelen yatay yerdeğiştirmenin, düzlem içi yerdeğiştirmeye göre değişimi deney süresince izlenmiş ve grafik olarak Şekil 2.28' de verilmiştir.. Düzlem içinde gerçekleşen yerdeğiştirme

60 mm düzeyinde iken, oluşan düzlem dışı hareket 7 mm düzeyindedir. Bu düzlem dışı hareketin, numunede oluşan büyük hasarla ilişkili olduğu açıktır. Deney sırasında gerçekleşen düzlem dışı hareket kabul edilebilir düzeyde kalmıştır.



Şekil 2.28: Numune düzlemine dik ve düzlem içi yerdeğiştirmeler

Taşıyıcı kiriş üzerindeki yaklaşık 60 cm'lik hasar oluşması beklenen kritik bölgeye yerleştirilen 11-12,13-14, 15-16 ve 17-18 no'lu kanallardan elde edilen okumalardan bu kesitlerdeki yatay kuvvet-dönme grafiği elde edilmiştir. Bu grafikler sırasıyla Şekil 2.29, Şekil 2.30, Şekil 2.31 ve Şekil 2.32'te gösterilmiştir. Bu şekillerde oluşan eğrilerin daha iyi görünmesi için grafikler, ölçekleri büyültülerek verilmiştir.



Şekil 2.29: Taşıyıcı kiriş alt ucunda kaydedilen dönmeler(kanal11-12)

Elde edilen grafiklerde kesitlerde plastik şekil değiştirmeler oluştuğu gözlenmiştir. 15-16 ve 17-18no'lu kanalların bulunduğu kesitlerde diğer kesitlere oranla daha fazla plastik şekil değiştirme yaptığı maksimum düzeyde 17-18 no' lu kanalın bulunduğu kesitte elde edilmiştir.



Şekil 2.30: Taşıyıcı kiriş alt ucunda kaydedilen dönmeler(kanal13-14)



Şekil 2.31: Taşıyıcı kiriş alt ucunda kaydedilen dönmeler(kanal15-16)



Şekil 2.32: Taşıyıcı kiriş alt ucunda kaydedilen dönmeler(kanal17-18)

Hasar kolon gusesi ile kolon yüzü arasında sıkışmıştır.

Deney sırasında altta yer alan kaynaklı birleşimi kontrol eden kolon gusesi ile taşıyıcı kiriş arasındaki açılma ön cephedeki 19 nolu kanal ve arka cephedeki 22 nolu kanallardaki ölçüm cihazlarıyla takip edildi.(Şekil 2.33 ve Şekil 2.34). Numunenin üst birleşimini temsil eden ıslak birleşimi kontrol eden kiriş ile döşeme arasındaki açılma ön cephedeki 20 nolu kanal ve arka cephedeki 21 nolu kanallardaki ölçüm cihazlarıyla takip edildi.(Şekil 2.36).Bunlar yerdeğiştirme düzeyi göreli ötelenme (drift ratio ) oranına göre ilgili grafiklerde gösterildi.

Deney sırasında kanal 28 den kolonun hareketi de izlenmiş deney sırasında maksimum hareket 0.6mm'yi aşmamıştır.



Şekil 2.33: Göreli ötelenme oranına göre gusedeki açılma(kanal 19)



Şekil 2.34: Göreli ötelenme oranına göre gusedeki açılma(kanal 22)



Şekil 2.35: Göreli ötelenme oranına göre kiriş döşeme arası açılma(kanal 20)



Şekil 2.36: Göreli ötelenme oranına göre kiriş döşeme arası açılma (kanal 21)

Şekil 2.37'de kolon hareketini yatay kuvvet düzeyine göre gösteren grafik bulunmaktadır.







Şekil 2.37: Kolon yerdeğiştirmesi-yatay kuvvet(kanal 28)

# 2.2.1.2 Endüstri tipi numunede monotonik yükleme negatif moment (ITMNM- 1)

Bu deneyde Numune 3'te döşemesinin çekme etkisinde bırakılan ve taşıyıcı kiriş kesitinde negatif moment oluşturacak şekilde verilen tek yönlü artan yükler etkisi altında gösterdiği davranış incelenmiştir.



Şekil 2.38: Kuvvet-yerdeğiştirme diyagramı ve deneyde gözlenen önemli olaylar

Taşıyıcı kirişe hidrolik veren aracılığıyla etkitilen yatay yük ile veren hizasından alınan yer değiştirme okumaları arasındaki ilişki Şekil 2.38'de verilmiştir. Grafik üzerinde gösterilen önemli kuvvet ve yerdeğiştirme noktaları, Çizelge 2.5'da açıklanmıştır.

Monotonik yükleme-Döşemenin çekmede olduğu durum				
"Akma" Dayanımı <sup>*</sup>	109 kN			
Maksimum dayanım	146 kN			
"Akma" Uzaması <sup>*</sup> (d <sub>y</sub> )	8.54 mm			
Kopma uzaması (d <sub>u,15%</sub> ; maksimum dayanımın %85'ine karşılık gelen)	11.688 mm			
Kopma uzaması (d <sub>u,tot</sub> ; birleşimin güç tükenmesine karşılık gelen)	31 mm			
Süneklik oranı	$3.7 (d_{max}/d_y)$			

**Cizelge 2.5** : Numune 3'e ait deney sonrası elde edilen kritik değerler

\* "Akma" noktaları yatay kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi yardımıyla belirlenmiştir.

Deney, döşemenin çekmede bırakıldığı tek yönlü yükleme ile başlamıştır. Yerdeğiştirmenin  $\delta$ = 2.22 mm ve dayanımın f= 52.9 kN olduğu anda döşemede eğilme çatlakları gözlendi.( drift=%0,13).



Şekil 2.39: Deney sırasında numunede oluşan çatlak dağılımı

Deney süresince davranışın asimetrik olduğu gözlendi. (Alt ve üst birleşim için). f=72kN d=3,3mm değerinde kolonla kavrama betonu arasında çatlaklar oluştu, Şekil 2.39.

f=106,5kN d=8,5mm değerlerinde kiriş ve kolonda ilk eğilme çatlağı oluştu. (drift =%0,5) Ardından f=130kN d=14mm değerlerinde kirişe ilk kesme çatlağı oluştu, Şekil 2.40.

f=140kN d=17mm (drift=%1) değerlerinde birleşim bölgesindeki ilk çatlak oluştu. f=-74,5kN ve d=5,2 mm değerinde gusedeki çelik plaka guseden ayrıldı.

f=-84,1kN ve d=-8,5mm değerinde ise kirişin guseye bastığı kısımda betonda dökülme gözlendi, Şekil 2.41.

f= -85,8kN d=-17mm (drift =%1) değerinde kirişteki çelik plaka kirişten ayrıldı. f= -92kN d= - 51mm (drift=%3) değerine gelindiğinde boyuna donatı ve etriye koptu, Şekil 2.42.

Numunenin taşıma kapasitesine etriyenin ani bir şekilde kopması sonucu gevrek bir kırılma şekliyle ulaşması ve hasarın birleşim bölgesi içerisinde meydana gelmesi dikkat çekicidir. Deney süresince numunede birleşim bölgesini içine alan bölgede kesme çatlakları oluşmuş ve numune davranışını oluşan bu kesme çatlakları belirlemiştir. Hasar birleşim bölgesinde sınırlanmıştır.



Şekil 2.40: Deney sırasında numunede oluşan kesme ve eğilme çatlakları

Numune düzlemine dik ve düzlem içi yerdeğiştirmeler deneyde izlenmiş ve Şekil 2.43 de gösterilmiştir. Deney süresince düzlem dışı hareketin sınırlı kaldığı ve 1.5 mm 'yi geçmediği gözlenmiştir.



Şekil 2.41: Deney sırasında numunede oluşan çatlaklar



Şekil 2.42: Deney sırasında numunede oluşan çatlaklar



Şekil 2.43: Numune düzlemine dik ve düzlem içi yerdeğiştirmeler



Şekil 2.44: Taşıyıcı kiriş alt ucunda kaydedilen dönmeler(kanal11-12)



Şekil 2.45: Taşıyıcı kiriş alt ucunda kaydedilen dönmeler(kanal13-14)



Şekil 2.46: Taşıyıcı kiriş alt ucunda kaydedilen dönmeler(kanal15-16)



Şekil 2.47: Taşıyıcı kiriş alt ucunda kaydedilen dönmeler(kanal17-18)

Taşıyıcı kiriş üzerindeki yaklaşık 60 cm'lik hasar oluşması beklenen kritik bölgeye yerleştirilen 11-12,13-14, 15-16 ve 17-18 no'lu kanallardan elde edilen okumalardan bu kesitlerdeki yatay kuvvet-dönme grafiği elde edilmiştir. Bu grafikler sırasıyla Şekil 2.44, Şekil 2.45, Şekil 2.46 ve Şekil 2.47'de gösterilmiştir. Bu şekillerde oluşan eğrilerin daha iyi görünmesi için grafikler, ölçekleri büyültülerek verilmiştir.

Elde edilen grafiklerde kesitlerde plastik şekil değiştirmeler oluştuğu gözlenmiştir. 17-18no'lu kanalın bulunduğu kesitte diğer kesitlere oranla daha fazla plastik şekil değiştirme yaptığı Numune2'ye göre bu hasarın daha büyük düzeyde olduğu gözlenmiştir.

Deney sırasında altta yer alan kaynaklı birleşimi kontrol eden kolon gusesi ile taşıyıcı kiriş arasındaki açılma ön cephedeki 19 nolu kanal ve arka cephedeki 22 nolu kanallardaki ölçüm cihazlarıyla takip edildi.(Şekil 2.48 ve Şekil 2.49). Numunenin üst birleşimini temsil eden ıslak birleşimi kontrol eden kiriş ile döşeme arasındaki açılma ön cephedeki 20 nolu kanal ve arka cephedeki 21 nolu kanallardaki ölçüm cihazlarıyla takip edildi.(Şekil 2.51).Bunlar yerdeğiştirme düzeyi göreli ötelenme (drift ratio ) oranına göre ilgili grafiklerde gösterildi.



Şekil 2.48: Göreli ötelenme oranına göre gusedeki açılma(kanal 19)



Şekil 2.49: Göreli ötelenme oranına göre gusedeki açılma(kanal 22)



Şekil 2.50: Göreli ötelenme oranına göre kiriş döşeme arası açılma(kanal 20)



Şekil 2.51: Göreli ötelenme oranına göre kiriş döşeme arası açılma (kanal 21)



Şekil 2.52: Kolon yerdeğiştirmesi-yatay kuvvet(kanal 28)

Deney sırasında kanal 28 den kolonun hareketi de izlenmiş deney sırasında maksimum hareket 1.5mm'ye yaklaşmıştır. Şekil 2.52'de kolon hareketini yatay kuvvet düzeyine göre gösteren grafik bulunmaktadır.

# 2.2.1.3 Endüstri tipi numunede monotonik yükleme negatif moment (ITMNM- 2)

Bu deneyde Numune 5'te döşemesinin çekme etkisinde bırakılan ve taşıyıcı kiriş kesitinde negatif moment oluşturacak şekilde verilen tek yönlü artan yükler etkisi altında gösterdiği davranış incelenmiştir.

Taşıyıcı kirişe hidrolik veren aracılığıyla etkitilen yatay yük ile veren hizasından alınan yer değiştirme okumaları arasındaki ilişki Şekil 2.53'te verilmiştir. Grafik üzerinde gösterilen önemli kuvvet ve yerdeğiştirme noktaları, Çizelge 2.7'de açıklanmıştır.





Monotonik yükleme-Döşemenin çekmede olduğu durum				
"Akma" Dayanımı <sup>*</sup>	156.38 kN			
Maksimum dayanım	162.61 kN			
"Akma" Uzaması <sup>*</sup> (d <sub>y</sub> )	15.523 mm			
Kopma uzaması (d <sub>u,15%</sub> ; maksimum dayanımın %85'ine karşılık gelen)	12.23 mm			
Kopma uzaması (d <sub>u,tot</sub> ; birleşimin güç tükenmesine karşılık gelen)	131.236 mm			
Süneklik oranı	8.4 (d <sub>max</sub> /d <sub>y</sub> )			

Çizelge 2.6 : Numune 5'e ait deney sonrası elde edilen kritik değerler

\* "Akma" noktaları yatay kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi yardımıyla belirlenmiştir.

Deney, döşemenin çekmede bırakıldığı tek yönlü yükleme ile başlamıştır. Davranış simetrik değildir. Yerdeğiştirmenin  $\delta$ = 2.06 mm ve dayanımın f= 37 kN olduğu anda döşemede eğilme çatlakları gözlendi. f=98kN d=6.44mm değerinde kolonla kavrama betonu arasında çatlaklar oluştu, Şekil 2.54.

Kirişte ilk eğilme çatlağı f=130kN d=11,2mm değerlerinde oluştu. İki etriye f= -63kN d= -67mm değerinde koptu, Şekil 2.55.

Boyuna donatı f= -36kN d=9,2mm (drift=%0,55) değerine ulaşıldığında koptu. f= -4,6kN d=-20,7mm (drift=%1,23) değerine gelindiğinde diğer boyuna donatıda koptu, Şekil 2.56.

Numunede hasarın yine birleşim bölgesinde toplandığı ve kapasitesine donatı kopması (gevrek davranış sergileyerek) ile ulaştığı gözlendi.



Şekil 2.54: Deney sırasında numunede oluşan çatlak dağılımı



Şekil 2.55: Numunede etriye kopması





Şekil 2.56: Deney sırasında kopan boyuna donatılar



Şekil 2.57: Numune düzlemine dik ve düzlem içi yerdeğiştirmeler

Numune düzlemine dik ve düzlem içi yerdeğiştirmeler deneyde izlenmiş ve Şekil 2.57 de gösterilmiştir. Deney sırasında düzlem dışı hareketin 10 mm 'yi geçtiği gözlenmiştir.



Şekil 2.58: Taşıyıcı kiriş alt ucunda kaydedilen dönmeler(kanal11-12)





Şekil 2.59: Taşıyıcı kiriş alt ucunda kaydedilen dönmeler(kanal13-14)









Şekil 2.61: Taşıyıcı kiriş alt ucunda kaydedilen dönmeler(kanal17-18)

Taşıyıcı kiriş üzerindeki yaklaşık 60 cm'lik hasar oluşması beklenen kritik bölgeye yerleştirilen 11-12,13-14, 15-16 ve 17-18 no'lu kanallardan elde edilen okumalardan bu kesitlerdeki yatay kuvvet-dönme grafiği elde edilmiştir. Bu grafikler sırasıyla Şekil 2.58, Şekil 2.59, Şekil 2.60 ve Şekil 2.61'de gösterilmiştir. Bu şekillerde oluşan eğrilerin daha iyi görünmesi için grafikler, ölçekleri büyültülerek verilmiştir.

Elde edilen grafiklerde kesitlerde plastik şekil değiştirmeler oluştuğu gözlenmiştir. 17-18no'lu kanalın bulunduğu kesitte diğer kesitlere oranla daha fazla plastik şekil değiştirme yaptığı Numune2 ve Numune 3'e göre bu hasarın daha büyük düzeyde olduğu gözlenmiştir.

Deney sırasında altta yer alan kaynaklı birleşimi kontrol eden kolon gusesi ile taşıyıcı kiriş arasındaki açılma ön cephedeki 19 nolu kanal ve arka cephedeki 22 nolu kanallardaki ölçüm cihazlarıyla takip edildi.(Şekil 2.62 ve Şekil 2.63). Numunenin üst birleşimini temsil eden ıslak birleşimi kontrol eden kiriş ile döşeme arasındaki açılma ön cephedeki 20 nolu kanal ve arka cephedeki 21 nolu kanallardaki ölçüm cihazlarıyla takip edildi.(Şekil 2.65).Bunlar yerdeğiştirme düzeyi göreli ötelenme (drift ratio ) oranına göre ilgili grafiklerde gösterildi.



Şekil 2.62: Göreli ötelenme oranına göre gusedeki açılma(kanal 19)



Şekil 2.63: Göreli ötelenme oranına göre gusedeki açılma(kanal 22)



Şekil 2.64: Göreli ötelenme oranına göre kiriş döşeme arası açılma(kanal 20)



Şekil 2.65: Göreli ötelenme oranına göre kiriş döşeme arası açılma (kanal 21)

Deney sırasında kanal 28 den kolonun hareketi de izlenmiş deney sırasında maksimum hareket 2 mm'ye yaklaşmıştır. Şekil 2.66'da kolon hareketini yatay kuvvet düzeyine göre gösteren grafik bulunmaktadır.



Şekil 2.66: Kolon yerdeğiştirmesi-yatay kuvvet(kanal 28)

### 2.2.2 Çevrimsel yükleme

SAFECAST kapsamında incelenen sanayi tipi 5 deney numunesinden Numune 4, Numune 6 yerdeğiştirme çevrimleri etkisinde tersinir-tekrarlı artan yükler altında incelenmiştir. Bu deney numunelerinde çevrimsel yükleme ile uzak fay etkisinin oluşturduğu tersinir-tekrarlı dalga hareketinin, prefabrike sanayi yapılarının birleşim bölgelerinin davranışları üzerindeki etkisi incelenmiştir.

## 2.2.2.1 Endüstri tipi numunede çevrimsel yükleme-1 (ITC-1)

Numune 4'de, yerdeğiştirme çevrimleri etkisinde tersinir-tekrarlı artan yükler altında gösterdiği davranış incelenmiştir. Deneyde yerdeğiştirme çevrimleri, numuneye, her çevrim grubunda aynı bağıl tepe yerdeğiştirme yüzdesiyle 3 çevrim olmak üzere gerçekleştirilmiştir. Şekil 2.67 'te yerdeğiştirme fonksiyonunun adım sayısı ile ilişkisi gösterilmiştir.

Numune davranışından dolayı %4 olan hedef göreli ötelenme seviyesine ulaşılamamış deney %2 göreli öteleme seviyesinden sonra tek yönlü itilerek sonlandırılmıştır.



Şekil 2.66: Yerdeğiştirme fonksiyonunun adım sayısı ile ilişkisi

Kuvvet-yerdeğiştirme grafiği Şekil 2.67'te gösterilmiş ve deney ile ilgili önemli noktalar Çizelge 2.7'de verilmiştir.



Şekil 2.67: Kuvvet-yerdeğiştirme diyagramı

Çevrimsel Yükleme				
	Döşeme Çekmede	Döşeme Basınçta		
"Akma" Dayanımı <sup>*</sup>	99 kN	-78 kN		
Maksimum Dayanım	108 kN	-103 kN		
"Akma" Uzaması <sup>*</sup> (d <sub>y</sub> )	8.64 mm	-5.33 mm		
Kopma Uzaması (d <sub>u,15%</sub> ; maksimum dayanımın %85'ine karşılık gelen)	18.291 mm	-25.54 mm		
Kopma Uzaması (d <sub>u,tot</sub> ; birleşimin güç tükenmesine karşılık gelen)	38.539 mm	34,218 mm		
Süneklik Oranı	4.46	6.42		
Toplam Enerji Yutma Kapasitesi	23.449	) kNm		

<b>Çizelge 2.7</b> :Numune 4'a ait deney	sonrası elde edilen kritik değerler
--	-------------------------------------
Deney, döşemenin çekmede olduğu çevrim ile başlamıştır. f=53kN d=2,125mm (drift=%0,125) değerinde ilk eğilme çatlağı brinci çevrimde oluştu. f=77kN d=4,25mm. (drift=%0,25) değerinde ilk çekme çevriminde kirişte ilk çekme çatlağı oluştu, Şekil 2.68.



Şekil 2.68: 1. çevrim grubu sonucu numunede oluşan hasar durumu

f=75kN d=4,70mm (drift=%0,25) değerinde 3.İtme çevriminde döşemedeki çatlak genişlikleri arttı. 96kN ve %1 drifte ulaşıldığında döşeme büyük kırıklar oluştu, Şekil 2.69.

-47kN ve %2 driftte ulaşıldığında boyuna donatı koptu. Bir sonraki adımda -14kN ve %2 drift diğer boyuna donatıda koptu, Şekil 2.70.

Numunenin taşıma kapasitesine etriyenin kaynaklandığı taşıyıcı kiriş alt plakasından ani bir şekilde kopması sonucu gevrek bir davranış sergileyerek ulaşmıştır. Çevrimsel yükleme ile yapılan bu deneyde de hasar birleşim bölgesi içerisinde meydana gelmiştir.





Şekil 2.69: 3. çevrim grubu sonucu numunede oluşan hasar durumu

Deney süresince numunede birleşim bölgesini içine alan bölgede kesme çatlakları oluşmuş ve numune davranışını oluşan bu kesme çatlakları belirlemiştir.



Şekil 2.70: Deney sonunda numunedeki hasar durumu

Numune düzlemine dik ve düzlem içi yerdeğiştirmeler ile kolon hareketi tüm deney süresince izlenmiş toleransların içinde kaldığı gözlenmiştir.



Şekil 2.71: Kirişte kaydedilen dönmeler(üst) moment – eğrilik (alt) (kanal11-12)







Şekil 2.72: Taşıyıcı kirişte kaydedilen dönmeler (üst), moment eğrilik (alt) (13-14)

















Taşıyıcı kiriş üzerindeki yaklaşık 60 cm'lik hasar oluşması beklenen kritik bölgeye yerleştirilen 11-12,13-14, 15-16 ve 17-18 no'lu kanallardan elde edilen okumalardan bu kesitlerdeki yatay kuvvet-dönme grafiği ve moment –eğrilik grafikleri elde edilmiştir. Bu grafikler sırasıyla Şekil 2.71, Şekil 2.72, Şekil 2.73 ve Şekil 2.74'te gösterilmiştir. Bu şekillerde oluşan eğrilerin daha iyi görünmesi için grafikler, ölçekleri büyültülerek verilmiştir.

Elde edilen grafiklerde kesitlerde plastik şekil değiştirmeler oluştuğu gözlenmiştir. 15-16 nolu ve 17-18no'lu kanalın bulunduğu kesitte diğer kesitlere oranla daha fazla plastik şekil değiştirme yaptığı gözlenmiştir.

#### 2.2.2.2 Endüstri tipi numunede çevrimsel yükleme-2 (ITC-2)

Deneyde Numune 6'nın, yerdeğiştirme çevrimleri etkisinde tersinir-tekrarlı artan yükler altında gösterdiği davranış incelenmiştir. İlk adım %0.125 bağıl tepe yerdeğiştirme yüzdesi ve buna karşılık gelen  $\delta_{tepe}$ = 2.125 mm ile başlamış, %4 yüzde ve  $\delta_{tepe}$ = 68 mm ile sonlanmıştır. Taşıyıcı kirişe uygulanan yerdeğiştirme fonksiyonunun deney adımları süresince değişimi Şekil 2.75'de verilmiştir.



Şekil 2.75: Yerdeğiştirme fonksiyonunun adım sayısı ile ilişkisi

Numune davranışından dolayı %4 olan hedef göreli ötelenme seviyesine ulaşılamamış deney %2 göreli öteleme seviyesinden sonra tek yönlü itilerek sonlandırılmıştır.



Kuvvet yerdeğiştirme diyagramı Şekil 2.76'da gösterilmiştir. Kuvvet-yerdeğiştirme grafiğinde gösterilen ve deney ile ilgili önemli noktalar Çizelge 2.9'da verilmiştir.

Şekil 2.76: Kuvvet-yerdeğiştirme diyagramı

Çevrimsel Yükleme							
	Döşeme Çekmede	Döşeme Basınçta					
"Akma" Dayanımı <sup>*</sup>	87 kN	-96 kN					
Maksimum Dayanım	142 kN	-106 kN					
"Akma" Uzaması <sup>*</sup> (d <sub>y</sub> )	5.82 mm	-8.76 mm					
Kopma Uzaması ( $d_{u,15\%}$ ; maksimum dayanımın %85'ine karşılık gelen)	19.17 mm	-24.72 mm					
Kopma Uzaması (d <sub>u,tot</sub> ; birleşimin güç tükenmesine karşılık gelen)	36.849 mm	35.033 mm					
Süneklik Oranı	6.32	4					
Toplam Enerji Yutma Kapasitesi	33.854	4 kNm					

Çizelge 2.8 :Numune 6'a ait deney sonrası elde edilen kritik değerler

\* "Akma" noktaları yatay kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi yardımıyla belirlenmiştir.

Deney, döşemenin çekmede olduğu çevrim ile başlamıştır. f=68kN d=2,125mm. (drift=%0,125) değerinde, döşemede ilk eğilme çatlağı ilk itme çevriminde oluştu. f=-82kN d=4,25mm.(drift=%0,25) değerinde 2. çekme çevriminde hem kolonda hem kirişte ilk eğilme çatlağı oluştu, Şekil 2.77.



Şekil 2.77: 1. ve 2. çevrim grubu sonucu numunede oluşan hasar durumu

f=-97kN d=17mm. ( drift=%1 ) değerinde paspayı betonunda dökülmeler gözlendi 2.çekme çevriminde koptu. f= -77kN d=- 25,5mm (drift=%1,50) değerinde 3.çekme çevriminde etriye koptu, Şekil 2.78.



Şekil 2.78: Numunede oluşan hasar durumu



Şekil 2.79: Numunede oluşan hasar durumu

112kN ve %1,5 driftte ,hasır çelik koptu. f= -50kN d= -34mm (drift=%2) değerinde 2.çekme çevriminde boyuna donatı koptu, Şekil 2.79.

Numunenin taşıma kapasitesine etriyenin kaynaklandığı taşıyıcı kiriş alt plakasından ani bir şekilde kopması sonucu gevrek bir davranış sergileyerek ulaşmıştır, Şekil 2.79. Oluşan çatlaklar genelde birleşim bölgesinde (taşıyıcı kirişin guseyle birleştiği kısımda) meydana gelmiştir ve kesme çatlağı tipindedir.

Numune düzlemine dik ve düzlem içi yerdeğiştirmeler ile kolon hareketi tüm deney süresince izlenmiş toleransların içinde kaldığı gözlenmiştir.







Şekil 2.80: Kirişte kaydedilen dönmeler(üst) moment – eğrilik (alt) (kanal11-12)























Şekil 2.83: Taşıyıcı kirişte kaydedilen dönmeler (üst), moment eğrilik (alt) (17-18)

Taşıyıcı kiriş üzerindeki yaklaşık 60 cm'lik hasar oluşması beklenen kritik bölgeye yerleştirilen 11-12,13-14, 15-16 ve 17-18 no'lu kanallardan elde edilen okumalardan bu kesitlerdeki yatay kuvvet-dönme grafiği ve moment –eğrilik grafikleri elde edilmiştir. Bu grafikler sırasıyla Şekil 2.80, Şekil 2.81, Şekil 2.82 ve Şekil 2.83'te gösterilmiştir. Bu şekillerde oluşan eğrilerin daha iyi görünmesi için grafikler, ölçekleri büyültülerek verilmiştir.

Elde edilen grafiklerde kesitlerde plastik şekil değiştirmeler oluştuğu gözlenmiştir. 15-16 nolu ve 17-18no'lu kanalın bulunduğu kesitte diğer kesitlere oranla daha fazla plastik şekil değiştirme yaptığı gözlenmiştir.

#### 2.2.3 Deney sonuçlarının karşılaştırılması

Bu bölümde SAFECAST araştırma projesi kapsamında deneyi yapılan sanayi tipi prefabrike yapı kolon-kiriş birleşim bölgesine ait gerçekleştirilen iki çevrimsel özdeş numuneden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.



Şekil 2.84: Numune4 ve Numune6'ya ait kuvvet-yerdeğiştirme diyagramları

Şekil 2.84'te, çevrimsel yükleme testine tabi tutulmuş Numune 4 ve Numune 6'ya ait kuvvet-yerdeğiştirme grafikleri verilmiştir. Her iki numunede özellikle birleşim bölgesinde kesme davranışı gösterdiği ve etriye ve boyuna donatılarda kaynakların kopması dolayısıyla sünek davranışı yakalayamamıştır. Düğüm noktası ankastreliğini %2 drift (göreli öteleme) seviyesine kadar koruyamamıştır. Her iki numunede bu

sebeplerden dolayı ancak 34mm deplasmana kadar(%2 drift seviyesine) çevrime tabi tutulabilmiştir. İki numunenin de çekme ve basınç durumundaki davranışları incelendiğinde, numunelerin deplasman ve kuvvet değerleri açısından özellikle Numune 4'te, döşemenin basınçta ve çekmede olduğu durumlarda simetrik davranış sergilediği görülmektedir. Numune 4 özellikle döşemenin çekmede olduğu durumda Numune 6'ya göre dayanım açısından geride kalmıştır. Numune 4'te pinching etkisi, döşemenin basınca ve çekmeye çalıştığı bölgelerin her ikisinde de Numune 6'ya göre daha belirgindir. Numune 4'te boyuna donatının kaynak bölgesinden kopması dolayısıyla Numune 6'ya göre daha gevrek bir davranışa zorlanmıştır. Döşemenin çekme durumunda olduğu bölgede numune 6, numune 4'e göre daha yüksek dayanıma ulaşmış ve ilerleyen çevrimlerde de dayanımı diğer numunenin üzerinde devam ederek çevrimlerini tamamlamıştır.

Şekil 2.85'te numunelere ait enerji bağıl tepe yerdeğiştirme yüzdelerine karşılık gelen enerji yutma kapasiteleri incelenmiştir. Buna göre numune 6'nın numune 4'e göre daha fazla enerji yuttuğu görülmektedir. Bu da numune 6'da birleşimin numune 4'e göre daha sünek davrandığını göstermektedir. Numune 4 ve numune 6'ya ait grafikler çevrimlere (histeritik çevrim) ayrılarak kapadıkları alanlar hesaplanmış ve buradan yuttukları enerjiye geçilmiştir. Çizelge 2.6'da (numune 4 sol tarafta numune6 sağ tarafta) numune 4 ve numune 6'ya ait çevrimler yan yana konularak çevrim şekilleri, ilk rijitlikleri ve her adımda histerik çevrime etkileri kıyaslanmıştır.



Şekil 2.85: Numune4 ve Numune6'ya ait yığışımlı enerji yutma diyagramı



**Çizelge 2.9** :Numune 4 ve Numune 6'a ait deney sırasında elde edilen çevrimlerin enerji ve davranış açısından değerlendirilmesi

Çizelge 2.9(devam) :Numune 4 ve Numune 6'a ait deney sırasında elde ediler	l
çevrimlerin enerji ve davranış açısından değerlendirilmesi	

(ITC-1)Num	une-4 Ait Yutulan Enerji	(ITC-2)Numune-6 Ait Yutulan Ene		
Enerji [kNmm]	ÇevrimYük –Deplasman	Enerji [kNmm]	ÇevrimYük -Deplasman	
%0.25Drift 103.9	P - D 100 400 400 400 400 400 400 400	%0.25Drift 112.7	P-D 100 40 40 40 40 40 40 40 40 40	
%0.25Drift 516.9	P - D 150 100 50 50 50 50 50 50 50 50 50	%0.25Drift 630.7	P - D 100 60 40 40 40 40 40 40 40 40 40 4	
%0.50Drift 350.9	P - D 150 160 50 -20 -10 -20 -10 -10 -10 -10 -10 -10 -10 -1	%0.50Drift 468.7	P - D 150 100 100 100 100 100 100 100	
%0.50Drift 307.7	P - D 150 100 50 -20 -10 -10 -10 -10 -10 -10 -10 -1	%0.50Drift 424.5	P - D 150 100 -20 -20 -10 -0 -20 -10 -10 -10 -10 -10 -10 -10 -1	
%0.50Drift 2393.9	P - D 150 50 -10 -20 -10 -10 -10 -10 -10 -10 -10 -1	%0.50Drift 2225.0	P - D 150 100 -20 -10 -20 -10 -20 -10 -20 -10 -20 -20 -10 -20 -10 -20 -20 -10 -20 -20 -10 -20 -20 -20 -20 -20 -20 -20 -2	

(ITC-1)Num	une-4 Ait Yutulan Enerji	(ITC-2)Numune-6 Ait Yutulan Ener		
Enerji [kNmm]	ÇevrimYük –Deplasman	Enerji [kNmm]	ÇevrimYük -Deplasman	
%1 Drift 001.5	P - 0 100 400 400 400 400 400 400 40	%1 Drift 1979.2	P - D 100 100 100 100 100 100 100 10	
%1 Drift 1595.7	P - D 100 40 40 -10 -20 -10 -10 -10 -10 -10 -10 -10 -1	%1 Drift 1762.6	P - D 100 100 100 -0 -0 -0 -0 -0 -0 -0 -0 -0	
%1 Drift 3293.6	P - D 100 00 00 00 00 00 00 00 00 0	%1 Drift 3912.6	P - D 100 100 100 -0 -0 -0 -0 -0 -0 -0 -0 -0	
%1.5 Drift 3013.4	P - D 100 00 00 00 00 00 00 00 00 0	%1.5 Drift 3796.8	P - D 100 100 100 100 100 100 100 10	
%1.5 Drift 2503.7	P - D 100 100 100 100 100 0 40 100 0 40 100 0 40 100 0 40 100 0 40 100 0 40 100 0 40 100 0 40 100 100 100 100 100 100 100 1	%1.5 Drift 3609.8	P - D 100 100 100 100 100 100 100 10	

**Çizelge 2.9(devam)** :Numune 4 ve Numune 6'a ait deney sırasında elde edilen çevrimlerin enerji ve davranış açısından değerlendirilmesi

(ITC-1)Num	une-4 Ait Yutulan Enerji	(ITC-2)Numune-6 Ait Yutulan Enerji			
Enerji [kNmm]	ÇevrimYük –Deplasman	Enerji [kNmm]	ÇevrimYük -Deplasman		
%1.5 Drift 3346.8	P-D 100 40 40 40 40 40 40 40 40 40	%1.5 Drift 5639.7	P-D 100 100 100 00 00 00 00 00 00		
%2 Drift 2460.4	P - D 100 40 40 40 40 40 40 40 40 40	%2 Drift 5015.6	P - D 100 100 100 100 100 100 100 10		
%2 Drift 1194.1	P-D 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	%2 Drift 3740.8	P - D 120 100 100 100 100 100 100 100		
Toplam:	23.449 kNm	Toplam:	33.584 kNm		

**Çizelge 2.9(devam)** :Numune 4 ve Numune 6'a ait deney sırasında elde edilen çevrimlerin enerji ve davranış açısından değerlendirilmesi

Numune 4 ve Numune 6'da deney sırasında çatlak oluşumları karşılıklı olarak Şekil 2.86, Şekil 2.87, Şekil 2.88, Şekil 2.89, Şekil 2.90 ve Şekil 2.91'de karşılıklı olarak verilmiştir. Numune 4 ve numune 6'da oluşan çatlaklar oluşum sırasına göre 1'den başlanarak isimlendirilmiş ve şematik olarak gösterilmiştir.

Oluşan çatlak tipleri (özellikle birleşim bölgesindeki çatlaklar) kesme tipindedir ve numunelerin deney esnasında gevrek davranış gösterdiğini anlatır.



Şekil 2.86: Numune4 arka(back) yüzde oluşan çatlaklar



Şekil 2.87: Numune 6 arka(back) yüzde oluşan çatlaklar



Şekil 2.88: Numune 4 ön (front) yüzde oluşan çatlaklar



Şekil 2.89: Numune 6 ön (front) yüzde oluşan çatlaklar



Şekil 2.90: (Numune 4 solda Numune2 sağda) sol (left) yüzde oluşan çatlaklar



Şekil 2.91: (Numune 4 solda Numune6 sağda) sağ (right) yüzde oluşan çatlaklar

# 3. ENDÜSTRİ TİPİ PREFABRİK YAPI SİSTEMLERİNDE KULLANILAN İYİLEŞTİRİLMİŞ MOMENT AKTARAN KOLON-KİRİŞ BİRLEŞİMİ İÇİN GERÇEKLEŞTİRİLEN İKİ DENEY

# 3.1 Deney Numunelerinin Hazırlığı

### 3.1.1 Deney numuneleri

SAFECAST Projesi kapsamında toplam endüstri tipi birleşimi yansıtan toplam 6 deney gerçekleştirilmiş; ardından numune davranışını iyileştirmek amacıyla birleşim revize edilerek birbiriyle özdeş 2 deney numunesi çevrimsel yükleme altında test edilmiştir. Birleşim bölgesinde bazı önlemler alınarak numune davranışı iyileştirilmek istenmektedir.

Deney numunelerinde gerçekleştirilen revizyonun amaçları:

- Birleşim bölgesinde kayma çatlaklarının oluşumunu azaltarak birleşimin eğilme etkin davranış göstererek kapasitesine ulaşmasını sağlamak.
- Hasarı birleşimin gerçekleştiği kolon gusesi ile ana kirişin kaynaklandığı bölgenin üzerinde oluşmasını sağlamak.
- Birleşimin kapasitesine etriye yada kaynak kopması gibi gevrek davranış sergileyerek değil, boyuna donatıların eğilme davranışı göstererek sünek bir şekilde kapasitesine ulaşmasını sağlamak.
- Birleşimin her iki yönde (döşeme çekmede ve döşeme basınçta) dayanımını arttırmak.
- Birleşimin sünek davranış göstererek enerji yutma kapasitesini arttırmak.
- Birleşimin her iki yönde (döşeme çekmede ve basınçta) simetrik davranış göstermesini sağlamak.

Sıralanan bu amaçlar doğrultusunda numunede şu revizyonlar gerçekleştirilmiştir:

• Yapılan deneylerde etriyelerde kopma oluştuğu gözlendiği için taşıyıcı kirişin mesnet bölgesinde bulunan 3ø 8 etriye yerine 3ø 10 etriye kullanılmıştır.

 Mesnetteki etriyelerin taşıyıcı kiriş alt plakasına doğrudan kaynaklanması yerine, mesnetteki etriye kaynak boyunu arttırmak amacıyla kiriş alt plakasına dik vaziyette iki adet 5x40x200 mm boyutlarında plaka eklendi. PK1 adı verilen bu plakalar öncelikle kiriş boyuna donatılarının kaynaklandığı PK2 plakasına köşe kaynak ile PK1 in çevresi boyunca dört yönde kaynaklanacaktır.Ardından etriyeler 3mm kaynak kalınlığı ile iki tarafından dikey duran bu PK1 plakasına kaynaklanacaktır. Şekil 3.1 de plakalara yapılacak kaynaklar ve birleşim ile ilgili detay gösterilmektedir.



Şekil 3.1 : Revize edielen plaka detayı

- Numunede kullanılan betonarme çeliklerinin kaynaklanabilir olması sağlandı ve karbon eşdeğeri 0.50'den küçük olan donatı tercih edildi.
- Taşıyıcı kiriş alt plakası 200.200.10 mm olarak kullanıldı.
- Plaka-plaka kaynakları 5mm olarak yapıldı.
- Taşıyıcı kirişte öngerme işleminin uygulanması özenli bir şekilde gerçekleştirildi.

Proje kapsamında incelenecek olan endüstri tipi prefabrike yapıya ait birleşim detayı yine ½ ölçekli olarak hazırlandı. Kolon kirişin üst donatılarını ve sonradan konulan u montaj donatılarının eklenebilmesi için boşluklu imal edildi. Kolonda bulunan gusenin üzerine plaka kolon donatıları hazırlanırken fabrikada kaynaklandı. Kolon ile ilgili görünüşler detaylar Şekil 3.2 ve Şekil3.3 'de görülmektedir.

Şekil 3.4 Şekil 3.5 ve Şekil 3.6'da kolon enkesiti, donatı detayı, tali ve taşıyıcı kiriş guseleri plaka ve kaynak detayları görülmektedir. Numunenin üretim ve montaj aşamaları önceki numuneler ile aynıdır. Kirişin guseye oturacak alt kısmına çelik plaka üretim esnasında kaynaklanmaktadır. Şantiyede guseye kiriş konulmakta ve ardından plakalar birbirine kaynaklanmaktadır. Birleşimin üst kısmı ise şantiyede prekast boşluklu döşeme elemanlarının kiriş üzerine yerleştirilmesinden sonra u montaj donatılarının kolonda bırakılan boşluklardan yerleştirilip beton dökülmesiyle tamamlanır. Numuneye ait kesit görünüşleri ve donatı yerleşimleri Şekil 3.7, Şekil 3.8, Şekil 3.9 ve Şekil 3.10'da görülmektedir.



Şekil 3.2 : Kolon üst görünüşü



Şekil 3.3 : Kolon yan görünüşü



Şekil 3.4 : Kolon a-a kesidi ve donatı yerleşimi



Şekil 3.5 : Kolon üst plaka ve kaynak detayı



Şekil 3.6 : Kolon gusesi plaka ve kaynak detayı



Şekil 3.7 : Numune a-a kesidi



Şekil 3.8 : Numune b-b kesidi



Şekil 3.9 : Numune c-c kesidi



Şekil 3.10 : Numune d-d kesidi ve donatı yerleşimi

# 3.1.2 Deney numunelerinin üretimi

Numunelerin üretimi Yapı Merkezi Prefabrikasyon A.Ş tarafından gerçekleştirilmiştir.Üretim ve montaj aşaması ilk set numunelerde olduğu gibidir..



Şekil 3.11 : Kiriş alt plaka ankrajı ve kolon donatısı



Şekil 3.12 : Kiriş alt plakasının etriye ve boyuna donatı ile birleşimi



Şekil 3.13 : Kiriş donatısı ve beton dökümü

Şekil 3.11, Şekil 3.12, Şekil 3.13, Şekil3.14, Şekil 3.15 ve Şekil 3.16 'da numunenin üretim aşamaları görülmektedir. Şekil 3.12'de numunede gerçekleştirilen revizyonların uygulanması görülmektedir. (Taşıyıcı kiriş plakasına yapılan kaynak)



Şekil 3.14 : Taşıyıcı ve tali kirişlerin kolonla birleştirilmesi



Şekil 3.15 : Boşluklu döşeme ve üst ıslak birleşim



Şekil 3.16 : Topping betonunun dökülmesi ve üretimi biten numune

#### 3.1.3 Malzeme deneyleri

Malzeme deneyleri, İTÜ İnşaat Fakültesi Yapı Malzemeleri Laboratuvarı'nda bulunan pres ve çekme aletlerinde gerçekleştirilmiştir. Beton silindir numuneler için basınç deneyleri, tüm prefabrik elemanlarda kullanılan beton çelikleri için çekme deneyleri gerçekleştirilmiştir.

#### 3.1.3.1 Beton deneyleri

Revize edilen her iki deney numunesinin üretimi aşamasında kullanılan betonların basınç dayanımlarının belirlenmesi amacıyla her bir numune için, kolon-kiriş betonu ve kavrama betonundan yeterli sayıda numune alınmıştır.

Numuneler Yapı Merkezi Prefabrikasyon A.Ş. Kalite Kontrol Laboratuvarında kırılarak Çizelge 3.1 deki sonuçlar elde edilmiştir.

Numune	7 gün Dayanım Ort. (MPa)	28 gün Dayanım Ort. (MPa)	39 gün Dayanım Ort. (MPa)
Kolon (Rev Numune-1)	55,5	64.6	70.3
Kiriş (Rev numune-1-2)	65.7	66.6	75.5
Kolon (Rev Numune-2)	43.2	55.7	-
Topping Betonu (Rev Numune-1)	45.6	55.2	-
Topping Betonu (Rev Numune-2)	38.5	42.3	-

Çizelge 3.1: Beton basınç deneyi sonuçları

#### 3.1.3.2 Çelik deneyleri

Revize edilen her iki deney numunesinin üretimi aşamasında kullanılan betonarme çeliklerinden yeterli sayıda numune alınmış ve İTÜ Malzeme Laboratuvarı'nda deneye tabi tutulmuştur. Elde edilen sonuçlar ve yönetmeliklerdeki sınır değerler Çizelge 3.2'de verilmiştir.

TS 708-TS 138 sınır değerleri:

Ak	ma (N/mm <sup>2</sup> r	nin)	Çek	me (N/mm <sup>2</sup> r	min)	Kopma Uzama Oranı (% min)			
Nervürlü	Düz	Hasır	Nervürlü	Düz	Nervürlü	Düz	Ha	ISIT	
420	220	500	500	340	550	12	18	5	8

UYGULANAN STANDART :TS 708-TS 138 DENEY SONUCU BULUNAN DEĞERLER						LAB. ORTAM SICAKLIĞI : 18 <sup>0</sup> C				TS 708 -SINIR DEĞERLERİ	
	Anma	Ölçüm	Kütle	Akma Da	yanımı	Çekme l	Dayanımı	Çekme Akma	Kopma Uzama	Anma Kütlesi	Anma Kütlesi
NO	(mm)	(mm)	Kg/m	Kuvvet kN	Ger. N/mm <sup>2</sup>	Kuvvet kN	Ger. N/mm <sup>2</sup>	Oranı Rm/Re	Oranı %	Kg/m Min	Kg/m Max
1	8	8,0	0,391	26,0	517	31,9	634	1,23	24	0,371	0,418
2	8	8,0	0,392	22,8	453	28,9	576	1,27	20	0,371	0,418
3	8	8,0	0,392	23,2	463	29,6	589	1,27	20	0,371	0,418
4	8	8,0	0,392	23,1	459	29,4	586	1,28	18	0,371	0,418
5	10	9,8	0,590	44,1	562	51,0	650	1,16	17	0,589	0,644
6	10	9,9	0,600	42,2	537	50,5	643	1,20	18	0,589	0,644
7	10	9,8	0,598	45,1	575	54,4	693	1,21	15	0,589	0,644
8	10	9,8	0,591	42,7	543	51,5	656	1,21	16	0,589	0,644
9	12	11,8	0,855	6,8	538	71,1	629	1,17	20	0,848	0,927
10	12	11,9	0,874	66,2	588	76,5	677	1,16	14	0,848	0,927
11	12	11,7	0,843	57,9	512	68,7	607	1,19	20	0,848	0,927
12	12	11,8	0,855	57,4	507	69,2	612	1,21	18	0,848	0,927
13	16	15,8	1,536	107,9	537	128,5	639	1,19	17	1,508	1,651
14	16	15,8	1,531	105,9	527	127,5	634	1,20	17	1,508	1,651
15	16	15,8	1,534	106,9	532	127,5	634	1,19	16	1,508	1,651

Çizelge 3.2: Çelik çekme deneyi sonuçları

#### 3.1.4 Deney düzeneği

Deneysel çalışma, İTÜ İnşaat Fakültesi Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarı'nda bulunan rijit deney döşemesi üzerine bağlanmış özel bir deney düzeneği kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneği gerçekleştirilen ilk set deneylerle birebir aynıdır.

Yükleme düzeneği, yön değiştiren yükler etkisinde oluşan tepki kuvvetlerinin rijit döşemeye güvenli bir şekilde aktarımını sağlamaktadır. Yatay yükleme, bilgisayarla kontrol edilen  $\pm$  250 kN ve  $\pm$  300 mm yerdeğiştirme kapasiteli MTS marka hidrolik veren ile yapılmıştır.

Reaksiyonu betonarme reaksiyon duvarına aktarılan, her iki ucunda iki yönlü mafsallar yer alan hidrolik verenin numuneye bağlanması için, 4 adet  $\Phi$ 18 mm çaplı yüksek dayanımlı ankraj bulonu kullanılmıştır.

Deney numunelerinde kolonda sabit eksenel kuvvet ENERPAC RC506 hidrolik kriko ile oluşturulmuştur.

Oluşturulan bu eksenel kuvvet TML CLP-100 CMP yük ölçer ile ölçülmüştür. Tüm numunelerde eksenel yük, deney boyunca kolon dayanım değerinin %10'u kadar değerde sürekli olarak uygulanmıştır.



Şekil 3.17 : Deney düzeneği



Şekil 3.18 : Deney düzeneğinin laboratuardaki görünüşü

# 3.1.4.1 Ölçüm düzeneği

Numune davranışını belirlemek üzere kritik noktalara yerdeğiştirme ölçerler konularak okumalar yapılmıştır. Ölçüm düzeneği ilk set deneylerdeki ile aynıdır.
Tüm yerdeğiştirme ölçerler hem itmede hem de çekmede okuma yapabilecek şekilde yerleştirilmişlerdir.

Yerdeğiştirme ölçümlerinde farklı ölçüm boylarına sahip TML marka CDP-5, CDP-10, CDP-25, CDP-50 ve CDP-100 tipi yerdeğiştirme ölçerler kullanılmıştır. Ölçüm düzeneğinin genel görünüşü Şekil 3.19'de verilmiştir.



Şekil 3.19 : Ölçüm düzeneğinin genel görünüşü



Şekil 3.20 : Ölçüm aletlerinin ön cephede yerleşimi ve kanal numaraları



Şekil 3.21 : Ölçüm aletlerinin arka cephede yerleşimi ve kanal numaraları



Şekil 3.22 : Ölçüm aletlerinin sağ cephede yerleşimi ve kanal numaraları



Şekil 3.23 : Ölçüm aletlerinin ön cephede yerleşimi, kanal numaraları ve mesafeler





Şekil 3.20, Şekil 3.21, Şekil 3.22, Şekil 3.23 ve Şekil 3.24'de ölçüm aletlerinin yerleşimleri, mesafeleri ve kanal numaraları gösterilmiştir.

5 numune üzerine yerleştirilen yerdeğiştirme ölçerlerin numune üzerindeki konumlarına her ne kadar sadık kalınsa da, ölçerler arasındaki mesafelerde numunelere göre değişiklik olmuştur.

Ölçüm düzeneği toplam 16 adet yerdeğiştirme ölçer, 2 adet PI ölçer ve 1 adet yük ölçerden oluşmaktadır. Ölçümlerde kullanılan yerdeğiştirme ölçerlerin kanal numaraları ve kodları Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Yerdeğiştirme Ölçer Tipi	Kanal No	Eleman Kodu	Açıklama
CDP 25	11	FLV(1)	FLV(1): Ön cephe sol kısım 1 nolu
CDP 25	35	FRV(1)	yerdeğiştirme ölçer
CDP 25	13	FLV(2)	BRH: Arka cephe sağ kısım yatay
CDP 25	14	FRV(2)	yerdeğiştirme ölçer
CDP 5	15	FLV(3)	F:Front
CDP 5	16	FRV(3)	L:Left
CDP 10	17	FLV(4)	V:Vertical
CDP 5	18	FRV(4)	H:Horizontal
CDP 5	19	FLH	B: Back
CDP 10	37	RV	Ön ve arka cephe yerdeğiştirme ölçerler
CDP 25	21	LH	
CDP 25	22	BRH	
OX 200	23	RH(1)	RH(1): Sağ cephe 1 nolu yatay
CDP 100	24	RH(2)	yerdeğiştirme ölçer
CDP 50	25	RH(3)	
CDP 50	27	RH(4)	Sağ cephe yerdeğiştirme ölçerler
CDP25	38	LV	

Çizelge 3.3: Yerdeğiştirme ölçer tipi, kanal numarası ve eleman kodu

Yerdeğiştirme Ölçer Tipi	Kanal No	Eleman Kodu	Açıklama
CDP25	30	RC	
CDP25	34	FH(2)	Düzlem dışı yerdeğiştirme ölçerler
PI	54	F-Pİ	
PI	52	B-Pİ	Ön ve arka cephe Pi ölçerler

Çizelge 3.3(devam): Yerdeğiştirme ölçer tipi, kanal numarası ve eleman kodu

#### 3.1.4.2 Ölçümlerin değerlendirilmesi

Diğer numune setinde olduğu gibi deney sonucu ölçüm düzeneğinin okumaları ile oluşan yük, şekildeğiştirme ve yerdeğiştirme verileri bilgisayar ortamına aktarılarak EXCEL programı vasıtasıyla işlenmiştir.

#### 3.2 Deneysel Çalışma

#### 3.2.1 Çevrimsel yükleme

SAFECAST kapsamında incelenen sanayi tipi 5 deney numunesinden Numune 4, Numune 6 yerdeğiştirme çevrimleri etkisinde tersinir-tekrarlı artan yükler altında incelenmiştir. Bunun ardından gerçekleştirilen revizyonlar sonucu birbirine özdeş iki deney numunesi oluşturulmuş ve oluşturulan bu numunelerin her ikisi de çevrimsel yükleme ile tersinir-tekrarlı olarak test edilmiştir.

#### 3.2.1.1 İyileştirilmiş endüstri tipi numunede çevrimsel yükleme-1 (R-ITC-1)

Rev-Numune 1'de, yerdeğiştirme çevrimleri etkisinde tersinir-tekrarlı artan yükler altında gösterdiği davranış incelenmiştir. Deneyde yerdeğiştirme çevrimleri, numuneye, her çevrim grubunda aynı bağıl tepe yerdeğiştirme yüzdesiyle 3 çevrim olmak üzere gerçekleştirilmiştir.

Şekil 3.25 'de yerdeğiştirme fonksiyonunun adım sayısı ile ilişkisi gösterilmiştir. Revize edilmiş deney numunesi %4 olan hedef göreli ötelenme seviyesine kadar deneye tabi tutulmuş ve ardından tek yönlü itilerek sonlandırılmıştır. Yapılan revizyonlar deneyin hedef göreli ötelenme değerinin yakalanmasını sağlamıştır.



Şekil 3.25 : Yerdeğiştirme fonksiyonunun adım sayısı ile ilişkisi



Şekil 3.26 : Kuvvet- yerdeğiştirme diyagramı

Kuvvet-yerdeğiştirme grafiği Şekil 3.26'da gösterilmiş ve deney ile ilgili önemli noktalar Çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çevrimsel Yükleme			
	Döşeme Çekmede	Döşeme Basınçta	
"Akma" Dayanımı <sup>*</sup>	164.83 kN	-118.45 kN	
Maksimum Dayanım	172.48 kN	-125.8 kN	
"Akma" Uzaması <sup>*</sup> (d <sub>y</sub> )	16.02 mm	-19.38 mm	
Kopma Uzaması (d <sub>u,15%</sub> ; maksimum dayanımın %85'ine karşılık gelen)	54.54 mm	-35.25 mm	
Kopma Uzaması (d <sub>u,tot</sub> ; birleşimin güç tükenmesine karşılık gelen)	67.89 mm	70.2 mm	
Süneklik Oranı	4.23	3.62	
Toplam Enerji Yutma Kapasitesi	68.73	kNm	

Çizelge 3.4: Rev-Numune 1'e ait deney sonrası elde edilen kritik değerler

Deney, döşemenin çekmede olduğu çevrim ile başlamıştır. Döşemede ilk eğilme çatlağı f=70.62kN ve d=2.25mm değerinde ilk itme çevriminde oluştu. (drift=%0.125).(Şekil 3.20). Taşıyıcı kirişte ilk eğilme çatlağı f=-59.2kN ve

d=-2.125mm değerinde ilk çekme çevriminde oluştu, Şekil3.27. (drift=%0.125)



Şekil 3.27 : Döşeme ve kirişte ilk çevrimde oluşan hasarlar

f=86.7 kN ve d=4.25mm değerinde 2. İtme çevriminde (drift=%0.25) döşemede yeni eğilme çatlakları oluştu ve mevcut çatlak genişlikleri arttı, Şekil 3.28.

f=-73.6 kN ve d=-4.25 mm değerinde 2.çekme çevriminde kirişte birleşim bölgesinden yukarıya doğru yeni eğilme çatlakları oluştu (drift=%0.25), Şekil3.28.



Şekil 3.28 : Döşeme ve kirişte 2. çevrimde oluşan hasarlar

f=147.8 kN ve d=17 mm değerinde 4. itme çevriminde (drift=%1) kolon-döşeme arayüzünde ilk çevrimde oluşan çatlakta genişleme gözlendi, Şekil 3.29. f=158.9kN d=25.5 mm değerinde ve %1.5 drifte ulaşıldığında 5.itme çevriminde döşemede büyük kırıklar oluştu, Şekil 3.29.

f= 142kN d=34 mm ve %2 göreli öteleme sınırına ulaşıldığında 6.çevrimde birleşim bölgesinde önemli derecede hasar meydana geldi, Şekil3.30. Aynı çevrimde taşıyıcı kirişin boyuna donatılarının her ikisi de burkuldu, Şekil 3.30.

f=-64.9 kN d=-51 mm ve %3 drifte ulaşıldığında 7.çekme çevriminde boyuna donatılar şekil değiştirerek koptu, Şekil 3.31.

Numune yapılan revizyonlardan ve beton mukavemetinin artmasından (65MPa civarı) dolayı eğilme etkin davranış göstermiş, oluşan çatlak tipleri taşıyıcı kiriş boyunca yükselen eğilme tipi çatlaklardır. Numunede hasar birleşim bölgesinin hemen üzerindeki kesite taşınmış birleşim bölgesi ankastreliğini %2 göreli ötelenme sınırına kadar korumuştur.

Deney sırasında %1.5 göreli ötelenme sınırına kadar kolonun altında ve üstünde eğilme çatlakları meydana gelmesini düğüm noktasının ankastreliğini koruduğu şeklinde yorumlayabiliriz. Döşemede oluşan çatlaklar da önceki numunelere göre daha yukarıda oluşmuştur.



Şekil 3.29 : Numunede 4. ve 5. itme çevrimlerinde oluşan hasarlar



Şekil 3.30 : Birleşim bölgesinde %2 drift seviyesindeki hasar ve burkulan donatılar



Şekil 3.31 : 7.Çekme çevriminde kopan boyuna donatılar ve ayrışan halatlar

%3 göreli ötelemeye ulaşılan çevrimin döşemenin çekmede olduğu itme durumunda taşıyıcı kirişte bulunan öngerilim halatları gergin haldeyken, boyuna donatılar koptuktan sonra bazı tellerinde kopmalar gözlendi Döşemenin basınca zorlandığı çekme durumunda ise öngerilim halatını oluşturan tellerin açılarak birbirinden ayrıldığı gözlendi, Şekil 3.31.

Taşıyıcı kiriş üzerindeki yaklaşık 60 cm'lik hasar oluşması beklenen kritik bölgeye yerleştirilen 11-12,13-14, 15-16 ve 17-18 no'lu kanallardan elde edilen okumalardan bu kesitlerdeki yatay kuvvet-dönme grafiği ve moment –eğrilik grafikleri elde edilmiştir. Bu grafikler sırasıyla Şekil 3.32, Şekil 3.33, Şekil 3.34 ve Şekil 3.35'te gösterilmiştir. Bu şekillerde oluşan eğrilerin daha iyi görünmesi için grafikler, ölçekleri büyültülerek verilmiştir.

Elde edilen grafiklerde kesitlerde plastik şekil değiştirmeler oluştuğu gözlenmiştir. 15-16 nolu ve 17-18no'lu kanalın bulunduğu kesitte diğer kesitlere oranla daha fazla plastik şekil değiştirme yaptığı gözlenmiştir.Hasarın bu bölgede toplandığını söyleyebiliriz. Ayrıca 11-12,13-14 nolu kanallardan okunan değerlerinde diğer çevrimsel yüklemelerdekine göre yüksek olması hasarın kirişe doğru yayıldığını göstermektedir.























Şekil 3.34: Taşıyıcı kirişte kaydedilen dönmeler (üst), moment eğrilik (alt) (15-16)









#### 3.2.1.2 İyileştirilmiş endüstri tipi numunede çevrimsel yükleme-2 (R-ITC-2)

Rev-Numune 2'de, yerdeğiştirme çevrimleri etkisinde tersinir-tekrarlı artan yükler altında gösterdiği davranış incelenmiştir..



Şekil 3.36 : Yerdeğiştirme fonksiyonunun adım sayısı ile ilişkisi



Şekil 3.37 : Kuvvet- yerdeğiştirme diyagramı

Deneyde yerdeğiştirme çevrimleri, numuneye, her çevrim grubunda aynı bağıl tepe yerdeğiştirme yüzdesiyle 3 çevrim olmak üzere gerçekleştirilmiştir Şekil 3.36 'te yerdeğiştirme fonksiyonunun adım sayısı ile ilişkisi gösterilmiştir.

Kuvvet-yerdeğiştirme grafiği Şekil 3.37'da gösterilmiş ve deney ile ilgili önemli noktalar Çizelge 3.5'te verilmiştir.

Çevrimsel Yükleme			
	Döşeme Çekmede	Döşeme Basınçta	
"Akma" Dayanımı <sup>*</sup>	180.80 kN	-133.42 kN	
Maksimum Dayanım	199.30 kN	-134.10 kN	
"Akma" Uzaması <sup>*</sup> (d <sub>y</sub> )	16.71 mm	-19.38 mm	
Kopma Uzaması (d <sub>u,15%</sub> ; maksimum dayanımın %85'ine karşılık gelen)	42.48 mm	-33.30 mm	
Kopma Uzaması (d <sub>u,tot</sub> ; birleşimin güç tükenmesine karşılık gelen)	67.56 mm	-68.16 mm	
Süneklik Oranı	4.04	3.52	
Toplam Enerji Yutma Kapasitesi	79.023 kNm		

Çizelge 3.5: Rev-Numune 2'e ait deney sonrası elde edilen kritik değerler

Deney, döşemenin çekmede olduğu çevrim ile başlamıştır. Numunede ilk çatlak döşeme ile kolon arayüzünde f=76.8kN ve d=2.125mm değerinde ilk itme çevriminde (drift=%0.125) oluştu, Şekil 3.38. Taşıyıcı kirişte ilk eğilme çatlağı f=-59.82kN ve d=-2.125mm değerinde ilk çekme çevriminde oluştu, Şekil3.39. (drift=%0,125)

f=91.7 kN ve d=4.25mm değerinde 2. İtme çevriminde (drift=%0,25) döşemede oluşan eğilme çatlakları genişledi, Şekil 3.39. f=-79.1 kN ve d=-4.25 mm değerinde 2.çekme çevriminde kirişte birleşim bölgesinden yukarıya doğru yeni eğilme çatlakları oluştu (drift=%0.25), Şekil 3.39.

f=126,1 kN ve d=8,5 mm değerinde 3. itme çevriminde (drift=%0.5) kolon-döşeme arayüzünde ve kolonun altında oluşan çatlaklar genişledi, Şekil 3.40. f=161kN d=17 mm değerinde ve %1.0 drifte ulaşıldığında 4.itme çevriminde döşemede büyük çatlaklar oluştu, Şekil 3.40. f=-118.1kN d=25.5 mm ve %1.50 göreli öteleme

sınırına ulaşıldığında 5. Çekme çevrimde birleşim bölgesinde önemli derecede hasar meydana geldi, Şekil3.40.



Şekil 3.38 : Kolon-Döşeme arayüzünde ve kirişte ilk çevrimde oluşan hasarlar

f=-157.1 kN d=-34 mm ve %2.0 drifte ulaşıldığında 6.çevrimde taşıyıcı kirişin boyuna donatılarının her ikisi de burkuldu, Şekil 3.41.



Şekil 3.39 : Döşeme ve kirişte 2. çevrimde oluşan hasarlar



Şekil 3.40 : Numunede 3. ve 4. itme çevrimlerinde oluşan hasarlar



Şekil 3.41 : Birleşim bölgesinde %1.50 drift seviyesinde oluşan hasar ve %2.0 driftte burkulan donatılar

f=-70.1 kN d=-42.5 mm ve %2.50 drifte ulaşıldığında boyuna donatılar şekil değiştirerek koptu. %2.50 ve %3.0 göreli ötelemeye ulaşılan çevrimin döşemenin çekmede olduğu itme durumunda taşıyıcı kirişte bulunan öngerilim halatları gergin haldeyken, boyuna donatılar koptuktan sonra bazı tellerinde kopmalar gözlendi.

Rev-Numune1 'de olduğu gibi döşemenin basınca zorlandığı çekme durumunda ise öngerilim halatını oluşturan tellerin açılarak birbirinden ayrıldığı gözlendi.

Taşıyıcı kiriş üzerindeki yaklaşık 60 cm'lik hasar oluşması beklenen kritik bölgeye yerleştirilen 11-12,13-14, 15-16 ve 17-18 no'lu kanallardan elde edilen okumalardan bu kesitlerdeki yatay kuvvet-dönme grafiği ve moment –eğrilik grafikleri elde edilmiştir. Bu grafikler sırasıyla Şekil 3.42, Şekil 3.43, Şekil 3.44 ve Şekil 3.45'te gösterilmiştir. Bu şekillerde oluşan eğrilerin daha iyi görünmesi için grafikler, ölçekleri büyültülerek verilmiştir.







Şekil 3.42: Kirişte kaydedilen dönmeler(üst) moment – eğrilik (alt) (kanal11-12)







Şekil 3.43: Kirişte kaydedilen dönmeler (üst), moment – eğrilik (alt) (kanal13-14)

















Elde edilen grafiklerde kesitlerde plastik şekil değiştirmeler oluştuğu gözlenmiştir. 15-16 nolu ve 17-18no'lu kanalın bulunduğu kesitte diğer kesitlere oranla daha fazla plastik şekil değiştirme yaptığı gözlenmiştir.Rev Numune 1'e göre oluşan dönme ve eğrilikler daha düşüktür.

#### 3.2.2 . Deney sonuçlarının karşılaştırılması

Bu bölümde SAFECAST araştırma projesi kapsamında deneyi yapılan sanayi tipi prefabrike yapı kolon-kiriş birleşim bölgesine ait iyileştirilmiş 2 özdeş numuneden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.



Şekil 3.46: Rev Numune1 ve RevNumune2'ye ait kuvvet-dep. diyagramı

Şekil 3.46'de, çevrimsel yükleme testine tabi tutulmuş Rev Numune 1 ve Rev Numune 2'ya ait kuvvet-yerdeğiştirme grafikleri verilmiştir. Her iki numunenin de yapılan revizyonlar doğrultusunda dayanım ve sünekliğinde önemli düzeyde artış sağlanmıştır. Her iki numunenin davranışı birbirine göre çok benzerdir. Özellikle dayanım ve plastik şekildeğiştirmeler yönünden numuneler biribirine çok yakın davranış göstermiştir.Birleşimlerde her iki deney numunesinde de kesme davranışı oluşmamış numune birleşim bölgeleri eğilme etkin davranış göstermiştir. Birleşim bölgeleri her iki numunede de %2 drift düzeyinde boyuna donatıların burkulması ve ardından ilerleyen çevrimlerde boyuna donatıların eğilme etkisiyle kopması şeklinde kapasitelerine erişmiştir. Buda birleşimin her iki numune için istenen performansı yani (eğilme etkin davranışı) yakaladığını göstermektedir. Düğüm noktası ankastreliğini %2 drift (göreli öteleme) seviyesine kadar sağlıklı bir şekilde korumuş hatta %1.5 drift seviyesinde her iki numuneninde kolonunun mesnetlere yakın kısımlarına kadar ilerleyen eğilme çatlakları oluşmuştur. Her iki numune de hedef %4 drift seviyesine kadar çevrimsel yükler etkisinde başarıyla denenmiştir. Yapılan revizyonlar; kolon-kiriş birleşim bölgesinin yüksek çevrimlere kadar ankastre olarak davranmasını, dayanım ve sünekliğin artışını, hasarı taşıyıcı kirişte birleşim bölgesinin üzerine taşımayı başarmıştır. bu sebeplerden dolayı ancak 34mm deplasmana kadar(%2 drift seviyesine) çevrime tabi tutulabilmiştir. İki numunenin de çekme ve basınç durumundaki davranışları incelendiğinde, numunelerin deplasman ve kuvvet değerleri açısından benzer davranış sergilediği görülmektedir. Rev Numune 1 ve Rev Numune 2; dösemenin cekmede olduğu durumda dösemenin basınçta olduğu duruma göre daha büyük dayanım elde etmiştir. Numune üstündeki ıslak birleşimin kapasitesi (basınç bloğunun derinliği vb. etkisiyle ) numune altındaki kaynaklı birleşimin kapasitesinden daha büyüktür ve davranış her iki numunede de simetrik değildir.



Şekil 3.47: Rev Numune1 ve Rev Numune2'ye ait yığışımlı enerji yutma kap.

Şekil 3.47'te numunelere ait enerji bağıl tepe yerdeğiştirme yüzdelerine karşılık gelen enerji yutma kapasiteleri incelenmiştir. Buna göre rev numune 1 ve rev numune 2 yığışımlı enerji yutma açısından %2 drift düzeyine kadar aynı davranışı göstermiştir. Ancak rev numune1'de %2.5 drifti yakalayacak çevrimin yapılamaması nedeniyle enerji yutma kapasitesinde rev numune 2'nin gerisinde kalmıştır. %2 drift seviyesinden itibaren rev numune 2 daha fazla enerji yutmuştur..



**Çizelge 3.6** :Rev Numune 1 ve Rev Numune 2'ye ait deney sırasında elde edilen çevrimlerin enerji ve davranış açısından değerlendirilmesi

(R-ITC-1)RevNumune-1AitYutulan Enerji		(R-ITC-2)Rev Numune-2AitYut.Enerji	
Enerji [kNmm]	ÇevrimYük -Deplasman	Enerji [kNmm]	ÇevrimYük -Deplasman
%0.50Drift 474.9	P-D 150 50 50 50 50 50 50 50 50 50	%0.50Drift 460.3	P - D 150 100 -20 -20 -20 -20 -20 -20 -20 -
%0.50Drift 420.1	P-0 100 100 50 -0 -0 -0 -0 -0 -0 -0 -0 -0 -	%0.50Drift 443.0	P - D 150 100 100 -10 -10 -10 -10 -10 -1
%0.50Drift 2357.6	P - D 100 100 100 100 100 100 100 10	%0.50Drift 2234.9	P - D 150 100 100 100 100 100 100 100
%1 Drift 1773.6	P-D 100 100 100 100 100 100 100 10	%1 Drift 1952.3	P - D 300 300 300 300 300 300 300 30
%1 Drift 1552.5	P-D 100 100 100 100 100 100 100 10	%1 Drift 1683	P - D 100 100 100 100 100 100 100 10

**Çizelge 3.6(devamı)** :Rev Numune 1 ve Rev Numune 2'ye ait deney sırasında elde edilen çevrimlerin enerji ve davranış açısından değerlendirilmesi

# **Çizelge 3.6(devamı)** :Rev Numune 1 ve Rev Numune 2'ye ait deney sırasında elde edilen çevrimlerin enerji ve davranış açısından değerlendirilmesi

(R-ITC-1)RevNumune-1AitYutulan Enerji		(R-ITC-2)Rev Numune-2AitYut.Enerji	
Enerji [kNmm]	ÇevrimYük -Deplasman	Enerji [kNmm]	ÇevrimYük -Deplasman
%2 Drift 5080.5	P-D 200 150 100 0 0 0 0 20 30 40 50 100 100 100 100 100 100 100 1	%2 Drift 5347.8	P - D 100 100 100 100 100 100 100 10
%2 Drift 10714.3	P-D 100 100 100 100 100 100 100 10	%2 Drift 8142.9	P-D 200 100 100 100 100 100 100 100
%3.0 Drift 2749.9	P-D 100 100 100 100 100 100 100 10	%2.5 Drift 5884.4	P-D 200 150 100 50 40 50 40 50 40 50 40 50 40 50 40 50 40 50 40 50 40 50 40 50 40 50 40 50 40 50 40 50 50 40 50 50 50 50 50 50 50 50 50 5
%3.0 Drift 6098.0	P-D 140 100 100 100 100 100 100 100	%2.5 Drift 3876.58	P - D 150 100 50 40 -10 -10 -10 -10 -10 -10 -10 -1
%3.0 Drift 3023.2	P - D 140 120 100 100 40 40 -0 -0 -0 -0 -0 -0 -0 -0 -0 -	%2.5 Drift 3503.2	P - D 160 140 100 100 60 40 40 40 40 40 40 40 40 40 4



Çizelge 3.6(devamı) :Rev Numune 1 ve Rev Numune 2'ye ait deney sırasında elde	;
edilen çevrimlerin enerji ve davranış açısından değerlendirilmesi	

Rev numune 1 ve rev numune 2'ye ait grafikler çevrimlere (histeritik çevrim) ayrılarak kapadıkları alanlar hesaplanmış ve buradan yuttukları enerjiye geçilmiştir. Çizelge 2.6'da (rev numune 1 sol tarafta rev numune 2 sağ tarafta) rev numune 1 ve rev numune 2'ye ait çevrimler yan yana konularak çevrim şekilleri, ilk rijitlikleri ve her adımda histerik çevrime etkileri kıyaslanmıştır. Rev. Numune1' de 68.733kNm, Rev. Numune2' de 79.023kNm enerji yutulmuştur.

Revizyon yapılarak imal edilen rev numune 1 ve rev numune 2'de deney sırasında çatlak oluşumları karşılıklı olarak Şekil 3.48, Şekil 3.49, Şekil3.50, Şekil3.51, Şekil3.52 ve Şekil 3.53'te karşılıklı olarak verilmiştir. İyileştirilmiş rev numune 1 ve rev numune2'de oluşan çatlaklar oluşum sırasına göre 1'den başlanarak isimlendirilmiş (kolonda oluşan çatlaklar KO olarak isimlendirilmiştir.) ve şematik olarak gösterilmiştir. Çatlak krokilerinin birbirine benzerliği ve ilk oluşan 1 ve 1' çatlaklarının eğilme çatlağı olmaları her iki numunenin de eğilme etkin davranış gösterdiğinin kanıtıdır.



Şekil 3.48: (Rev-Numune 1 solda Rev-Numune2 sağda) sol (left) yüzdeki çatlaklar



Şekil 3.49: Rev-Numune1 arka(back) yüzde oluşan çatlaklar



Şekil 3.50: Rev-Numune 2 arka(back) yüzde oluşan çatlaklar



Şekil 3.51: Rev-Numune 1 ön (front) yüzde oluşan çatlaklar



Şekil 3.52: Rev-Numune 2 ön (front) yüzde oluşan çatlaklar



Şekil 3.53: (Rev-Numune 1 solda Rev-Numune2 sağda) sağ (right) yüzdeki çatlaklar

## 4. MOMENT AKTARAN KOLON-KİRİŞ BİRLEŞİMİ İÇİN GERÇEKLEŞTİRİLEN DENEYSEL ÇALIŞMALAR İLE İYİLEŞTİRİLMİŞ NUMUNELERLE GERÇEKLEŞTİRİLEN DENEYSEL ÇALIŞMALARIN KARŞILAŞTIRILMASI

### 4.1 Endüstri Tipi Moment Aktaran Kolon-Kiriş Birleşimine Ait Deney Sonuçlarının Karşılaştırılabilirliği

Numunelerde gerçekleştirilen revizyonlar doğrultusunda deney çevrimsel yatay yükler etkisinde tersinir-tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir. Daha once numuneler revizyon öncesi ve sonrası olarak kendi aralarında (ITC-1 ve ITC-2 ile R-ITC-1 ve R-ITC-2 olmak üzere) değişik parametreler açısından değerlendirilmiştir. Bu bölümde gerçekleştirilen tüm çevrimsel deneyler hasar oluşum sırası, süneklik, dayanım, enerji yutma, %2 drift düzeyinde oluşan hasar, düğüm noktasının ankastreliği, oluşan çatlak tipleri ve yerleri açısından değerlendirilmiştir. Yapılan revizyonların numune davranışına etkisi araştırılmıştır.

#### 4.2 Deneylerin Enerji Yutma Kapasiteleri Açısından Değerlendirilmesi





Şekil 4.1'de gerçekleştirilen deneylerde tespit edilen drift düzeyleri için elde edilen enerji yutma kapasiteleri görülmektedir. Numune4 ve Numune6 ancak %2 drift düzeyine kadar deneye tabi tutulabilmiş ardından kapasitesine ulaşmıştır. Grafikten görüldüğü gibi gerçekleştirilen revizyonlar numunenin birleşim bölgesinde yutulan enerji miktarını görünür biçimde arttırmıştır.



4.3 Deneylerin Yük-Yerdeğiştirme Kapasiteleri Açısından Değerlendirilmesi

Şekil 4.2: Çevrimsel deneylere ait yük deplasman diyagramları

Şekil 4.2'de gerçekleştirilen deneylerde elde edilen yük ve deplasman grafiği toplu olarak görülmektedir. Gerçekleştirilen revizyonlardan dolayı numunelerin hem döşemenin basınçta olduğu kısımda hemde döşemenin çekmede olduğu kısımda dayanımında önemli düzeyde artış gözlenmiştir. Numune iyileştirmelerden sonra daha sünek bir davranış sergilemiştir.

Numune davranışının iyileşmesinde revize edilen numunelerin beton dayanımlarının artmasıda önemli rol oynamaktadır. Önceki numunelerde ortalama betonbasınç dayanımı 45MPa iken, iyileştirilmiş numunelerde bu değer 65MPa'lı bulmuştur.

Şekil 4.3'te revizyonsuz deney numunelerinden en iyi davrnışı sergilediği ve donatı düzeni ile üretiminin doğru yapıldığı düşünülen numune 6 ile rev numune2'ye ait yük-yerdeğiştirme grafiği görülmektedir.



Şekil 4.3: Numune6 ve rev numune2'ye ait yük dep. Diyagramları

Numunede güç tükenmesine karşılık gelen üzerinde kalan plastic deformasyonların düzeyinde de görülür bir artış olmuştur.





(a)

**(b)** 



(c) (d) Şekil 4.4: Numune 6'da %2 driftt seviyesinde oluşan hasarlar

Şekil 4.4'te numune 6'da %2 drift seviyesine ulaşıldığında birleşim bölgesindeki hasarı göstermektedir. Görüldüğü gibi numunede döşemenin çekmeye zorlandığı yük etkisinde kesme çatlakları oluşmuş numunenin birleşim bölgesinin içinde çok sayıda kesme çatlakları oluşmuş, gerekli iyileştirmeler yapılmadığı için taşıyıcı kiriş alt plakası etriyeye kaynaklandığı kısımdan gevrek bir şekilde kopmuştur. Şekil 4.5'te ise rev numune 1'de %2 drift seviyesine ulaşıldığında birleşim bölgesindeki hasarı göstermektedir.



(a) (b)


Şekil 4.5: Rev Numune 1'de %2 driftt seviyesinde oluşan hasarlar

Şekilden de görüldüğü gibi %2 drift düzeyinde boyuna donutılarda burkulmalar gözlenmiştir. Birleşim bölgesinde herhangi bir kaynak kopması yada gevrek bir kırılma bu yük düzeyinde olmamıştır. Oluşan çatlaklar kirişin boyunca yukarıya doğru çıkan eğilme çatlaklarıdır. Bunlar da düğüm noktasının bu yük düzeyine kadar ankastreliğini koruduğunu gösterir.

#### 5. KURAMSAL ÇALIŞMALAR

## 5.1 Endüstri Tipi Moment Aktaran Kolon-Kiriş Birleşimine Ait Deney Sonuçlarının Kuramsal Çalışmalarla Değerlendirilmesi

Kompozit birleşime sahip endüstri tipi prefabrike numunelerin matematik modeli, DOC2B [8] isimli yazılımda oluşturularak kuramsal çözümlemesi yapılmıştır. DOC2B yazılımı, yük artımı yöntemini kullanarak malzeme ve geometri bakımından doğrusal olmayan davranış gösteren düzlem yapı sistemlerinin çözümlemesinde kullanılmaktadır. Deney numunesini oluşturan elemanlar, programın mevcut kapasitesi doğrultusunda çubuk eleman olarak idealleştirilmiştir. Sistemi oluşturan kolon ve kiriş elemanların ağırlık merkezlerinden geçen eksenlere çubuk sonlu elemanlar yerleştirilmiştir.

DOC2B için hazırlanan matematik modelde, kolon-kiriş birleşimini oluşturan 7,13 ve 14 numaralı çubuklar, davranışı daha doğru yansıtmak amacıyla birbirlerine rijit olarak bağlanmışlardır. Hidrolik veren yükü, 1 numaralı düğüm noktasına yatay tekil yük olarak etkitilmiştir.



Şekil 5.1: Deney numunesinin görünüşü ve ait matematik model

Kolon ağırlığı, kolonu temsil eden çubuk elemanlar üzerine üniform yayılı yük, kiriş ağırlığı da 1 numaralı düğüm noktasına düşey tekil yük olarak etkitilmiştir. Şekil 5.1'de numunenin mevcut programla oluşturulan matematik modeli görülmektedir.

Numune kesitlerinin malzeme bakımından doğrusal olmayan davranışı moment eğrilik ilişkileri ile ifade edilmiştir. Doğrusal olmayan çözümleme için, DOC2B içindeki M-KAPA yazılımı ile farklı tiplerdeki kesitlere ait moment eğrilik ilişkileri elde edilmiştir.

Matematik modelde 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18 ve 19 numaralı çubuklarla temsil edilen kolon kesiti için, kolon elemanı tüm kesitlerinde aynı özellikler gösterdiği için tek tip kesit kullanılmış ve TİP 6 olarak adlandırılmıştır.





Şekil 5.2: Kolon kesiti ve kesite ait moment-eğrilik ilişkisi

Matematik modelde 1, 2, 3, 4, 5 ve 6 numaralı çubuklarda ifade edilen kiriş kesiti için, kiriş elemanlarının kesitlerinde farklı donatı düzeni içerdiğinden, TİP 1 – TİP 2, TİP 7 – TİP 8 ve TİP9 – TİP 10 olmak üzere altı farklı tip kesiti oluşturulmuştur.. Farklı kiriş kesitleri ve bu kesitlere ait moment-eğrilik ilişkileri Şekil 5.3, Şekil5.4 ve Şekil 5.5'te verilmiştir.





Şekil 5.3: Kiriş kesiti ve kesite ait moment-eğrilik ilişkisi (TİP1-2)





Şekil 5.4: Kiriş kesiti ve kesite ait moment-eğrilik ilişkisi (TİP7-8)



Şekil 5.5: Kiriş kesiti ve kesite ait moment-eğrilik ilişkisi (TİP9-10)

Biri döşemenin çekmede olduğu durum, diğeri döşemenin basınçta olduğu durum olmak üzere iki farklı çözüm yapılmıştır. Her iki yön için artan yatay yükler etkisinde elde edilen kuvvet yerdeğiştirme ilişkisi, ilgili deney numunelerine ait eğri ile üst üste konularak incelenmiştir. İlgili deney numunelerine ait eğri ile üst üste konularak incelenmiştir. Şekil 5.6 – Şekil 5.7.



Şekil 5.6: Döşeme basınç için yatay yük-yerdeğiştirme ilişkisi



Şekil 5.7: Döşeme çekme için yatay yük-yerdeğiştirme ilişkisi

### 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yüksek lisans tezi olarak sunulan bu çalışmada; SAFECAST araştırma projesi kapsamında İTÜ İnşaat Fakültesi Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarı'nda, konut tipi özel bir prefabrike kolon-kiriş birleşim bölgesi için 5 deney ve kuramsal çözümler gerçekleştirilmiştir. Ardından birleşimin eksik yönlerini ortadan kaldırmak ve performansını arttırmak amacıyla birleşim detayı iyileştirilerek oluşturulan iki deney numunesi daha tersinir tekrarlı yükleme altında değerlendirilmiştir. Revize edilen numuneden elde edilen deneysel veriler matemeatik modelle ve ilk birleşimle karşılaştırılmıştır.. Yapılan deneysel ve kuramsal çalışmalar altında elde edilen genel sonuçlar;

- Numune üretiminde kullanılan betonlar ve beton çelikleri için öngörülen dayanımlar gerçekleşmiştir.
- Prekast döşeme paneli deney süresince bütünlüğünü korumuştur.
- Kavrama betonu ile döşeme paneli arasındaki göreli hareket çok sınırlı düzeyde kalmıştır.
- Birleşimin artan yükler altındaki davranışı alt ve üst birleşim için simetrik değildir.
- Mevcut bilgisayar programı ile oluşturulan çubuk sistem modeli ile artan yükler etkisi altında dayanım ve yerdeğiştirme bakımından öngörülen numune davranışının, deneylerde artan yükler etkisi altında incelenen numunelerden elde edilen numune davranışına ait veriler ile karşılaştırıldığında, sonuçların birbirlerine döşeme basınçtayken dayanım açısından yakın olduğu ancak sünekliğin analatik olarak yakalanmadığı ; döşeme çekmede iken ise rijitliğin ve dayanımın tam yakalanamadığı gözlenmiştir.
- Yapılan iyileştirmeler birleşim bölgesinin sünekliğini arttırmıştır.

- Yapılan iyileştirmeler düğüm noktasının (birleşim bölgesinin) ankastreliğini %2 drift seviyesine kadar korumuş ve deneyin %4 drift seviyesine kadar devam etmesine olanak sağlamıştır.
- Gerçekleştirilen revizyonlardan sonra numune eğilme etkin davranış sergilemiş birleşim bölgesinde kesme hasarı oluşmamıştır. Hasar birleşim bölgesinin üzerinde meydana gelmiştir.
- Revize edilen numunelerin döşemenin basınçta ve çekmede olduğu her iki yükleme yönü için de dayanımında önemli ölçüde artış gözlenmiştir.
- Birleşim bölgesinde alınan tedbirler ile etriyelerin ve boyuna donatıların kaynaklandığı plakalardan deney süresince kopmadığı, birleşimin kapasitesine boyuna donatıların aktıktan sonra kopmasıyla ulaştığı gözlenmiştir.
- Prefabrik betonarme yapı sisteminin düğüm noktasının ankastreliğinin, oluşabilecek en büyük hasar etkisine (% 2 drift) ulaşıldığında korunabilmesi için ve çift yönlü moment aktarması için birleşim bölgesinde öngörülen revizyonların ve donatı düzenlerinin (kaynak, karbon eşdeğeri vb. yapılan revizyonaların) sağlanmasına kesinlikle önem verilmelidir.

#### KAYNAKLAR

- [1] Arslan, M. H., Gülay, F. G.,2009, "Numerical Study On Seismic Behaviour Of Precast Concrete Connection Zone", *Iran Journal Of Science&Technology*, Transaction B., Engineering, Vol. 33, No. B1, pp 123-127, Shiraz University.
- [2] **Meydanlı, Atalay, H. , 2010,** "Moment Aktarabilen Kolon-Kiriş Birleşimlerinin Tersinir Yükler Etkisindeki Performansı", *Doktora Tezi*, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [3] Park, R., 1995, "A Perspective on The Seismic Design of Precast Concrete Structures in New Zealand", PCI JOURNAL, May-June 1995
- [4] Jianguo, C., Jian, F., Zan, W., Yao, C., Yafei L., 2008 "Investigation of a Precast Concrete Structure System", *International Conference on Information Management*, Innovation Management and Industrial Engineering, China
- [5] Korkmaz, H. H., Tankut, T., 2005 "Performance of A Precast Concrete Beam to Beam Connection Subject to Reversed Cycling Load", Engineering Structures 27 1392-1407
- [6] Ertaş, O., Özden, Ş., 2007, "Prefabrik Yapılarda Moment Aktarabilen Sünek Kolon-Kiriş Birleşimleri", Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 16-20 Ekim 2007, İstanbul
- [7] **Kaplam, V., 2010,** "Prefabrik Betonarme Yapı Sistemleri İçin Moment Aktaran Bir Birleşim Denemesi", *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [8] Yüksel, E., 1998, "Bazı Düzensizlikleri İçeren Üç Boyutlu Büyük Yapı Sistemlerinin Doğrusal Olmayan Çözümlemesi", *Doktora Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

# ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad:Ahmet BALDoğum Yeri ve Tarihi:ÇORLU 10/06/1987E-Posta:ahmetbal87@gmail.comLisans Üniversite:Balıkesir Üniversitesi-2009

