

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**PREFABRİKE ÖZEL BİR KOLON-KİRİŞ BİRLEŞİMİ VE BU
BİRLEŞİMLERDE ENERJİ YOĞALTACAK ALAŞIMLAR**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Aytaç ŞAHİN**

Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği

Programı : Yapı Mühendisliği

Tez Danışmanı: Prof. Dr. H. Faruk KARADOĞAN

HAZİRAN 2011

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**PREFABRİKE ÖZEL BİR KOLON-KİRİŞ BİRLEŞİMİ VE BU
BİRLEŞİMLERDE ENERJİ YOĞALTACAK ALAŞIMLAR**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Aytaç ŞAHİN

(501091093)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 06 Mayıs 2011

Tezin Savunulduğu Tarih : 08 Haziran 2011

Tez Danışmanı : Prof. Dr. H. Faruk KARADOĞAN (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Ercan YÜKSEL (İTÜ)
Prof. Dr. Oğuz Cem ÇELİK (İTÜ)

HAZİRAN 2011

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tezi olarak sunulan bu çalışmada, SAFECAST projesi kapsamında gerçekleştirilen prefabrik yapı sistemlerinde kullanılan konut tipi özel bir kolon-kiriş birleşimi, deneysel ve analitik bakımdan incelenmiştir. Ayrıca şekil bellek etkisi ve süper elastik davranış kavramları açıklanmış, 3 adet örnekle şekil bellekli alaşımlar anlatılmış, örneklerden biri seçilerek alaşımın birleşimdeki davranışı analitik olarak incelenmiştir.

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

İnş. Müh. Pınar İNCİ, İnş. Müh. Ahmet BAL, İnş. Müh. Mehmet SÖNMEZ ve İnş. Müh. Fatih GELEBEK ile başta teknisyen Ahmet ŞAHİN olmak üzere Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarı çalışanlarına yardımlarından ötürü teşekkürü bir borç bilirim.

Manevi desteklerini her zaman hissettiğim tüm dostlarıma, yaşamım boyunca maddi manevi her anlamda bana destek olup bu günlere gelmemi sağlayan aileme saygı ve sevgilerimi sunar, teşekkür ederim.

Haziran 2011

Aytaç ŞAHİN

İnşaat Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	v
KISALTMALAR.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
ÖZET.....	xv
SUMMARY.....	xvii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Prefabrike Yapı ve Yapı Kontrol Sistemleri.....	1
1.2 Önceki Çalışmalar.....	3
1.3 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	5
2. BİR ÖZEL PREFABRİKE KOLON-KİRİŞ BİRLEŞİM BÖLGESİ İÇİN GERÇEKLEŞTİRİLEN DÖRT DENEY.....	7
2.1 Deney Numunelerinin Hazırlığı.....	7
2.1.1 Deney numuneleri.....	7
2.1.2 Deney numunelerinin üretimi.....	14
2.1.3 Malzeme deneyleri.....	18
2.1.3.1 Beton deneyleri.....	18
2.1.3.2 Çelik deneyleri.....	19
2.1.4 Deney düzeneği.....	21
2.1.4.1 Ölçüm düzeneği.....	22
2.1.4.2 Ölçümlerin değerlendirilmesi.....	27
2.2 Deneysel Çalışma.....	28
2.2.1 Monotonik yükleme.....	28
2.2.1.1 Konut tipi numunede monotonik yükleme negatif moment (RTMNM).....	28
2.2.1.2 Konut tipi numunede monotonik yükleme pozitif moment (RTMPM).....	33
2.2.2 Çevrimsel yükleme.....	38
2.2.2.1 Konut tipi numunede çevrimsel yükleme-1 (RTC-1).....	38
2.2.2.2 Konut tipi numunede çevrimsel yükleme-2 (RTC-2).....	48
2.2.3 Deney sonuçlarının karşılaştırılması.....	58
3. YAPIYA AKTARILAN DEPREM ENERJİSİNİN YOĞALTILMASINDA ALAŞIMLAR.....	63
3.1 Şekil Bellekli Alaşımlar.....	63
3.1.1 Şekil bellek etkisi ve süper elastisite kavramları.....	64
3.1.2 Bakır (Cu) esaslı şekil bellekli alaşım örnekleri.....	67
3.1.2.1 Bakır-alüminyum-nikel (Cu-Al-Ni) alaşımının incelenmesi.....	67
3.1.2.2 Bakır-çinko-kalay (Cu-Zn-Sn) alaşımının incelenmesi.....	68
3.1.3 Bakır (Cu) esaslı olmayan şekil bellekli alaşım örneği.....	69
3.1.3.1 Nikel-titanyum (Ni-Ti) alaşımının incelenmesi.....	69
4. KURAMSAL ÇALIŞMALAR.....	71

4.1 Islak Birleşimli Deney Sonuçlarının Kuramsal Çalışmalarla Değerlendirilmesi	71
4.2 Alaşımlardan Yapılmış Birleşimlerin Kuramsal Çalışmalarda Göz Önüne Alınması	77
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	87
KAYNAKLAR	89
ÖZGEÇMİŞ	91

KISALTMALAR

RTMNM : Residential Type Monotonic Negative Moment
RTMPM : Residential Type Monotonic Positive Moment
RTC-1 : Residential Type Cyclic-1
RTC-2 : Residential Type Cyclic-2

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Beton basınç deneyi sonuçları	19
Çizelge 2.2 : Çelik çekme deneyi sonuçları.....	20
Çizelge 2.3 : Numune üzerinde yerdeğiştirme ölçerler arasındaki mesafeler	25
Çizelge 2.4 : Yerdeğiştirme ölçer tipi, kanal numarası ve eleman kodu.....	26
Çizelge 2.5 : Numune 7'ye ait deney sonrası elde edilen kritik değerler.....	29
Çizelge 2.6 : Numune 8'e ait deney sonrası elde edilen kritik değerler.....	34
Çizelge 2.7 : Numune 9'a ait tersinir-tekrarlı çevrimler durumu	39
Çizelge 2.8 : Numune 9'a ait deney sonrası elde edilen kritik değerler.....	40
Çizelge 2.9 : Numune 9'a ait çevrimlerin enerji yutma kapasiteleri.....	45
Çizelge 2.10 : Numune 10'a ait tersinir-tekrarlı çevrimler durumu.....	49
Çizelge 2.11 : Numune 10'a ait deney sonrası elde edilen kritik değerler.....	50
Çizelge 2.12 : Numune 10'a ait çevrimlerin enerji yutma kapasiteleri.....	55

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Deneyde kullanılacak konut tipi kolon-kiriş birleşim bölgesi	7
Şekil 2.2 : Deney numunesi genel görünüşü.....	8
Şekil 2.3 : Genel birleşim detayı a-a kesiti	8
Şekil 2.4 : Genel birleşim detayı b-b kesiti.....	9
Şekil 2.5 : Genel birleşim detayı c-c ve d-d kesitleri	9
Şekil 2.6 : Deney numunesi alt kolon genel görünüşü	10
Şekil 2.7 : Deney numunesi alt kolon kesiti ve donatı boyları	11
Şekil 2.8 : Deney numunesi üst kolon genel görünüşü	11
Şekil 2.9 : Deney numunesi üst kolon kesiti ve donatı boyları.....	12
Şekil 2.10 : Deney numunesi tali kiriş kesiti ve genel görünüşü	12
Şekil 2.11 : Deney numunesi taşıyıcı kiriş kesiti ve genel görünüşü	13
Şekil 2.12 : Numune donatılarının kalıba yerleşimi.....	14
Şekil 2.13 : Kolonlara ait beton döküm işlemi.....	14
Şekil 2.14 : Kirişlere ait beton döküm işlemi	15
Şekil 2.15 : Yuvalara dolgu harcının ilave edilmesi işlemi.....	15
Şekil 2.16 : Alt ve üst kolonun birleştirilmesi	16
Şekil 2.17 : Kolon-kiriş birleşiminin oluşturulması	16
Şekil 2.18 : Döşeme elemanları ve hasır donatının yerleştirilerek kalıba alınması ...	17
Şekil 2.19 : Numunenin kalıptan çıkarılması.....	17
Şekil 2.20 : Deney düzeneği	21
Şekil 2.21 : Deney düzeneğinin laboratuvardaki görünüşü	22
Şekil 2.22 : Hidrolik kriko ile kolona aksenal yük verilmesi işlemi	22
Şekil 2.23 : Ölçüm düzeneğinin genel görünüşü	23
Şekil 2.24 : Ölçüm aletlerinin ön ve arka cephede yerleşimi ve kanal numaraları....	24
Şekil 2.25 : Ön ve arka cephe yerdeğiştirme ölçerler ve mesafe kodları	24
Şekil 2.26 : Sağ cephe yerdeğiştirme ölçerler, kanal numaraları ve mesafe kodları..	24
Şekil 2.27 : Taşıyıcı kiriş birleşim bölgesi yerdeğiştirme ölçer konumu	27
Şekil 2.28 : Yerdeğiştirme fonksiyonunun adım sayısı ile ilişkisi.....	28
Şekil 2.29 : Kuvvet-yerdeğiştirme diyagramı ve deneyde gözlenen önemli olaylar .	29
Şekil 2.30 : Sol ve arka cephede oluşan çatlaklar	30
Şekil 2.31 : Deney sırasında numunede oluşan çatlak dağılımı.....	31
Şekil 2.32 : Taşıyıcı kiriş alt yüzünden elde edilen moment-eğrilik grafiği (#17- #18).....	32
Şekil 2.33 : Kirişin ilgili kanallardaki kesitine ait moment-eğrilik grafiği (#11-#12)	32
Şekil 2.34 : Kirişin ilgili kanallardaki kesitine ait moment-eğrilik grafiği (#13-#14)	32
Şekil 2.35 : Kirişin ilgili kanallardaki kesitine ait moment-eğrilik grafiği (#15-#16)	33
Şekil 2.36 : Yerdeğiştirme fonksiyonunun adım sayısı ile ilişkisi.....	33
Şekil 2.37 : Kuvvet-yerdeğiştirme diyagramı ve deneyde gözlenen önemli olaylar .	34
Şekil 2.38 : Ön ve arka cephede oluşan çatlaklar.....	35

Şekil 2.39 : Sol ve sağ cephede oluşan çatlaklar	36
Şekil 2.40 : Deney sırasında numunede oluşan çatlak dağılımı	36
Şekil 2.41 : Kirişin ilgili kanallardaki kesitine ait moment-eğrilik grafiği (#11-#12)	37
Şekil 2.42 : Kirişin ilgili kanallardaki kesitine ait moment-eğrilik grafiği (#13-#14)	37
Şekil 2.43 : Kirişin ilgili kanallardaki kesitine ait moment-eğrilik grafiği (#15-#16)	37
Şekil 2.44 : Taşıyıcı kiriş alt yüzünden elde edilen moment-eğrilik grafiği (#17- #18).....	38
Şekil 2.45 : Yerdeğiştirme fonksiyonunun adım sayısı ile ilişkisi	39
Şekil 2.46 : Kuvvet-yerdeğiştirme diyagramı.....	40
Şekil 2.47 : 1. çevrim grubu sonucu numunede oluşan hasar durumu.....	41
Şekil 2.48 : 2. çevrim grubu sonucu numunede oluşan hasar durumu.....	41
Şekil 2.49 : 3. çevrim grubu sonucu numunede oluşan hasar durumu.....	42
Şekil 2.50 : 4. çevrim grubu sonucu numunede oluşan hasar durumu.....	42
Şekil 2.51 : 5. çevrim grubundan deney sonuna kadar numunedeki hasar durumu ..	43
Şekil 2.52 : Ön ve arka cephe çatlak krokisi	44
Şekil 2.53 : Sol ve sağ cephe çatlak krokisi	44
Şekil 2.54 : Toplam enerji yutma kapasitesinin bağıl tepe yerdeğiştirme ile ilişkisi	45
Şekil 2.55 : Kirişin ilgili kanallardaki kesitine ait moment-eğrilik grafiği (#11-#12)	46
Şekil 2.56 : Kirişin ilgili kanallardaki kesitine ait moment-eğrilik grafiği (#13-#14)	46
Şekil 2.57 : Kirişin ilgili kanallardaki kesitine ait moment-eğrilik grafiği (#15-#16)	46
Şekil 2.58 : Taşıyıcı kiriş alt yüzünden elde edilen moment-eğrilik grafiği (#17- #18).....	47
Şekil 2.59 : 1. çevrim yatay yerdeğiştirme oranları	47
Şekil 2.60 : 2. çevrim yatay yerdeğiştirme oranları	48
Şekil 2.61 : Yerdeğiştirme fonksiyonunun adım sayısı ile ilişkisi	49
Şekil 2.62 : Kuvvet-yerdeğiştirme diyagramı.....	50
Şekil 2.63 : 1. çevrim grubu sonucu numunede oluşan hasar durumu.....	51
Şekil 2.64 : 2. ve 3. çevrim grubu sonucu numunede oluşan hasar durumu	51
Şekil 2.65 : 4. ve 5. çevrim grubu sonucu numunede oluşan hasar durumu	52
Şekil 2.66 : Son 5 çevrim grubu sonucu numunede oluşan hasar durumu.....	53
Şekil 2.67 : Ön ve arka cephe çatlak krokisi	54
Şekil 2.68 : Sol ve sağ cephe çatlak krokisi	54
Şekil 2.69 : Toplam enerji yutma kapasitesinin bağıl tepe yerdeğiştirme ile ilişkisi	55
Şekil 2.70 : Kirişin ilgili kanallardaki kesitine ait moment-eğrilik grafiği (#11-#12)	56
Şekil 2.71 : Kirişin ilgili kanallardaki kesitine ait moment-eğrilik grafiği (#13-#14)	56
Şekil 2.72 : Kirişin ilgili kanallardaki kesitine ait moment-eğrilik grafiği (#15-#16)	56
Şekil 2.73 : Taşıyıcı kiriş alt yüzünden elde edilen moment-eğrilik grafiği (#17- #18).....	57
Şekil 2.74 : 1. çevrim yatay yerdeğiştirme oranları	57
Şekil 2.75 : 2. çevrim yatay yerdeğiştirme oranları	58
Şekil 2.76 : 9. ve 10. numunelere ait kuvvet-yerdeğiştirme diyagramları	58

Şekil 2.77 : 9. ve 10. numunelere ait enerji yutma kapasiteleri.....	59
Şekil 2.78 : 7., 9. ve 10. numunelere ait kuvvet-yerdeğiştirme diyagramları.....	60
Şekil 2.79 : 8., 9. ve 10. numunelere ait kuvvet-yerdeğiştirme diyagramları.....	61
Şekil 3.1 : Şekil bellekli alaşımların geçişleri ve histeresiz eğrisi [9].....	64
Şekil 3.2 : NiTi alaşımının martenzit ve ostenit fazlarına ait birim hücreler [9],[13].....	65
Şekil 3.3 : Tek yönlü şekil bellek etkisi [10].....	65
Şekil 3.4 : Süper elastik alaşımlara ait şematik gerilme-şekil değiştirme diyagramı.....	66
Şekil 3.5 : $M_F = -65\text{ }^\circ\text{C}$, $M_S = -52\text{ }^\circ\text{C}$, $A_S = -50\text{ }^\circ\text{C}$ ve $A_F = -38\text{ }^\circ\text{C}$ dönüşüm sıcaklıklarında, %34.7 Zn (Çinko) ve %3 Sn (Kalay) içeren tek taneli Cu (Bakır) alaşımı için sıcaklığın fonksiyonu olarak gerilme-şekil değiştirme eğrileri.....	66
Şekil 3.6 : %14.0 Al (Alüminyum) ve %4.2 Ni (Nikel) içeren tek taneli Cu (Bakır) alaşımı için sıcaklığın fonksiyonu olarak gerilme-şekil değiştirme eğrileri.....	67
Şekil 3.7 : %14.0 Al (Alüminyum) ve %4.2 Ni (Nikel) içeren tek taneli Cu (Bakır) alaşımı için yüklemenin etkililip kaldırılması sonucu oluşan biçimsel değişim [11].....	68
Şekil 3.8 : %34.7 Zn (Çinko) ve %3 Sn (Kalay) içeren tek taneli Cu (Bakır) alaşımı için sıcaklığın fonksiyonu olarak gerilme-şekil değiştirme eğrileri.....	68
Şekil 3.9 : $40\text{ }^\circ\text{C}$ 'de %25 soğuk haddelemeden sonra $400\text{ }^\circ\text{C}$ 'de 3.6 ksi gerilme ile tavllanmış %50.2 Nikel içeren alaşımın gerilme-şekil değiştirme eğrileri.....	69
Şekil 3.10 : $40\text{ }^\circ\text{C}$ 'de tavlamayı takip eden soğuk haddeleme ile elde edilen süper elastik davranış iyileştirmesi	70
Şekil 4.1 : Deney numunesinin genel görünüşü ve numuneye ait matematik model.....	71
Şekil 4.2 : Kolon kesiti ve kesite ait moment-eğrilik ilişkisi.....	72
Şekil 4.3 : Kiriş kesiti ve kesite ait moment-eğrilik ilişkisi (TİP3-TİP4).....	73
Şekil 4.4 : Kiriş kesiti ve kesite ait moment-eğrilik ilişkisi (TİP5-TİP6).....	74
Şekil 4.5 : Kiriş kesiti ve kesite ait moment-eğrilik ilişkisi (TİP9-TİP10).....	74
Şekil 4.6 : Döşeme çekme durumu için yatay yük-yerdeğiştirme ilişkisi	75
Şekil 4.7 : Döşeme basınç durumu için yatay yük-yerdeğiştirme ilişkisi	75
Şekil 4.8 : Kesitin iyileştirilmesiyle elde edilen analitik sonucun karşılaştırılması... ..	76
Şekil 4.9 : Cu-Zn-Sn alaşımının idealleştirilmiş gerilme-şekildeğiştirme eğrisi.....	77
Şekil 4.10 : S220 çeliğine ait gerilme-şekil değiştirme grafiği.....	77
Şekil 4.11 : Cu-Zn-Sn alaşımına ait moment-dönme grafiği.....	78
Şekil 4.12 : S220 çeliğine ait moment-dönme grafiği.....	79
Şekil 4.13 : İncelenecek olan birleşimin genel özellikleri ile P_n ve birim yükleme altındaki moment diyagramları	79
Şekil 4.14 : Alaşım çubuğa ait yatay kuvvet-yerdeğiştirme grafiği.....	82
Şekil 4.15 : Sistemin P yüklemesi ve birim yükleme altında moment grafiği.....	82
Şekil 4.16 : Çelik çubuğa ait moment-dönme grafiği ve kullanılacak değerler.....	83
Şekil 4.17 : $M_a = M_y$ için P yüklemesi ve birim yükleme altında moment grafiği	83
Şekil 4.18 : Çelik çubuğa ait moment-dönme grafiği ve kullanılacak değerler.....	84
Şekil 4.19 : Çelik ve alaşıma ait diyagramların karşılaştırılması.....	85

PREFABRİKE ÖZEL BİR KOLON-KİRİŞ BİRLEŞİMİ VE BU BİRLEŞİMLERDE ENERJİ YOĞALTACAK ALAŞIMLAR

ÖZET

Yüksek lisans tezi olarak sunulan ve esas itibariyle bütünler nitelikteki iki konuyu kapsayan bu çalışmanın ilk bölümü, prefabrike yapı sistemlerde kullanılan bir konut tipi kolon - kiriş birleşim detayının deneysel ve kuramsal olarak incelenmesinden oluşmaktadır. Deneysel bölümde, mevcut bir prefabrike yapı örneğinden alınmış birbirine özdeş 1/1 ölçekli dört deney numunesinin, laboratuarda tek yönlü artan yani monotonik ve iki yönlü değişken yatay yükler etkisindeki deneyleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar basit yapısal modellerin çözümlenmesiyle kuramsal açıdan karşılaştırılmıştır. Çalışmanın ikinci bölümünde ise şekil bellek etkisi ve süper elastik davranış kavramları ve malzeme yapıları üzerinde durulmuş, seçilen tek yönlü bir alaşımın sönümleyici olarak kullanıldığı bir birleşim kuramsal olarak incelenmiştir.

Çalışmanın birinci bölümünde, prefabrike yapı ve yapı kontrol sistemleri, prefabrike kolon-kiriş birleşimlerine ait önceki çalışmalar, tez çalışmasının genel amacı ve kapsamı yer almaktadır.

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

Üçüncü bölümde, şekil bellek etkisi ve süper elastik davranış özelliklerine sahip alaşım örnekleri hakkında bilgi verilmiştir.

Dördüncü bölümde, deney numunelerine ait bir matematik model oluşturulmuştur. Bu model artan yatay yükler etkisinde kuramsal olarak incelenmiş ve elde edilen kuramsal sonuçlar, deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Davranışı hakkında bilgi verilen şekil bellekli alaşım örneklerinden seçilen birinin, bir birleşim içinde yer alması durumunda etkileyebileceği sistem davranışı kuramsal olarak incelenmiştir.

Beşinci ve son bölümde, deneysel ve kuramsal sonuçlar neticesinde genel olarak ön plana çıkan sonuçlar verilmiş ve bunların değerlendirilmesi yapılmıştır.

A SPECIAL PRECAST BEAM-COLUMN CONNECTION AND ENERGY DISSIPATIVE ALLOYS FOR THIS CONNECTION

SUMMARY

In this M.Sc. study which consists of two complementary topics, the earthquake behaviour of a precast beam-column connection has been investigated in experimental and analytical manner. In the experimental part of the work four 1/1 scale, identical beam-column specimens have been tested in the laboratory. The second major topic of this work is related to the shape memory effect and super elastic behaviour of special alloy which could be used in a connection for energy absorption.

In the first chapter, a literature survey is being presented covering previous studies on prefabricated beam-column connections, in addition to that the general purpose of thesis is explained.

In the second chapter, production phases of specimens, experimental setup and the details of the experimental studies are given. Results obtained with monotonic and cyclic loading are compared.

In the third chapter, examples of alloys that have the shape memory features and super elastic behaviour properties, are given as complementary information.

In the fourth chapter, the structural models of specimens is presented with sufficient amount of details. And then, the model is subjected to load increments the analytically found results are compared with corresponding experimental ones. One of the selected alloys for which material characteristics are given, have been used in a connection detail theoretically and the results obtained analytically are presented.

In the final chapter, the general results achieved both in experimental and analytical studies are given.

1. GİRİŞ

1.1 Prefabrike Yapı ve Yapı Kontrol Sistemleri

Hazır elemanlar veya başka bileşenlerle yapı kurma; şantiye çalışmalarının olanak ölçüsünde fabrika çalışması haline getirilmesi ve önceden hazırlanmış çoğunlukla beton elemanların yapı yerinde montajı ile yapılan inşaata Prefabrikasyon denmektedir. 1947 yılında Fransa'da "Union Syndicale de la Prefabrication" un kuruluşu sırasında prefabrikasyon, "Kullanma amacına göre dayanım, görünüm, ikamete uygunluk, konfor, süre ve en az bakım yönlerinden olağan koşullara yeterli şekilde yanıt verebilecek tutarlı bir yapım sistemi meydana getirmek üzere, elemanlarının çoğunluğu atölyede modern endüstriyel yöntemlerin duyarlılığı ile ve seri halinde imal edilmiş olan yapı türü prefabrikasyon olarak kabul edilir." şeklinde tanımlanmıştır. Prefabrikasyon İkinci Dünya Savaşından sonra ortaya çıkan konut sorununun çözümüne yardımcı olmak üzere Fransa, Hollanda, Danimarka gibi Avrupa ülkelerinde ve Rusya'da hızla gelişmiş, standartlaşma sayesinde de çok kolaylaşmıştır, [1]. Ülkemizde ilk olarak 1960'lı yıllarda uygulamalarına rastladığımız prefabrike yapı sistemleri, hızlı üretim, yüksek malzeme kalitesi, kolay montaj, iklim koşullarından etkilenmeme gibi avantajlarından dolayı tercih edilen bir konuma gelmiştir. Son yıllardaki sanayileşme oranıyla paralel olarak artan sanayi ve endüstri yapılarının büyük bir kısmının prefabrik yapı olduğu görülmektedir. Ancak Kocaeli ve Düzce depremlerinden sonra prefabrik yapılarda oluşan büyük hasarlar, bu sistemlerin bir kısmının dayanımının ve deprem güvenliğinin yetersiz olduğunu göstermiştir.

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 yetersizliği ve bağlantı bölgelerinde hatalı detaylandırmalardan dolayı kötü performans gösterdiği görülmektedir, [2].

Geleneksel tasarıma göre yeni yapılacak binaların depreme dayanıklı tasarımının ana ilkesi; hafif şiddetteki depremlerde binalardaki yapısal ve yapısal olmayan sistem elemanlarının herhangi bir hasar görmemesi, orta şiddetteki depremlerde yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda oluşabilecek hasarın sınırlı ve onarılabilir düzeyde kalması, şiddetli depremlerde ise can güvenliğinin sağlanması amacı ile kalıcı yapısal hasar oluşumunun sınırlandırılmasıdır, [3]. Bu açıklamadan da anlaşılacağı üzere geleneksel tasarım anlayışı, yapıda meydana gelecek hasarları azaltmak için önlemler alınmasından daha çok, insan hayatının güvenliğinin sağlanmasını amaçlamıştır. Bu da yapının hasar görmesini kabul etme anlamına gelmektedir. Fakat istatistikler göstermektedir ki maddi hasarın ve can kayıplarının önemli bir kısmı yapısal olmayan elemanların yüksek ivmeler altında hareket etmesi sonucunda oluşmaktadır. Dolayısıyla artık taşıyıcı sistemin çökmemesi yeterli görülmemekte buna ek olarak yapısal olmayan elemanların ve değerli hassas cihazlarında korunması istenmektedir, [4]. Oluşan bu yeni taleplere göre şiddetli depremlerde hiç hasar oluşmayacak bir yapının geleneksel tasarım yaklaşımıyla inşa edilmesi mantıklı ve mümkün değildir. Hasarlı binaların onarımı ise çok maliyetli sonuçlar doğurmaktadır. Ayrıca deprem sonrası toplumda oluşan sosyal ve psikolojik travmalar da göz önüne alınırsa yeni bir anlayışa ihtiyaç vardır, [5].

Son yıllarda yapıları ve yapısal olmayan elemanları dinamik dış etkilere karşı daha iyi korumak için mevcut klasik tasarıma ek olarak tamamlayıcı yeni yaklaşımlar üzerinde çalışılmaktadır. Bu yaklaşımlar, yapıya gelen etkileri o anda ölçüp karşı kuvvetler uygulayacak veya etkiyi kendi içinde sönmüleyecek malzemeler ve sistemler üzerine yoğunlaşmıştır. Çalışmaların ortak sonucu yeni sistemlerin, gerek yeni yapılacak yapılarda, gerekse mevcut yapıların iyileştirilmesi veya güçlendirilmesinde etkin bir şekilde kullanılabilmesi yönündedir, [4].

Yapının deprem etkisi altında istenen davranışı sergilemesi amacıyla, yapının ilgili özelliklerinin düzenlenmesi, yapı kontrolü veya yapının dinamik davranışının kontrolü olarak adlandırılır. Kontrol işlemi çok değişik şekillerde yapılabilirse de, önerilen sistemlerin hepsi, pasif ve aktif yapı kontrol sistemleri olmak üzere 2 kategoride toplanabilir, [6].

Aktif yapı kontrol sistemlerinde kontrol kuvvetlerini üretebilmek için harici bir güç kaynağına ihtiyaç vardır. Zemine ve yapıya yerleştirilen sensörler aracılığıyla elde edilen bilgiler kontrol bilgisayarına iletilerek daha önceden belirlenmiş bir

algoritmaya göre kontrol kuvvetleri hesaplanır. Bu kuvvetler kuvvet üreten mekanizmalar aracılığıyla yapıya uygulanır, [4].

Pasif yapı kontrol sistemleri deprem kaynaklı titreşim esnasında, belirli noktalarına yerleştirilen ve dinamik davranışını etkileyen özel elemanlar sayesinde, yapının depremden yalıtılmasını veya yaptığı titreşimlerin kontrol edilmesini sağlar. Pasif yalıtım elemanları arasında, yapı tabanına yerleştirilen ortasında kurşun çekirdek olan veya olmayan adi kauçuktan yapılmış taban izolatörleri, histerik enerji yutucular, viskoz sönümleyiciler, mekanik enerji dağıtıcılar, viskoelastik enerji dağıtıcılar, ayarlı kütle sistemleri, esnek kat tipindeki elemanlar vb. sayılabilir, [6].

1.2 Önceki Çalışmalar

Ersoy; çerçeve türü prefabrike yapıların deprem davranışını, tek katlı - mafsallı ve çok katlı, moment aktarabilen bağlantılara sahip çerçeveleri ayrı ayrı ele alarak incelemiştir. İlk önce kolon boyutları 300x300 mm (P1) ile 400x400 mm (P2) olan iki mafsallı çerçeve ile kolon boyutları 300x300 mm (M) olan monolitik bir çerçeveyi karşılaştırmıştır. Yatay yük oranı aynı olduğu bir durumda (P1) mafsallı çerçevesinin yanal ötelenmesinin (M) monolitiğe göre 4 kat büyük olduğunu, (P2) mafsallı çerçevesinin ise 1.7 kat büyük olduğunu gözlemlemiştir.

İkinci bir gözlem ise monolitik çerçevede, göçme konumuna, çeşitli noktalarda plastik mafsalların değişik yük düzeylerinde erişmesidir. Buna karşın mafsallı çerçevelerde kolonların aksenal yük düzeylerinin düşük olması nedeniyle, kolon tabanında oluşan plastik mafsalların aynı yük düzeyinde oluşmasıdır. Yani monolitik çerçevede göçme kademeli olarak gelirken, mafsallı çerçevede mafsallaşmanın aynı anda oluşması nedeniyle ani göçme meydana gelmektedir. Ersoy; deneyin temelini oluşturan yapısal analizin statik analiz olduğunu, gerçek yükleme dinamik olacağından plastik mafsalların oluşmasının ardından çerçevenin aniden göçmeyebileceğini, ancak davranışın yine de olumsuz olduğunu belirtmiştir.

Ersoy; moment aktarabilen bağlantılara sahip prefabrike çerçeveleri kuru bağlantılı ve ıslak bağlantılı birleşim olarak 2 durumda ele almış ve bunları monolitik (yekpare) olarak hazırlanmış bir birleşimle karşılaştırmıştır.

Kuru bağlantıda prefabrik kolonlar, konsolları ile monolitik olarak dökülmüş, prefabrike kirişler bu konsollara biri altta diğeri üstte olmak üzere, kirişte ve kolon

konsolunda gömülü plakalara kaynaklanan iki plaka ile bağlanmıştır. Daha sonra uygulanan ikinci bir detayda üst ve alt haricinde orta kısımdan da bir plaka ile bağlantı yapılarak 3 plaka ile birleştirilen bir numune daha incelenmiştir. 2 plakalı birleşimin tersinir-tekrarlı yükler altındaki davranışı çelik plakaların deforme olması nedeniyle çok yetersiz kalmıştır. Taşınması gereken yükün ancak %50'sini taşıyabilmiş, aşırı deformasyon yapmıştır. Tersinir-tekrarlı yükleme altında 3 plakalı birleşimlerin davranışına bakıldığında referans olarak alınan monolitik eleman davranışından farksız olduğu görülmüştür. Plastik mafsallın konsolda, kolon yüzünde oluştuğu görülmüş, bağlantıların sağlıklı davranış sergilediği izlenmiştir.

Islak bağlantıda deney elemanı olarak kullanılan tüm birleşimlerde bağlantılar birleşim bölgesinde oluşturulmuştur. Tersinir-tekrarlı yüklemeler altında yapılan hiçbir deney elemanının, kabul edilebilir bir davranış sergilemediği görülmüştür. Daha sonra, kiriş donatısı, kolon yüzünden belli bir uzaklıkta çapraz yapıp azaltılarak plastik mafsallaşmanın zayıflık oluşturan bağlantı noktasından uzaklaştırılarak incelenmiştir. Davranışta önemli ölçüde iyileşme görülmesine karşın bir eleman dışında hiçbir elemanın monolitik referans elemanı kadar iyi davranış sergileyemediği görülmüştür.

Ersoy; moment transfer edebilen bağlantılara sahip çerçevelerde, bağlantıların kolon-kiriş birleşimlerinden ve plastik mafsall oluşma olasılığı olan yörelerden uzak tutulmasını, bağlantının birleşim bölgesinden uzaklaştırılmaması durumunda ise donatıda yapılacak özel düzenlemelerle plastik mafsallaşmanın bağlantıdan uzak bir noktada oluşturulmasının sağlanmasını önermiştir. Bağlantıların özenle detaylandırılmasını, donatının plakaya veya donatının donatıya kaynaklanması söz konusu ise, kullanılan donatının metalurjik özelliklerinin dikkate alınmasını belirtmiştir, [7].

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 süneklilik açısından test sonuçları ile teorik sonuçlar karşılaştırıldığında Mod-B numunesi haricinde teorik eğilme kapasitelerinin deney sonuçlarından bir miktar daha yüksek olduğu görölmüştür. Bunun sebebinin M, CIPC, CIPB ve KMP-W numunelerinde prefabrik kirişte kılcal boyutta da olsa kesme çatlağı olduğu tespit edilmiştir. CIPC, CIPB, KMP-W ve Mod-B numunelerinin kapasite ve enerji tüketim performansları bakımından deprem bölgelerinde kullanılabilir olduğu görölmüştür. Mod-B, numuneler arasında kapasite, süneklilik ve enerji tüketim kriterlerine göre en iyi performansı göstermiştir. Islak ve kuru birleşimlerin tersinir-tekrarlı davranışlarının monolitik sisteme çok yakın olduğu görölmüştür. Kompozit birleşim detayında ise kaynaklı tarafın performansı monolitik sisteme kıyasla daha düşük seviyede olduğu gözlenmiştir, [8].

1.3 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

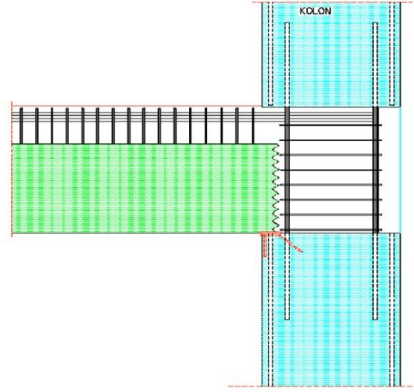
Bu tez çalışmasının ana amacı; İTÜ İnşaat Fakóltesi Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarı'nda yapılan SAFECAST araştırma projesi kapsamında deneysel ve analitik olarak incelenecek olan konut tipi prefabrike özel bir kolon-kiriş ıslak birleşim bölgesine ait deneylerin gerçekteştirilmesi, elde edilen sonuçların birbirleriyle ve bilgisayar programı yardımıyla elde edilecek teorik hesap sonuçları ile karşılaştırılması ve bu birleşimlerde enerji yoğaltacak şekil bellekli alaşımların incelenmesidir.

Bu tez çalışması kapsamında ise; İTÜ İnşaat Fakóltesi Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarı'nda 4 adet özdeş konut tipi numune farklı yüklemeler altında incelenmiştir. Sonrasında deney numunesinin matematik modeli oluşturularak analitik yönden incelenmiş ve deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. şekil bellek etkisi ve süper elastik davranış kavramları ile baz alınan şekil bellekli alaşımların davranışları açıklanmış, bir alaşım örneği birleşimde kullanılarak analitik olarak incelenmiştir.

2. BİR ÖZEL PREFABRİKE KOLON-KİRİŞ BİRLEŞİM BÖLGESİ İÇİN GERÇEKLEŞTİRİLEN DÖRT DENEY

2.1 Deney Numunelerinin Hazırlığı

SAFECAST adında Avrupa Birliği Araştırma Projesi kapsamında ele alınan, konut tipi prefabrik yapıların incelenecek olan kolon-kiriş birleşim bölgesine ait numuneler, prefabrik betonarme bir yapıdan 1/1 geometrik ölçekle çıkarılmış halleridir. Proje kapsamında incelenecek olan konut tipi prefabrik yapıya ait birleşim detayında, kolon şantiyede birleşimi yapılmak üzere iki parçada, kiriş ise üst bölgesi betonlanmamış olarak şantiyeye gelmektedir. Kolon birleşimi gerçekleştirilirken kolon-kiriş birleşim bölgesinde, kolon gövdesinde belirli bir bölge boş bırakılmaktadır. Kiriş montajı ve prekast döşeme elemanlarının yerleşiminin ardından beton dökümü gerçekleştirilmektedir.



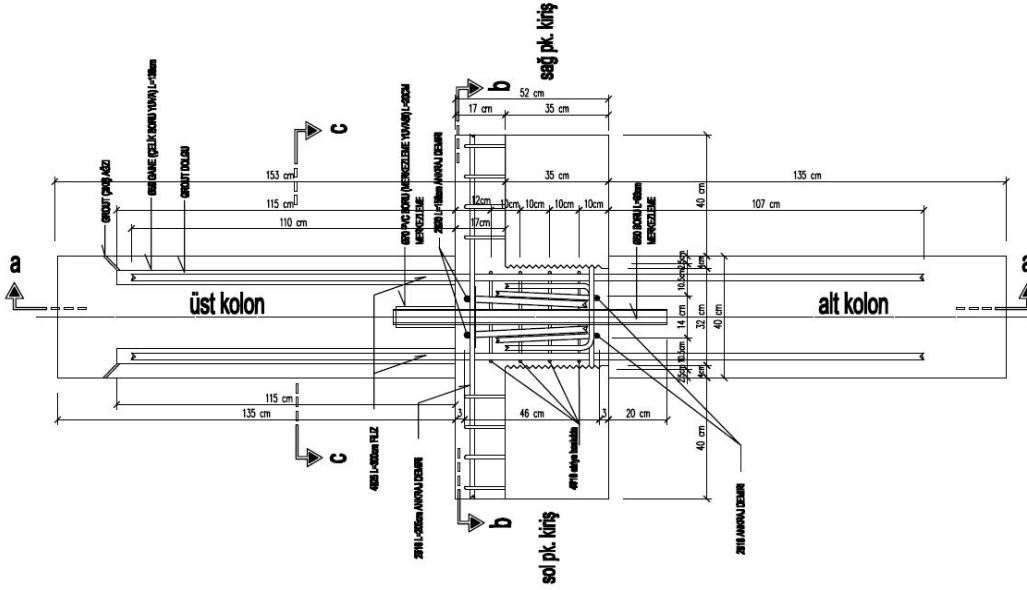
Şekil 2.1 : Deneyde kullanılacak konut tipi kolon-kiriş birleşim bölgesi

2.1.1 Deney numuneleri

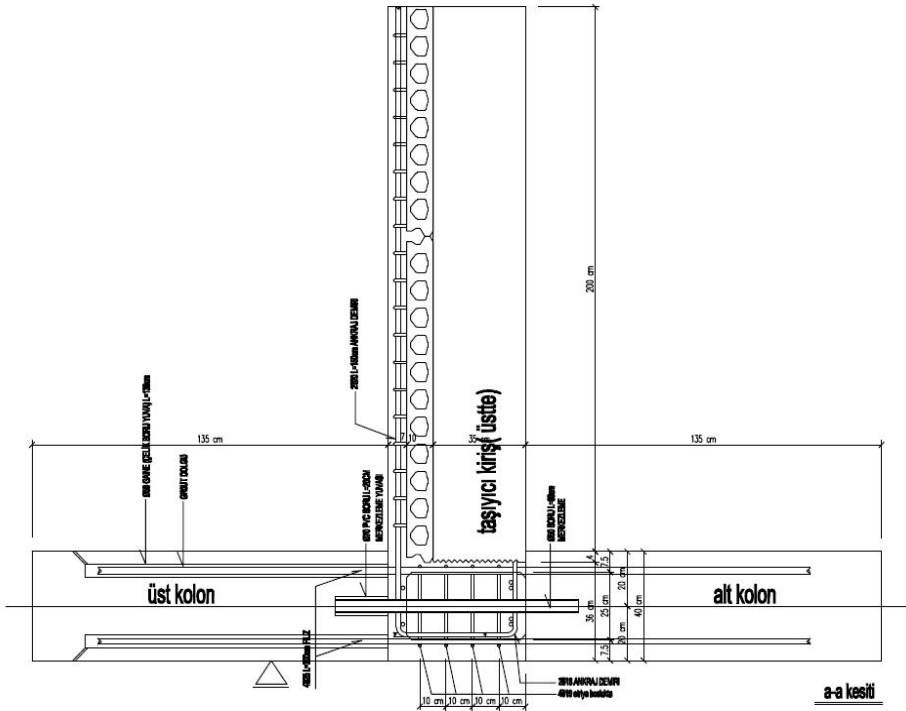
SAFECAST araştırma projesi kapsamında incelenen konut tipi prefabrik yapıların birleşim detayı için 4 adet özdeş numune üretilmiştir. Numunelerden iki tanesi tek yönlü artan statik yükler etkisi altında, diğer iki tanesi ise tersinir-tekrarlı yerdeğiştirme çevrimleri etkisi altında incelenmiştir. SAFECAST araştırma projesi kapsamı içerisinde incelenen konut tipi prefabrik yapılara ait numuneler, sanayi tipi prefabrik yapılara ait numunelerden sonra incelenmiştir. Proje bütünlüğünü korumak

ve oluşabilecek karışıklıkları önlemek için konut tipi numunelerin deneydeki numaralandırılmasına sadık kalınmış ve 7'den 10'a kadar sıralanmıştır.

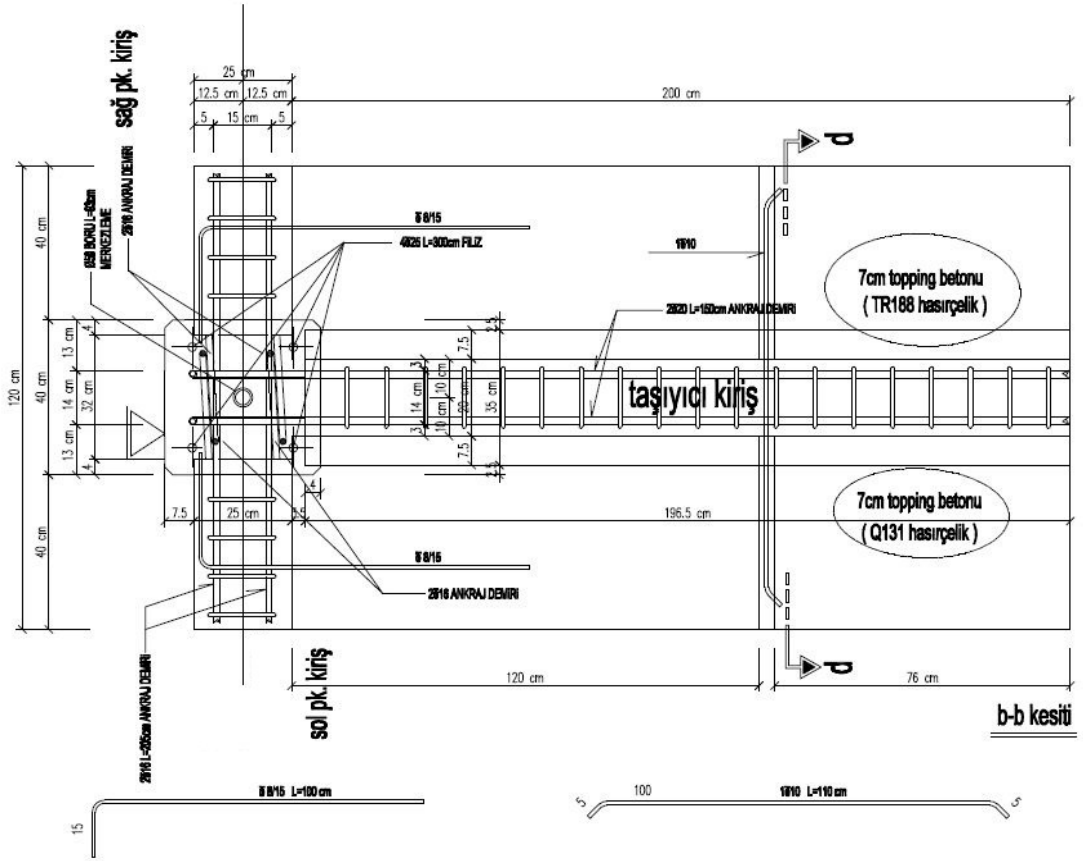
1/1 geometrik ölçekli üretilen numuneler, kolon, ana taşıyıcı kiriş, tali kirişler, döşeme tablası, kavrama betonundan oluşmaktadır. Şekil 2.2'de numune genel görünüşü ve ölçüleri verilmiştir. Numuneye ait a-a, b-b, c-c ve d-d kesitleri de sırasıyla Şekil 2.3, Şekil 2.4 ve Şekil 2.5'te gösterilmiştir.



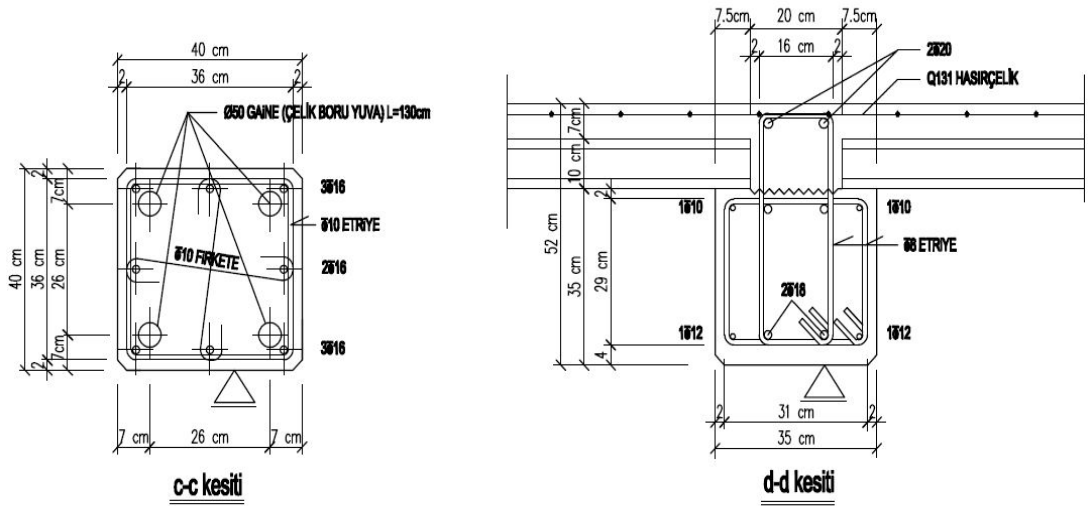
Şekil 2.2 : Deney numunesi genel görünüşü



Şekil 2.3 : Genel birleşim detayı a-a kesiti



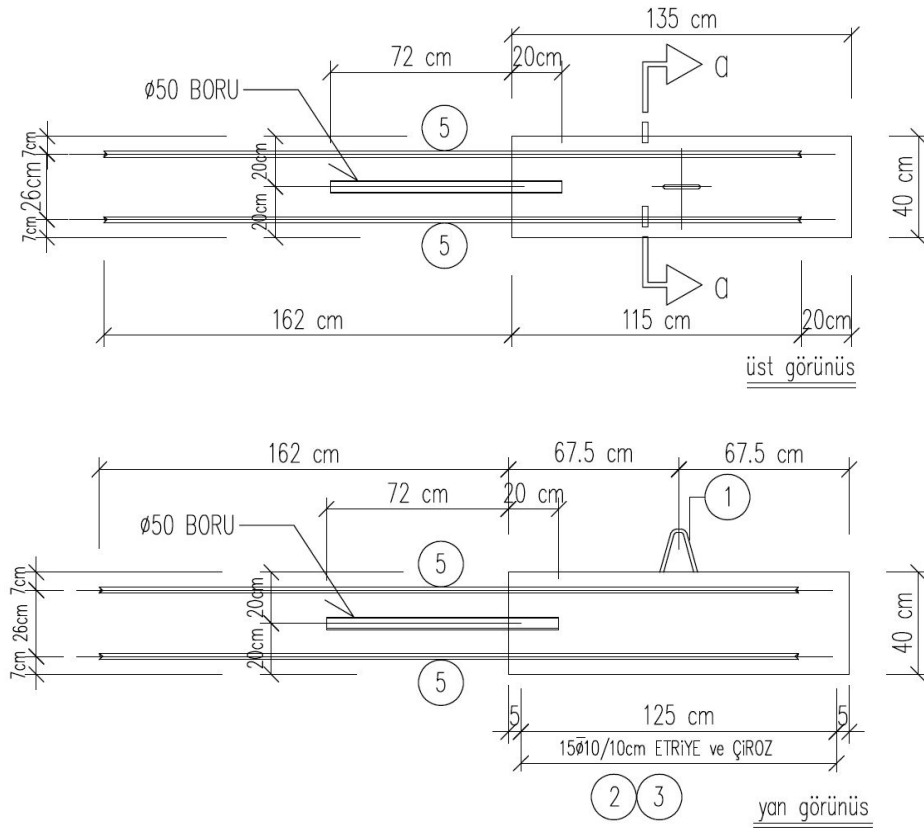
Şekil 2.4 : Genel birleşim detayı b-b kesiti



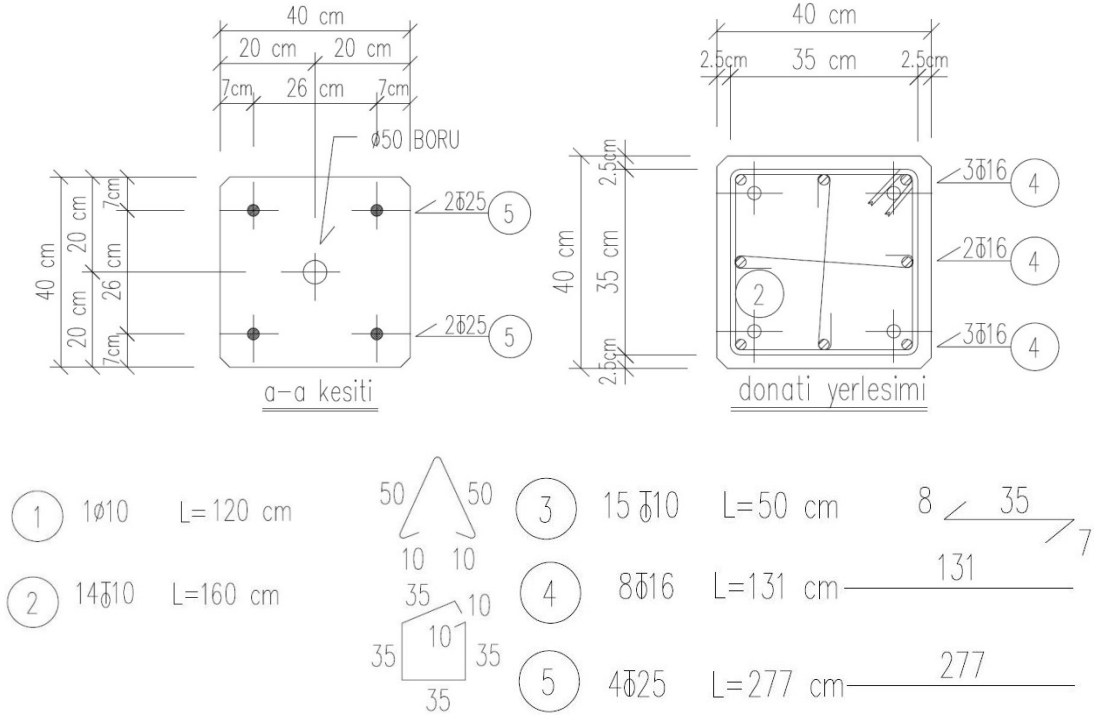
Şekil 2.5 : Genel birleşim detayı c-c ve d-d kesitleri

Kolon kesiti 400x400 mm, boyu 3185 mm'dir. Kolon, üst kolon ve alt kolon olmak üzere iki kısımdan üretilmiştir. Alt kolon kesiti 8 adet $\Phi 16$ mm ve üst kolon ile birleşimi sağlamak için 4 $\Phi 25$ boyuna donatı içermekte olup, paspayı 38 mm'dir. Ayrıca üst kolon ile birleşim yapılırken kolonlarda merkezlemeyi sağlamak amacıyla alt kolon merkezinde bir adet $\Phi 50$ mm boru bulunmaktadır. Üst kolon ile birleşimi sağlamak için yerleştirilen $\Phi 25$ mm çapındaki donatıların 1620 mm uzunluğundaki kısmı, merkezlemeyi sağlamak için yerleştirilen $\Phi 50$ mm çapındaki borunun ise 720 mm uzunluğundaki kısmı filiz olarak bırakılmıştır. Enine donatı olarak 15 adet $\Phi 10$ mm çapında 100 mm aralıklı donatı kullanılmıştır, Şekil 2.6-Şekil 2.7.

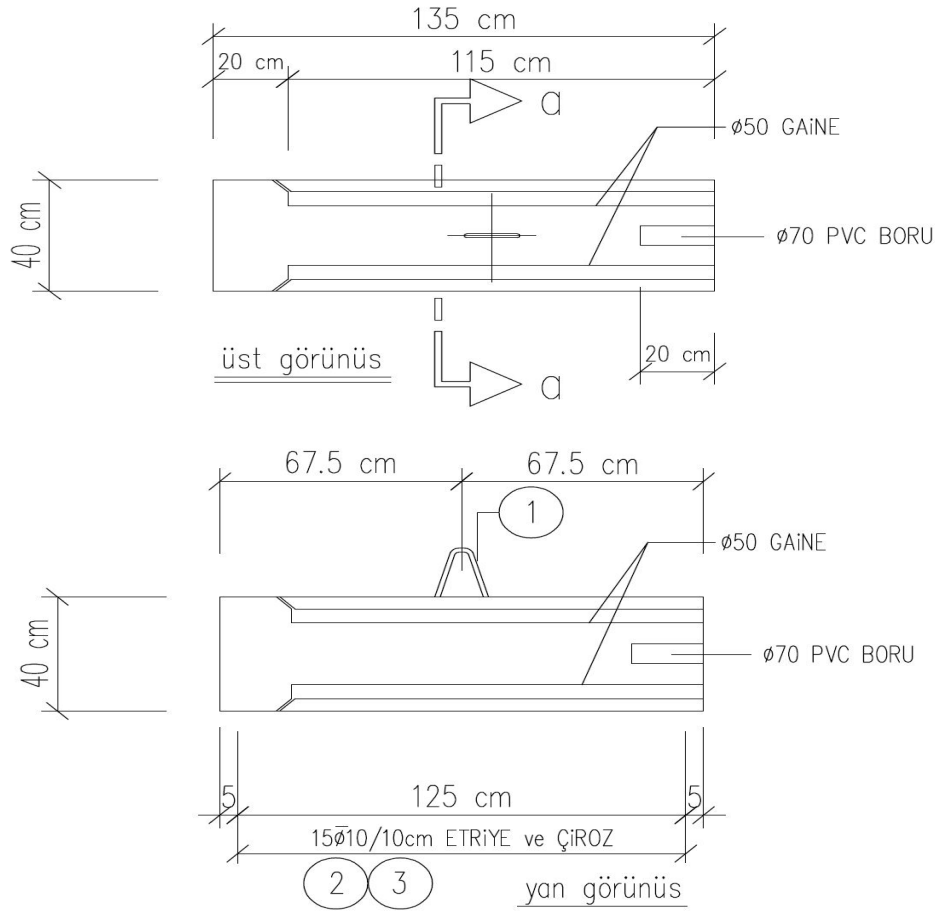
Üst kolon kesiti 8 adet $\Phi 16$ mm boyuna donatı içermekte olup, pas payı 38 mm'dir. Ayrıca kesitte birleşimi sağlamak amacıyla alt kolonda filiz olarak bırakılmış $\Phi 25$ mm'lik donatıların yerleşimi için 4 adet $\Phi 50$ mm çapında çelik boru yuva, merkezlemeyi sağlayacak $\Phi 50$ mm'lik borunun yerleşimi için de kolon merkezinde $\Phi 70$ mm çapında merkezleme yuvası açılmıştır. Üst kolonda da 15 adet $\Phi 10$ mm çapında 100 mm aralıklarla enine donatı kullanılmıştır, Şekil 2.8-Şekil 2.9.



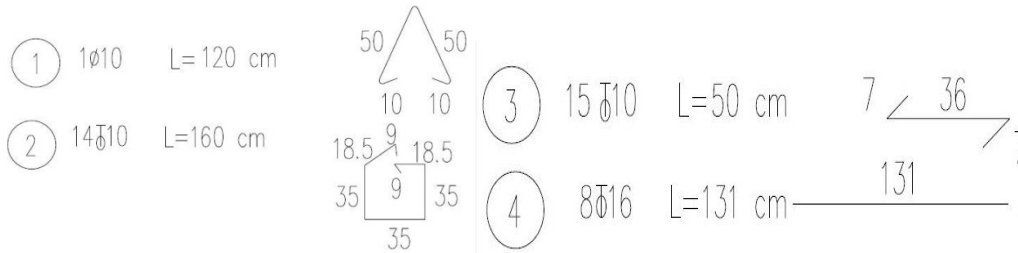
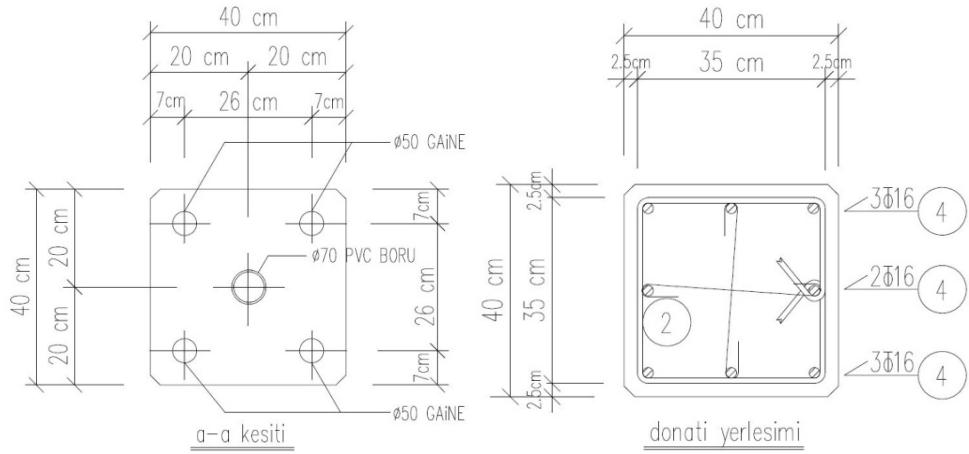
Şekil 2.6 : Deney numunesi alt kolon genel görünüşü



Şekil 2.7 : Deney numunesi alt kolon kesiti ve donatı boyları

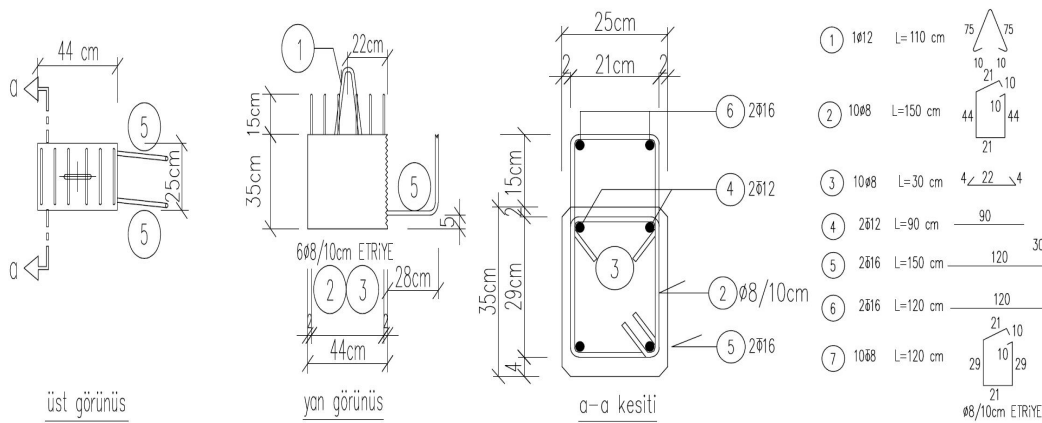


Şekil 2.8 : Deney numunesi üst kolon genel görünüşü

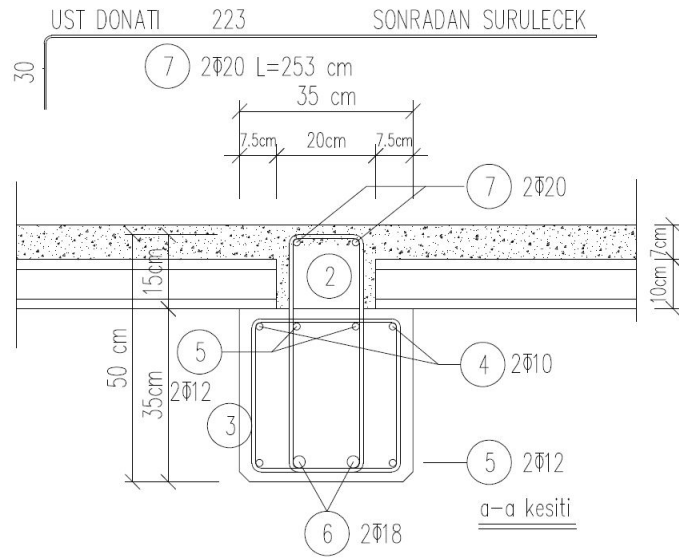
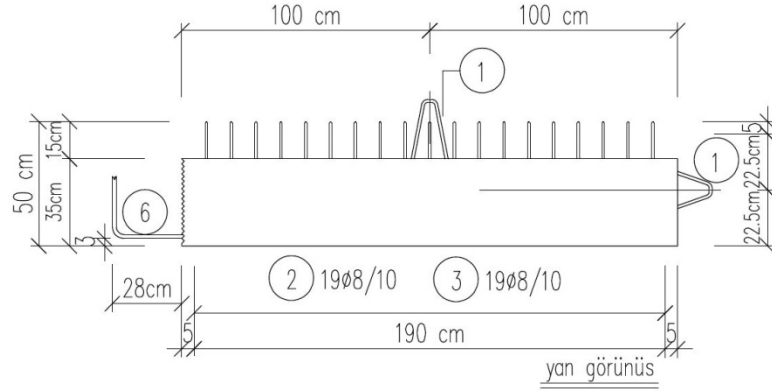
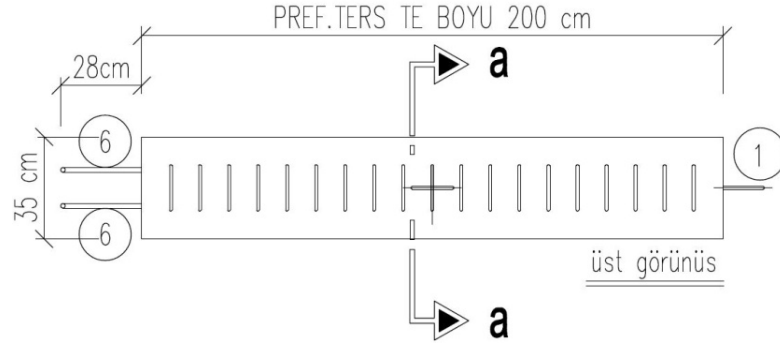


Şekil 2.9 : Deney numunesi üst kolon kesiti ve donatı boyaları

Taşıyıcı kiriş kesiti 350x350 mm, uzunluğu 2000 mm'dir. Kiriş kesiti 2Ø20+4Ø12+2Ø18+2Ø10 boyuna donatısı içermektedir. 2Ø20 üst donatısı kolon-kiriş birleşimi oluşturulması aşamasında sürülecektir. Ø20 ve Ø18 mm çapındaki donatıların sürekliliği düğüm noktasına kadar devam etmektedir. Tali kirişlerin kesiti 250x350 mm, uzunluğu ise 440 mm'dir. Şekil 2.10 ve Şekil 2.11'de taşıyıcı ve tali kirişlere ait genel görünüm ve kesitler yer almaktadır. Şekilde taşıyıcı kirişin, prekast döşeme yerleştirilmiş ve kavramı betonu dökülmüş haldeki kesiti verilmiştir. Döşeme tablası olarak 1200x2250 mm boyutlarında boşluklu prekast panel kullanılmıştır.



Şekil 2.10 : Deney numunesi tali kiriş kesiti ve genel görünüşü



①	2Ø14	L=150 cm	65 10 10	④	2Ø10	L=190 cm	190
②	19Ø8	L=150 cm	11 16 48 16	⑤	4Ø12	L=190 cm	190
③	15Ø8	L=145 cm	31 10 31	⑥	2Ø18	L=248 cm	25 223
				⑦	2Ø20	L=253 cm	30 223

Şekil 2.11 : Deney numunesi taşıyıcı kiriş kesiti ve genel görünüşü

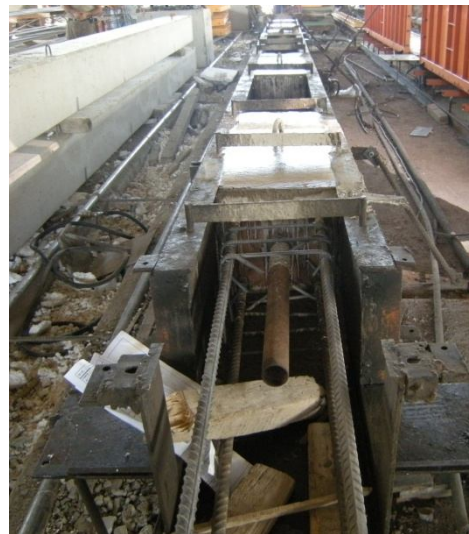
2.1.2 Deney numunelerinin üretimi

Numunelerin üretimi Afa Prefabrik Prefabrike Beton Sanayi ve Ticaret A.Ş tarafından gerçekleştirilmiştir. Birleşim detayını oluşturan kolon, ana taşıyıcı kiriş ve tali kirişlerin donatıları, pas paylarının bırakılmasının ardından kalıplara yerleştirilmiştir, Şekil 2.12.



Şekil 2.12 : Numune donatılarının kalıba yerleşimi

Donatıların kalıplara yerleştirilmesinin ardından beton dökümü gerçekleştirilmiştir. Beton dökümünde vibrasyon işlemi uygulanmıştır. Beton dökümü yapılırken malzeme deneylerinde kullanılmak üzere toplam 44 adet 150x300 mm boyutlarında beton silindir numunesi alınmıştır. Şekil 2.13 ve Şekil 2.14’de kolon ve kirişlere ait beton dökümü verilmiştir.



Şekil 2.13 : Kolonlara ait beton döküm işlemi



Şekil 2.14 : Kirişlere ait beton döküm işlemi

Beton prizinin gerçekleşmesinin ardından numuneler kalıptan çıkarıldıktan sonra alt ve üst kolonun birleşim işlemine geçilmiştir. Özel olarak hazırlanan eğik zemin üzerine ilk önce üst kolon yerleştirilmiştir. $\Phi 25$ mm çapındaki donatıların yerleştirileceği yere aderansı sağlamak amacıyla yüksek akışkanlı, çimento esaslı, yüksek mukavemetli akıcı bir dolgu harcı ilave edilmiştir, Şekil 2.15. Dolgu harcının ilave edilmesinden sonra alt kolon vinç yardımıyla eğik zemine getirilmiş ve kolondan çıkan $\Phi 25$ mm çapındaki donatılar ile $\Phi 50$ mm çapındaki merkezleme borusu, üst kolondaki yuvalara yerleştirilerek birleşim tamamlanmıştır. Kolonun üzerinde yer alan düğüm noktasını oluşturmak amacıyla kolonun iki parçası arasında 52 cm'lik bir boşluk bırakılmıştır, Şekil 2.16.



Şekil 2.15 : Yuvalara dolgu harcının ilave edilmesi işlemi



Şekil 2.16 : Alt ve üst kolonun birleştirilmesi

Prekast elemanların birleştirilmesi için vinç yardımıyla desteklenerek düşey konuma getirilen kolonun, düğüm noktasını oluşturacak boşluklu kısmına, taşıyıcı kirişte 4 cm, tali kirişlerde de 2.5 cm bindirme yaptırılarak yerleştirilmiştir. Düğüm noktasının betonu dökülene kadar, kirişler önceden hazırlanmış destekler tarafından tutulmuştur. Tali kiriş doğrultusunda $2\Phi 16$, taşıyıcı kiriş doğrultusunda ise U şeklinde hazırlanmış $2\Phi 20$ boyuna donatısı yerleştirilmiştir, Şekil 2.17.



Şekil 2.17 : Kolon-kiriş birleşiminin oluşturulması

Kolon-kiriş birleşiminin ardından 10 cm kalınlıklı hazır prekast döşeme elemanları taşıyıcı kiriş üzerine yerleştirilmiştir. Döşeme elemanlarının üzerine de Q131 tipi hasır donatı yerleştirilmiştir. Mesnetlenme bölgesinden döşeme hasırının üzerine 150 mm aralıkta $\Phi 8$ mm çapında L tipi ilave donatılar da yerleştirilmiştir, Şekil 2.18.

Donatı yerleşiminin ardından düğüm noktası ve döşeme elemanları kalıba alınarak beton dökümü gerçekleştirilmiştir, Şekil 2.19. Beton dökümünde vibrasyon işlemi uygulanmıştır. Döşeme üzerine dökümü yapılan kavrama betonu, 7 cm kalınlığındadır.



Şekil 2.18 : Döşeme elemanları ve hasır donatının yerleştirilerek kalıba alınması



Şekil 2.19 : Numunenin kalıptan çıkarılması

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

4 deney numunesinin üretimi aşamasında kullanılan betonların basınç dayanımlarının belirlenmesi amacıyla her bir numune için, kolon-kiriş betonu ve kavrama betonundan 5'er adet olmak üzere toplam 10 adet silindir numune (150x300 mm) alınmıştır. Numuneler 5000 kN kapasiteli Amsler marka pres kullanılarak standart silindir basınç deneyine tabi tutulmuştur. Basınç deneylerinde elde edilen sonuçlar Çizelge 2.1'de verilmiştir. Çizelgede kavrama betonu T, kolon-kiriş betonu ise K ile isimlendirilmiştir. Harflerin yanındaki rakamlar ise beton numunelerinin kaçınıcı numuneye ait olduğunu göstermektedir. Numune 7'ye ait taşıyıcı kirişten 2. üretim yapılmış ve bu üretimden 4 adet daha silindir numune alınmıştır. 2. üretimden alınan beton numuneler K7-2 ile isimlendirilmiştir.

Çizelge 2.1 : Beton basınç deneyi sonuçları

Numune	Numune Kodu	Yaş (Gün)	Dayanım (MPa)
T7	1	202	41.3
	2		40.6
	3		43.8
	4		46.9
	5		48.7
T8	6	204	49.1
	7		42.5
	8		36.6
	9		55.2
	10		41.9
K7	11	224	41.9
	12		34.5
	13		32.5
	14		32.2
	15		38.6
K8	16	223	35.6
	17		28.6
	18		31.0
	19		34.1
	20		28.6
K9	21	222	33.8
	22		38.5
	23		31.1
	24		42.5
	25		34.0
K10	26	221	37.4
	27		39.6
	28		30.0
	29		33.0
	30		36.4
K7-2	31	196	45.9
	32		34.3
	33		50.4
	34		47.6
T9	35	206	48.0
	36		45.8
	37		41.0
	38		48.7
	39		32.3
T10	40	208	44.1
	41		33.9
	42		29.5
	43		36.5
	44		38.3

2.1.3.2 Çelik deneyleri

Çelik çekme deneyleri 200 kN kapasiteli Amsler mekanik çekme aleti kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Her farklı çaptan 5 adet numune alınmış ve çekme deneyine tabi tutulmuştur. Deney sonuçları Çizelge 2.2’de verilmektedir. Bu çizelgenin sonunda ise mevcut yönetmeliklerdeki sınır değerler verilmiştir.

Çizelge 2.2 : Çelik çekme deneyi sonuçları

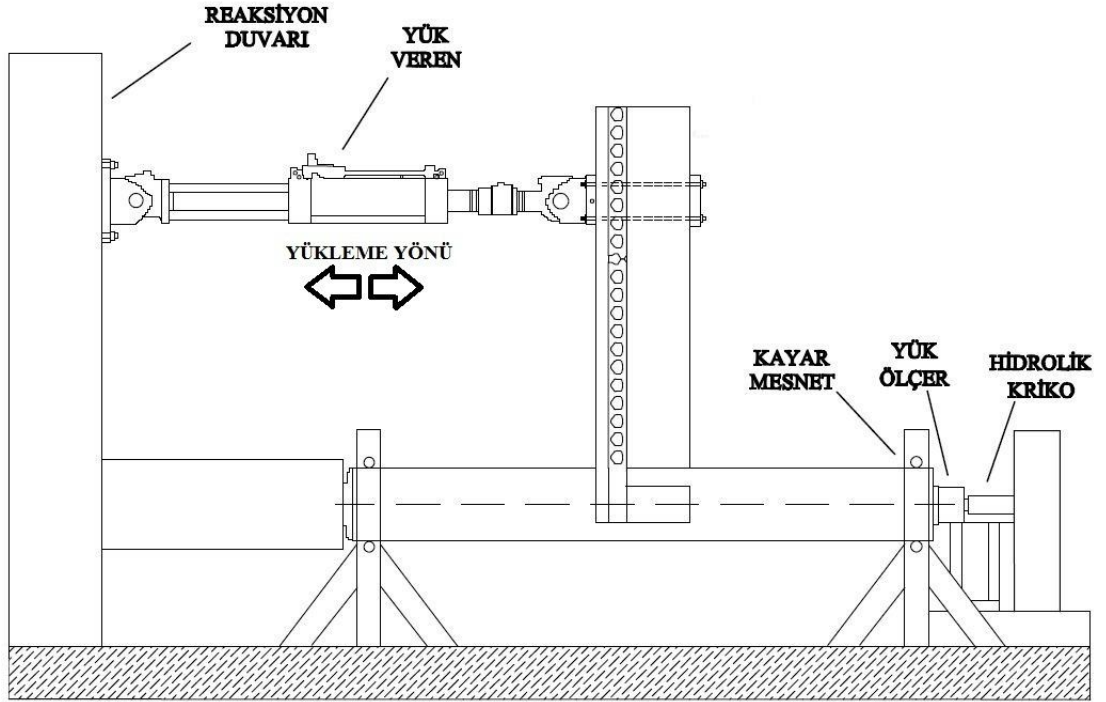
UYGULANAN STANDART :TS 708-TS 138 DENEY SONUCU BULUNAN DEĞERLER						LAB. ORTAM SICAKLIĞI : 18 ⁰ C				TS 708 -SINIR DEĞERLERİ	
NO	Anma Çapı (mm)	Ölçüm Çapı (mm)	Kütle Kg/m	Akma Dayanımı		Çekme Dayanımı		Çekme Akma Oranı Rm/Re	Kopma Uzama Oranı %	Anma Kütleli Kg/m Min	Anma Kütleli Kg/m Max
				Kuvvet kN	Ger. N/mm ²	Kuvvet kN	Ger. N/mm ²				
F8(1)	8	8.1	0.406	24.5	488	29.9	595	0.82	30	0.371	0.418
F8(2)	8	8.1	0.407	25.0	498	28.9	576	0.86	30	0.371	0.418
F8(3)	8	8.1	0.403	24.5	488	28.4	566	0.86	29	0.371	0.418
F8(4)	8	8.1	0.403	24.5	488	28.4	566	0.86	26	0.371	0.418
F8(5)	8	8.1	0.408	25.5	507	29.4	585	0.87	29	0.371	0.418
F10(6)	10	10.0	0.615	39.2	500	44.1	562	0.89	29	0.589	0.644
F10(7)	10	10.0	0.614	36.8	468	44.1	562	0.83	27	0.589	0.644
F10(8)	10	10.0	0.611	36.8	468	44.1	562	0.83	27	0.589	0.644
F10(9)	10	10.0	0.617	36.8	468	44.1	562	0.83	30	0.589	0.644
F10(10)	10	10.0	0.619	36.8	468	43.7	556	0.84	27	0.589	0.644
F12(11)	12	12.1	0.899	59.4	525	70.6	625	0.84	25	0.848	0.927
F12(12)	12	12.0	0.888	57.9	512	69.7	616	0.83	26	0.848	0.927
F12(13)	12	12.0	0.887	58.9	520	69.7	616	0.85	26	0.848	0.927
F12(14)	12	11.9	0.877	57.4	507	68.7	607	0.84	27	0.848	0.927
F12(15)	12	12.0	0.890	58.9	520	70.1	620	0.84	28	0.848	0.927
F16(17)	16	15.8	1.542	100.1	498	118.7	590	0.84	26	1.508	1.651
F16(18)	16	15.8	1.544	101.0	503	119.2	593	0.85	25	1.508	1.651
F16(19)	16	15.8	1.541	102.0	507	119.7	595	0.85	26	1.508	1.651
F16(20)	16	15.8	1.540	101.5	505	119.7	595	0.85	27	1.508	1.651
F16(21)	16	15.8	1.539	101.0	503	118.7	590	0.85	25	1.508	1.651
F18(22)	18	17.8	1.960	125.6	493	154	605	0.82	23	1.910	2.090
F18(23)	18	17.8	1.954	125.6	493	154	605	0.82	27	1.910	2.090
F18(24)	18	17.7	1.939	125.6	493	154	605	0.82	27	1.910	2.090
F18(25)	18	17.8	1.943	125.6	493	154	605	0.82	28	1.910	2.090
F18(26)	18	17.8	1.949	125.6	493	154	605	0.82	27	1.910	2.090
F20(27)	20	19.6	2.359	144.2	459	169.7	540	0.85	28	2.358	2.581
F20(28)	20	19.6	2.364	143.2	456	168.7	537	0.85	30	2.358	2.581
F20(29)	20	19.6	2.366	145.2	462	169.7	540	0.86	28	2.358	2.581
F20(30)	20	19.6	2.362	144.2	459	168.7	537	0.85	27	2.358	2.581
F20(31)	20	19.6	2.363	143.2	456	168.7	537	0.85	27	2.358	2.581
F25(32)	25	24.9	3.806	276.2	563	318.8	650	0.87	*	3.676	4.023
F25(33)	25	24.9	3.813	276.2	563	331.6	675	0.83	*	3.676	4.023
F25(34)	25	24.9	3.815	276.2	563	331.3	675	0.83	28	3.676	4.023
F25(35)	25	24.9	3.784	276.2	563	331.6	675	0.83	*	3.676	4.023
F25(36)	25	24.9	3.812	276.2	563	331.6	675	0.83	*	3.676	4.023

TS 708-TS 138 sınır değerleri:

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

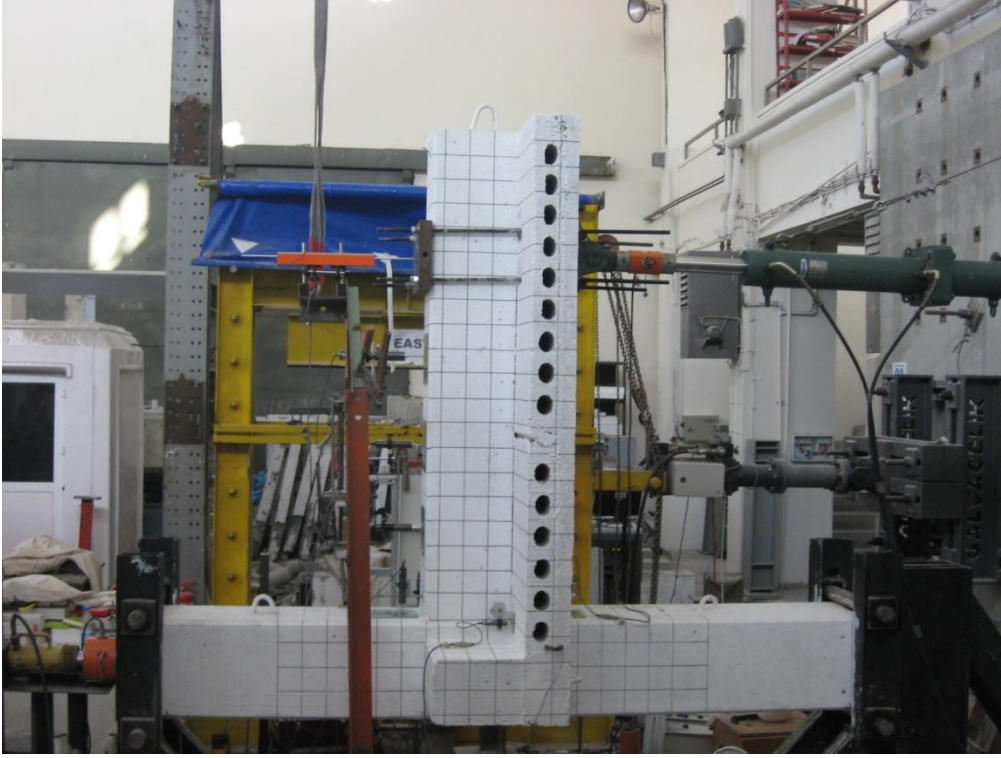
2.1.4 Deney düzeneği

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, Şekil 2.20. Yatay yükleme, Numune 7 ve Numune 8 için bilgisayarla kontrol edilen ± 250 kN ve ± 300 mm yerdeğiştirme kapasiteli MTS marka hidrolik veren ile, Numune 9 ve Numune 10 için elle kontrol edilen yarı otomatik ± 250 kN ve ± 300 mm yerdeğiştirme kapasiteli KST 30 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.



Şekil 2.20 : Deney düzeneği

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



Şekil 2.21 : Deney düzeneğinin laboratuvardaki görünüşü



Şekil 2.22 : Hidrolik kriko ile kolona aksenal yük verilmesi işlemi

2.1.4.1 Ölçüm düzeneği

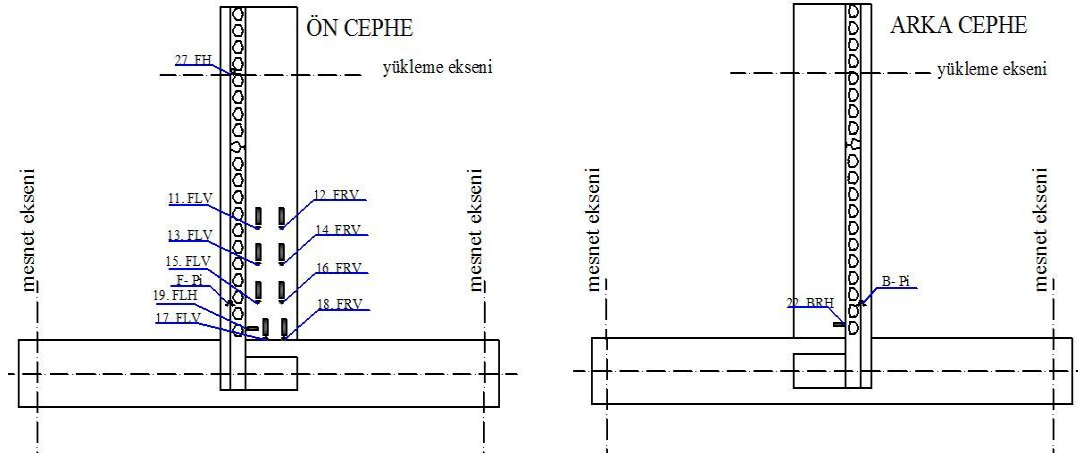
Numune davranışını belirlemek üzere kritik noktalara yerdeğiştirme ölçerler konularak okumalar yapılmıştır. Tüm yerdeğiştirme ölçerler hem itmede hem de çekmede okuma yapabilecek şekilde yerleştirilmişlerdir. Yerdeğiştirme ölçümlerinde farklı ölçüm boylarına sahip TML marka CDP-5, CDP-10, CDP-25, CDP-50 ve CDP-100 tipi yerdeğiştirme ölçerler kullanılmıştır. Yerdeğiştirme kontrollü olarak gerçekleştirilen deneyde, kontrol yerdeğiştirmesi, hidrolik veren hizasına yerleştirilen

yerdeğiştirme ölçer ile gerçekleştirilmiştir. Numune 7’de kontrol yerdeğiştirmesi için SDP 200D tipi yerdeğiştirme ölçer kullanılmış fakat Numune 8’de bu tipin yeterli olmadığı görülmüş ve OX 300 tipi yerdeğiştirme ölçer kullanılmıştır. Numune 9 ve Numune 10’da da OX 300 tipi yerdeğiştirme ölçer kullanılmıştır. Kritik kesit olarak belirtilen kolon ile taşıyıcı kirişin birleştiği ve kiriş üzerindeki yaklaşık 60 cm olan bölgede yerdeğiştirme ölçerler ile okumalar yapılmıştır. Bu bölgedeki okumalar numune üzerindeki iki noktanın birbirine göre olan görelî hareketini belirlemek üzere yapılmıştır. Kolon-kiriş birleşim bölgesinde şekildeğiştirme, dönme ve eğriliğin belirlenmesi için CDP-5 ve CDP-25 tipi yerdeğiştirme ölçerler kullanılmıştır. Bu bölgedeki yerdeğiştirme ölçerler, sabit noktaların oluşturulması için numunelere laboratuvarında ankre edilmiş 6 mm çaplı ankraj bulonlarına yerleştirilmiştir. Ölçümlerin hassaslığının korunması için yerdeğiştirme ölçerlerin ölçüm alan başlıklarının temas ettiği yüzeylere pürüzsüz sehpalara ve camlara yerleştirilmiştir. Kavrama betonu ile prekast döşeme elemanları arasında olabilecek açılmayı belirlemek için PI tipi yerdeğiştirme ölçerler kullanılmıştır. Ölçüm düzeneğinin genel görünüşü Şekil 2.23’te verilmiştir.

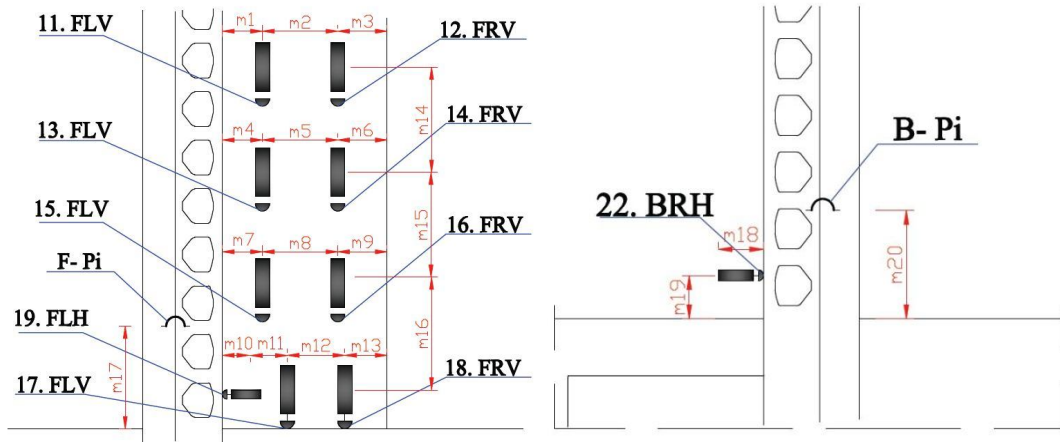


Şekil 2.23 : Ölçüm düzeneğinin genel görünüşü

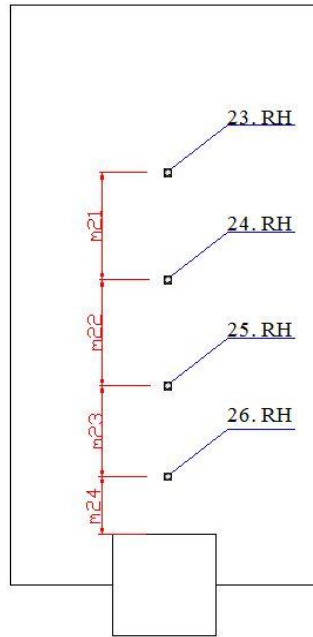
Kiriş boyunca yerdeğiştirmeyi ölçmek için CDP-100 ve CDP-50 tipinde, kolonun yükleme hareketini ölçmek ve numunenin düzlem dışı hareketini tespit etmek amacıyla da CDP-25 tipi yerdeğiştirme ölçerler kullanılmıştır. Bu yerdeğiştirme ölçerler, yardımcı profiller üzerinde sabitlenerek ölçümler alınmıştır. Yerdeğiştirme ölçüm düzeneği ve kanal numaraları, numunenin üzerindeki konumlarına göre Şekil 2.24, Şekil 2.25 ve Şekil 2.26’da verilmiştir.



Şekil 2.24 : Ölçüm aletlerinin ön ve arka cephede yerleşimi ve kanal numaraları



Şekil 2.25 : Ön ve arka cephe yerdeğiştirme ölçerler ve mesafe kodları



Şekil 2.26 : Sağ cephe yerdeğiştirme ölçerler, kanal numaraları ve mesafe kodları

4 numune üzerine yerleştirilen yerdeğiştirme ölçerlerin numune üzerindeki konumlarına her ne kadar sadık kalınsa da, ölçerler arasındaki mesafelerde numunelere göre değişiklik olmuştur. Doğru sonuçlar elde etmek için her numunede ölçüm düzeneği yerleşiminden sonra mesafe okumaları yapılmıştır. Her numuneye ait mesafeler Çizelge 2.3'te ayrıntılı olarak verilmiştir.

Çizelge 2.3 : Numune üzerinde yerdeğiştirme ölçerler arasındaki mesafeler

MESAFELER (cm)	NUMUNE 7	NUMUNE 8	NUMUNE 9	NUMUNE 10
m1	6	6	6.5	6
m2	21	21.5	21.5	20.5
m3	7.5	7.8	7.2	8.5
m4	6	6	6	5.5
m5	22	21.5	22.5	21.5
m6	7.5	8	7	8
m7	6	5.5	5.5	5.5
m8	22	21.6	23.5	21.5
m9	7.2	7	6.2	8
m10	5	4.3	4.6	6
m11	12.4	12.5	12.4	12.5
m12	11.5	11.8	11.6	12
m13	6.3	6	6.5	5.5
m14	20	20	20	19.8
m15	19.5	20	19.5	19.8
m16	15	15	14.5	15.1
m17	20	21	21.5	21
m18	7	6.8	7.3	6.5
m19	6.5	6	6.5	6.7
m20	20	21	21.5	20.8
m21	40	38	35.5	41
m22	42	42	42	38
m23	30	28	28	34.5
m24	32	34	36	29

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 2.4’te verilmiştir.

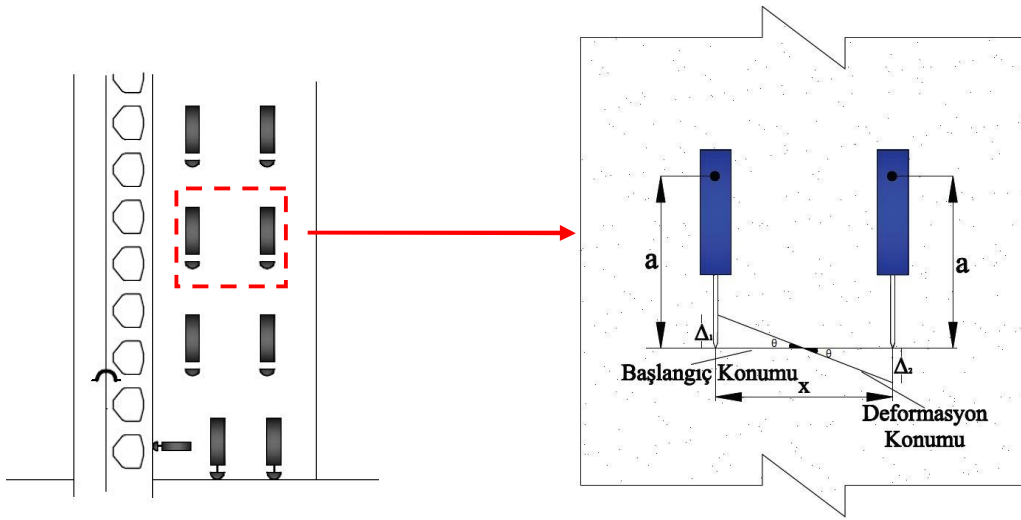
Çizelge 2.4 : Yerdeğiştirme ölçer tipi, kanal numarası ve eleman kodu

Yerdeğiştirme Ölçer Tipi	Kanal No	Eleman Kodu	Açıklama
CDP 25	11	FLV(1)	FLV(1): Ön cephe sol kısım 1 nolu yerdeğiştirme ölçer
CDP 25	12	FRV(1)	
CDP 25	13	FLV(2)	BRH: Arka cephe sağ kısım yatay yerdeğiştirme ölçer
CDP 25	14	FRV(2)	
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	22	BRH	Ön ve arka cephe yerdeğiştirme ölçerler
OX 300	23	RH(1)	RH(1): Sağ cephe 1 nolu yatay yerdeğiştirme ölçer
CDP 100	24	RH(2)	
CDP 50	25	RH(3)	Sağ cephe yerdeğiştirme ölçerler
CDP 50	26	RH(4)	
CDP25	27	FH(1)	Düzlem dışı yerdeğiştirme ölçerler
CDP25	28	FH(2)	
PI	29	F-PI	Ön ve arka cephe Pi ölçerler
PI	30	B-PI	

2.1.4.2 Ölçümlerin değerlendirilmesi

4 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 2.27’de değerlerin elde edilmesi için yerdeğiştirme ölçerde kullanılan mesafeler verilmiştir.



Şekil 2.27 : Taşıyıcı kiriş birleşim bölgesi yerdeğiştirme ölçer konumu

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

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

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

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

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

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

2.2 Deneysel Çalışma

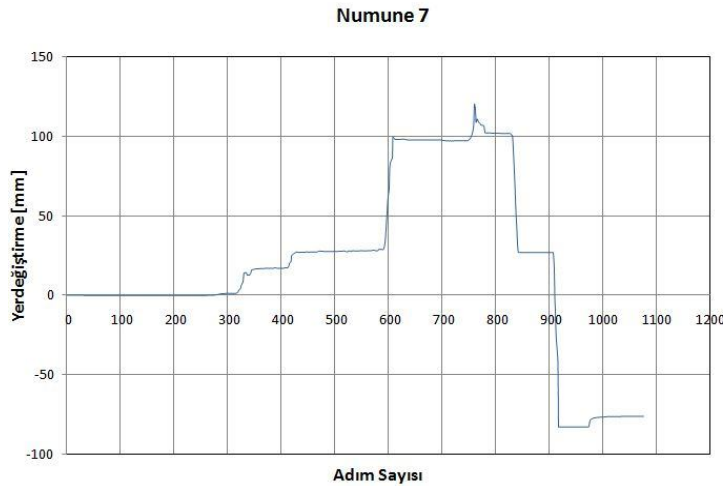
Üretim safhaları bir önceki bölümde açıklanan deney numuneleri, İTÜ İnşaat Fakültesi Yapı ve Deprem Laboratuvarı'nda, taşıyıcı kirişe bağlı hidrolik veren vasıtasıyla monotonik ve tersinir-tekrarlı yüklemeler etkisinde incelenmişlerdir. Tüm numunelerde kolona, aksenal yük taşıma kapasitelerinin %10'una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

2.2.1 Monotonik yükleme

SAFECAST araştırma projesi kapsamında incelenen konut tipi 4 deney numunesinden ilk ikisi (Numune 7 ve Numune 8) 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, konut tipi prefabrike yapıların birleşim bölgelerinin davranışları üzerindeki etkilerini incelemektir.

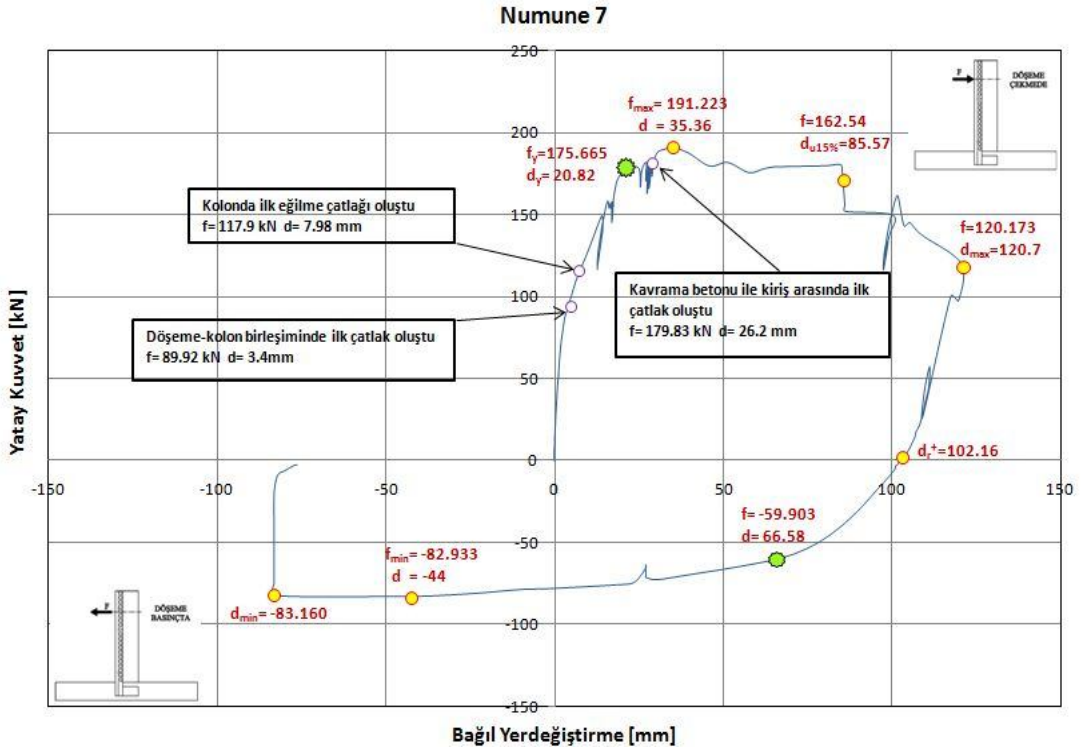
2.2.1.1 Konut tipi numunede monotonik yükleme negatif moment (RTMNM)

İlk deneyde Numune 7'nin, döşemesinin çekme etkisinde bırakılan ve taşıyıcı kiriş kesitinde negatif moment oluşturacak şekilde verilen tek yönlü artan yükler etkisi altında gösterdiği davranış incelenmiştir. Taşıyıcı kirişe uygulanan yerdeğiştirme fonksiyonunun deney adımları süresince değişimi Şekil 2.28'de verilmiştir.



Şekil 2.28 : Yerdeğiştirme fonksiyonunun adım sayısı ile ilişkisi

Taşıyıcı kirişe hidrolik veren aracılığıyla etkitilen yatay yük ile veren hizasından alınan yer değiştirme okumaları arasındaki ilişki Şekil 2.29’da verilmiştir. Deney süresince gözlemlenen önemli olaylar, grafik üzerinde gösterilmiştir. Ayrıca grafik üzerinde gösterilen önemli kuvvet ve yerdeğiştirme noktaları, Çizelge 2.5’te açıklanmıştır.



Şekil 2.29 : Kuvvet-yerdeğiştirme diyagramı ve deneyde gözlenen önemli olaylar

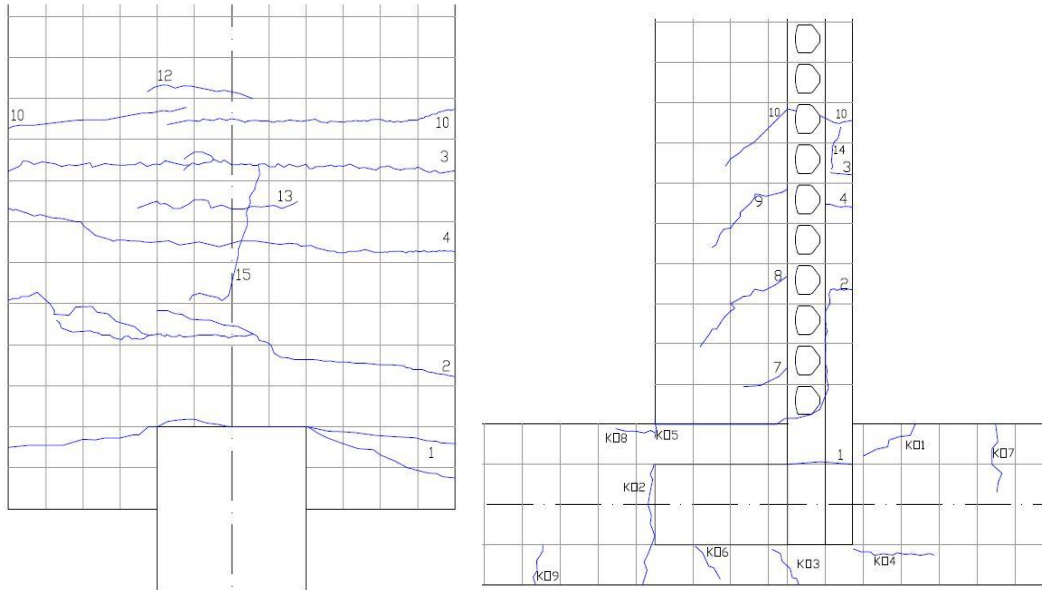
Çizelge 2.5 : Numune 7’ye ait deney sonrası elde edilen kritik değerler

Monotonik yükleme-Döşemenin çekmede olduğu durum	
“Akma” Dayanımı *	175.665 kN
Maksimum dayanım	191.223 kN
“Akma” Uzaması * (d_y)	20.82 mm
Kopma uzaması ($d_{u,15\%}$; maksimum dayanımın %85’ine karşılık gelen)	85.857 mm
Kopma uzaması ($d_{u,tot}$; birleşimin güç tükenmesine karşılık gelen)	120.7 mm
Süneklik oranı	4.12 ($d_{u,15\%}/d_y$)

* “Akma” noktaları yatay kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi yardımıyla belirlenmiştir.

Deney, döşemenin çekmede bırakıldığı tek yönlü yükleme ile başlamıştır. Yerdeğiştirmenin $\delta = 3.40$ mm ve ona karşılık gelen dayanımın $f = 89.92$ kN olduğu anda numunenin döşeme ile kolon birleşimi bölgesinde ilk çatlak meydana gelmiştir, Şekil 2.31(a). Yerdeğiştirmenin $\delta = 7.98$ mm ve dayanımın $f = 117.9$ kN olduğu anda ise kolonda ilk eğilme çatlağı oluştuğu, döşemede ise 2 no'lu çatlağın oluştuğu gözlenmiştir. $f = 154$ kN ve $\delta = 16.2$ mm'ye geldiğinde, döşemede var olan çatlakların giderek genişlediği ve çatlak sayısının üst kısımlara doğru arttığı görülmüştür, Şekil 2.31(b). Dayanımın maksimum $f_{maks} = 191.22$ kN ve $\delta = 35.36$ mm olduğu anda, döşeme-kolon birleşiminde oluşan ilk çatlak, birleşim bölgesi boyunca ilerleyerek kirişe ulaşmıştır. Ayrıca çatlak döşeme kısmında ölçülemeyecek kadar büyümüş ve buradan bakıldığında hasır donatıda kopmalar olduğu gözlenmiştir, Şekil 2.31(c-d). Bu dayanım noktasında kolon-kiriş birleşim bölgesinde de betonda ezilme meydana gelmiştir, Şekil 2.31(d). $f = 191.22$ kN ve $\delta = 35.36$ mm noktasında gözlemlenen olaylardan sonra numunede dayanım kaybı meydana gelmiş ve maksimum yerdeğiştirme $\delta_{maks} = 120.7$ mm'ye kadar kayıp devam etmiştir. Bu aşamadan sonra yükleme boşaltılmış ve $f = 0$ kN anında toplam kalıcı yerdeğiştirme $\delta_p = 102.7$ mm okunmuştur. Numunenin lineer davranış sınırı yaklaşık olarak $\delta_y = 20.82$ mm ve $f_y = 175.66$ kN dayanım olarak belirlenmiştir.

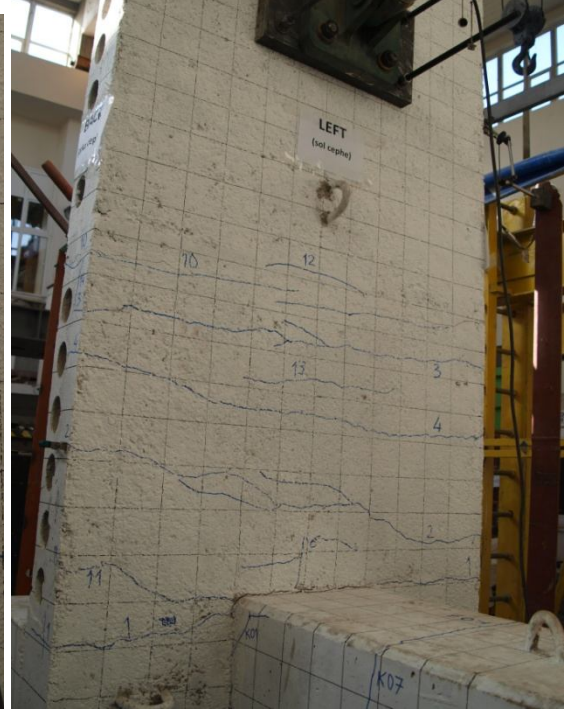
Deney boyunca adım adım izlenen ve kaydedilen çatlaklar, Şekil 2.30'daki çatlak krokilerinde ayrıntılı şekilde verilmiştir.



Şekil 2.30 : Sol ve arka cephede oluşan çatlaklar



(a)



(b)



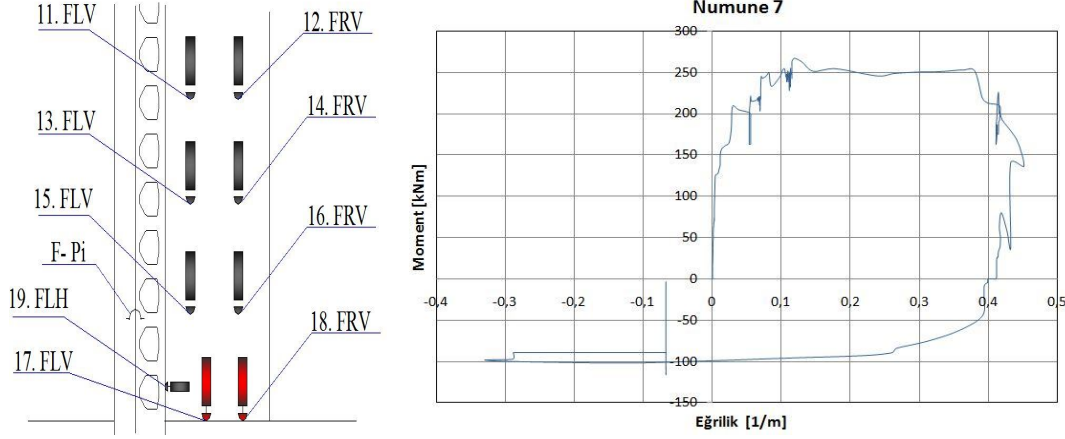
(c)



(d)

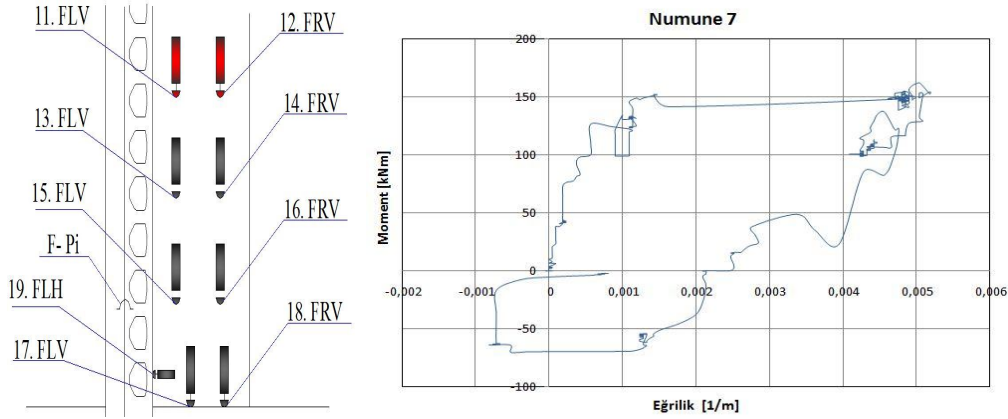
Şekil 2.31 : Deney sırasında numunede oluşan çatlak dağılımı

Taşıyıcı kiriş alt ucunun kolon yüzüne göre dönmesi 17 ve 18 no'lu yerdeğiştirme ölçerler yardımıyla ölçülmüş, elde edilen dönmelerden de eğrilik belirlenerek Şekil 2.32'de gösterilen moment-eğrilik grafiği elde edilmiştir. Elde edilen bu grafik yük-yerdeğiştirme grafiği ile benzerlik göstermektedir.

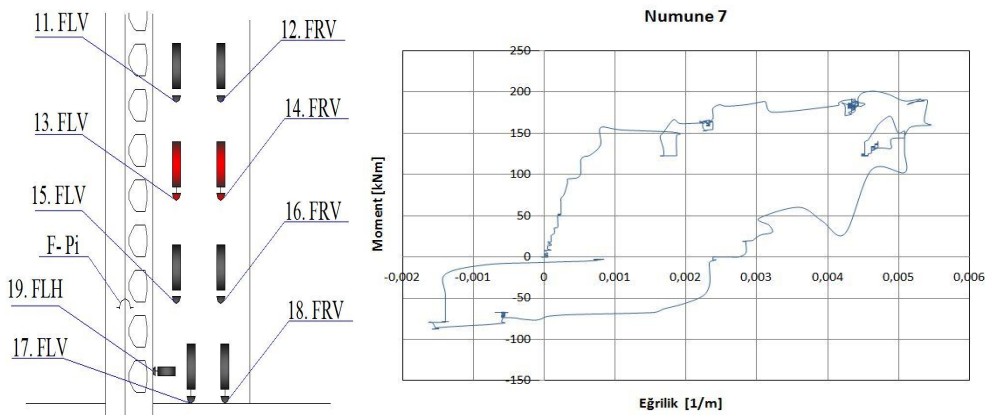


Şekil 2.32 : Taşıyıcı kiriş alt yüzünden elde edilen moment-eğrilik grafiği (#17-#18)

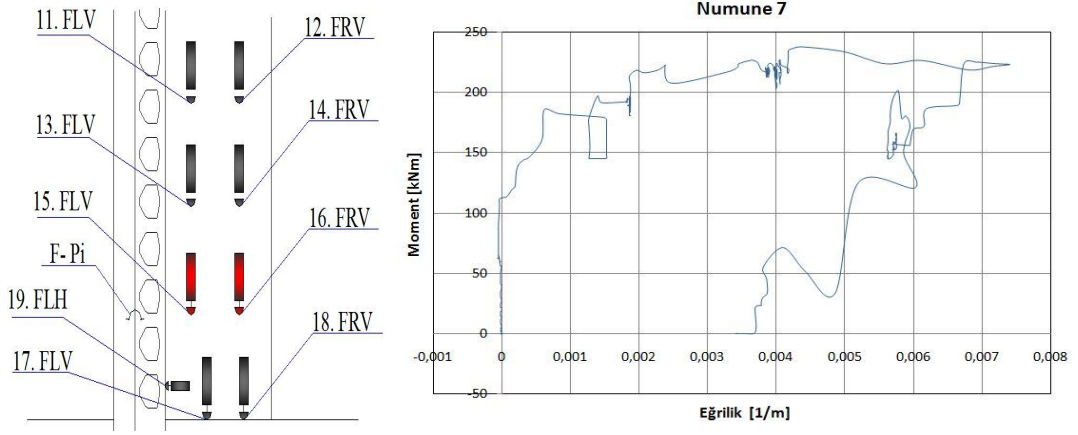
Taşıyıcı kiriş üzerindeki 60 cm'lik kritik bölgeye yerleştirilen 11-12,13-14 ve 15-16 no'lu kanallardan elde edilen okumalardan 3 kesitin daha moment-eğrilik grafiği elde edilmiştir. Bu grafikler sırasıyla Şekil 2.33, Şekil 2.34 ve Şekil 2.35'te gösterilmiştir. Bu şekillerde oluşan eğrilerin daha iyi görünmesi için grafikler, ölçekleri büyütülerek verilmiştir.



Şekil 2.33 : Kirişin ilgili kanallardaki kesitine ait moment-eğrilik grafiği (#11-#12)



Şekil 2.34 : Kirişin ilgili kanallardaki kesitine ait moment-eğrilik grafiği (#13-#14)

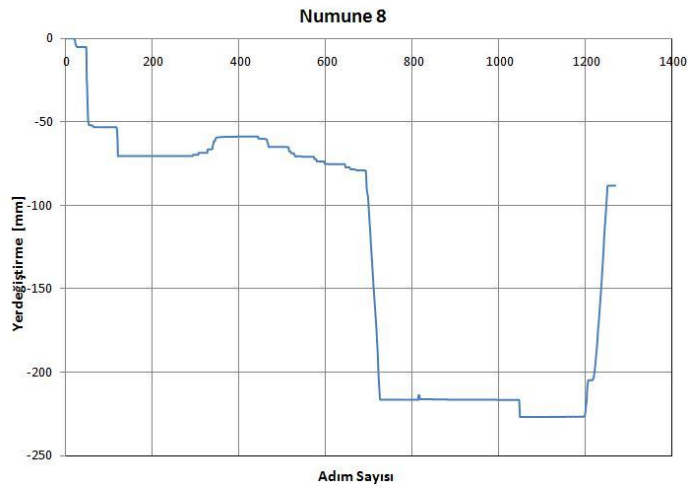


Şekil 2.35 : Kirişin ilgili kanallardaki kesitine ait moment-eğrilik grafiği (#15-#16)

Elde edilen grafiklerde kesitlerde plastik şekil değiştirmeler olduğu gözlenmiştir. 15-16 no'lu kanalların bulunduğu kesitin diğer kesitlere göre daha fazla plastik şekil değiştirme yaptığı görülmektedir. Oluşan dönmelerin esas itibariyle kolon-kiriş birleşim bölgesinde toplandığı görülmüştür.

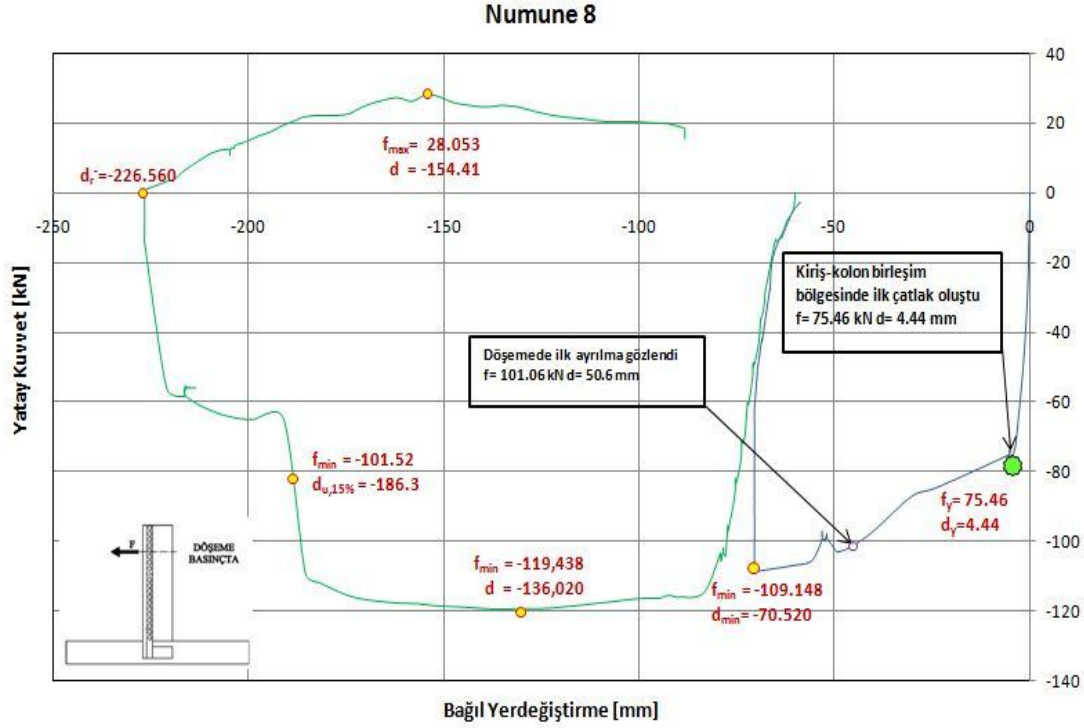
2.2.1.2 Konut tipi numunede monotonik yükleme pozitif moment (RTMPM)

Bu deneyde Numune 8'in, döşemesinin basınç etkisinde bırakılan ve taşıyıcı kiriş kesitinde pozitif moment oluşturacak şekilde verilen tek yönlü artan yükler etkisi altında gösterdiği davranış incelenmiştir. Deney, kontrol yerdeğiştirme ölçümlerini okuyan hidrolik veren hizasındaki yerdeğiştirme ölçerin mesafesinin yetmemesi ve başka bir yerdeğiştirme ölçerle değiştirilmesinden dolayı iki oturumda gerçekleştirilmiştir. Taşıyıcı kirişe uygulanan yerdeğiştirme fonksiyonunun deney adımları süresince değişimi Şekil 2.36'da verilmiştir.



Şekil 2.36 : Yerdeğiştirme fonksiyonunun adım sayısı ile ilişkisi

Taşıyıcı kirişe hidrolik veren aracılığıyla etkililen yatay yük ile veren hizasından alınan yer değiştirme okumaları arasındaki ilişki Şekil 2.37’de verilmiştir. Deney süresince gözlemlenen önemli olaylar, grafik üzerinde gösterilmiştir. Ayrıca grafik üzerinde gösterilen önemli kuvvet ve yerdeğiştirme noktaları, Çizelge 2.6’da açıklanmıştır.



Şekil 2.37 : Kuvvet-yerdeğiştirme diyagramı ve deneyde gözlenen önemli olaylar

Çizelge 2.6 : Numune 8’e ait deney sonrası elde edilen kritik değerler

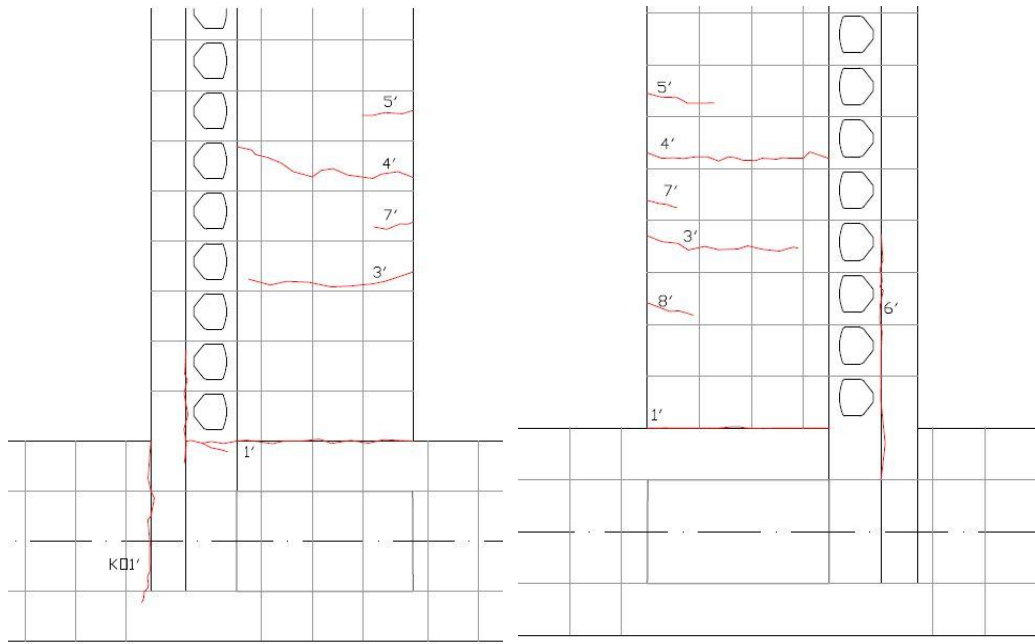
Monotonik yükleme-Döşemenin basınçta olduğu durum	
“Akma” Dayanımı *	75.46 kN
Maksimum dayanım	119.438 kN
“Akma” Uzaması * (d_y)	4.44 mm
Kopma uzaması ($d_{u,15\%}$; maksimum dayanımın %85’ine karşılık gelen)	186.305 mm
Kopma uzaması ($d_{u,tot}$; birleşimin güç tükenmesine karşılık gelen)	185.304 mm
Süneklik oranı	_**

* “Akma” noktaları yatay kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi yardımıyla belirlenmiştir.

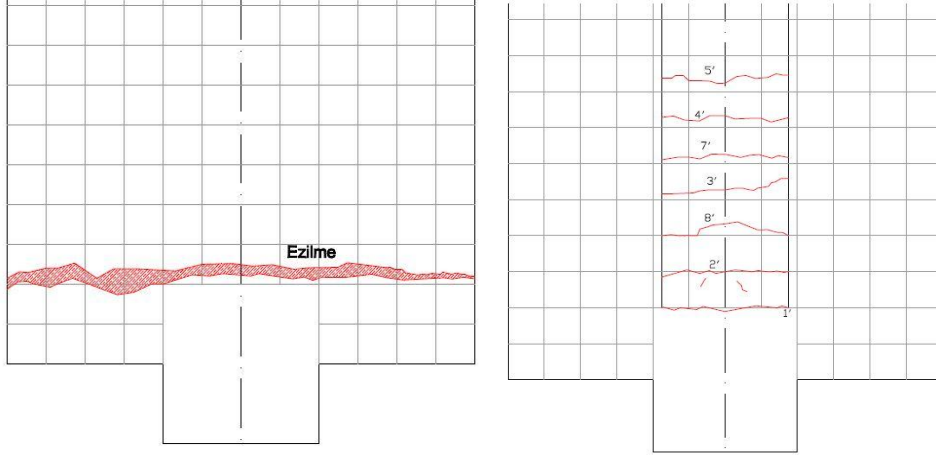
** Kopma uzamasının akma uzamasına oranı gerçeği yansıtmayacak derecede büyük bir değer olduğundan süneklik tespit edilememiştir.

Deney, döşemenin basınçta bırakıldığı tek yönlü yükleme ile başlamıştır. Yerdeğiştirmenin $\delta = 4.44$ mm ve dayanımın $f = 75.46$ kN olduğu anda kolon-kiriş birleşim bölgesinde ilk çatlak oluşmuş, kiriş üzerinde de ikinci ve üçüncü çatlaklar meydana gelmiştir, Şekil 2.40(a). $f = 101.1$ kN ve $\delta = 50.6$ mm'ye geldiğinde ilk çatlağın birleşim bölgesinde ayrılmaya dönüştüğü ve çatlağın U şeklinde kirişin etrafını sararak döşeme elemanına kadar uzandığı görülmüştür, Şekil 2.40(b). Ayrıca bu noktada kirişin birleşim bölgesi üzerindeki 60 cm'lik kısımda çatlakların arttığı görülmüştür. Bu okumadan sonra numunede taşıyıcı kirişin birleşim bölgesinden ayrılarak yukarı doğru kalktığı görülmüştür, Şekil 2.40(c-d). Diğer çatlaklarda hiçbir büyüme meydana gelmemiş, numune üzerinde de yeni bir çatlak oluşmamıştır. Kolon-döşeme birleşiminde betonda ezilme gözlemlenmiştir. Taşıyıcı kirişin birleşim bölgesine uzanan boyuna alt donatıları kopmuştur.

Deney boyunca izlenen ve kaydedilen çatlaklar, Şekil 2.38 ve Şekil 2.39'daki çatlak krokilerinde ayrıntılı şekilde verilmiştir.



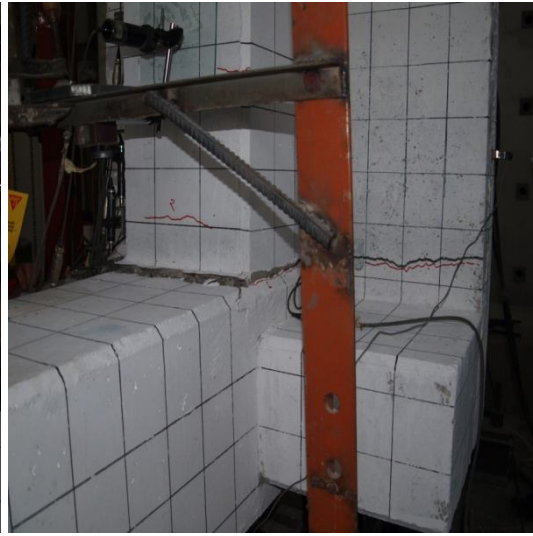
Şekil 2.38 : Ön ve arka cephede oluşan çatlaklar



Şekil 2.39 : Sol ve sağ cephede oluşan çatlaklar



(a)



(b)



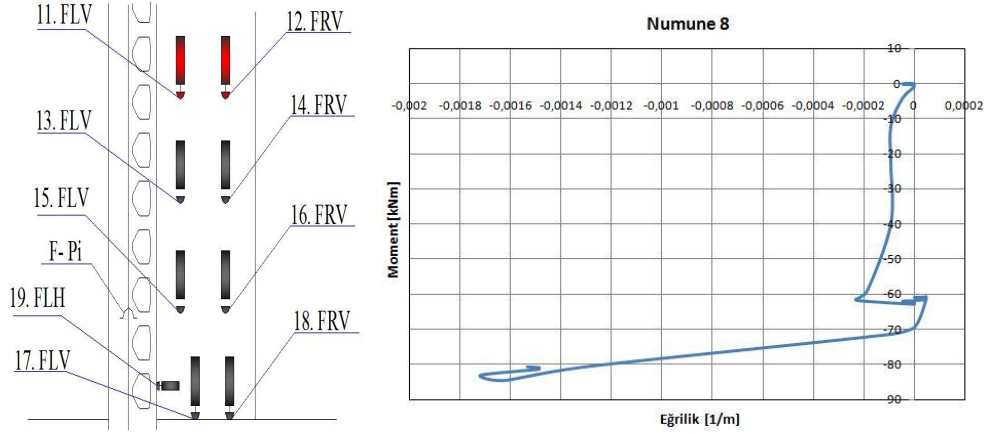
(c)



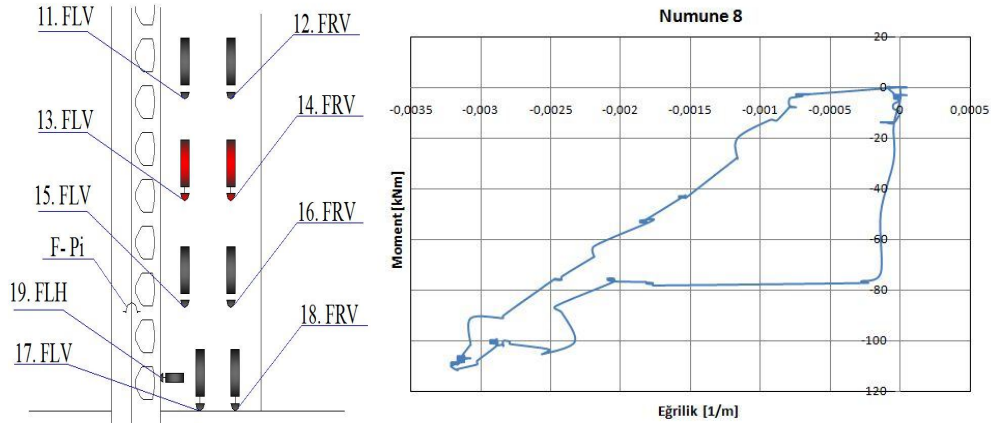
(d)

Şekil 2.40 : Deney sırasında numunede oluşan çatlak dağılımı

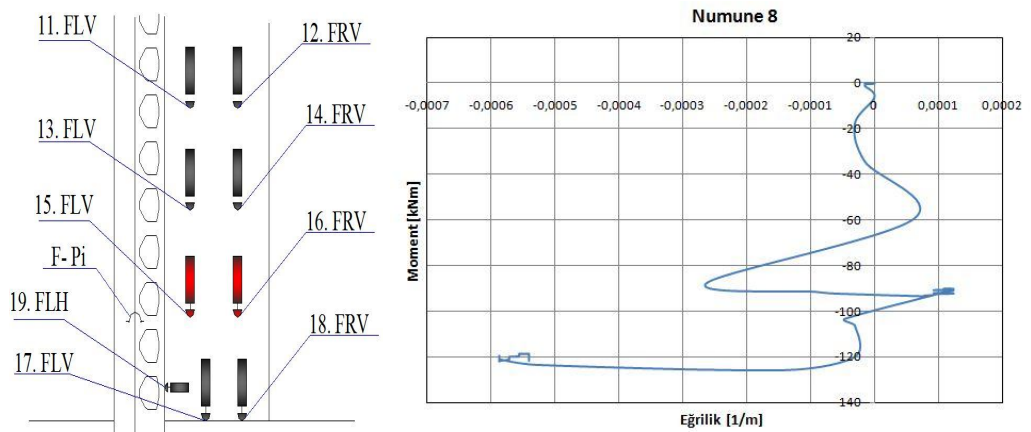
Taşıyıcı kiriş üzerinde yer alan 11-12,13-14,15-16 ve 17-18 no'lu kanallardan alınan okumalarla bulunan dönmelerden, eğrilik belirlenerek moment-eğrilik grafikleri elde edilmiştir. İlk üç şekildeki grafiklerin ölçekleri, eğrilerin daha iyi görülmesi için büyütülmüştür. Oluşan dönmelerin, kolon-kiriş birleşim bölgesinde toplandığı görülmüştür.



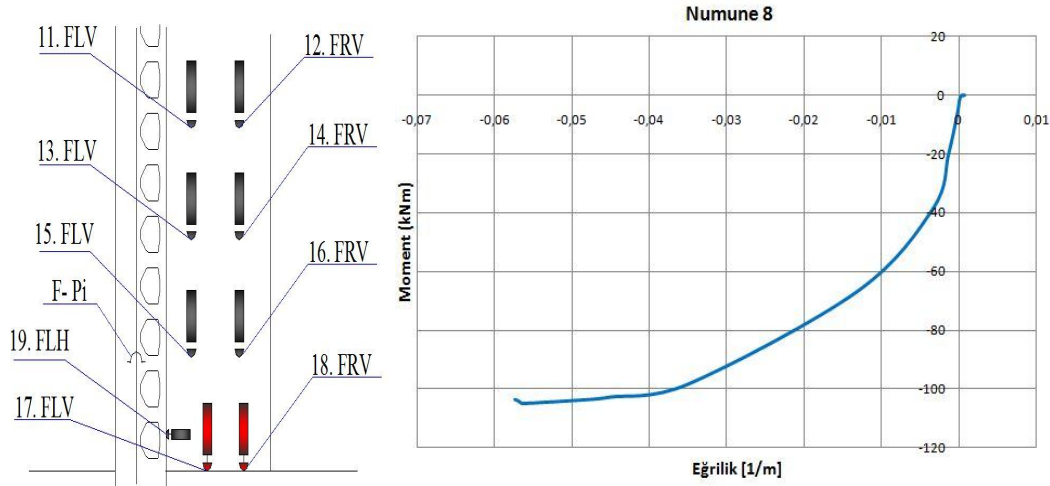
Şekil 2.41 : Kirişin ilgili kanallardaki kesitine ait moment-eğrilik grafiği (#11-#12)



Şekil 2.42 : Kirişin ilgili kanallardaki kesitine ait moment-eğrilik grafiği (#13-#14)



Şekil 2.43 : Kirişin ilgili kanallardaki kesitine ait moment-eğrilik grafiği (#15-#16)



Şekil 2.44 : Taşıyıcı kiriş alt yüzünden elde edilen moment-eğrilik grafiği (#17-#18)

2.2.2 Çevrimsel yükleme

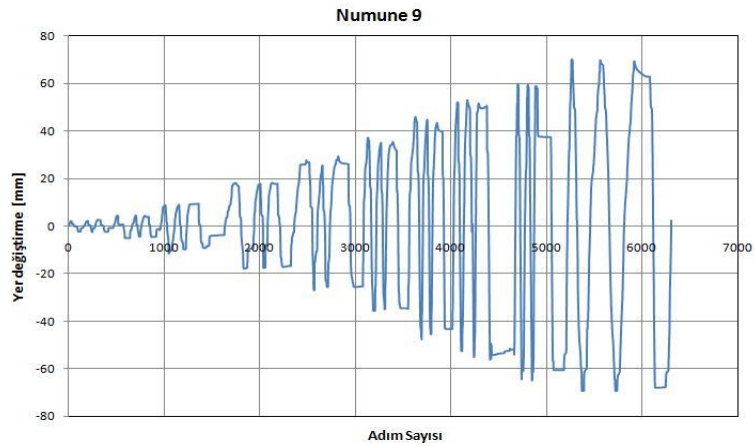
SAFECAS T araştırma projesi kapsamında incelenen konut tipi 4 deney numunesinden son ikisi olan Numune 9 ve Numune 10, yerdeğiştirme çevrimleri etkisinde tersinir-tekrarlı artan yükler altında incelenmiştir. Bu deney numunelerinde çevrimsel yükleme ile uzak fay etkisinin oluşturduğu tersinir-tekrarlı dalga hareketinin, konut tipi prefabrike yapılarının birleşim bölgelerinin davranışları üzerindeki etkisini incelemektir.

2.2.2.1 Konut tipi numunede çevrimsel yükleme-1 (RTC-1)

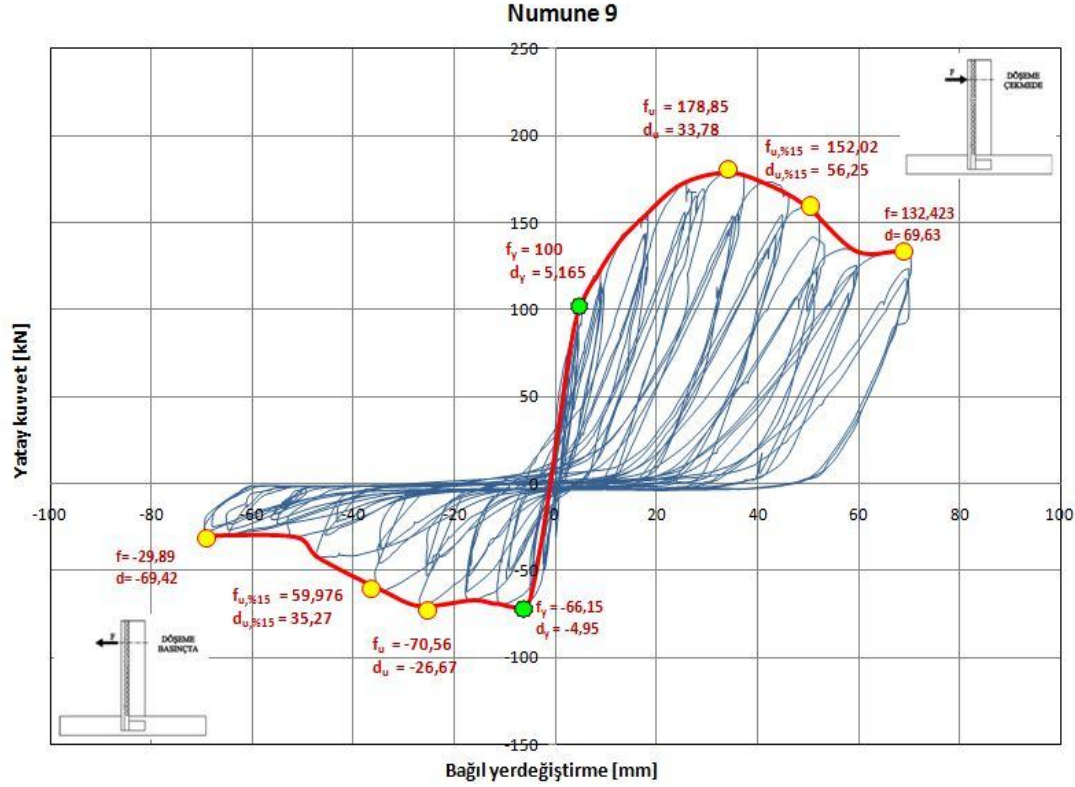
Deneyde Numune 9'un, yerdeğiştirme çevrimleri etkisinde tersinir-tekrarlı artan yükler altında gösterdiği davranış incelenmiştir. Deneyde yerdeğiştirme çevrimleri, numuneye, her çevrim grubunda aynı bağıl tepe yerdeğiştirme yüzdesiyle 3 çevrim olmak üzere, toplam 10 adımda tamamlanmıştır. İlk adım %0.125 bağıl tepe yerdeğiştirme yüzdesi ve buna karşılık gelen $\delta_{tepe} = 2.125$ mm ile başlamış, %4 yüzde ve $\delta_{tepe} = 68$ mm ile sonlanmıştır. Tersinir-tekrarlı çevrimler durumu Çizelge 2.7'de ayrıntılı şekilde verilmiştir. Taşıyıcı kiriş e uygulanan yerdeğiştirme fonksiyonunun deney adımları süresince değişimi Şekil 2.45'te verilmiştir. Döşemenin basınç altındayken oluşan çatlaklar kırmızı ile çizilmiş ve verilen numaraların yanına 'üssü' işareti konulmuştur. Döşeme çekme durumundayken oluşan çatlaklar mavi renk ile çizilmiş ve normal şekilde numaralandırılmıştır.

Çizelge 2.7 : Numune 9'a ait tersinir-tekrarlı çevrimler durumu

Çevrim Grubu	Bağlı Tepe Yerdeğiştirme Yüzdesi (%)	δ_{tepe} [mm]	Döşeme Çekme-Basınç Durumu						
			1. Çevrim		2. Çevrim		3. Çevrim		
			Çekme	Basınç	Çekme	Basınç	Çekme	Basınç	
1	mm	0.125	2.125	2.07	2.28	2.1	2.28	2.31	2.25
	kN			48.4	48.8	73.3	46.9	75.5	42.5
2	mm	0.25	4.25	4.35	5.07	4.41	4.38	4.32	4.56
	kN			90.5	63.5	88.0	50.2	82.1	51.6
3	mm	0.5	8.5	8.82	9.81	8.91	9.73	9.12	9.15
	kN			118.8	31.0	115.4	53.1	111.7	49.7
4	mm	1	17	16.89	17.85	17.1	17.5	17.55	17.3
	kN			148.6	63.1	141.6	53.9	127.2	52.8
5	mm	1.5	25.5	25.86	26.6	25.5	25.5	25.2	25.6
	kN			168.8	67.6	152.9	51.6	147.5	46.4
6	mm	2	34	36.0	35.6	34.4	35.0	34.3	34.6
	kN			149.8	58.8	150.0	44.3	143.9	36.6
7	mm	2.5	42.5	44.9	45.0	44.9	45.5	42	42.8
	kN			165.1	42.1	151.7	29.2	129.4	20.8
8	mm	3	51	52.1	52.6	52.9	54.8	51.7	50.1
	kN			149.8	29.5	120.3	18.5	119.3	3.8
9	mm	3.5	59.5	58.7	60.9	59.4	61.3	58.9	60.6
	kN			111.5	12.3	117.3	11.9	114	19.6
10	mm	4	68	70.2	69.4	69.9	69.4	69.4	68
	kN			125.7	29.3	118.1	25.2	107.7	23.5



Şekil 2.45 : Yerdeğiştirme fonksiyonunun adım sayısı ile ilişkisi



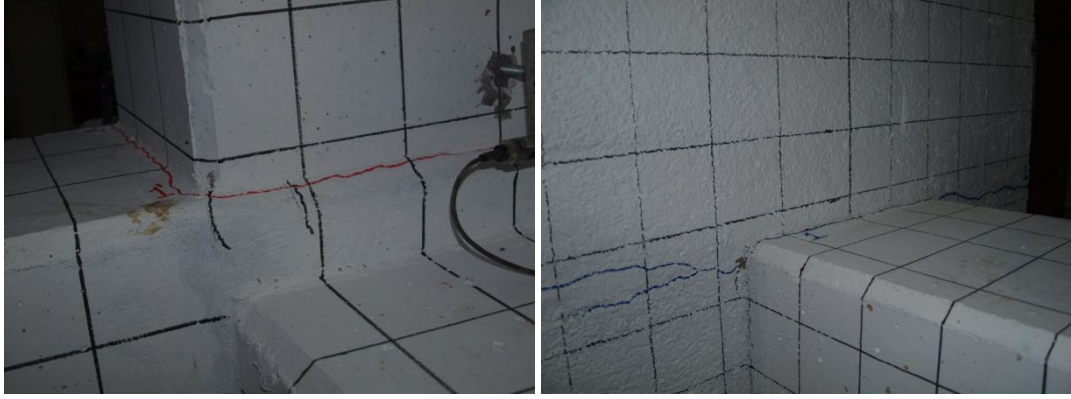
Şekil 2.46 : Kuvvet-yerdeğiştirme diyagramı

Kuvvet-yerdeğiştirme grafiğinde gösterilen ve deney ile ilgili önemli noktalar Çizelge 2.8’de verilmiştir.

Çizelge 2.8 : Numune 9’a ait deney sonrası elde edilen kritik değerler

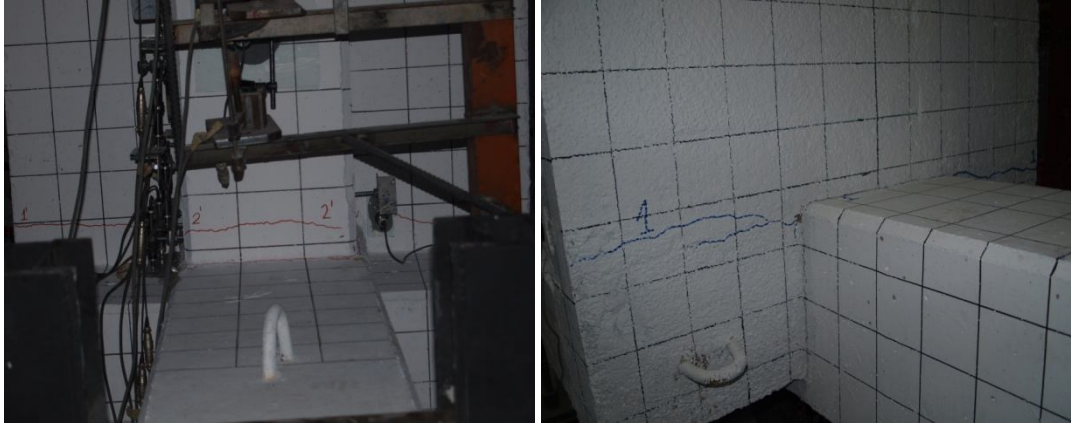
Çevrimsel Yükleme		
	Döşeme Çekmede	Döşeme Basınçta
“Akma” Dayanımı*	100 kN	66.15 kN
Maksimum Dayanım	178.85 kN	70.56 kN
“Akma” Uzaması* (d_y)	5.165 mm	4.95 mm
Kopma Uzaması ($d_{u,15\%}$; maksimum dayanımın %85’ine karşılık gelen)	56.25 mm	35.27 mm
Kopma Uzaması ($d_{u,tot}$; birleşimin güç tükenmesine karşılık gelen)	69.63 mm	69.42 mm
Süneklik Oranı	10.89	7.13
Toplam Enerji Yutma Kapasitesi	42.06 kNm	

Deney, döşemenin çekmede olduğu çevrim ile başlamıştır. Numunede ilk çatlak 1. çevrim grubunda, döşemenin basınç durumunda olduğu, dayanımın $f= 48.8$ kN ve yerdeğiştirmenin $\delta= 2.28$ mm olduğu anda, kolon-kiriş birleşim bölgesinde oluşmuştur. Yine 1. çevrim grubu içinde döşeme çekme durumuna geldiği anda da döşeme-kolon birleşiminde 1 no'lu çatlak oluşmuştur, Şekil 2.47.



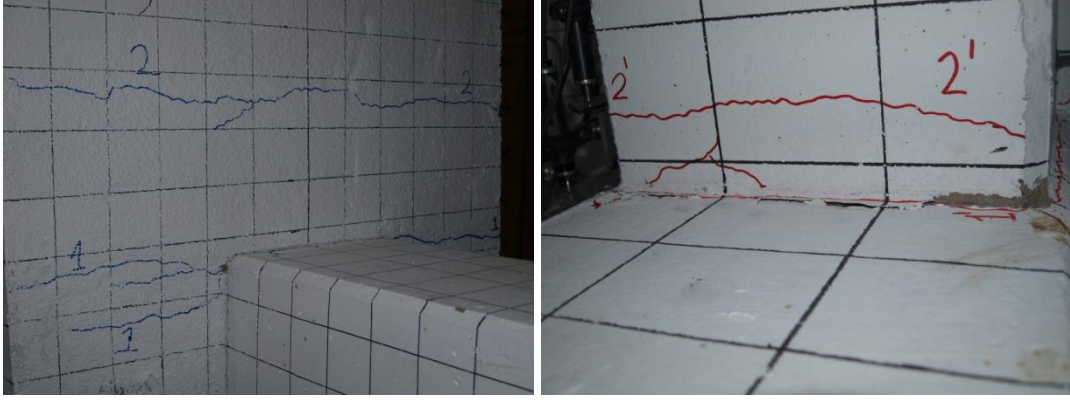
Şekil 2.47 : 1. çevrim grubu sonucu numunede oluşan hasar durumu

Bağıl tepe yerdeğiştirme yüzdesi %0.25 ve $\delta= 4.25$ mm'ye geldiğinde kiriş üzerinde ilk oluşan çatlağın döşemeye kadar uzandığı ve kiriş üzerinde 2' no'lu yeni bir çatlağın oluştuğu, döşeme üzerindeki 1 no'lu çatlağın ise giderek büyüdüğu gözlenmiştir, Şekil 2.48.



Şekil 2.48 : 2. çevrim grubu sonucu numunede oluşan hasar durumu

Bağıl tepe yerdeğiştirme yüzdesi %0.5 ve $\delta= 8.5$ mm'de döşeme üzerinde 2 no'lu çatlağın oluştuğu, kolon-kiriş birleşiminde açılma olduğu, döşeme elemanı ile kavrama betonu arasında da açılmanın başladığı gözlenmiştir, Şekil 2.49.



Şekil 2.49 : 3. çevrim grubu sonucu numunede oluşan hasar durumu

Bağıl tepe yerdeğiştirme yüzdesi %1 ve $\delta=17$ mm'de döşeme ve kiriş üzerinde çatlakların arttığı görülmüştür. Bu noktada kolonda ilk çatlak meydana gelmiştir. Yerdeğiştirme yüzdesi %1.5 ve $\delta=25$ mm'de kolonda 2. çatlak oluşmuş, birleşim bölgesinde kolon altında dökülmeler başlamıştır, Şekil 2.50.

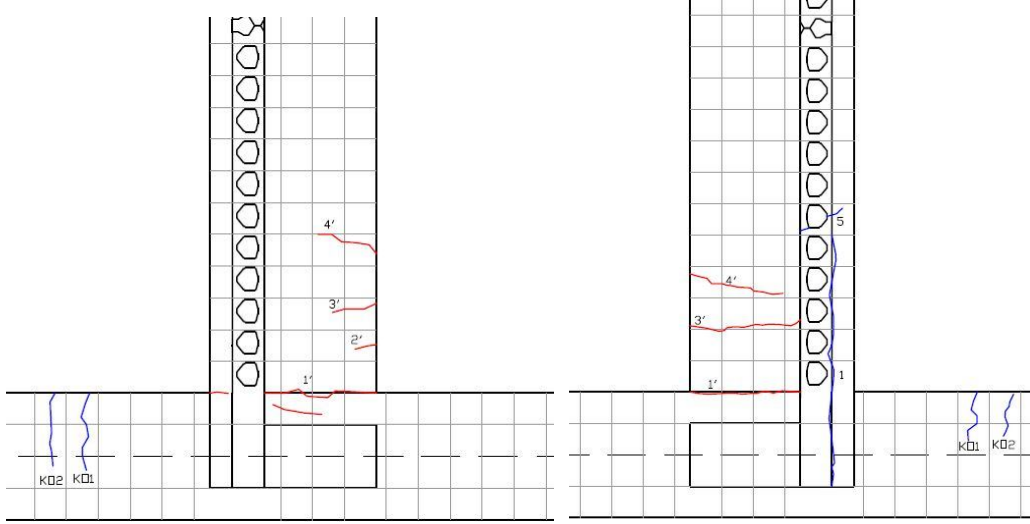


Şekil 2.50 : 4. çevrim grubu sonucu numunede oluşan hasar durumu

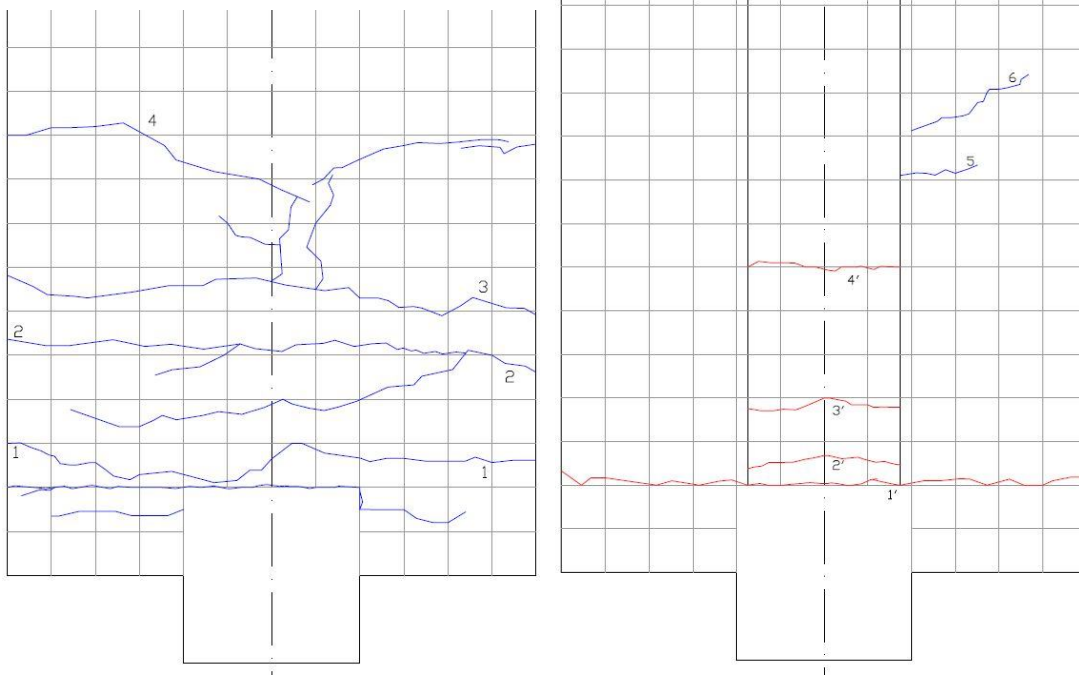
$\delta = 42.5$ mm deki çevrimlerde döşemede hasır donatının koptuğu birleşim bölgesinde ise gönye altındaki beton parçanın kopup düştüğü görülmüştür. Çizelge 2.7’de belirtilen ileriki δ yerdeğiştirmelerinde döşemede kavrama betonunda dökülme, gönye dışındaki beton kabuktada yoğun dökülme gözlemlenmiştir.



Şekil 2.51 : 5. çevrim grubundan deney sonuna kadar numunedeki hasar durumu
Deney boyunca izlenen ve kaydedilen çatlaklar, Şekil 2.52 ve Şekil 2.53’teki çatlak krokilerinde ayrıntılı şekilde verilmiştir.



Şekil 2.52 : Ön ve arka cephe çatlak krokisi

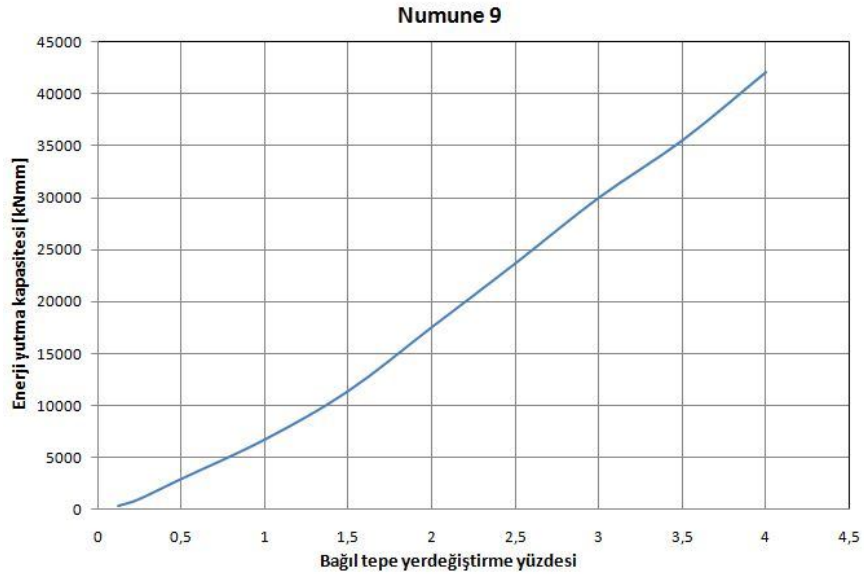


Şekil 2.53 : Sol ve sağ cephe çatlak krokisi

Şekil 2.46'da yatay kuvvet-bağıl yerdeğiştirme grafiğini oluşturan çevrimlerin kapladıkları alanlar hesaplanarak birleşimin toplam enerji yutma kapasitesi elde edilmiştir, Çizelge 2.9. Toplam enerji yutma kapasitesinin bağıl tepe yerdeğiştirme yüzdesine göre değişimi Şekil 2.54'te verilmiştir.

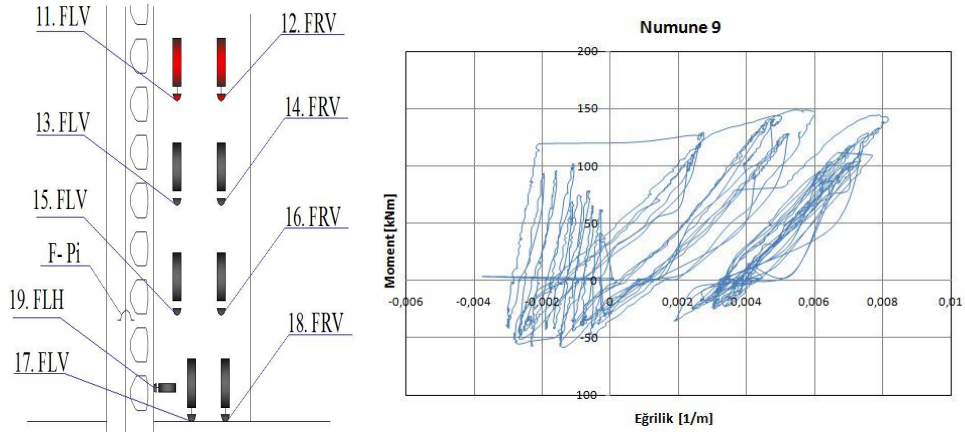
Çizelge 2.9 : Numune 9'a ait çevrimlerin enerji yutma kapasiteleri

Çevrim No	Alan [kNmm]	Çevrim No	Alan [kNmm]
1	88.077	16	3037.25
2	142.612	17	1606.629
3	116.795	18	1494.549
4	287.315	19	3295.187
5	194.417	20	1675.839
6	178.107	21	1168.52
7	859.924	22	2613.934
8	566.981	23	2246.799
9	496.588	24	1472.26
10	1673.525	25	2531.38
11	1299.829	26	1716.005
12	818.000	27	1262.385
13	2012.628	28	3191.543
14	1189.882	29	1855.732
15	1460.122	30	1507.246
Toplam:		42060.06 kNmm = 42.06 kNm	

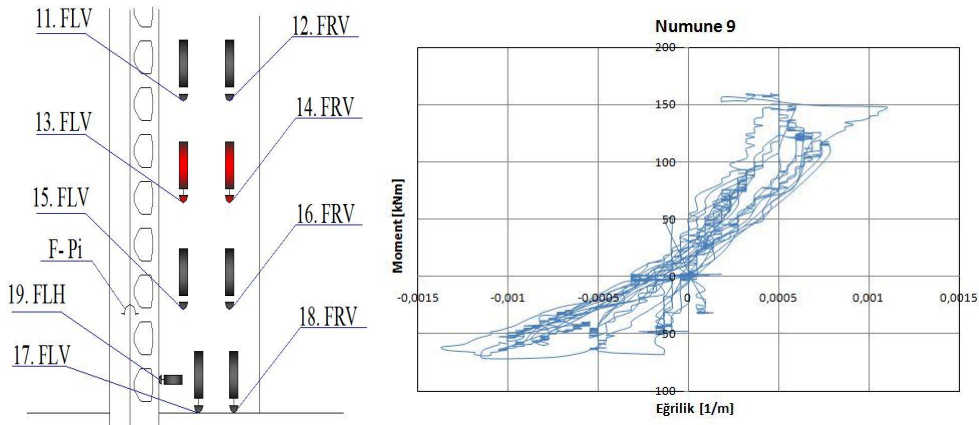


Şekil 2.54 : Toplam enerji yutma kapasitesinin bağıl tepe yerdeğiştirme ile ilişkisi

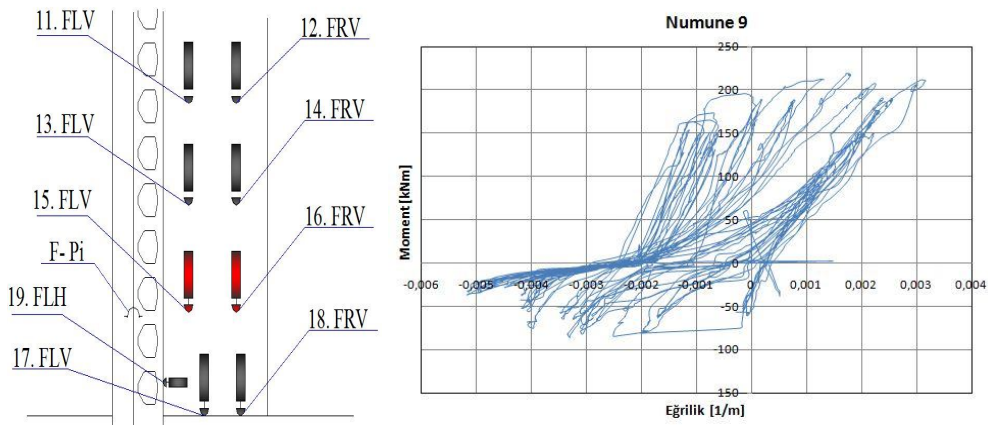
Taşıyıcı kiriş üzerinde yer alan 11-12,13-14,15-16 ve 17-18 no'lu kanallardan alınan okumalarla bulunan dönmelerden, eğrilik belirlenerek moment-eğrilik grafikleri elde edilmiştir. İlk üç şekildeki grafiklerin ölçekleri, eğrilerin daha iyi görülmesi için büyütülmüştür. Oluşan dönmelerin, kolon-kiriş birleşim bölgesinde toplandığı görülmüştür.



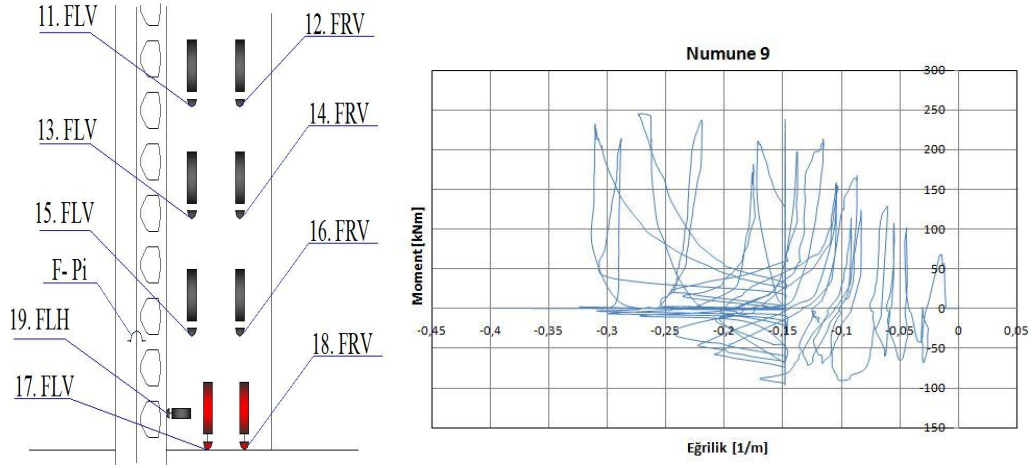
Şekil 2.55 : Kirişin ilgili kanallardaki kesitine ait moment-eğrilik grafiği (#11-#12)



Şekil 2.56 : Kirişin ilgili kanallardaki kesitine ait moment-eğrilik grafiği (#13-#14)

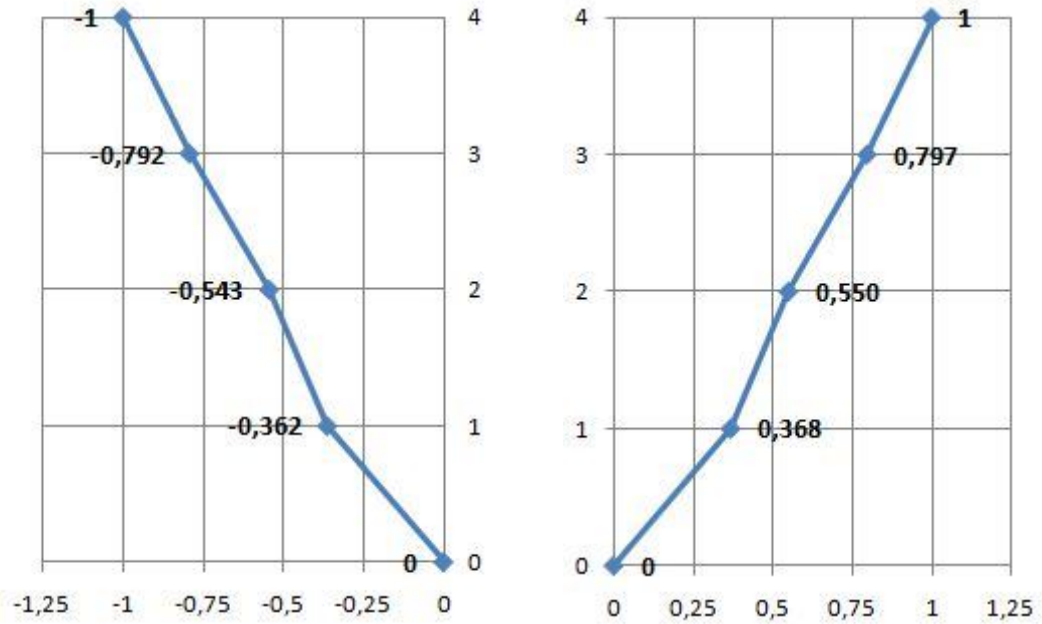


Şekil 2.57 : Kirişin ilgili kanallardaki kesitine ait moment-eğrilik grafiği (#15-#16)

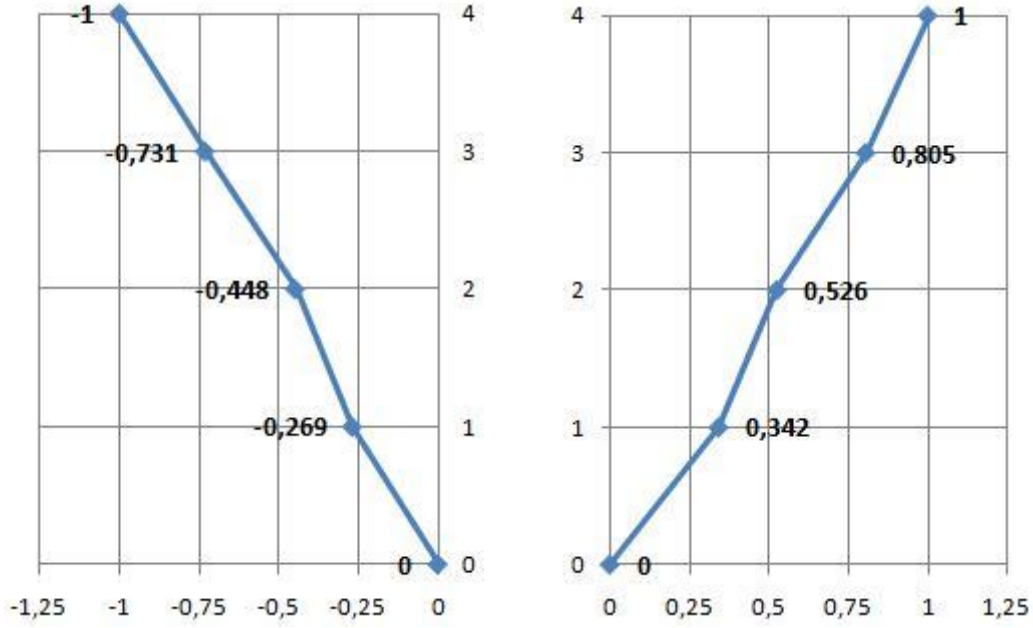


Şekil 2.58 : Taşıyıcı kiriş alt yüzünden elde edilen moment-eğrilik grafiği (#17-#18)

Ana kiriş yüksekliği boyunca dört farklı seviyede yerleşik yatay yerdeğiştirme ölçerlerden alınan verilerin, tepe yerdeğiştirmesine göre normalize edilmiş durumu ilk iki çevrimin itme ve çekme pikleri için Şekil 2.59 ve Şekil 2.60'ta verilmiştir. Birinci ve ikinci çevrimlerdeki itme ve çekme pikindeki yerdeğiştirme grafiklerinin birbirine benzediği görülmektedir.



Şekil 2.59 : 1. çevrim yatay yerdeğiştirme oranları



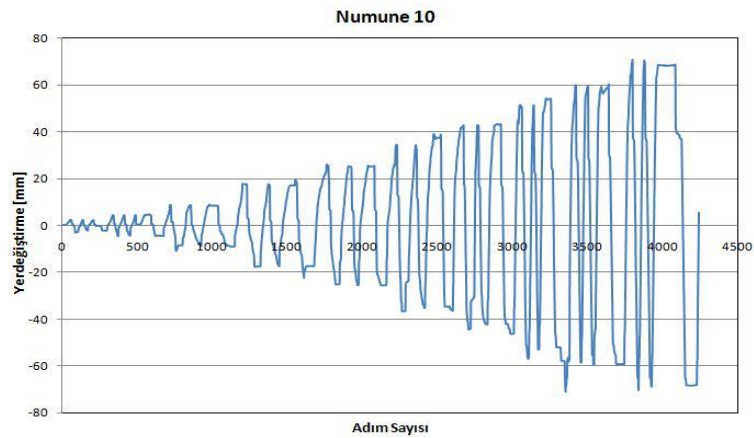
Şekil 2.60 : 2. çevrim yatay yerdeğiştirme oranları

2.2.2.2 Konut tipi numunede çevrimsel yükleme-2 (RTC-2)

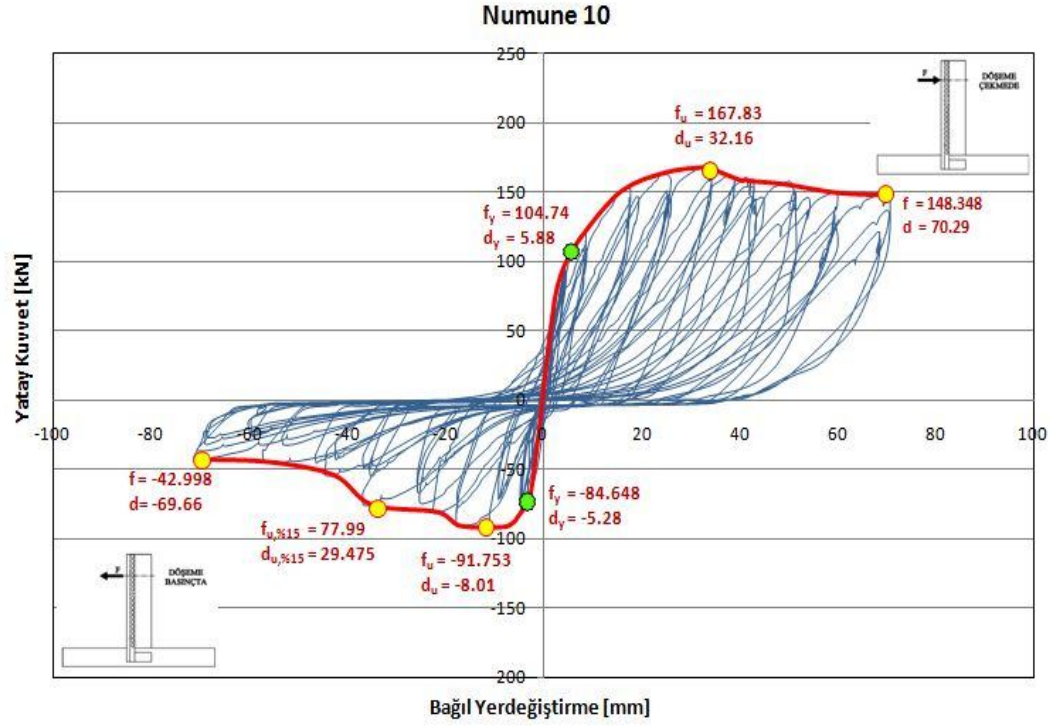
Deneyde Numune 10'un, yerdeğiştirme çevrimleri etkisinde tersinir-tekrarlı artan yükler altında gösterdiği davranış incelenmiştir. Deneyde yerdeğiştirme çevrimleri, numuneye, her çevrim grubunda aynı bağıl tepe yerdeğiştirme yüzdesiyle 3 çevrim olmak üzere, toplam 10 adımda tamamlanmıştır. İlk adım %0.125 bağıl tepe yerdeğiştirme yüzdesi ve buna karşılık gelen $\delta_{tepe} = 2.125$ mm ile başlamış, %4 yüzde ve $\delta_{tepe} = 68$ mm ile sonlanmıştır. Tersinir-tekrarlı çevrimler durumu Çizelge 2.10'da ayrıntılı şekilde verilmiştir. Taşıyıcı kirişe uygulanan yerdeğiştirme fonksiyonunun deney adımları süresince değişimi Şekil 2.61'de verilmiştir. Döşemenin basınç altındayken oluşan çatlaklar kırmızı ile çizilmiş ve verilen numaraların yanına 'üssü' işareti konulmuştur. Döşeme çekme durumundayken oluşan çatlaklar mavi renk ile çizilmiş ve normal şekilde numaralandırılmıştır.

Çizelge 2.10 : Numune 10'a ait tersinir-tekrarlı çevrimler durumu

Çevrim Grubu	Bağlı Tepe Yerdeğiştirme Yüzdesi (%)	δ_{tepe} [mm]	Döşeme Çekme-Basınç Durumu					
			1. Çevrim		2. Çevrim		3. Çevrim	
			Çekme	Basınç	Çekme	Basınç	Çekme	Basınç
1	0.125	2.125	2.34	2.85	2.25	2.25	2.22	2.28
kN			62.9	46.8	66.0	46.3	63.1	47.3
2	0.25	4.25	4.35	4.53	4.38	4.41	4.35	4.56
kN			87.1	47.2	90.4	72.3	86.6	65.4
3	0.5	8.5	8.6	8.58	8.67	8.76	8.88	8.7
kN			114.5	45.4	105.7	69.5	105.4	68.4
4	1	17	17.7	17.7	17.7	17.37	17.0	17.46
kN			142.6	85.6	134.8	76.1	125	27.3
5	1.5	25.5	25.5	25.7	25.1	25.6	25.4	25.65
kN			145.5	71.1	139.7	65.4	145.4	59.4
6	2	34	34.5	36.7	34.2	34.53	34.44	34.7
kN			167.3	66.9	148.6	54.3	154.2	45.4
7	2.5	42.5	42.0	44.7	42.8	42.3	42.63	42.5
kN			151.8	50.5	144.8	41.4	137.4	37.5
8	3	51	50.1	56.1	51.4	53.0	51.6	52.1
kN			138.2	32.9	140.8	30.9	138.3	26.8
9	3.5	59.5	59.9	58.6	59.7	59.6	59.2	59.3
kN			143.1	22.1	133.4	24.5	129.1	25.1
10	4	68	69.3	70.2	70.5	68.9	68.5	68.3
kN			143.4	36.5	135.1	31.1	121.3	26.5



Şekil 2.61 : Yerdeğiştirme fonksiyonunun adım sayısı ile ilişkisi



Şekil 2.62 : Kuvvet-yerdeğiştirme diyagramı

Kuvvet-yerdeğiştirme grafiğinde gösterilen ve deney ile ilgili önemli noktalar Çizelge 2.11’de verilmiştir.

Çizelge 2.11 : Numune 10’a ait deney sonrası elde edilen kritik değerler

	Döşeme Çekmede	Döşeme Basınçta
“Akma” Dayanımı*	104.74 kN	84.648 kN
Maksimum Dayanım	167.83 kN	91.753 kN
“Akma” Uzaması* (d_y)	5.88 mm	5.28 mm
Kopma Uzaması ($d_{u,15\%}$; maksimum dayanımın %85’ine karşılık gelen)	70.29 mm	29.475 mm
Kopma Uzaması ($d_{u,tot}$; birleşimin güç tükenmesine karşılık gelen)	70.29 mm	69.66 mm
Süneklik Oranı	11.95	5.58
Toplam Enerji Yutma Kapasitesi	54.01 kNm	

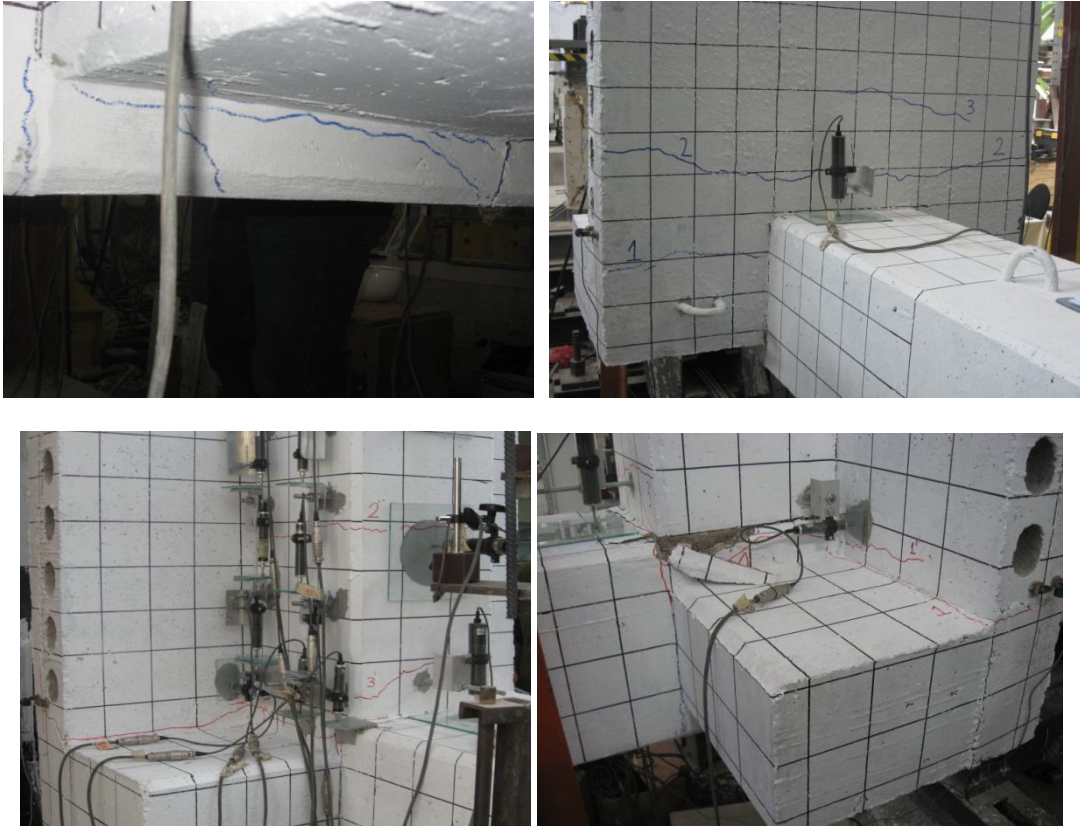
* “Akma” noktaları yatay kuvvet-yerdeğiştirme eğrisi yardımıyla belirlenmiştir.

Deney, döşemenin çekmede olduğu çevrim ile başlamıştır. 1. çevrim grubunda numunede döşeme-kolon yüzünde ayrılma çatlağı gözlenmiştir. Çekme yüzünde kiriş-kolon arayüzünde ayrılma çatlağı gözlenmiştir, Şekil 2.63.



Şekil 2.63 : 1. çevrim grubu sonucu numunede oluşan hasar durumu

2. çevrim grubunda döşeme ve kirişte oluşan çatlaklarda genişleme görülmüştür. 3. çevrim grubunda döşemede 2 ve 3, kirişte ise 2' ve 3' çatlakları oluşmuştur. Kirişte oluşan 1' çatlağı döşemeye doğru ilerlemiştir. Islak birleşim betonunun kolon yüzüyle olan ortak yüzünde açılma gözlemlenmiştir, Şekil 2.64.



Şekil 2.64 : 2. ve 3. çevrim grubu sonucu numunede oluşan hasar durumu

4. çevrim grubunda döşemede 3 no'lu çatlakta ilerleme olmuş, 4 no'lu çatlak meydana gelmiştir. Kiriş alt yüzünde ıslak betonda ezilme görülmüştür. 5. çevrim grubunda döşeme-kolon birleşiminin açıldığı, dökülmelerin başladığı görülmüştür. Ayrıca ıslak beton-kolon arayüzünde dökülmeler başlamıştır, Şekil 2.65.



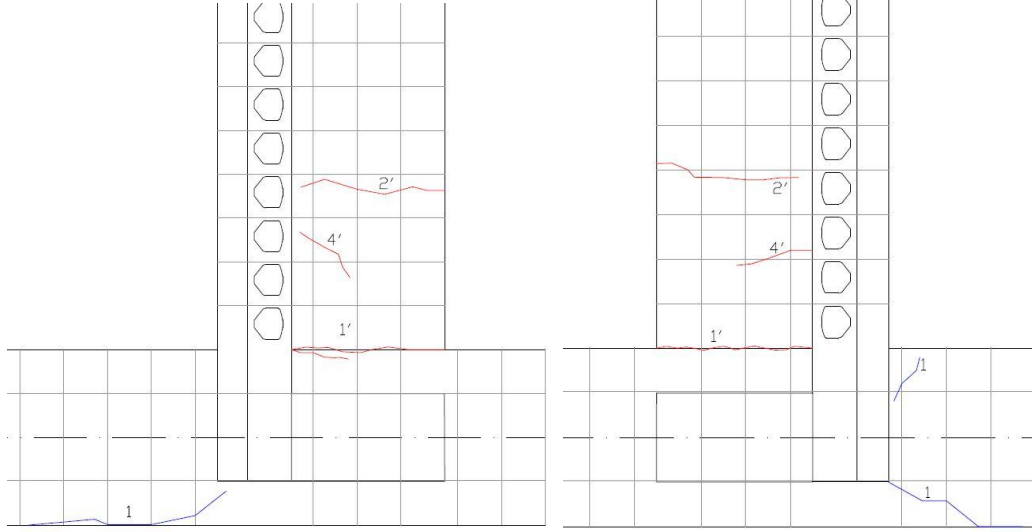
Şekil 2.65 : 4. ve 5. çevrim grubu sonucu numunede oluşan hasar durumu

6. çevrim grubunda birleşim bölgesinde bulunan ıslak betonun tümüyle kabardığı, yatay çatlağın kolona kadar ilerlediği görülmüştür. 7. çevrim grubunda da çatlak kolon üzerinde ilerlemeye devam etmiştir. 8. çevrim grubunda ilk önce ıslak beton bölgesi kolon paspayı dökülmüş, daha sonra ıslak beton bölgesinden büyük bir kütle düşmüştür. Kiriş alt yüzündeki ıslak beton tamamen ezilmiştir. Döşeme-kolon birleşimi etrafında da çatlakların genişleyerek arttığı görülmüştür, Şekil 2.66.

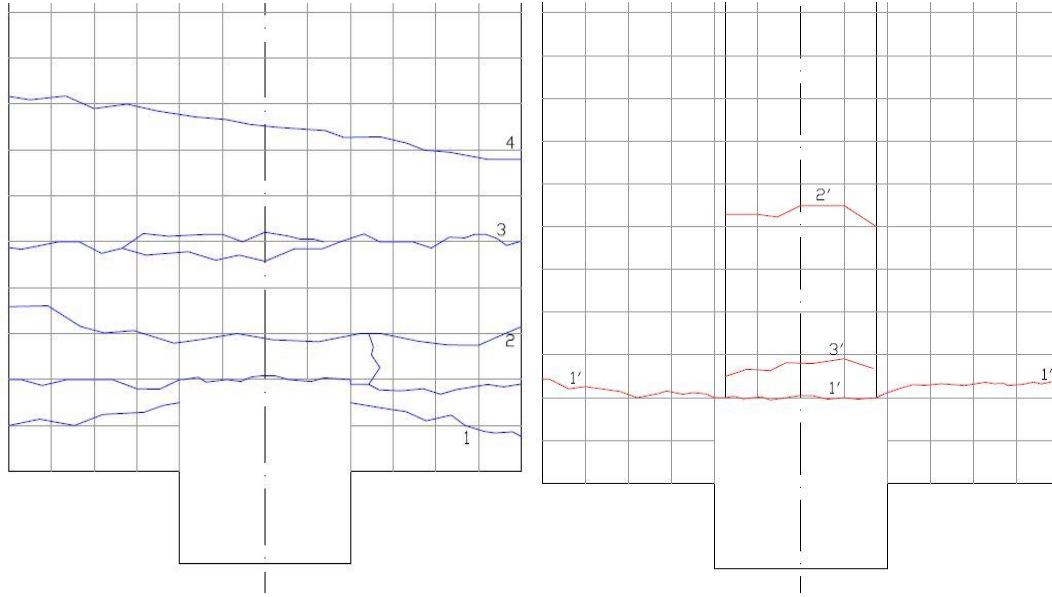


Şekil 2.66 : Son 5 çevrim grubu sonucu numunede oluşan hasar durumu

Deney boyunca izlenen ve kaydedilen çatlaklar, Şekil 2.67 ve Şekil 2.68'deki çatlak krokilerinde ayrıntılı şekilde verilmiştir.



Şekil 2.67 : Ön ve arka cephe çatlak krokisi

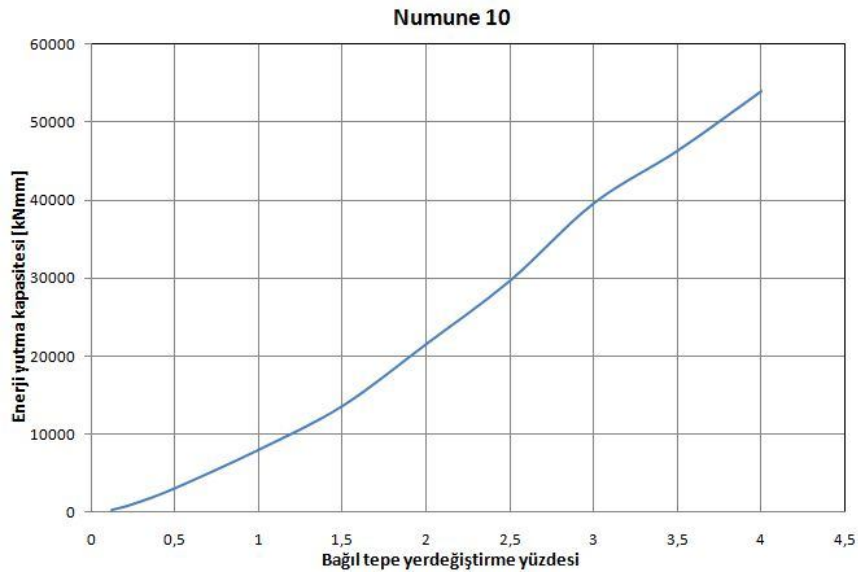


Şekil 2.68 : Sol ve sağ cephe çatlak krokisi

Şekil 2.62'de yatay kuvvet-bağıl yerdeğiştirme grafiğini oluşturan çevrimlerin kapladıkları alanlar hesaplanarak birleşimin toplam enerji yutma kapasitesi elde edilmiştir, Çizelge 2.12. Toplam enerji yutma kapasitesinin Bağıl tepe yerdeğiştirme yüzdesine göre değişimi Şekil 2.69'da verilmiştir.

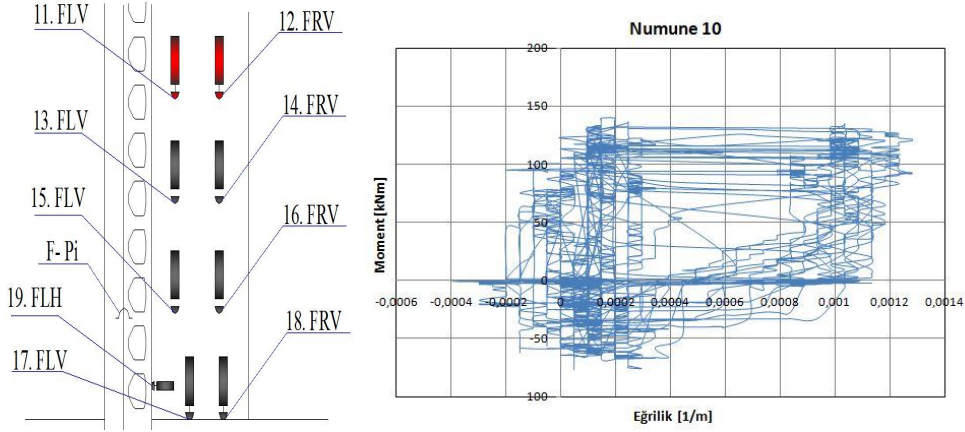
Çizelge 2.12 : Numune 10'a ait çevrimlerin enerji yutma kapasiteleri

Çevrim No	Alan [kNmm]	Çevrim No	Alan [kNmm]
1	175.86	16	1446.36
2	95.491	17	3129.421
3	85.012	18	2270.29
4	250.764	19	2541.345
5	197.702	20	2836.297
6	127.24	21	2801.811
7	162.498	22	2490.566
8	925.79	23	3969.404
9	567.569	24	2746.585
10	532.789	25	3209.42
11	1954.613	26	2692.336
12	1364.555	27	2140.156
13	1619.17	28	1903.262
14	2543.411	29	3283.539
15	1607.16	30	2366.715
-	-	31	1974.581
Toplam:		54011.72 kNmm = 54.01 kNm	

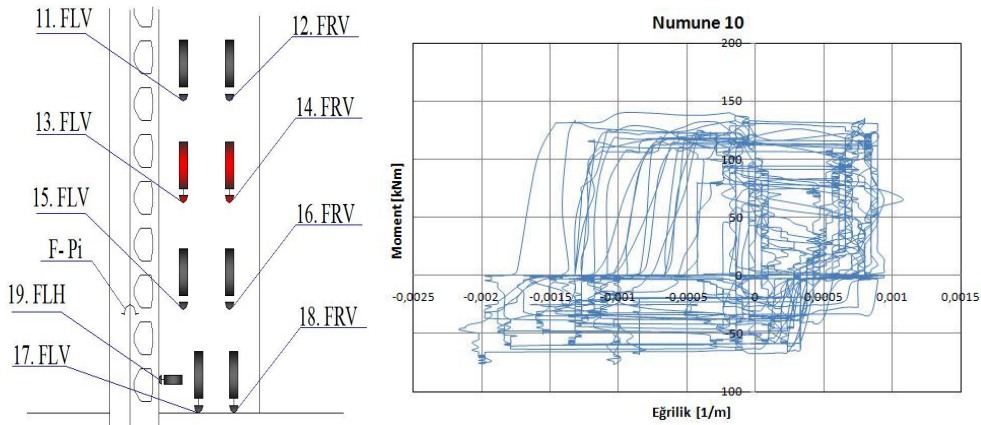


Şekil 2.69 : Toplam enerji yutma kapasitesinin bağıl tepe yerdeğiştirme ile ilişkisi

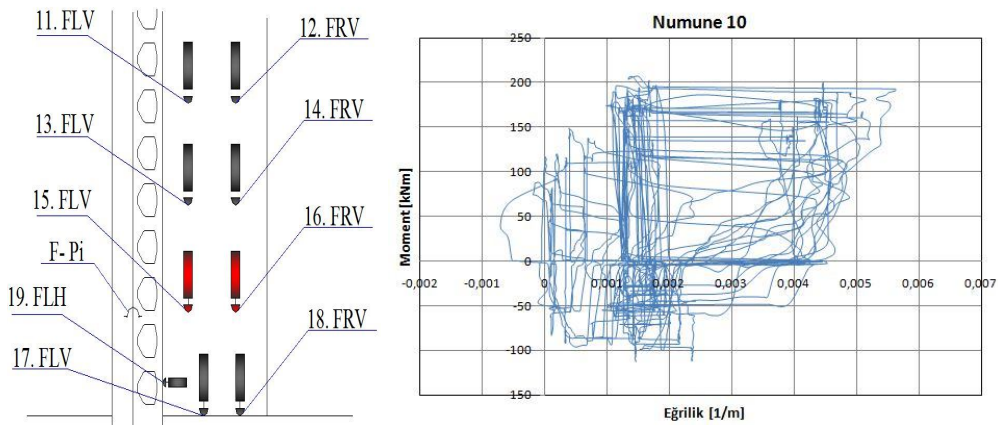
Taşıyıcı kiriş üzerinde yer alan 11-12,13-14,15-16 ve 17-18 no'lu kanallardan alınan okumalarla bulunan dönmelerden, eğrilik belirlenerek moment-eğrilik grafikleri elde edilmiştir. İlk üç şekildeki grafiklerin ölçekleri, eğrilerin daha iyi görülmesi için büyütülmüştür. Oluşan dönmelerin, kolon-kiriş birleşim bölgesinde toplandığı görülmüştür.



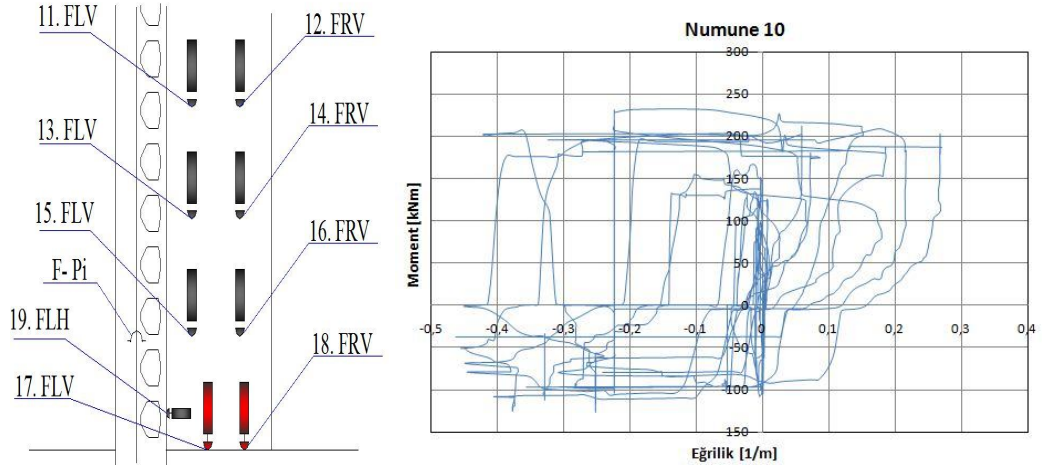
Şekil 2.70 : Kirişin ilgili kanallardaki kesitine ait moment-eğrilik grafiği (#11-#12)



Şekil 2.71 : Kirişin ilgili kanallardaki kesitine ait moment-eğrilik grafiği (#13-#14)

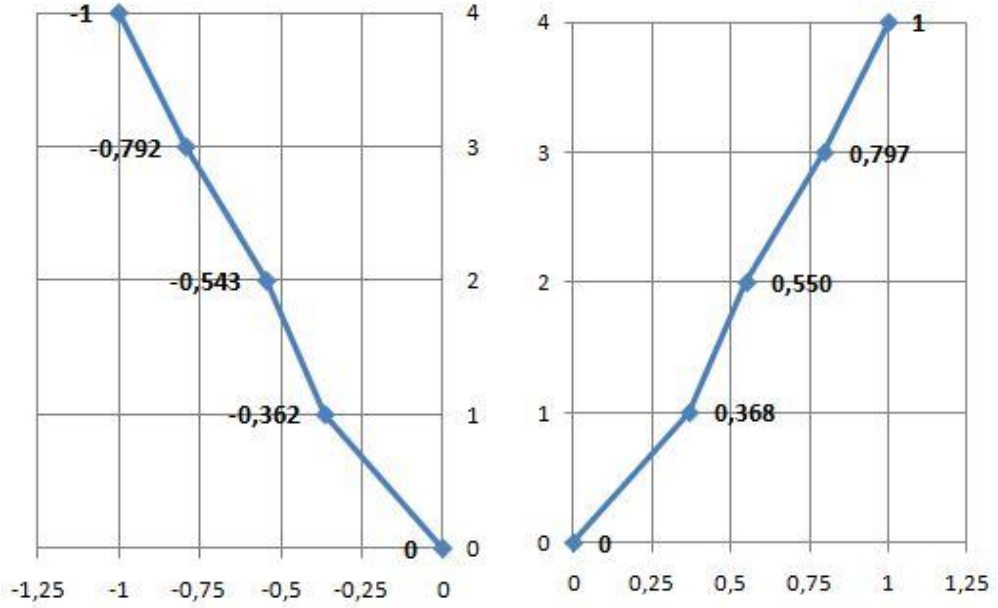


Şekil 2.72 : Kirişin ilgili kanallardaki kesitine ait moment-eğrilik grafiği (#15-#16)

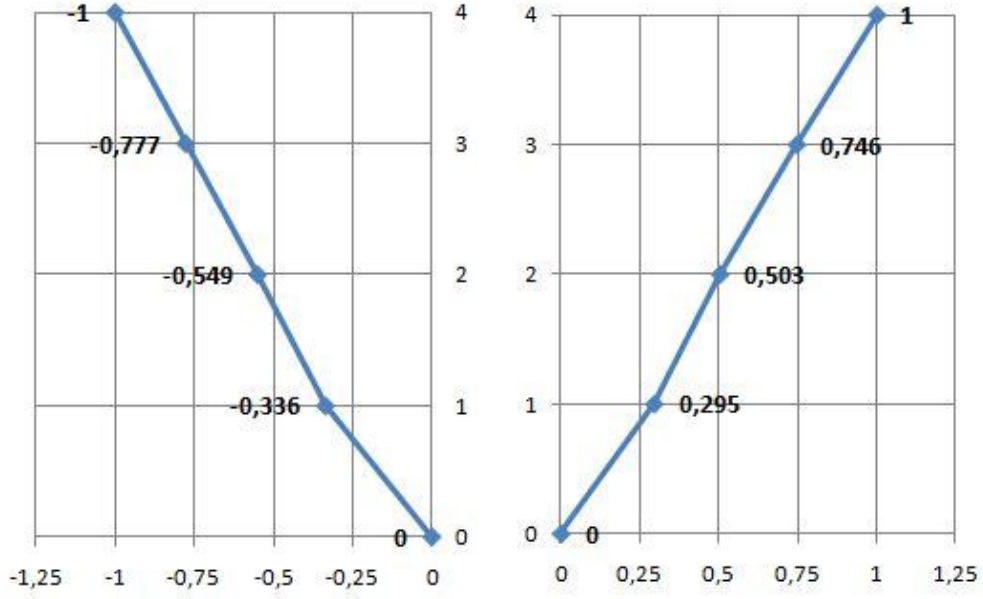


Şekil 2.73 : Taşıyıcı kiriş alt yüzünden elde edilen moment-eğrilik grafiği (#17-#18)

Ana kiriş yüksekliği boyunca dört farklı seviyede yerleşik yatay yerdeğiştirme ölçerlerden alınan verilerin, tepe yerdeğiştirmesine göre normalize edilmiş durumu ilk iki çevrimin itme ve çekme pikleri için Şekil 2.74 ve Şekil 2.75'te verilmiştir. Birinci ve ikinci çevrimlerdeki itme ve çekme pikindeki yerdeğiştirme grafiklerinin birbirine benzediği görülmektedir.



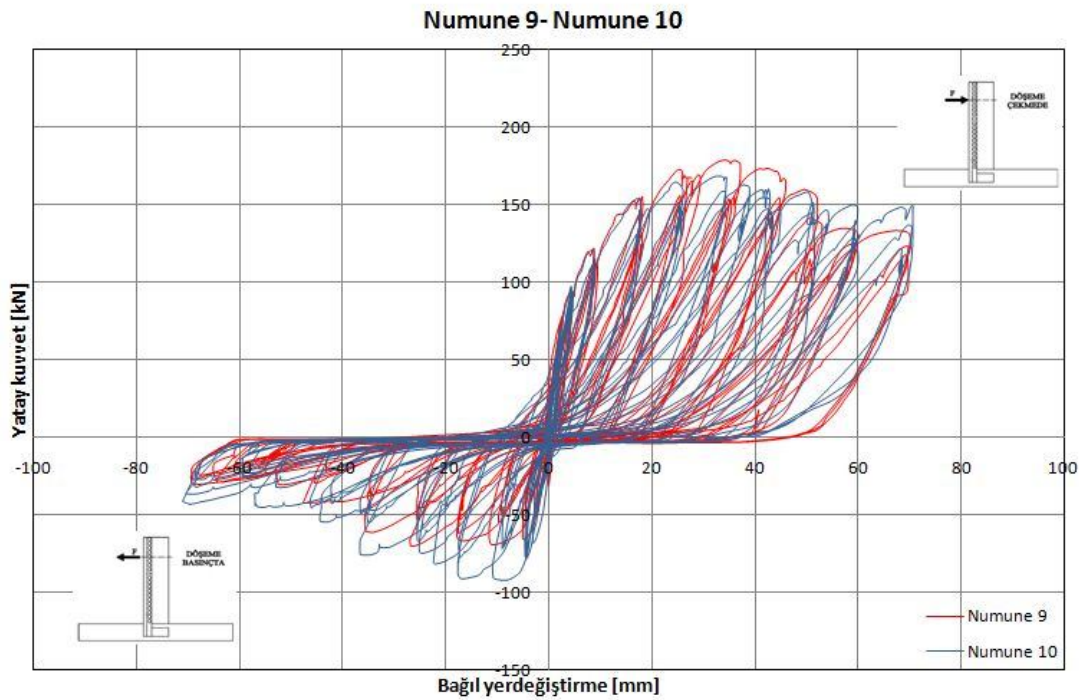
Şekil 2.74 : 1. çevrim yatay yerdeğiştirme oranları



Şekil 2.75 : 2. çevrim yatay yerdeğiştirme oranları

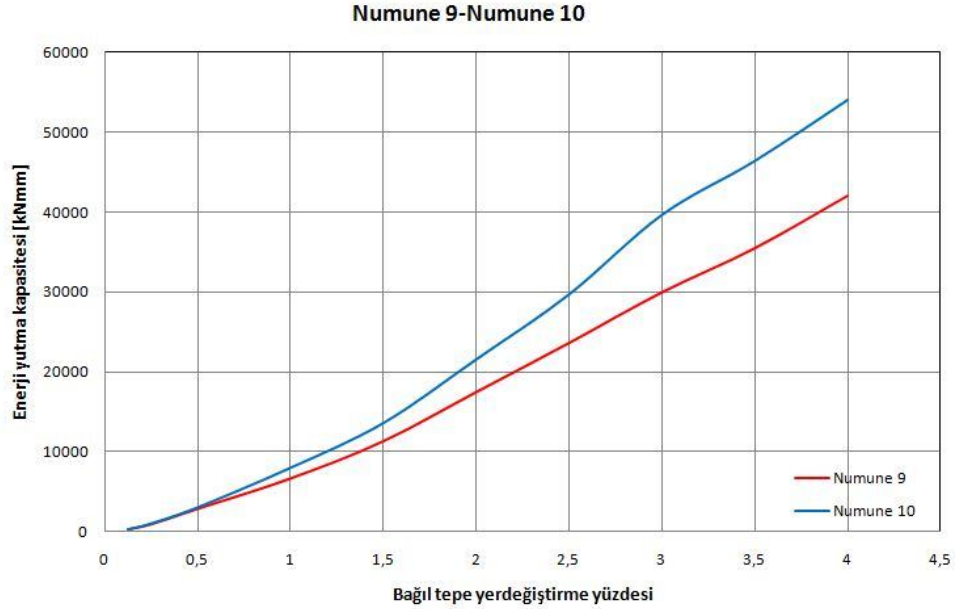
2.2.3 Deney sonuçlarının karşılaştırılması

Bu bölümde SAFECAST araştırma projesi kapsamında deneyi yapılan konut tipi prefabrike yapı kolon-kiriş birleşim bölgesine ait 4 özdeş numuneden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.



Şekil 2.76 : 9. ve 10. numunelere ait kuvvet-yerdeğiştirme diyagramları

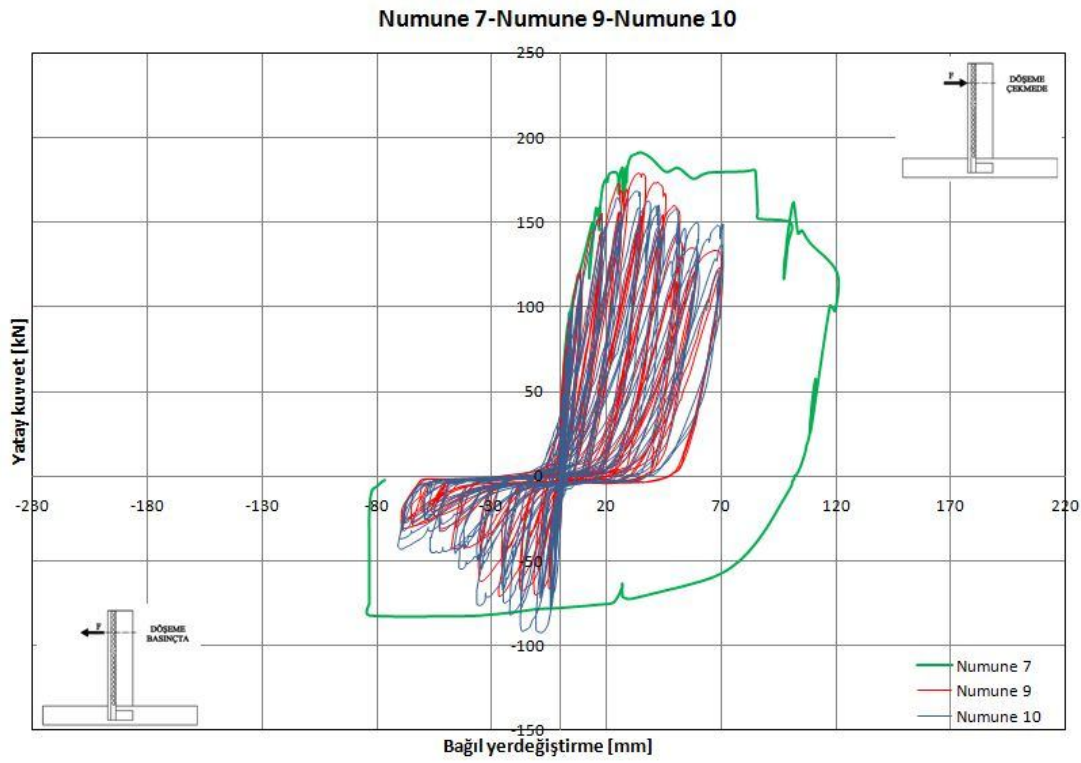
Şekil 2.76'da, çevrimsel yükleme deneyine tabi tutulmuş 9. ve 10. numunelere ait kuvvet-yerdeğiştirme grafikleri verilmiştir. İki numunenin de çekme ve basınç durumundaki davranışları incelendiğinde, numunelerin asimetrik davrandığı görülmektedir. Döşemenin basınç durumunda olduğu bölgede numune 10, numune 9'a göre daha iyi performans göstermiştir. Döşemenin çekme durumunda olduğu bölgede numune 9, numune 10'a göre daha yüksek dayanıma ulaşmış ancak ilerleyen çevrimlerde dayanımı düşürerek numune 10'un altına düşmüştür. İki numunenin de döşemenin basınçta ve çekmede olduğu durumda gösterdiği davranışlar birbirine yakındır. Şekil 2.77'de numunelere ait enerji bağıl tepe yerdeğiştirme yüzdelerine karşılık gelen enerji yutma kapasitelerine bakıldığında, numune 10'un numune 9'a göre daha fazla enerji yuttuğu görülmektedir. Bu da 10. Numunedeki birleşimin daha iyi çalıştığını göstermektedir.



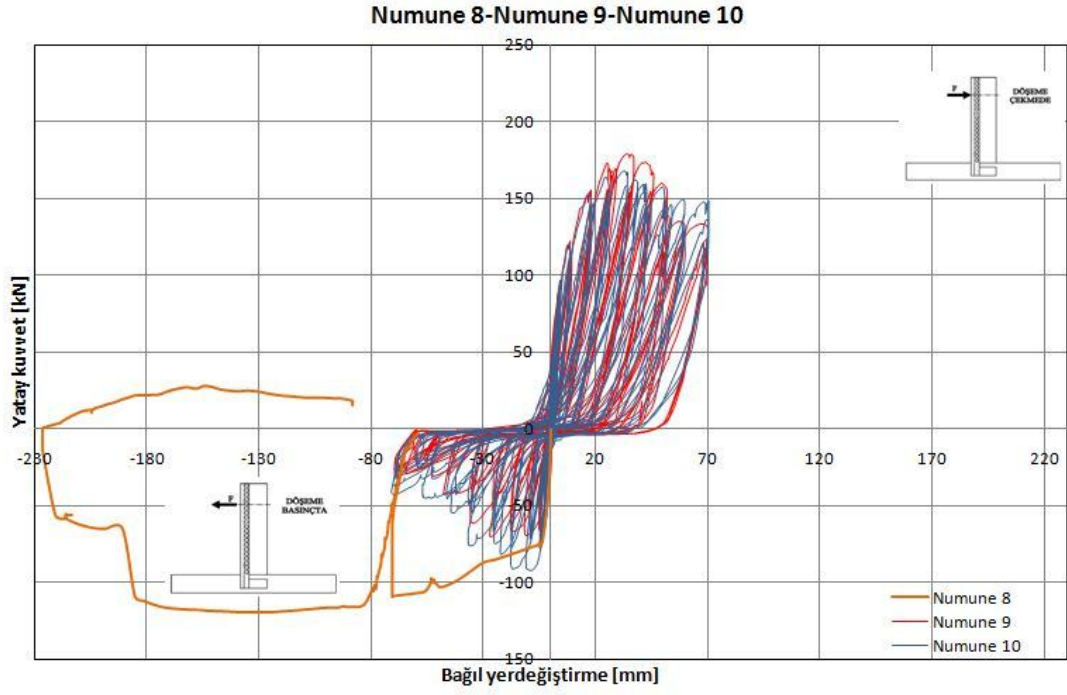
Şekil 2.77 : 9. ve 10. numunelere ait enerji yutma kapasiteleri

Çevrimsel yükleme deneyine tabi tutulmuş numuneler, Şekil 2.78'de monotonik yükleme altında, döşemenin çekmede olduğu durum için incelenen numune 7 ve Şekil 2.79'da monotonik yükleme altında, döşemenin basınçta olduğu durum için incelenen numune 8 ile karşılaştırılmışlardır. Her iki durumda da, monotonik yükleme altındaki numune davranışlarının, çevrimsel yükleme altındaki numunelerin davranışları ile akma noktasına kadar aynı olduğu, bu noktadan sonra çevrimsel yükleme altındaki numunelerin dayanım kaybı yaşadığı gözlenmiştir. Ayrıca monotonik yükleme altındaki numunelerin yaptıkları maksimum yerdeğiştirme

mesafesinin, çevrimsel yükleme altındaki numunelere göre çok fazla olduğu görülmektedir. Bu da tersinir-tekrarlı yüklemenin, monotonik yüklemeye göre numune üzerinde etkisinin çok daha büyük olduğunu göstermektedir. Çevrimsel yükleme altındaki numunelerin, döşemenin çekme tarafında olduğu durum için sergilediği davranış, maksimum yerdeğiştirme noktasına gelene kadar monotonik yükleme altındaki numunenin sergilediği davranışa yakındır. Fakat çevrimsel yükleme altındaki numunelerin, döşemenin basınç tarafında olduğu durum için sergilediği davranış, dayanım bakımından monotonik yükleme altındaki numunenin sergilediği davranışın oldukça altında kalmıştır.



Şekil 2.78 : 7., 9. ve 10. numunelere ait kuvvet-yerdeğiştirme diyagramları



Şekil 2.79 : 8., 9. ve 10. numunelere ait kuvvet-yerdeğiştirme diyagramları

3. YAPIYA AKTARILAN DEPREM ENERJİSİNİN YOĞALTILMASINDA ALAŞIMLAR

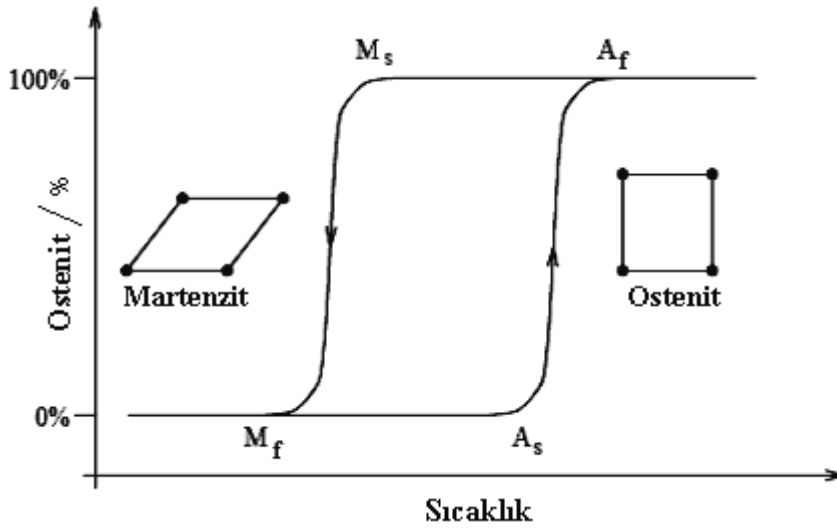
Günümüzde kullanılan mevcut yönetmeliklerle tasarlanan bir yapıdan beklenen, çok sık karşılaşılan orta şiddetteki depremleri önemli hasar görmeden karşılaması, şiddetli depremleri ise kalıcı yapısal hasarlar oluşmasına rağmen yapının toptan göçmesinin engellenmesidir. Bu yüzden yapının ekonomik boyutlandırılabilmesi ve toptan göçmesini engellemek üzere deprem enerjisini plastik şekil değiştirmeler yolu ile sönmülmesine izin verilir. Şiddetli depremlerde yapı, taşıyıcı elemanlarında biriken kalıcı şekil değiştirmelerle deprem enerjisini yutma eğilimindedir. Fakat bu kalıcı şekil değiştirmelerin beklenenden fazla olması, taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanların onarılmasını güç hale getirebilir. Son zamanlarda yapılardan, can kaybı ve göçmenin engellenmesi dışında, deprem sonrası hemen kullanılması ve yapı içinde bulunan cihazların zarar görmemesi gibi talepler oluşmuştur. Bu da deprem enerjisinin yoğaltılması için, geleneksel anlayış dışında yeni yaklaşımların düşünülmesini ihtiyaç haline getirmiştir. Bu bölümde yeni yapılan bir binanın karşılaşıacağı deprem enerjisinin yoğaltılmasında ve hasar görmüş binaların güçlendirilmesi aşamasında kullanılacak bir enerji yutucu olarak şekil bellekli alaşımlar yakından incelenmiş, şekil bellek etkisi ve şekil bellekli süper elastik davranış açıklanmış, şekil bellekli alaşımlara ait birkaç örnek sunulmuştur.

3.1 Şekil Bellekli Alaşımlar

Şekil bellekli alaşımlar, yüksek mukavemetli, yorulmaya karşı yüksek dayanımlı, oluşan büyük deformasyonları şekil bellek etkisi ve süper elastisite ile yok edip eski haline dönebilen bir alaşım çeşididir. Şekil bellekli alaşımların özellikle süper elastik davranış gösterebilmesi, onları yapıların depremden yalıtılması ve oluşan titreşimlerin kontrolü için çok uygun bir malzeme yapmaktadır. Bu bölümde süper elastik davranış ön koşulu ile şekil bellekli alaşımlardan bakır (Cu) esaslıdan 2 adet, bakır esaslı olmayandan 1 adet olmak üzere 3 adet örnek verilip incelenmiştir.

3.1.1 Şekil bellek etkisi ve süper elastisite kavramları

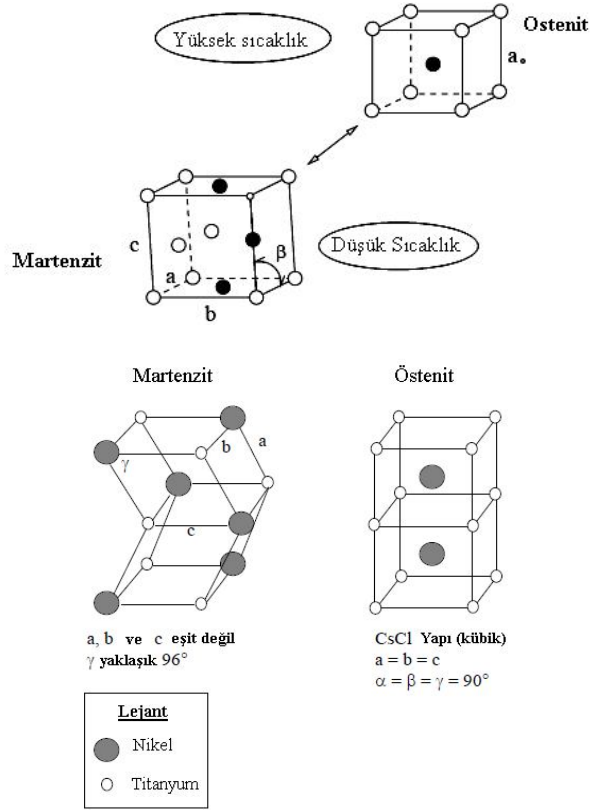
Şekil bellekli alaşımlar, martenzit ve ostenit fazı olmak üzere iki özel dönüşüm fazına ve 4 özel sıcaklık noktasına sahiptirler. Ostenit fazı, alaşımın yüksek sıcaklıkta kübik hacim merkezli kristal yapıya sahip olduğu fazdır. Martenzit fazı ise başlangıçta eriyik haldeki ostenit fazında bulunan alaşımın, ani soğutulmasıyla elde edilen sert ve kırılğan yapıya sahiptir. Martenzit faza geçişte hücrelerin kübik hacim merkezli kristal yapısı bozulur, Şekil 3.2. Düşük sıcaklıkta martenzit yapıya sahipken kolay deformasyona uğrayan malzeme, gerekli sıcaklığa kadar ısıtıldığında yüksek sıcaklık fazı olan ostenit fazına geçerek deformasyon öncesi orijinal şekline geri dönebilmektedir. Her alaşımın katılma sıcaklığı farklı olduğundan martenzitik dönüşüm, belirli bir sıcaklık aralığında tanımlanmaktadır.



Şekil 3.1 : Şekil bellekli alaşımların geçişleri ve histeresiz eğrisi [9]

Şekil 3.1’de görüldüğü gibi şekil bellekli alaşımlarda martenzit ile ostenit dönüşümlerinin tekrarlanması sırasında geniş bir histeresiz çevrim ortaya çıkmaktadır. Martenzit yapıya sahip şekil bellekli alaşımlar, ısıtıldığı zaman metalin kristal yapısı belli bir zaman sonra ostenite dönüşür. Bu dönüşümün olduğu sıcaklığa geri dönüşüm başlangıç sıcaklığı (A_s) ve dönüşümün bittiği sıcaklığa da geri dönüşüm bitiş sıcaklığı (A_f) denir. Ostenit yapıya sahip şekil hafızalı alaşımlar soğutulduğu takdirde malzemenin kristal yapısı martenzit yapı haline dönüşecektir. Bu dönüşümün olduğu sıcaklığa martenzit başlangıç sıcaklığı (M_s), dönüşümün bittiği sıcaklığa da martenzit bitiş sıcaklığı (M_f) denir. Bu sıcaklıkların oluşumu esnasında A_s - A_f ve M_s - M_f sıcaklıkları arasında şekil bellekli alaşımlar, martenzit ve osteniti ihtiva eden

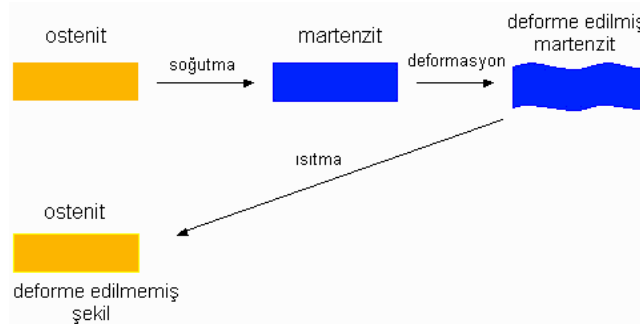
karışık bir düzene sahiptir. Nikel-Titanyum (NiTi) için bu dönüşüm sıcaklıklarına örnek verilecek olursa eğer $M_F= 25\text{ }^\circ\text{C}$, $M_S= 50\text{ }^\circ\text{C}$, $A_S= 58\text{ }^\circ\text{C}$, $A_F= 78\text{ }^\circ\text{C}$ 'dir, [9].



Şekil 3.2 : NiTi alaşımının martenzit ve ostenit fazlarına ait birim hücreler [9],[13]

Şekil bellekli alaşımların belli bir karakteristik sıcaklık altında şekil değiştirme yeteneği göstermesi ve bu sıcaklığın üstünde başka bir noktada şekil değiştirmeleri geri kazanarak ilk haline dönmesi olayına şekil bellek etkisi denir.

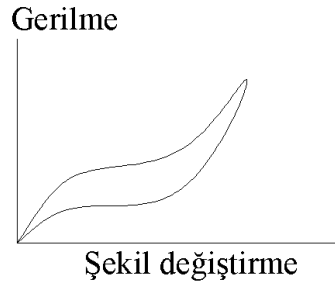
Malzemenin sadece ısıtma ile şeklini hatırlayabilmesi olayına tek yönlü şekil bellek etkisi denir. Şekil 3.3'te bu olay, şematik olarak gösterilmiştir [10].



Şekil 3.3 : Tek yönlü şekil bellek etkisi [10]

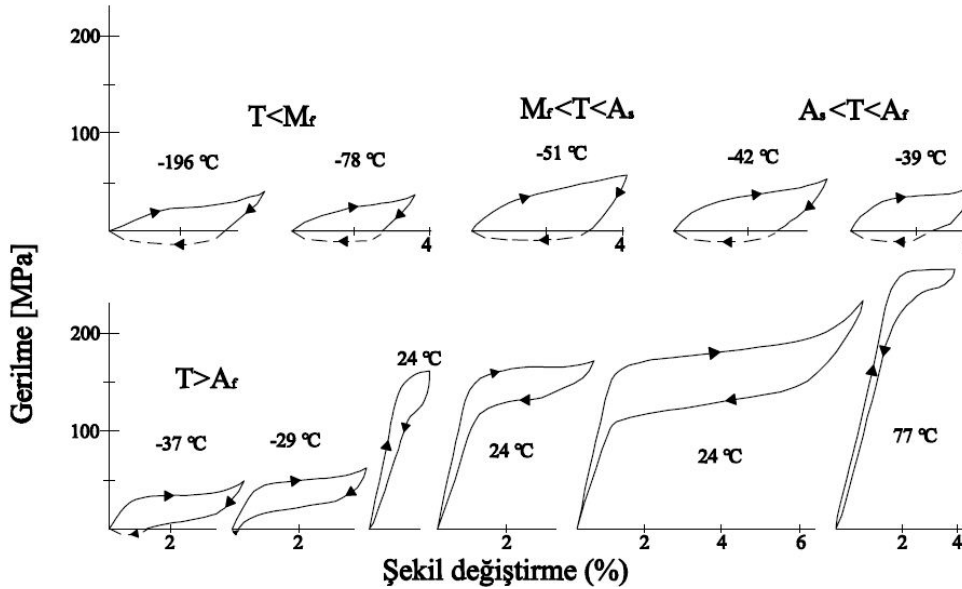
Şekil bellekli alaşımların belirli bir işlemde geçirdikten sonra, biri kritik değerin üzerinde diğeri ise altında olan iki sıcaklık değeri arasında şekillerini koruyabilmesi ise iki yönlü şekil bellek etkisi olarak isimlendirilir [10].

Şekil bellekli alaşımlar, belli bir karakteristik sıcaklık üstünde (A_F) şekil değiştirme yeteneği göstermekte ve enerji yutabilmektedir. Bu etki, şekil bellekli süper elastik davranıştır. Bu durumda, üzerine kuvvet etkitildiğinde deformasyona uğrayan alaşım, yük üzerinden kaldırıldığında ısıtmaya gerek kalmadan orijinal haline geri döner. Süper elastik davranışta alaşım, yüklemde doğrusal olmayan elastik davranış sergiler. Yük üzerinden kaldırıldığında ise başka bir yol izleyerek orijine çok yakın bir noktaya döner ve şekil değiştirme geri kazanımını tamamlar, Şekil 3.4.



Şekil 3.4 : Süper elastik alaşımlara ait şematik gerilme-şekil değiştirme diyagramı

Şekil bellek etkisi ve süper elastik davranış, bir örnekle daha iyi açıklanabilir:

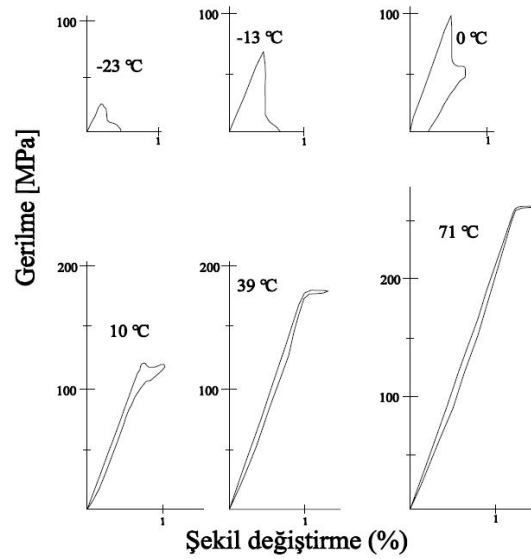


Şekil 3.5 : $M_F = -65$ °C, $M_S = -52$ °C, $A_S = -50$ °C ve $A_F = -38$ °C dönüşüm sıcaklıklarında, %34.7 Zn (Çinko) ve %3 Sn (Kalay) içeren tek taneli Cu (Bakır) alaşımı için sıcaklığın fonksiyonu olarak gerilme-şekil değiştirme eğrileri

Şekil 2.3, %34.7 Zn (çinko) ve %3 Sn (kalay) içeren tek taneli Cu (bakır) alaşımının sıcaklık fonksiyonu altındaki gerilme şekil değiştirme eğrisidir. Malzemenin, A_F sıcaklığı altındaki değerlerde çekme deneyine tabi tutulup yüklemenin kaldırılmasıyla elde edilen grafiklerde plastik şekil değiştirmelerin olduğu görülmektedir. Bu şekil değiştirmeler malzeme ısıtılarak kesikli çizgilerle gösterildiği gibi ortadan kaldırılmıştır. Bu şekil bellek etkisidir. Buna karşılık, malzeme, A_F sıcaklığı üstünde çekme deneyine tabi tutulduğunda, A_F 'ye yakın sıcaklıklarda malzemenin tam geri dönüşü gerçekleştirilmesine de orijine çok yakın bir noktaya döndüğü, daha yüksek sıcaklıklarda ise sadece yükün kaldırılmasıyla şekil değiştirmelerin geri kazanılarak malzemenin ilk haline döndüğü görülmektedir. Bu, şekil bellekli süper elastik davranış etkisidir, [11].

3.1.2 Bakır (Cu) esaslı şekil bellekli alaşım örnekleri

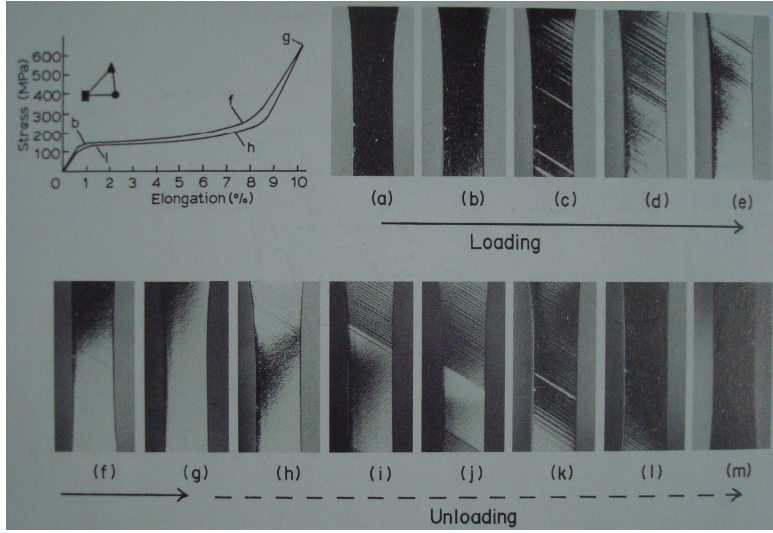
3.1.2.1 Bakır-alüminyum-nikel (Cu-Al-Ni) alaşımının incelenmesi



Şekil 3.6 : %14.0 Al (Alüminyum) ve %4.2 Ni (Nikel) içeren tek taneli Cu (Bakır) alaşımı için sıcaklığın fonksiyonu olarak gerilme-şekil değiştirme eğrileri

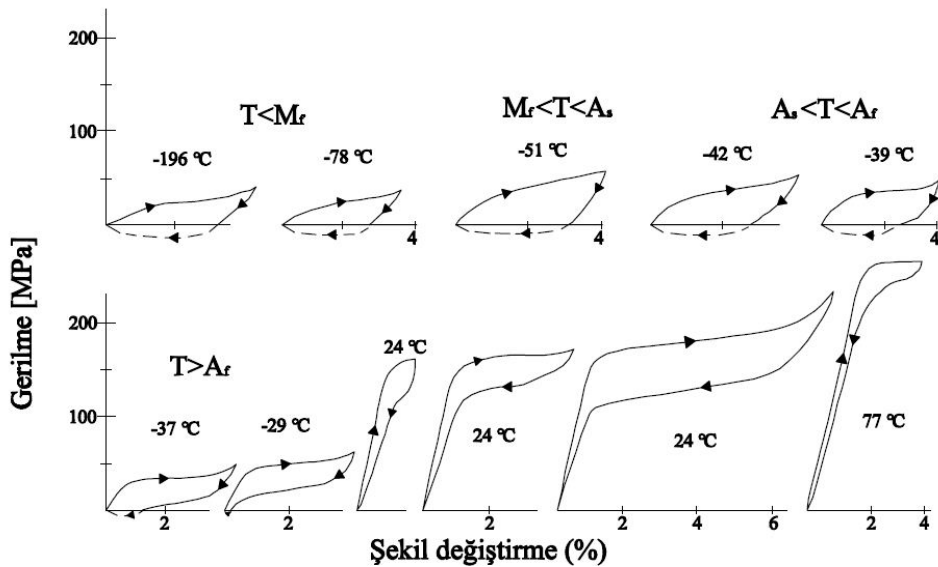
Şekil 3.6'da Cu-Al-Ni alaşımına ait gerilme-şekil değiştirme diyagramlarında, bu alaşıma ait çeşitli sıcaklıklardaki durumlara göre alaşımın gösterdiği tepkiler görülmektedir. Cu-Al-Ni alaşımı, $M_S = -31$ °C, $M_F = -32$ °C, $A_S = -7$ °C, $A_F = 18$ °C olan dönüşüm sıcaklıklarına sahiptir, [11]. Buradaki grafiklere bakıldığında, 10 °C'de alaşımın süper elastik davrandığı görülmektedir. Alaşımlarda ilk süper elastik davranış emarelerinin A_F dönüşüm sıcaklığı etrafında ortaya çıktığı gözlenmiştir. Alaşımı oluşturan elementlerden nikel, alaşımlarda mukavemet dayanımı ve

korozyon dayanımı artırıcı özellikleri, alüminyum ise mukavemet dayanımı ve korozyon dayanımını artırıcı özellikleri dışında aşınma dayanımı özelliklerinden ötürü tercih edilmiştir. Şekil 3.7’de Cu-Al-Ni alaşımının çekme deneyine tabi tutulması sonucu, alaşımda oluşan değişim görülmektedir. Alaşım g noktasına kadar çekmeye tabi tutulmuş, bu noktadan itibaren alaşım üzerindeki yük kaldırılmıştır. Alaşım a’daki durumuna m’de ulaşmış, yaptığı tüm şekil değiştirmeleri geri kazanmıştır.



Şekil 3.7 : %14.0 Al (Alüminyum) ve %4.2 Ni (Nikel) içeren tek taneli Cu (Bakır) alaşımı için yüklemenin etkilenip kaldırılması sonucu oluşan biçimsel değişim [11]

3.1.2.2 Bakır-çinko-kalay (Cu-Zn-Sn) alaşımının incelenmesi

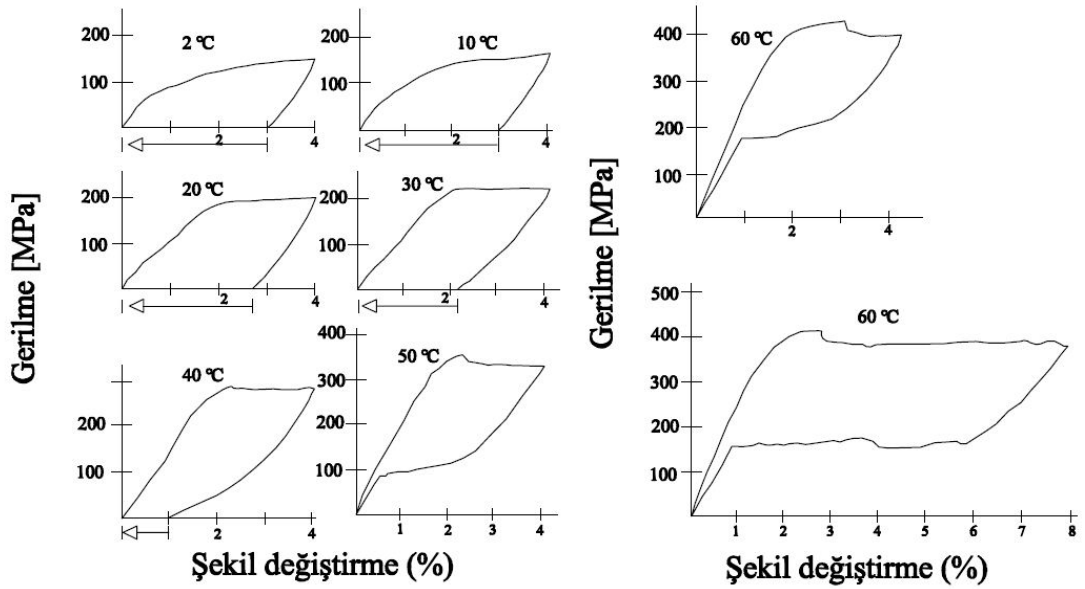


Şekil 3.8 : %34.7 Zn (Çinko) ve %3 Sn (Kalay) içeren tek taneli Cu (Bakır) alaşımı için sıcaklığın fonksiyonu olarak gerilme-şekil değiştirme eğrileri

Şekil 3.8’de Cu-Zn-Sn alaşımına ait belirli sıcaklıklarda gerilme-şekil değiştirme diyagramları elde edilmiştir. Cu-Zn-Sn alaşımı, $M_S = -52$ °C, $M_F = -62$ °C, $A_S = -50$ °C, $A_F = -38$ °C olan dönüşüm sıcaklıklarına sahiptir, [11]. Bu alaşımın 24°C’de süper elastik davranış sergilediği görülmüştür. Alaşımın enerji yutma kapasitesi ise Cu-Al-Ni alaşımına göre daha yüksektir. Alaşımı oluşturan elementlerden çinko, alaşımlarda mukavemet dayanımı arttırıcı ve işlenebilirlik özellikleri, kalay ise mukavemet dayanımı ve korozyon dayanımını arttırıcı özellikleri dışında aşınma dayanımı özelliklerinden ötürü tercih edilmiştir.

3.1.3 Bakır (Cu) esash olmayan şekil bellekli alaşım örneği

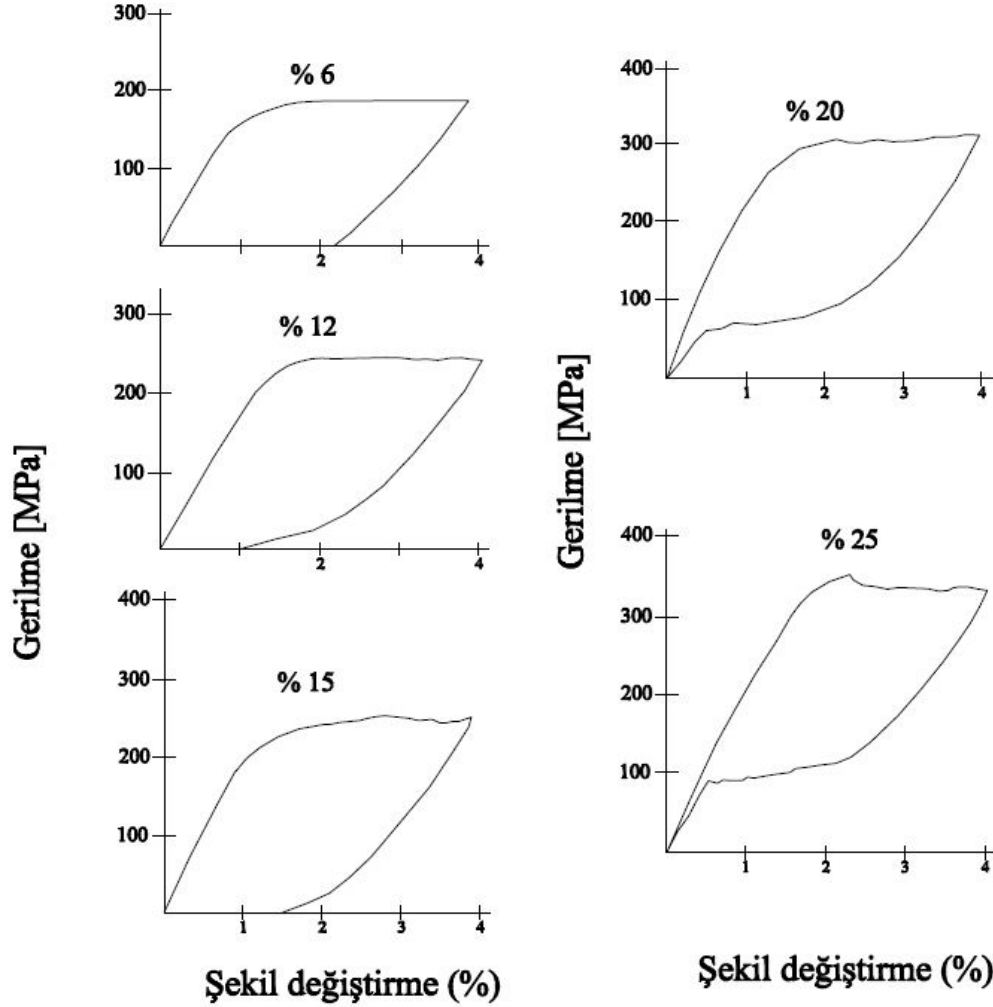
3.1.3.1 Nikel-titanyum (Ni-Ti) alaşımının incelenmesi



Şekil 3.9 : 40 °C’de %25 soğuk haddelemeden sonra 400 °C’de 3.6 ksi gerilme ile tavllanmış %50.2 Nikel içeren alaşımın gerilme-şekil değiştirme eğrileri

Şekil 3.9’da %25 soğuk haddelemeden sonra 40 °C’de tavllanmış %50.2 nikel içeren titanyum alaşımına ait gerilme-şekil değiştirme grafikleri verilmiştir, [11]. 30 °C’ye kadar oluşturulan grafiklerde geri dönüşüm kazanılamamış yani süper elastiklik sağlanamamıştır. 40 °C’de, geri dönüşüm tam olarak sağlamasa da, süper elastik davranış görülmüş, 50 °C’de ise süper elastik davranış sergileyen alaşımda oluşan şekil değiştirmelerin geri dönüşümünün %100 sağlandığı görülmüştür. 60 °C’de ise alaşımın 50 °C’de elde edilen grafiğe göre daha fazla enerji yutabildiği görülmektedir.

Şekil 3.10’da farklı soğuk haddeleme yüzdesine göre elde edilmiş olan Ni-Ti alaşımlarının 50 °C sıcaklık altında elde edilen gerilme-şekil değiştirme grafikleri verilmiştir, [11].



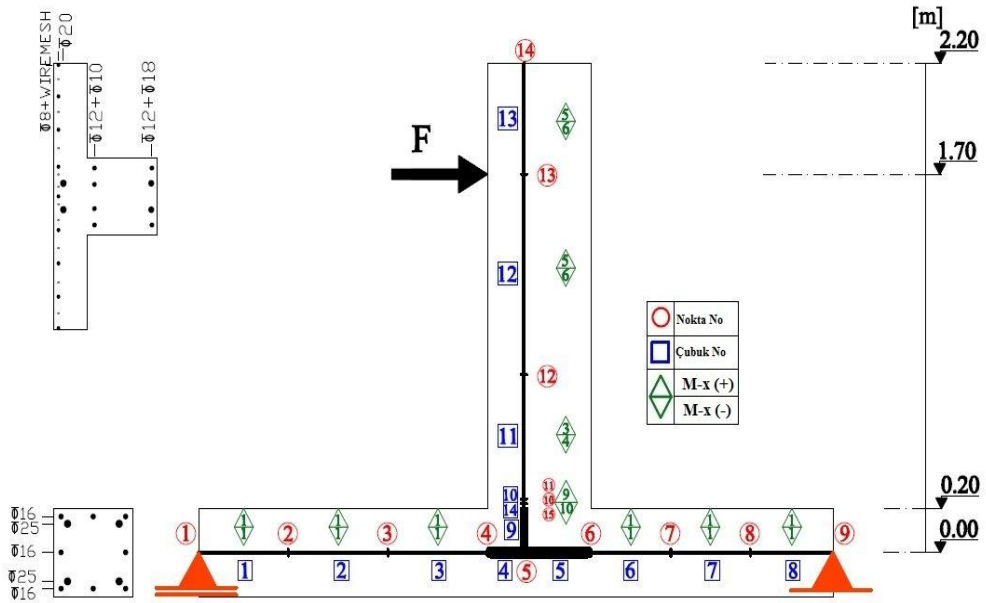
Şekil 3.10 : 40 °C’de tavlamaı takip eden soğuk haddeleme ile elde edilen süper elastik davranış iyileştirmesi

Yukarıdaki her bir gerilme-şekil değiştirme eğrisinde soğuk şekil verme derecesi gözükmemektedir. Çekme deneyleri 50 °C’de yapılmıştır. Buradaki grafiklerden de anlaşılacağı üzere Ni-Ti alaşımlarının süper elastik davranış özelliği kazandırılmasında, soğuk haddeleme oranının da etkisi vardır. Soğuk haddeleme oranı %6 ile %20 arasındaki alaşımlar 50 °C sıcaklık altında çekme deneyine tabi tutulduğunda malzemenin süper elastik davranış özelliği kazanmadığı görülmüştür. Soğuk haddeleme yüzdesi %20 ve fazlası için Ni-Ti alaşımının süper elastik davranış özelliği kazandığı, alaşımda oluşan şekil değiştirmelerin ortadan kalkarak geri dönüşümün tamamlandığı görülmüştür.

4. KURAMSAL ÇALIŞMALAR

4.1 Islak Birleşimli Deney Sonuçlarının Kuramsal Çalışmalarla Değerlendirilmesi

Islak birleşimli konut tipi prefabrikte numunelerin matematik modeli, DOC2B isimli yazılımda [12] 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. Şekil 4.1’de oluşturulan matematik model, çubuk ve düğüm noktaları ile çubuklara ait tip kesiti için oluşturulan moment-eğrilik bağıntısı numaraları, sistem genel görünümüne, elemanların ağırlık merkezlerinden geçecek şekilde yerleştirilerek gösterilmiştir. Ayrıca Şekil 4.1’de kolon ve kirişe kesitlerine ait genel görünüm de yer almaktadır.

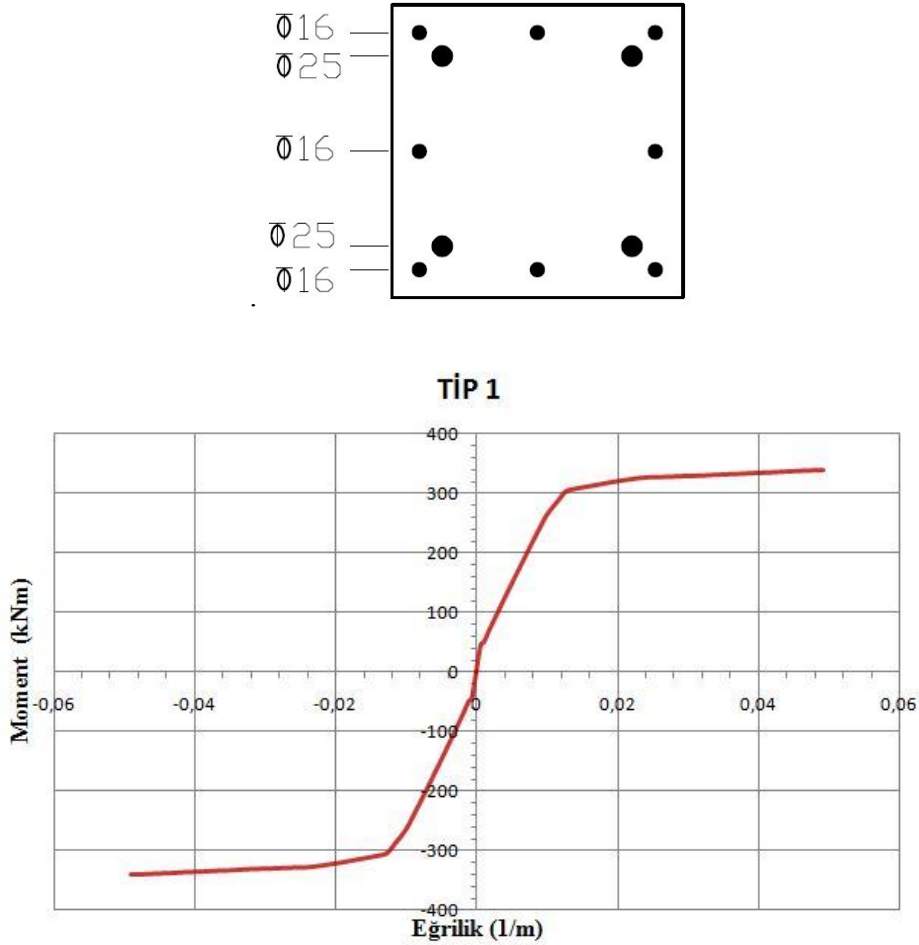


Şekil 4.1 : Deney numunesinin genel görünüşü ve numuneye ait matematik model

DOC2B için hazırlanan matematik modelde, kolon-kiriş birleşimini oluşturan 4,5 ve 6 numaralı çubuklar, davranışı daha doğru yansıtmak amacıyla birbirlerine rijit olarak bağlanmışlardır. Hidrolik veren yükü, 13 numaralı düğüm noktasına yatay tekil yük olarak etkilmiştir. Kolon ağırlığı, kolonu temsil eden çubuk elemanlar üzerine üniform yayılı yük, kiriş ağırlığı da 14 numaralı düğüm noktasına düşey tekil yük olarak etkilmiştir.

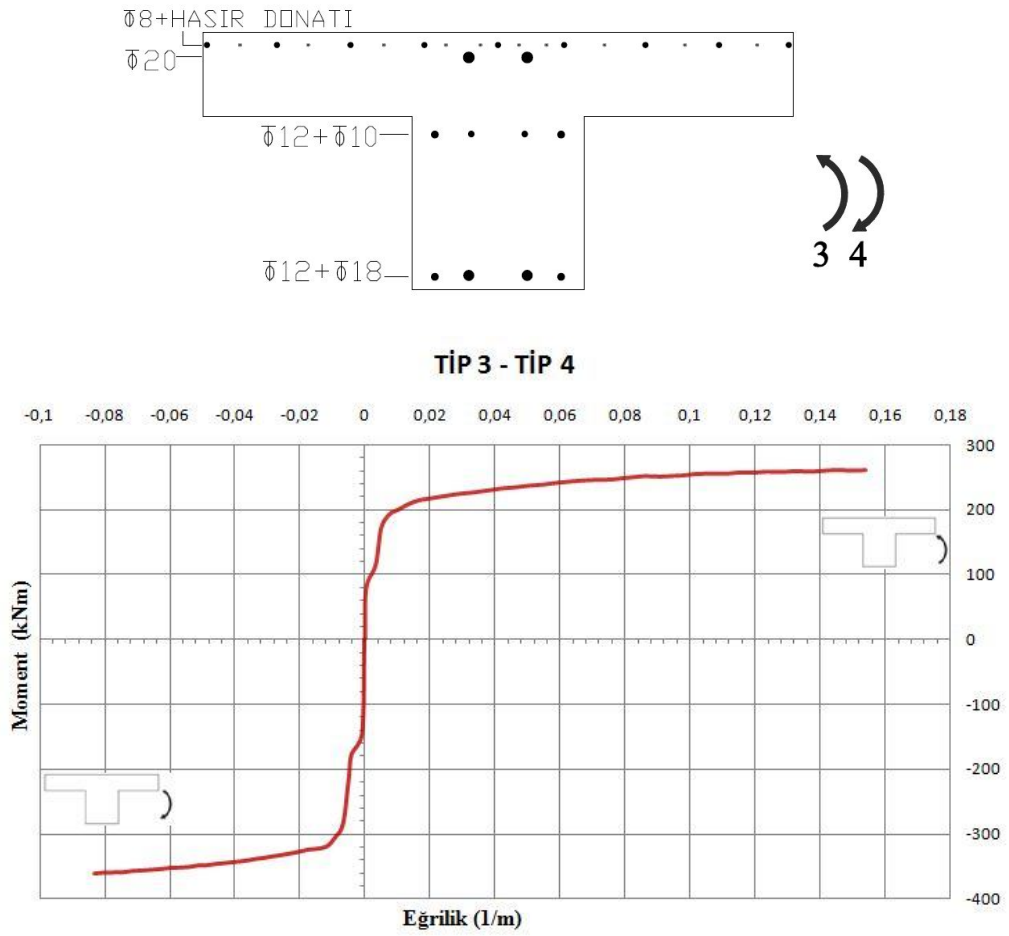
Numune kesitlerinin malzeme bakımından doğrusal olmayan davranışı moment eğrilik ilişkileri ile ifade edilmiştir. Doğrusal olmayan çözümleme için, DOC2B içindeki M-KAPA yazılımı ile farklı tiplerdeki kesitlere ait moment eğrilik ilişkileri elde edilmiştir.

Matematik modelde 1,2,3,4,5,6,7 ve 8 numaralı çubuklarla temsil edilen kolon kesiti için, kolon elemanı tüm kesitlerinde aynı özellikler gösterdiği için tek tip kesit kullanılmış ve TİP 1 olarak adlandırılmıştır. Kolon kesiti ve kolona ait moment-eğrilik ilişkisi Şekil 4.2'de verilmiştir.

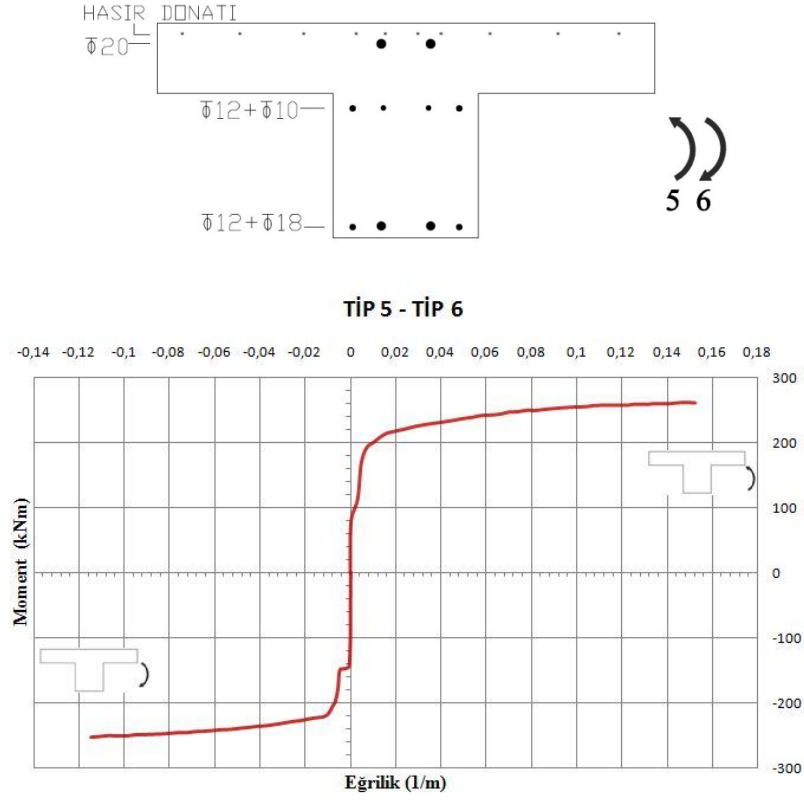


Şekil 4.2 : Kolon kesiti ve kesite ait moment-eğrilik ilişkisi

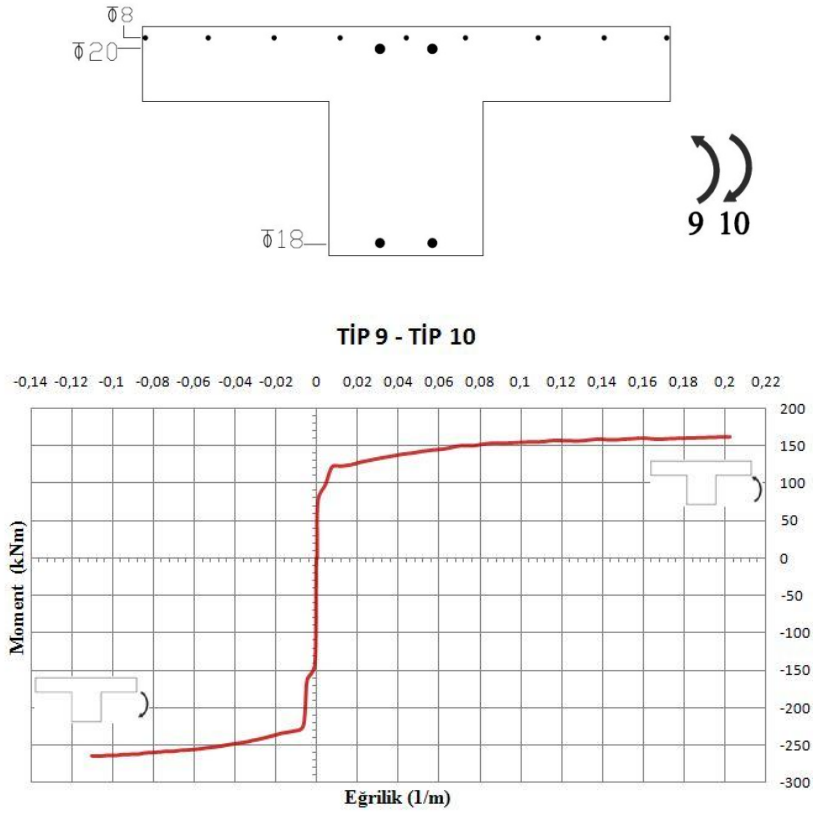
Matematik modelde 10,11,12,13 ve 14 numaralı çubuklarda ifade edilen kiriş kesiti için, kiriş elemanlarının kesitlerinde farklı donatı düzeni içerdiğinden, TİP 3 - TİP4, TİP 5 - TİP6 ve TİP9 – TİP 10 olmak üzere altı farklı tip kesiti oluşturulmuştur. Farklı kiriş kesitleri ve bu kesitlere ait moment-eğrilik ilişkileri Şekil 4.3, Şekil4.4 ve Şekil 4.5'te verilmiştir.



Şekil 4.3 : Kiriş kesiti ve kesite ait moment-eğrilik ilişkisi (TİP3-TİP4)

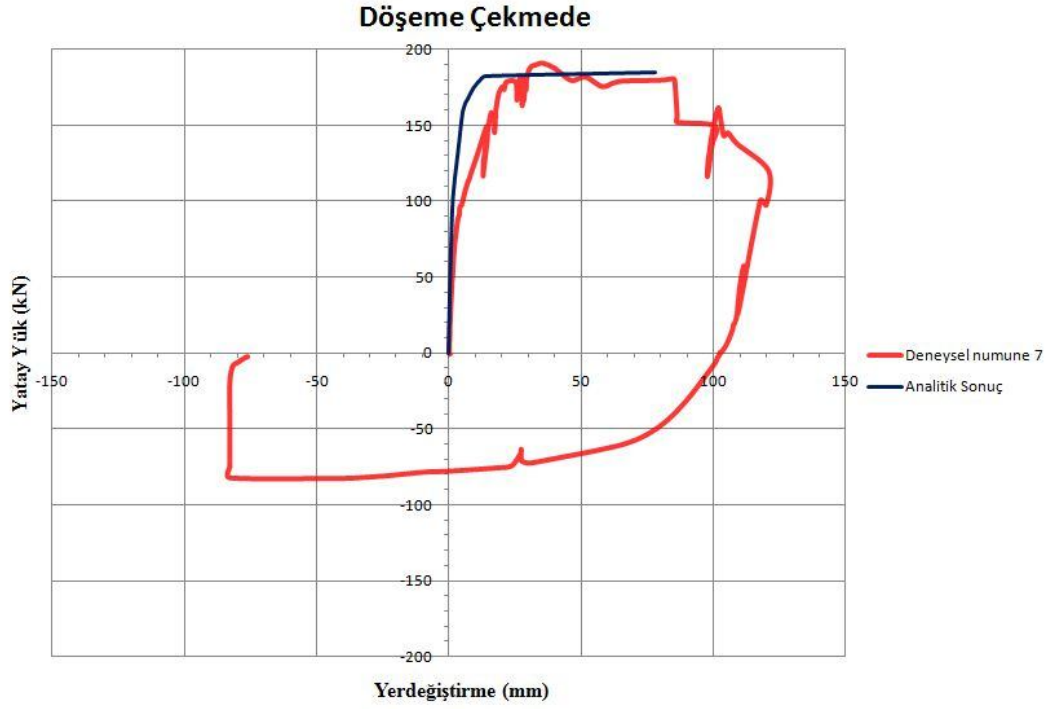


Şekil 4.4 : Kiriş kesiti ve kesite ait moment-eğrilik ilişkisi (TİP5-TİP6)

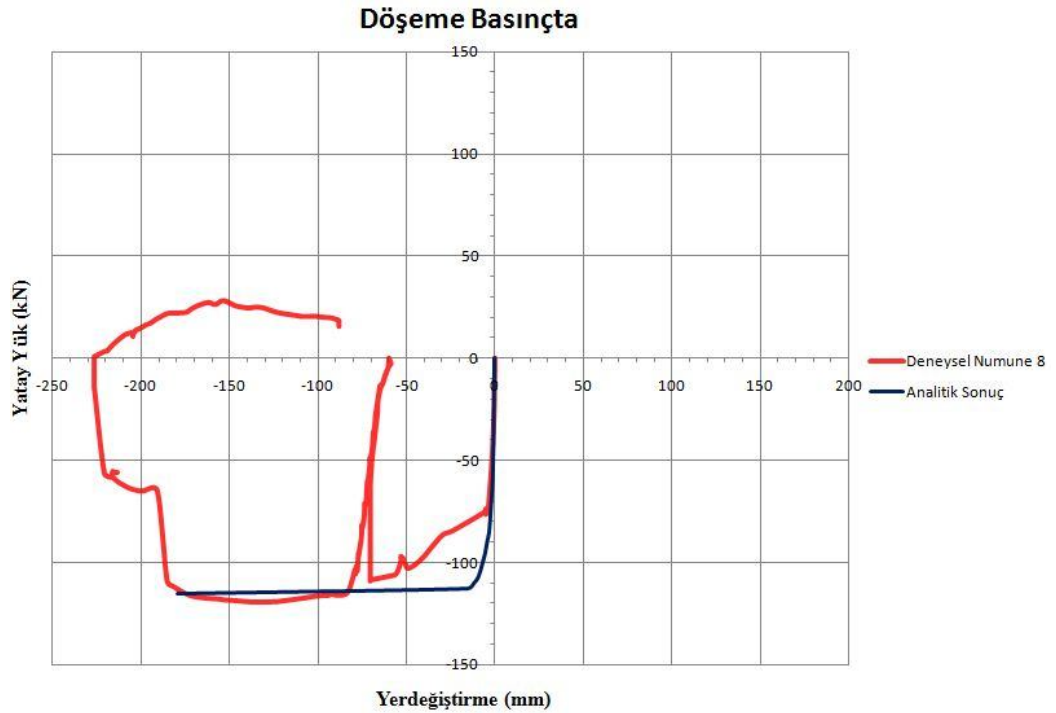


Şekil 4.5 : Kiriş kesiti ve kesite ait moment-eğrilik ilişkisi (TİP9-TİP10)

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, Şekil 4.6 – Şekil 4.7.

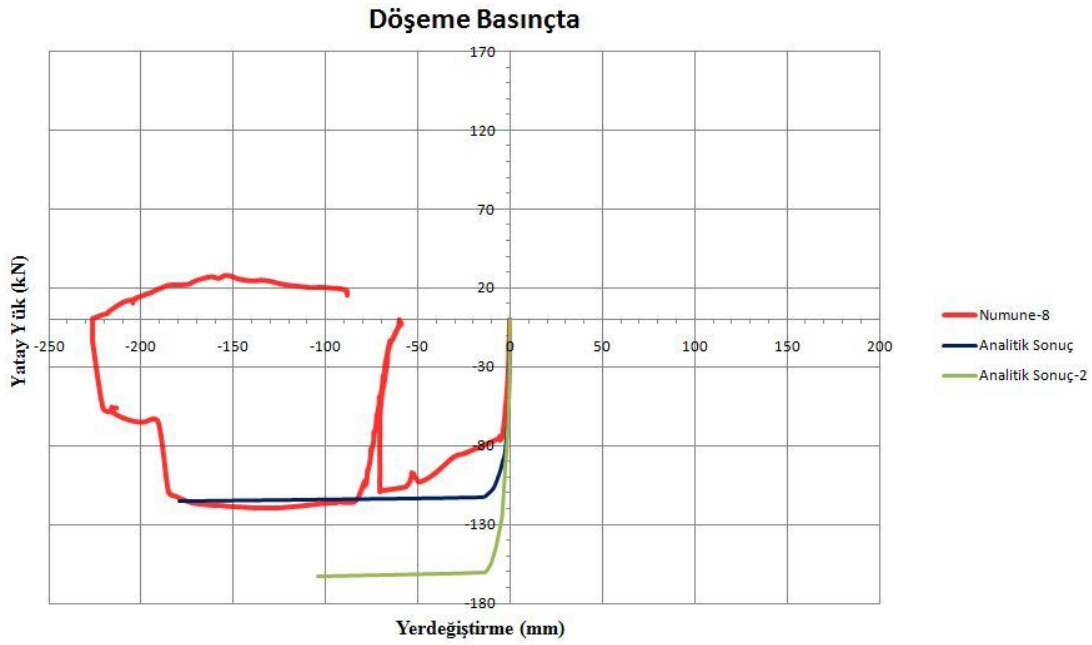


Şekil 4.6 : Döşeme çekme durumu için yatay yük-yerdeğiştirme ilişkisi



Şekil 4.7 : Döşeme basınç durumu için yatay yük-yerdeğiştirme ilişkisi

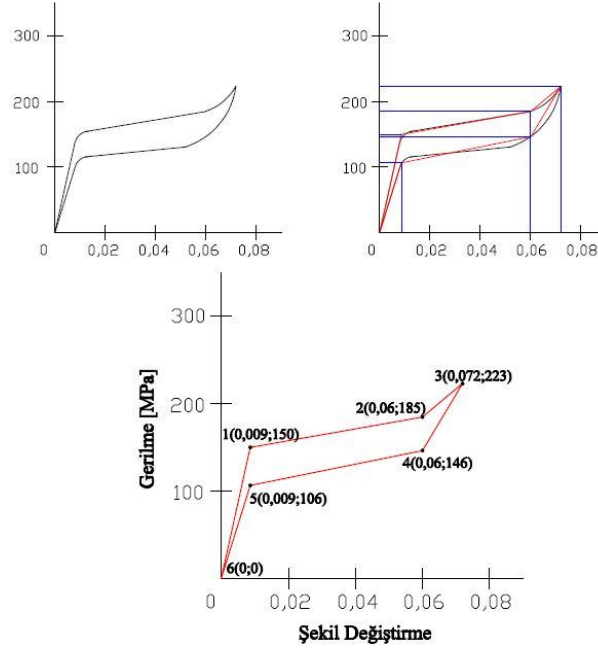
Deney numunelerinin, döşemenin basınçta olduğu durum için elde edilen verilerinde, gerek artan yükler etkisi altındaki, gerekse tersinir-tekrarlı yükler etkisi altındaki dayanımlarının düşük kaldığı görülmüştür. Bu davranışı iyileştirmek için, analitik çalışma için hazırlanan matematik modelde, birleşime kadar sürekliliği devam eden $\Phi 18$ mm çapındaki taşıyıcı kiriş alt donatı oranı 1.5 katına çıkarılarak yeni bir çözüm yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre dayanımda iyileşme olmakla birlikte süneklilikte azalma meydana gelmiştir, Şekil 4.8.



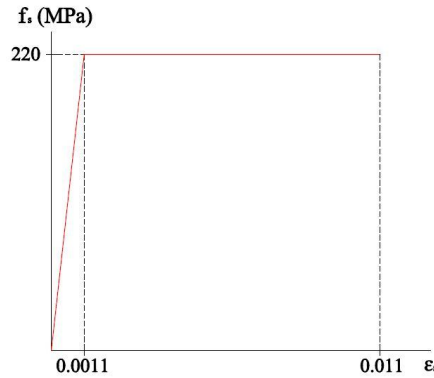
Şekil 4.8 : Kesitin iyileştirilmesiyle elde edilen analitik sonucun karşılaştırılması

4.2 Alaşımlardan Yapılmış Birleşimlerin Kuramsal Çalışmalarda Göz Önüne Alınması

3. bölümde ele alınan şekil bellekli alaşımlardan Cu-Zn-Sn (bakır-çinko-kalay) alaşımı, konsol bir çelik elemanın bağlantı noktasında kullanılarak kuramsal çalışma altında incelenmiştir. Redör olarak Cu-Zn-Sn alaşımının seçilmesinin sebebi, bu alaşımın incelenen diğer alaşımlara göre süper elastik davranışı oda sıcaklığı olan 24 °C’de gösterebilmesi ve enerji yoğunluğu açısından incelenen diğer alaşımlardan daha fazla kapasiteye sahip olmasıdır. Şekil 4.9’da 24 °C’deki Cu-Zn-Sn alaşımının, Şekil 4.10’da ise S220 çeliğinin gerilme-şekil değiştirme eğrisinin kuramsal çalışmada kullanılan idealize edilmiş hali gösterilmiştir. Şekilde alaşımın sadece çekme etkisindeki tek yönlü gerilme-şekil değiştirme grafiği yer almaktadır.

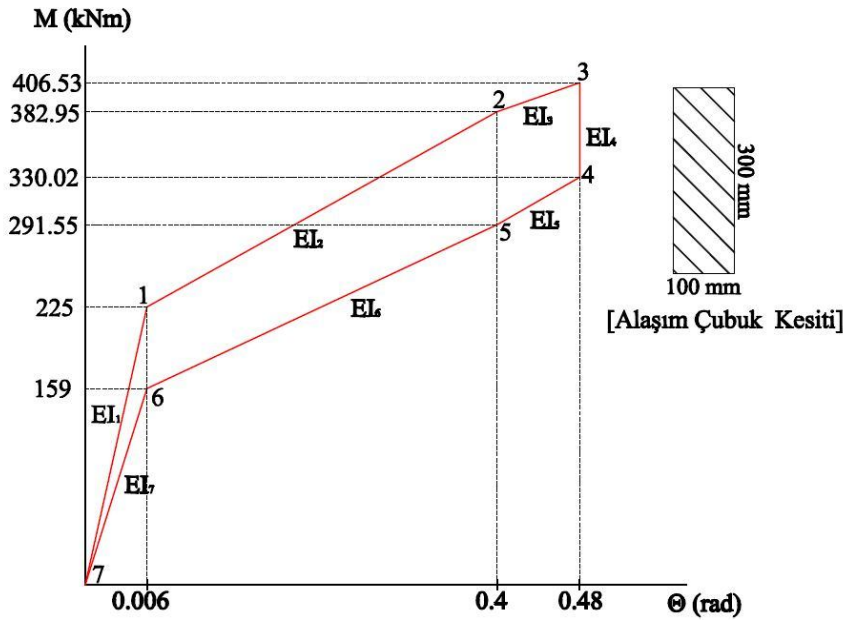


Şekil 4.9 : Cu-Zn-Sn alaşımının idealleştirilmiş gerilme-şekildeğiştirme eğrisi



Şekil 4.10 : S220 çeliğine ait gerilme-şekil değiştirme grafiği

Çözümde alaşımın çekme ve basınç altında oluşan gerilme-şekil değiştirme davranışının simetrik olduğu, 3m boyunda ikinci parçayı oluşturan çelik çubuğun elastik sınırlar içinde kaldığı kabul edilmiştir. Şekil 4.9’da ve Şekil 4.10’da gösterilen alaşımın ve çeliğin idealleştirilmiş gerilme-şekil değiştirme diyagramlarına göre elde edilen moment-dönme grafikleri Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’de gösterilmiştir. Şekil 4.13’te de incelenen birleşim ve birleşime ait kesitler görülmektedir. 0.3m uzunluğundaki parça, alaşım ve çelik kullanılarak iki çözüm yapılmış ve iki çözüm için malzemelerin enerji yoğunlaştırma kapasiteleri karşılaştırılmıştır. İlk çözümde, alaşıma ait moment-dönme grafiğinde gösterilen 3 noktasına kadar yükleme yapılmış, daha sonra da yükleme boşaltılarak davranış sergilenmiş ve çözüm sonunda alaşıma ait yatay yük-yerdeğiştirme diyagramı oluşturularak alaşımın enerji yutma kapasitesi belirlenmiştir. Diyagramda görülen 7 farklı eğim için, 7 farklı eğilme rijitliği belirlenmiştir, Şekil 4.11. 3 nolu noktadan 4 nolu noktaya inişte EI_{a4} eğilme rijitliği grafikte sonsuz gözüktüğü için bu rijitliğe çok yüksek bir değer verilerek bu davranış yakalanmıştır.



Şekil 4.11 : Cu-Zn-Sn alaşımına ait moment-dönme grafiği

Şekil 4.11’deki grafikten elde edilen eğilme rijitlikleri değerleri aşağıdaki gibidir:

$$EI_{a_1} = 3750 \text{ kNm}^2$$

$$EI_{a_2} = 464.56 \text{ kNm}^2$$

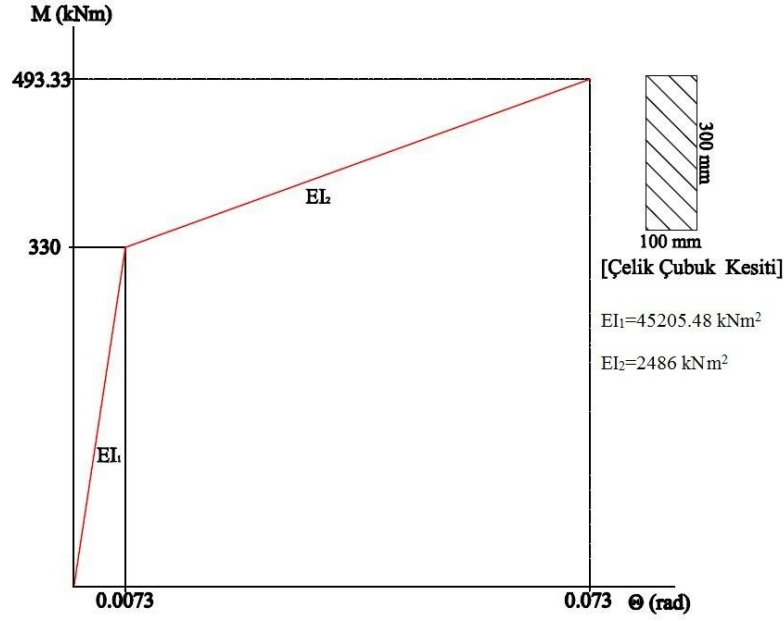
$$EI_{a_3} = 294.75 \text{ kNm}^2$$

$$EI_{a_4} = 1000000 \text{ kNm}^2$$

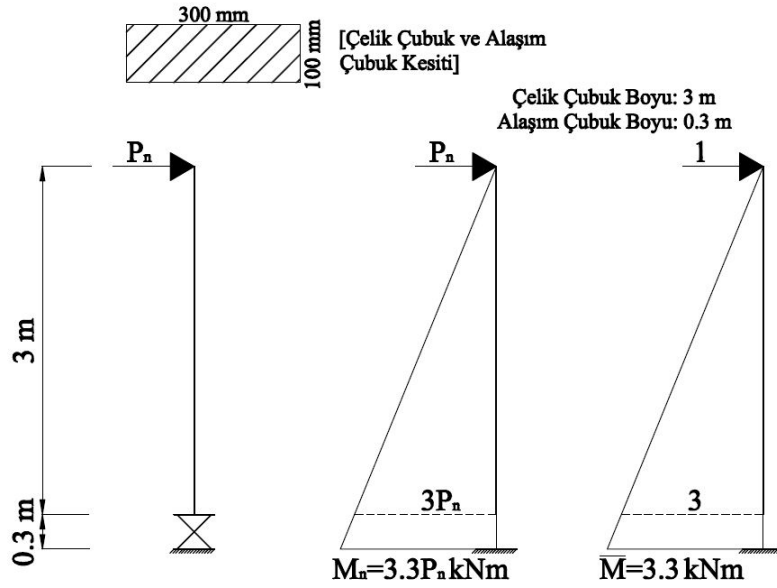
$$EI_{a_5} = 480.625 \text{ kNm}^2$$

$$EI_{a_6} = 389.85 \text{ kNm}^2$$

$$EI_{a_7} = 2650 \text{ kNm}^2$$



Şekil 4.12 : S220 çeliğine ait moment-dönme grafiği



Şekil 4.13 : İncelenecek olan birleşimin genel özellikleri ile P_n ve birim yükleme altındaki moment diyagramları

Çözüm için virtüel iş teoremi ile elde edilen genel denklem 4.1'deki gibidir:

$$\delta_n = \int \overline{MM} \frac{ds}{EI} = \int_0^{0.3} \overline{MM} \frac{ds}{E_a I} + \int_{0.3}^{3.3} \overline{MM} \frac{ds}{E_\varphi I} \quad (4.1)$$

$$\delta_n = \frac{1}{E_\varphi I} \times \frac{1}{3} \times 3P_n \times 3 \times 3 + \frac{1}{E_a I} \times \frac{1}{6} \times 0.3 [2 \times 3.3P_n \times 3.3 + 3.3P_n \times 3 + 3P_n \times 3.3 + 2 \times 3P_n \times 3]$$

$$\delta_n = P_n \times \left[\frac{9}{EI_\varphi} + \frac{2.979}{EI_a} \right]$$

Çözümlerde alayım için elde edilmiş moment-dönme grafiğinde belirtilen noktalar için adım adım çözüm yapılarak yatay yük-yerdeğıştirme ilişkisi belirlenmiştir.

1. adımda momentin 225 kNm olduğu durum için çözüm yapılmıştır.

$$3.3P = M = 225\text{kNm} \quad P_1 = 68.18\text{kN} \quad 3P_1 = 204.54\text{kN}$$

$$\delta_n = P_n \times \left[\frac{9}{EI_c} + \frac{2.979}{EI_a} \right] \quad \delta_1 = 68.18 \times \left[\frac{9}{45205.48} + \frac{2.979}{3750} \right] \quad \delta_1 = 0.068\text{m}$$

1. adım sonunda elde edilen moment ve yer değıştirme değeri aşağıdaki gibidir:

$$\delta_{T_1} = \delta_1 = 0.068\text{m} \quad P_{T_1} = P_1 = 68.18\text{kN}$$

2. adımda toplam momentin 382.95 kNm olduğu durum için çözüm yapılmıştır.

$$3.3P = M = 382.95\text{kNm} \quad P_2 = 47.86\text{kN} \quad 3P_2 = 143.58\text{kN}$$

$$\delta_n = P_n \times \left[\frac{9}{EI_c} + \frac{2.979}{EI_a} \right] \quad \delta_2 = 47.86 \times \left[\frac{9}{45205.48} + \frac{2.979}{464.56} \right] \quad \delta_2 = 0.316\text{m}$$

2. adım sonunda elde edilen moment ve yer değıştirme değeri aşağıda verilmiştir.

$$\delta_{T_2} = \delta_1 + \delta_2 = 0.384\text{m} \quad P_{T_2} = P_1 + P_2 = 116.04\text{kN}$$

3. adımda toplam momentin 406.53 kNm olduğu durum için çözüm yapılmıştır.

$$3.3P = M = 406.53\text{kNm} \quad P_3 = 7.15\text{kN} \quad 3P_3 = 21.45\text{kN}$$

$$\delta_n = P_n \times \left[\frac{9}{EI_c} + \frac{2.979}{EI_a} \right] \quad \delta_3 = 7.15 \times \left[\frac{9}{45205.48} + \frac{2.979}{294.75} \right] \quad \delta_3 = 0.074\text{m}$$

3. adım sonunda elde edilen moment ve yer değıştirme değeri aşağıda verilmiştir.

$$\delta_{T_3} = \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 = 0.458\text{m} \quad P_{T_3} = P_1 + P_2 + P_3 = 123.19\text{kN}$$

4. adımda, aynı yer değıştirmede oluşan moment kaybının olduğu kısımda, toplam momentin 330.02 kNm olduğu durum için çözüm yapılmıştır.

$$3.3P = M = 330.02\text{kNm} \quad P_4 = 32.12\text{kN} \quad 3P_4 = 96.36\text{kN}$$

$$\delta_n = P_n \times \left[\frac{9}{EI_c} + \frac{2.979}{EI_a} \right] \quad \delta_4 = 32.12 \times \left[\frac{9}{45205.48} + \frac{2.979}{1000000} \right] \quad \delta_4 = 0.006\text{m}$$

4. adım sonunda elde edilen moment ve yer değıştirme değeri aşağıda verilmiştir.

$$\delta_{T_4} = \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 - \delta_4 = 0.452\text{m} \quad P_{T_4} = P_1 + P_2 + P_3 - P_4 = 91.07\text{kN}$$

5. adımda toplam momentin 291.55 kN olduğu durum için çözümlenmiştir.

$$3.3P = M = 38.47\text{kNm} \quad P_5 = 11.66\text{kN} \quad 3P_5 = 34.97\text{kN}$$

$$\delta_n = P_n \times \left[\frac{9}{EI_\zeta} + \frac{2.979}{EI_a} \right] \quad \delta_5 = 32.12 \times \left[\frac{9}{45205.48} + \frac{2.979}{480.625} \right] \quad \delta_5 = 0.074\text{m}$$

5. adım sonunda elde edilen moment ve yer değıştirme değeri aşağıda verilmiştir.

$$\delta_{T_5} = \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 - \delta_4 - \delta_5 = 0.378\text{m} \quad P_{T_5} = P_1 + P_2 + P_3 - P_4 - P_5 = 79.41\text{kN}$$

6. adımda toplam momentin 159 kN olduğu durum için çözümlenmiştir.

$$3.3P = M = 132.55\text{kNm} \quad P_6 = 40.17\text{kN} \quad 3P_6 = 120.51\text{kN}$$

$$\delta_n = P_n \times \left[\frac{9}{EI_\zeta} + \frac{2.979}{EI_a} \right] \quad \delta_6 = 40.17 \times \left[\frac{9}{45205.48} + \frac{2.979}{389.85} \right] \quad \delta_6 = 0.314\text{m}$$

6. adım sonunda elde edilen moment ve yer değıştirme değeri aşağıdaki gibidir:

$$\delta_{T_6} = \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 - \delta_4 - \delta_5 - \delta_6 = 0.064\text{m} \quad P_{T_6} = P_1 + P_2 + P_3 - P_4 - P_5 - P_6 = 39.24\text{kN}$$

7. ve son adımda toplam momentin 0 kN olduğu, oluşan Şekil değıştirmelerin geri kazanıldığı durum için çözümlenmiştir.

$$3.3P = M = 159\text{kNm} \quad P_7 = 48.18\text{kN} \quad 3P_7 = 144.54\text{kN}$$

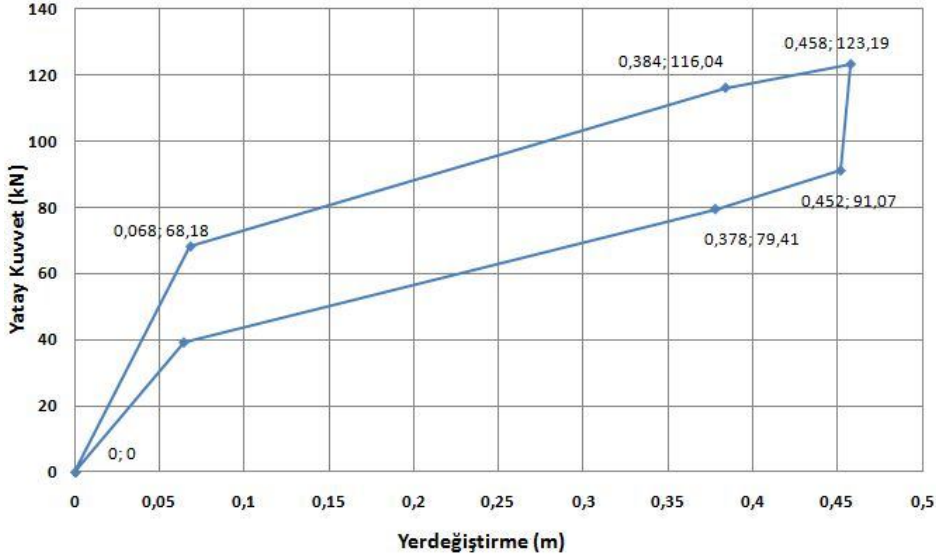
$$\delta_n = P_n \times \left[\frac{9}{EI_\zeta} + \frac{2.979}{EI_a} \right] \quad \delta_7 = 48.18 \times \left[\frac{9}{45205.48} + \frac{2.979}{2650} \right] \quad \delta_7 = 0.064\text{m}$$

7. adım sonunda elde edilen moment ve yer değıştirme değeri aşağıdaki gibidir:

$$\delta_{T_7} = \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 - \delta_4 - \delta_5 - \delta_6 - \delta_7 = 0.0\text{m}$$

$$P_{T_7} = P_1 + P_2 + P_3 - P_4 - P_5 - P_6 - P_7 = -8.9\text{kN} \cong 0.0\text{kN}$$

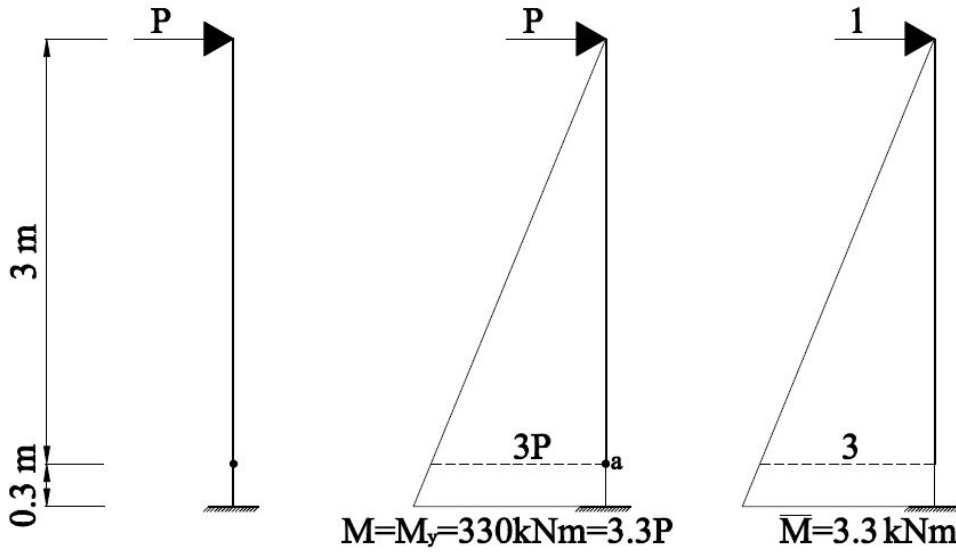
Çalışma sonucu Cu-Zn-Sn alaşımına ait yatay kuvvet-yerdeğiştirme grafiği Şekil 4.14'te verilmiştir. Bu yükleme ve yüklemeyi boşaltma sırasında alaşım redörü, yaptığı şekil değiştirmelerin tamamını geri kazanmış, toplamda da 13.44 kNm enerji yoğaltmıştır.



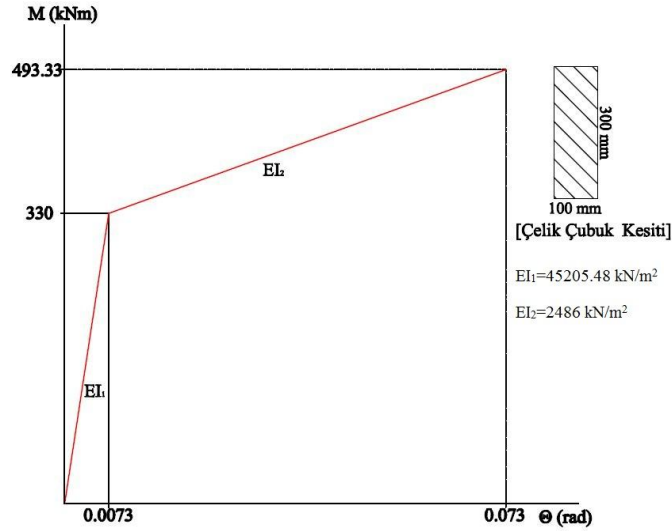
Şekil 4.14 : Alaşım çubuğa ait yatay kuvvet-yerdeğiştirme grafiği

2. çözümde çelik ile alaşımın enerji yutma kapasitesi miktarlarını karşılaştırmak için alaşım çubuk yerine çelik çubuk konarak plastikleşene kadar yükleme yapılmıştır.

1. durumda maksimum moment akma momentine olacak şekilde hesap yapılmış ve yatay kuvvet ile yer değıştirme değeri elde edilmiştir.



Şekil 4.15 : Sistemin P yüklemesi ve birim yükleme altında moment grafiği



Şekil 4.16 : Çelik çubuğa ait moment-dönme grafiği ve kullanılacak değerler

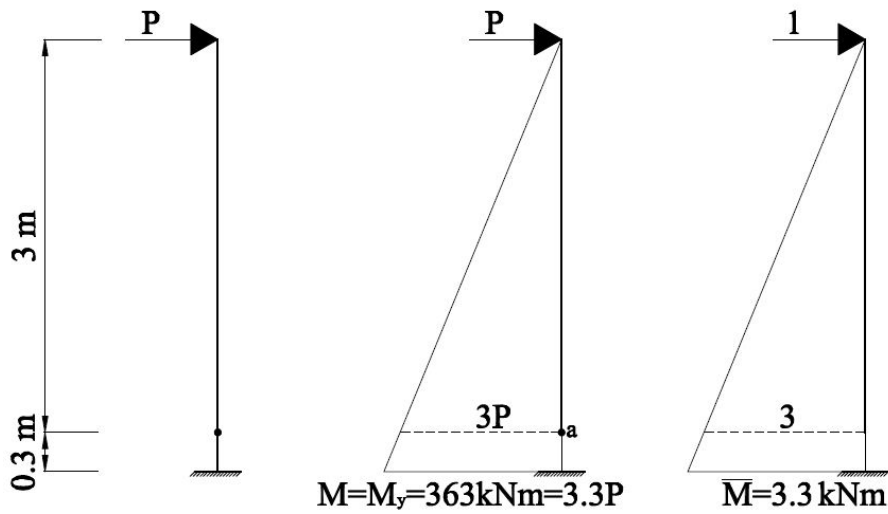
$$M_y = 330 \text{ kNm} = 3.3P \quad P_1 = 100 \text{ kN} \quad M_a = 300 \text{ kN} < M_y$$

Bu durumda iki çubukta elastik sınırlar içindedir:

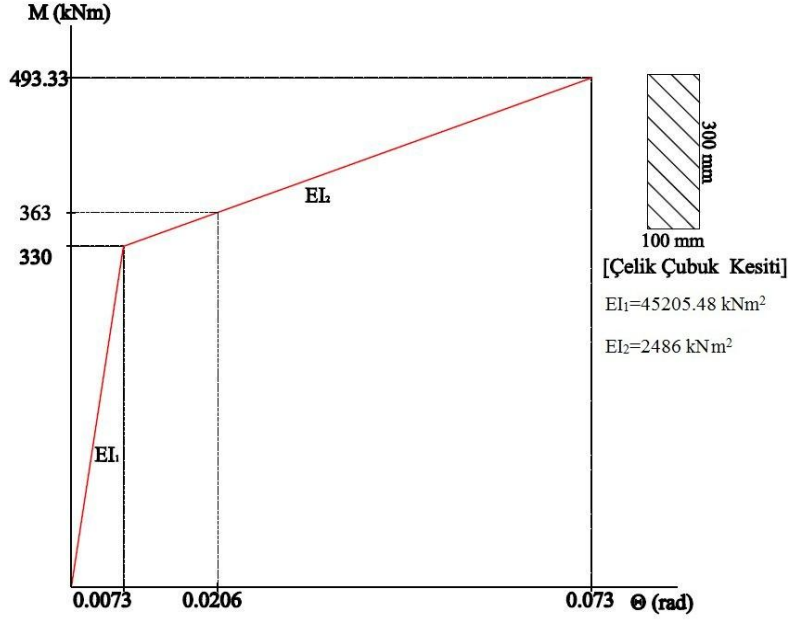
$$\delta_1 = \int_0^{3.3} \overline{MM} \frac{ds}{EI} \quad \delta_1 = \frac{1}{EI} \left[\frac{1}{3} \times 3.3 \times 3.3 \times 330 \right] \quad \delta_1 = 0.026 \text{ m}$$

$$P_1 = 100 \text{ kN} \quad \delta_1 = 0.026 \text{ m}$$

2. durumda a noktasındaki moment, akma momenti olacak şekilde hesap yapılarak 0.3 m'lik çelikte plastik davranış oluşturularak yatay kuvvet ile yer değiştirme değerleri elde edilmiştir.



Şekil 4.17 : $M_a = M_y$ için P yüklemesi ve birim yükleme altında moment grafiği



Şekil 4.18 : Çelik çubuğa ait moment-dönme grafiği ve kullanılacak değerler

$$M_y = 3P_2 \quad P_2 = 110\text{kN}$$

Denklem 4.1 kullanılarak elde edilen çözüm aşağıdaki gibidir:

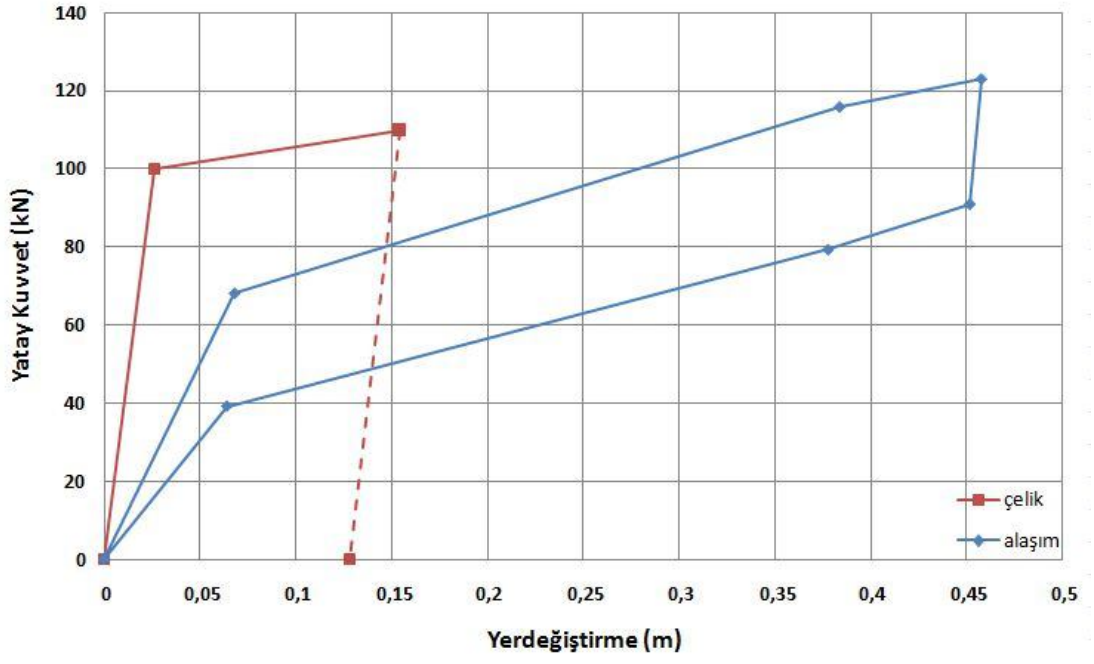
$$\delta_2 = \int_0^{3.3} \overline{MM} \frac{ds}{EI} = \int_0^{0.3} \overline{MM} \frac{ds}{(EI)_2} + \int_{0.3}^{3.3} \overline{MM} \frac{ds}{(EI)_1}$$

$$\delta_2 = \frac{1}{(EI)_2} \times \frac{1}{6} \times 0.3 [2 \times 363 \times 3.3 + 363 \times 3 + 330 \times 3.3 + 2 \times 330 \times 3] + \frac{1}{(EI)_1} \times \frac{1}{3} \times 330 \times 3 \times 3$$

$$\delta_2 = 0.154\text{m}$$

$$P_2 = 110\text{kN} \quad \delta_2 = 0.154\text{m}$$

Yapılan çözüm sonucunda çeliğin toplamda 13.31kNm enerji yoğalttığı görülmüştür. Çelik ve alaşıma ait kuvvet-yerdeğiştirme diyagramları Şekil 4.19'da karşılaştırılmıştır. Burada alaşımın yaptığı yerdeğiştirme miktarının oldukça yüksek olduğu görülmektedir. İki malzemenin de hemen hemen aynı enerjiyi yoğaltmasına rağmen alaşımın yaptığı tüm şekil değiştirmeleri geri kazandığı görülmüştür.



Şekil 4.19 : Çelik ve alaşıma ait diyagramların karşılaştırılması

5. 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 prefabrik kolon-kiriş birleşim bölgesi için 4 deney ve kuramsal çözümler gerçekleştirilmiştir. Şekil bellek etkisi ve süper elastik davranış terimleri açıklanmış, 3 örnek ile şekil bellekli alaşımların davranışları incelenmiş, örneklerden biri seçilerek birleşimdeki davranışı kuramsal çözümler gerçekleştirilerek irdelenmiştir. Yapılan deneysel ve kuramsal çalışmalar altında elde edilen genel sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Numune üretiminde kullanılan betonlar ve beton çelikleri için öngörülen dayanımlar gerçekleşmiştir.
- Tersinir-tekrarlı yükler etkisi altındaki numunelerin, tek yönlü artan yükler etkisi altındaki numunelere göre daha düşük performans sergilediği görülmüştür. Bu da bir tasarımda oluşturulan birleşim detaylarının, tersinir-tekrarlı yükler etkisi altındaki davranışının da incelenmesi gerektiğini göstermektedir.
- 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 çok yakın olduğu görülmüştür.
- Döşemenin basınçta kaldığı yükleme yönünde numune davranışının iyileştirilmesi için taşıyıcı kiriş alt donatı oranının artırılması önerilmektedir.
- Şekil bellekli alaşımlar, özel üretilecek kolon-kiriş birleşim bölgelerinde ve yapı temellerinde deprem izolasyon malzemesi olarak kullanılabilir.
- Şekil bellekli alaşımların süper elastik davranış göstermesinin sıcaklık ve alaşımı oluşturan element miktarına bağlı olduğu, ayrıca şekil bellekli alaşımların haddeleme gibi üretim aşamalarının, süper elastik davranış etkisi

ve bu davranışa bağlı olarak enerji yoğaltma kapasitesi üzerinde etkisi olduğu bilinmektedir. Bu bilgiler eşliğinde seğilmiş alaşım orneğiyle yapılan kuramsal çalışma sonucunda, alaşım kullanılarak oluşturulan birleşimin, elik birleşime yakın derecede enerji yoğalttığı, ancak bu enerji yoğaltımı sonucu çelikte kalıcı Şekil değiştirmeler oluşmasına rağmen alaşımın tüm Şekil değiştirmelerini topladığı görülmüştür.

KAYNAKLAR

- [1] **Hasol, D., 1979**, Ansiklopedik Mimarlık Sözlüğü. YEM Yayınları 5. Baskı. 500 s.
- [2] **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.
- [3] **DBYBHY, 2007**, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara
- [4] **Aldemir, Ü., Aydın, E., 2005**, “Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımında Yeni Yaklaşımlar”, *TMH*, 435/1: 81-89.
- [5] **Komodromos, P., 2000**, “Seismic Isolation For Earthquake Resistant Structures”, WIT Press, Southampton, Boston.
- [6] **Mirkelam, Z. A., Derdiman, M. K., 2007**, Kauçuk İzolatör Kullanılarak Binaların Depremsel Performansının Geliştirilmesi, Fakülte Kitabevi, Isparta.
- [7] **Ersoy, U.**, “Prefabrike Yapıların Deprem Etkileri Altında Davranışı”, *Prefabrike İnşaat Teknolojileri Sempozyumu*, 23-26 Haziran 1997.
- [8] **Ertaş, O. , Özden, Ş., 2007**, “Prefabrik Yapılarda Moment Aktarabilen Sünek Kolon-Kiriş Birleşimleri”, *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, 16-20 Ekim 2007, İstanbul
- [9] **Toptaş, E., Akkuş, N., 2007**, “Şekil Hafızalı Alaşım ve Endüstriyel Uygulamaları”, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, s: 15-22.
- [10] **Baksan B., Gürler, R., 2006**, “Bakır Esaslı Şekil Bellekli Alaşımın Üretimi ve Çekme Deneyi İle Karakterizasyonu”, *SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 10. Cilt, s: 28-36.
- [11] **Otsuka, K., Wayman, C., M., 1998**, Shape Memory Materials, Cambridge University Press, New York.
- [12] **Yüksel, E., 1998**, “Bazı Düzensizlikleri İçeren Üç Boyutlu Büyük Yapı Sistemlerinin Doğrusal Olmayan Çözümlemesi”, *Doktora Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [13] Materials Research Science and Engineering Center on Nanostructured Interfaces, University of Wisconsin-Madison, Eğitici Notları, <http://mrsec.wisc.edu/Edetc/modules/HighSchool/memory/Investigaton2-Teacher.pdf>

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Aytaç ŞAHİN
Doğum Yeri ve Tarihi: TRABZON 17/09/1987
E-Posta: sahinaytac@windowlive.com
Lisans Üniversitesi: Balıkesir Üniversitesi

