

**ARD-GERMELİ KİRİŞ-KOLON BİRLEŞİMİ  
DENEYSEL İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Müh. Murat AKTAŞ**

**501031222**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 08 Mayıs 2006  
Tezin Savunulduğu Tarih : 12 Haziran 2006**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Hasan BODUROĞLU (İ.T.Ü.)**

**Diğer Jüri Üyeleri Prof. Dr. Turgut KOCATÜRK (Y.T.Ü.)**

**Yrd. Doç. Dr. Pınar ÖZDEMİR (İ.T.Ü.)**

**HAZİRAN 2006**

## ÖNSÖZ

Bu tez çerçevesinde, ard-germeli ön üretimli kolon-kiriş birleşimleri ile klasik yekpare kolon-kiriş birleşimleri laboratuvar ortamında denenmiştir. Ard-germeli ön üretimli kolon kiriş birleşimli bağlantı tipinin, yüksek deprem riski bulunan bölgelerde kullanılmasının uygun olup olmadığının belirlenmesi amaçlanmıştır.

Tez çalışmam sırasında benden yardımlarını esirgemeyen değerli hocam ve danışmanım Sayın Prof. Dr. Hasan BODUROĞLU'na teşekkür ederim. Ayrıca tez çalışmam sırasında beni yüreklendiren, destekleyen ve boş zaman sağlayarak çalışmanın gerçekleşmesinde büyük emeği bulunan Yrd. Doç. Dr. Pınar Özdemir'e de teşekkür ederim. Numunelerin yapımında emeği geçen Semra Şirin ile İ.T.Ü İnşaat Fakültesi Betonarme Laboratuvarı teknik ekibine ve özellikle projeyi destekleyen ve aynı zamanda numuneleri tedarik eden ALACALI İnşaat San. ve Tic. Aş. ve Birol Doyranlı'ya teşekkürlerimi sunarım.

HAZİRAN, 2006

Murat AKTAŞ

## İÇİNDEKİLER

<b>KISALTMALAR</b> .....	İV
<b>TABLO LİSTESİ</b> .....	V
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	VI
<b>SEMBOL LİSTESİ</b> .....	VIII
<b>ÖZET</b> .....	X
<b>SUMMARY</b> .....	XI
<b>1. GİRİŞ</b> .....	1
<b>2. ARD-GERMELİ BETONARME YAPILAR</b> .....	3
<b>2.1. Ard-germeli Betonarme Yapı Sistemleri</b>	3
<b>2.2. Ön üretimli Ard-germeli Sistemin Avantajları</b>	3
<b>2.3. Neden Yekpare ve Karma Sistemleri?</b>	6
<b>3. DENEYSEL PROGRAM</b> .....	8
<b>3.1. Deney Programı Numunelerin Hazırlanması</b>	8
3.1.1. Yekpare Numunenin Deney için Hazırlanması	8
3.1.2. Karma Numunenin Deney için Hazırlanması	12
<b>3.2. Deney Düzeneği</b>	19
<b>3.3. Yük Hücresi</b>	23
3.3.1. Üretim Amacı ve Çalışma Prensibi	23
3.3.2. Tasarım ve Kullanım Şekli	23
3.3.3. Ölçümleme Testleri	27
<b>3.4. Numune Özellikleri</b>	27
3.4.1. Malzeme Özellikleri	27
<b>3.5. Betonarme Hesaplar</b>	29
3.5.1. Yekpare Numune Hesabı	30
3.5.2. Ard-germeli Birleşim Hesabı	33
<b>4. DENEY SONUÇLARI</b> .....	39
<b>4.1. Deney Gözlemleri</b>	39
<b>5. SONUÇLAR</b> .....	56
<b>KAYNAKLAR</b> .....	58
<b>EKLER</b> .....	59
<b>ÖZGEÇMİŞ</b> .....	68

## **KISALTMALAR**

<b>RC1</b>	: Betonarme beton 1
<b>RC2</b>	: Betonarme beton 2
<b>PC1</b>	: Ard gerilmeli beton 1
<b>PC2</b>	: Ard gerilmeli beton 2
<b>TS</b>	: Türk Standartları
<b>NIST</b>	: Ulusal Teknoloji ve Standartlar Enstitüsü
<b>AASHTO</b>	: Amerikan Devlet Otoyolları ve Ulaştırma Memurları Derneği
<b>LVDT</b>	: Doğrusal Değişken Yer değiştirme Ölçer

## TABLO LİSTESİ

### Sayfa No

<b>Tablo 2.1</b> : Ön-gerilme metodunda hesaplarda göz önüne alınan kayıplar...	5
<b>Tablo 2.2</b> : Ard-çekme metodunda hesaplarda göz önüne alınan kayıplar.....	6
<b>Tablo 5.1</b> : Deney sonuçlarının karşılaştırılması. ....	57

## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa No

Şekil 2-1 : Eğilme sırasında çekme kuvvetleri ve kirişin durumu.....	3
Şekil 3-1 : Yekpare numune donatı düzeni .....	9
Şekil 3-2 : Yekpare numune donatısı.....	9
Şekil 3-3 : Standart gerilme ölçer donatı üzerine monte edilmiş. ....	10
Şekil 3-4 : Yekpare numune gerilimölçerlerin gösterimi.....	10
Şekil 3-5 : Yekpare numune .....	11
Şekil 3-6 : İtme plakası .....	12
Şekil 3-7 : Karma numune donatı düzeni .....	13
Şekil 3-8 : Karma numune donatısı .....	13
Şekil 3-9 : Akma ötesi okuma yapabilen gerilme ölçerler .....	14
Şekil 3-10 : Karma numune gerilme ölçerlerin gösterimi.....	15
Şekil 3-11 : Beton küp numunesi basınç testi .....	16
Şekil 3-12 : Ard çekme işlemi tamamlanmış kolondaki çelik halatlar .....	18
Şekil 3-13 : Karma numunesi .....	18
Şekil 3-14 : Deney Düzeneği.....	19
Şekil 3-15 : Numune modeli .....	19
Şekil 3-16 : Yekpare numune LVDT yerleşimi .....	20
Şekil 3-17 : Yekpare Numune LVDT yerleşimi.....	22
Şekil 3-18 : Karma numune LVDT yerleşimi .....	22
Şekil 3-19 : Yük ölçer bağlantı gösterimi .....	23
Şekil 3-20 : Çelik gerilme şekil değiştirme.....	24
Şekil 3-21 : Beton yüzey aparatı-yük hücre-ara birleşim aparatı-kovan bağlantısı .	25
Şekil 3-22 : Yük hücresi.....	25
Şekil 3-23 : Beton yüzey plakası / Yük hücresi arası birleşim aparatı .....	26
Şekil 3-24 : Kovan / Yük hücresi arası birleşim aparatı .....	26
Şekil 3-25 : Yük hücresi.....	27
Şekil 3-26 : Yük ölçer ölçümlene .....	27
Şekil 3-27 : Kayma eksenini doğrultularında kırılmış beton test numunesi .....	28
Şekil 3-28 : 0,6' halat yük şekil değiştirme eğrisi.....	29
Şekil 3-29 : Numune çubuk modeli .....	29
Şekil 3-30 : Yekpare numune kolon kiriş etkileşimi kuvvetler dengesi. ....	30
Şekil 3-31 : Betonarme Kesite ait etkileşim diyagramı .....	33
Şekil 3-32 : Sisteme ön gerilme verildikten sonraki kesitteki gerilme dağılımı .....	33
Şekil 3-33 : Kesit ucunda basınçtan çekmeye dönülen durumdaki gerilme yayılımı .	34
Şekil 3-34 : Tarafsız eksenin halat 1 üzeri hali gerilme yayılımı .....	34
Şekil 3-35 : Tarafsız eksenin halat 2 üzeri durumdaki gerilme yayılımı .....	35
Şekil 3-36 : Kesitte beton basınç gerilmesi % 0,3 durumdaki gerilme yayılımı .....	35
Şekil 3-37 : Karma numune kolon kiriş etkileşimi kuvvetler dengesi.....	36
Şekil 3-38 : Karma numune kolon kiriş etkileşimi kuvvetler dengesi itme durumu. .	37
Şekil 4-1 : RC #1 yükleme durumu .....	39

Şekil 4-2 : RC #2 yükleme durumu .....	40
Şekil 4-3 : PC#1 yükleme durumu.....	40
Şekil 4-4 : PC#2 yükleme durumu.....	41
Şekil 4-5 : RC #1 moment – dönme eğrisi.....	41
Şekil 4-6 : RC #2 moment – dönme eğrisi.....	42
Şekil 4-7 : PC #1 moment – dönme eğrisi .....	42
Şekil 4-8 : PC #2 moment – dönme eğrisi .....	43
Şekil 4-9 : RC #1 Yanal kuvvet – Deplasman grafiği .....	43
Şekil 4-10 : RC #2 Yanal kuvvet – Deplasman grafiği .....	44
Şekil 4-11 : PC #1 Yanal kuvvet – Deplasman grafiği.....	45
Şekil 4-12 : PC #2 Yanal kuvvet – Deplasman grafiği.....	45
Şekil 4-13 : RC #1 rijitlik.....	46
Şekil 4-14 : RC #2 rijitlik.....	47
Şekil 4-15 : PC #1 rijitlik .....	48
Şekil 4-16 : PC#2 rijitlik .....	49
Şekil 4-17 : RC #1 süneklik .....	50
Şekil 4-18 : RC #2 süneklik .....	50
Şekil 4-19 : PC#1 süneklik.....	51
Şekil 4-20 : PC#2 süneklik.....	52
Şekil 4-21 : RC 1 Numunesi döngüsel yükleme şeması enerji yutma kapasiteleri ...	52
Şekil 4-22 : RC 2 Numunesi döngüsel yükleme şeması enerji yutma kapasiteleri ...	53
Şekil 4-23 : PC 1 Numunesi döngüsel yükleme şeması enerji yutma kapasiteleri ...	53
Şekil 4-24 : PC #2 Numunesi döngüsel yükleme şeması enerji yutma kapasiteleri..	54
Şekil 4-25 : PC #2 numunesi halat yükünün uygulanan moment ile göre değişimi..	54

## SEMBOL LİSTESİ

$A_h$	: Halat kesit alanı
$A_s$	: Basınç bölgesi donatı alanı
$A_{s'}$	: Çekme bölgesi donatı alanı
$b_w$	: Kesit genişliği
$d$	: Kesit faydalı yüksekliği
$d'$	: Pas payı mesafesi
$d$	: Faydalı kesit yüksekliği
$E$	: Elastisite modülü
$E_c$	: Beton elastisite modülü
$\epsilon_c$	: Beton birim boy değişimi
$\epsilon_{ci}$	: Yükleme durumuna göre betondaki maksimum deformasyon
$\epsilon_{cu}$	: Beton maksimum boy değişimi
$E_h$	: Ard-germe halatı elastisite modülü
$\epsilon_{h1}$	: 1 no'lu halat üzerindeki deformasyon
$\epsilon_{h2}$	: 2 no'lu halat üzerindeki deformasyon
$E_s$	: Donatı elastisite modülü
$\epsilon_{s'}$	: Basınç donatısı birim boy değişimi
$\epsilon_s$	: Donatı birim boy değişimi
$F$	: Yük hücresi kesit alanı
$F_c$	: Beton basınç kuvveti
$f_{ck}$	: Beton karakteristik basınç dayanımı
$F_{h0}$	: Halat ard çekme kuvveti
$F_{h1}$	: 1 no'lu halat kuvveti
$F_{h2}$	: 2 no'lu halat kuvveti
$F_{ho}$	: Ard-germe halatı ard-germe yükü
$F_{levha}$	: Levha maksimum yük kapasitesi
$F_s$	: Çekme donatısının taşıdığı yük
$F_{s'}$	: Basınç donatısının taşıdığı yük
$F_{yk}$	: Donatı akma dayanımı
$h$	: Kesit yüksekliği
$H$	: Yanal kuvvet
$I_x$	: x-x eksenine atalet momenti

$i_x$	: x eksenini atalet yarıçapı
$I_y$	: y-y eksenini atalet momenti
$k$	: Kesitinde dikdörtgene dönüştürülmüş basınç gerilme bloğu derinliği
$K$	: Burkulma şekli katsayısı
$L$	: Numune giriş uzunluğu
$\lambda$	: Burkulma katsayısı
$M$	: Moment
$N$	: Normal Kuvvet
$P$	: Yük hücresi tasarım yükü
$r_{dış}$	: Yük hücresi dış yarıçapı
$r_{iç}$	: Yük hücresi iç yarıçapı
$\sigma_{akma}$	: Yük hücresi akma gerilmesi
$\sigma_{elastik}$	: Yük hücresi elastik sınır gerilmesi
$S_k$	: Burkulma boyu
$\sigma_s$	: Donatı gerilmesi
$t_{levha\ min}$	: Minimum levha kalınlığı
$\tau_{em}$	: Kayma emniyet gerilmesi
$\omega$	: Burkulma hesap katsayısı
$X$	: Tarafsız eksen derinliği

## ÖZET

Bu çalışmada, yeni bir sistem olarak ard-germe çeliğinin beton dökümü sonrası gerilmesi ile elde edilen kolon kiriş birleşimi deneysel olarak incelenmiştir. Deprem etkinliği yüksek olan bölgelerde ön üretimli ve ön-germeli kolon kiriş birleşimleri yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Ard-germeli moment çerçevesinde ön üretimli betonarme kirişler, ön üretimli kolonlara ard-germe ile birleştirilmiştir. Kolon birleşim noktasında sürekli olup kiriş tek parça halindedir. Kolon ve kiriş elemanının bu şekilde birleştirilmesi ile oluşan çerçeve karma çerçeve olarak adlandırılır. Çünkü ard gerilme ve ön üretimli beton birlikte kullanılmaktadır ve ayrıca akmaya göre tasarlanmış normal betonarme donatısı ile elastik kalmak üzere tasarlanmış sınırlandırılmış ard-germe kabloları beraber kullanılmıştır. Ard-germe kabloları bir deprem sırasında elastik kalmak üzere tasarlanmışlardır. Sismik yükleme altında, bu özel karma moment çerçevesinin yekpare çerçeveden farklı davranması beklenmektedir. Çerçeve deformasyonlarının çoğu, ön üretimli kolon ve kirişin birleşimindeki açılıp kapanma noktalarında oluşur. Bu nedenle, depremden sonra oluşan hasar özellikle dolgu maddesi ile kolaylıkla tamir edilerek büyük bir sismik olay sırasında oluşan hasar sınırlandırılabilir.

Bu sistemin kabul edilebilir yer değiştirme sınırları içerisinde oldukça iyi deprem başarımı gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır. Ard-germeli sistem, geleneksel döküm sistemine kıyasla, taşıyıcı çerçeve sisteme daha yüksek bir başlangıç rijitliği sağlamıştır. Yapılan ilk çalışmalar bu yeni bağlantı tipinin, yüksek deprem aktivitesi olan bölgelerde güvenle kullanılabilceğini göstermektedir.

## **AN EXPERIMENTAL STUDY ON POST-TENSIONED BEAM - COLUMN CONNECTION**

### **SUMMARY**

This paper presents an experimental study on a new precast beam-column connection system by post-tensioning steel. Precast, prestressed concrete has the potential of being widely used in high seismic areas.

The post-tensioned moment frame uses precast RC beams that are post-tensioned precast RC columns. The columns are continuous through the joints and the beams each span a single bay. This type of connection of columns and beams called hybrid frame because it combines post-tensioned and precast concrete connection and because it combines the use of ordinary reinforcement that designed to yield with bonded post-tensioned tendons that are designed to remain elastic. The post tensioning tendons are bonded and designed to remain elastic during an earthquake. Under seismic loading, the special moment frames are expected to behave differently than monolithic frames. Most of the deformations of the frames occur from the opening and closing of the joint at the interface between the precast beam and the column. Consequently, damage during a major seismic event can be limited essentially to the joint filler material and be readily repaired after an earthquake.

It has been found that this system displays excellent seismic performance within the permissible displacement limits. The post-tensioning steel in the frame confers on the system a higher initial stiffness than would be the case either a conventional precast frame. The initial studies have been shown that this type of connection can be safely used in high seismic areas.

## 1. GİRİŞ

Basitçe anlatılmak istendiğinde ard-germe beton, tuğla ve diğer yapı elamanlarını güçlendirilme metodudur. Ard-germe bir ön-çekme verme metodudur.

Fabrika, depo gibi servis süresince elde edilecek ekonomik değer inşaat maliyetine oranının çok yüksek olduğu endüstri yapılarında, yerinde inşa edilen betonarme yapılar ve çelik yapılara kıyasla prefabrike yapıların daha çok tercih edildiği görülmektedir. Prefabrike yapılar, yerinde imal edilen yapılara oranla imalat hızı, fabrikada üretim avantajı, yapı elemanlarının kalitesi, hassas boyut ve rölatif maliyet gibi nedenlerle yapı kullanıcıları tarafından tercih edilmektedir [1].

Özellikle, çok katlı ön-üretimli yapıların şu an a kadar yapılmış deneysel çalışmalarda ve depremlerde göstermiş oldukları zayıf performansları [2], bu gibi yapıların tasarım ve detaylandırmasının sorgulanmasını zorunlu hale getirmiştir. Bu tip yapılarda oluşan hasarların başlıca nedeni kolon kiriş gibi ana taşıyıcı elemanların dayanım sınırlarının aşılması değildir. Çünkü fabrikada üretilen bu elemanlar çok iyi detaylandırılmakta ve üretilmektedir.

Bu konu ile ilgili olarak yapılan en kapsamlı çalışmalardan birisi ABD de NIST'te yürütülmektedir. Çalışmalar, aktif deprem bölgelerinde bu tür yapıların birleşimleri için rasyonel tasarım izleği oluşturulmasına veri sağlamak için başlatılmıştır. Bu çalışmaların sonucunda uygun tasarımlar elde edildiği rapor edilmiştir[3].

Bu tezin konusu olan deneylerde numuneler gerçek boyutlarının 1/3 boyutunda olmak üzere toplam dört adettir. Bu dört adet numunenin kirişlerin üzerinde döşemeyi temsil eden beton plaka ve ayrıca prefabrik elemanların kolonlarında kat seviyelerinde kısa konsollar bulunmaktadır. Deneyde kolonu temsil eden elemana, yapıda kolonlara gelen kat yüklerine benzer şekilde ard-germe kuvveti uygulanmıştır.

Hasarın boyutunu ve şeklini eleman birleşimlerinin performansı belirlemektedir. Bu nedenle prefabrik yapıların inşaat sektöründe kullanım alanlarının artması için yeni nesil kolon - kiriş birleşim detaylarının geliştirilmesi gerekmektedir. Prefabrik

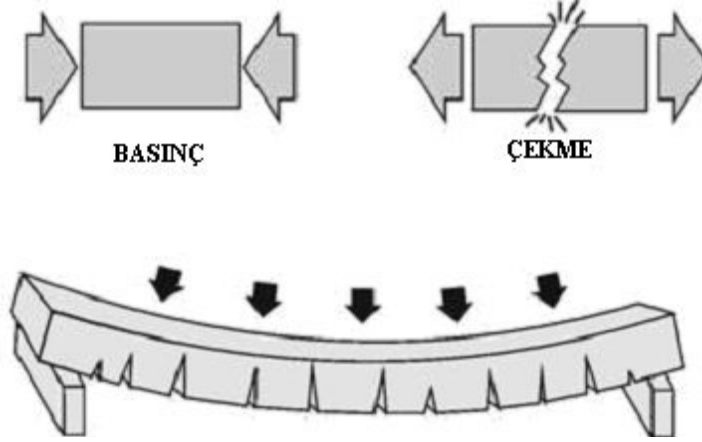
birleşimler yekpare birleşimlerle karşılaştırıldığında yekpare birleşimler kadar sünek davranış göstermezler. Bu nedenle prefabrik kolon kiriş elemanların birleşimlerinin geliştirilmesi için çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmaların sonuçları şu an için yeterli sayıda deneyle doğrulanamadığı için ülkelerin yapı standartlarına girememiştir. Fakat bu tür birleşimler şimdiye kadar yapılan testler sonucunda kesme kapasitesi, moment taşıma kapasitesi gibi ölçütler açısından başarılı sonuçlar vermektedirler [4].

Bu tezin konusu olan deneyde kullanılan bütün numuneler Tekirdağ Alacalı Prefabrike Elemanlar Üretim ve Montaj Tesislerinde hazırlanmıştır. Laboratuvardaki deney düzeneği ile uyumlu olarak 1/3 ölçeğinde numunelerin betonarme boyutları tayin edilmiş ve genel olarak kullanılan servis yüklerine orantılı olarak donatı detayları belirlenmiştir. Karşılaştırılacak numunelerde kullanılan boyutların ve donatıların benzer ve ilgili şartnamelerde belirtilen kurallara uygun olması açısından, servis yüklerinin, gerekli eleman boyutlarının belirlenmesi ve donatıların hesabı ve seçimi bu çalışma kapsamında değildir.

## 2. ARD-GERMELİ BETONARME YAPILAR

### 2.1.Ard-germeli Betonarme Yapı Sistemleri

Bilindiği üzere malzeme özellikleri olarak kıyaslandığında ağırlıklı olarak çelik hem basınca hem çekmeye, beton ise yalnız basınca çalışan bir malzemedir. Betonun çekmeye karşı dayanımı zayıftır. Kesite eksantrik veya konsantrik basınç kuvveti uygulamak sureti ile çekme gerilmeleri azaltılabilir veya ortadan kaldırılabilir. Böylece kesitin ilave moment taşıması için kapasite yaratılmış olur. İşte bu eksantrik kuvvetin elemanın beton imalatına göre sonra ya da önce uygulanma sırasına göre ard-gerilme veya ön-gerilme denir.



Şekil 2-1 : Eğilme sırasında çekme kuvvetleri ve kirişin durumu

### 2.2.Ön üretimli Ard-germeli Sistemin Avantajları

Ön üretimli ard-germeli sistemlerin başlıca avantajları:

- Klasik kolon kiriş birleşiminden elde edilen sismik performans seviyesi,
- Üretim kolaylığı
- Kolay bağlantı detayları
- Klasik kolon kiriş birleşimine yakın imalat maliyeti
- Sismik yüklere karşı yeterli derecede birleşim performansı elde edilmesi.
- Daha küçük kesit alanlı elemanlar ile daha geniş açıklıkların geçilebilmesi,

- Hacimsel daralmadan oluşan çatlakların germe ile azalması ve donatının daha iyi korunması.

Bu avantajların yanı sıra işlevsel olarak büyük açıklıklara ihtiyaç duyan ve ekonomi arayan sanayi tesislerinde ard gerilmeli / ön üretimli sistemler tercih edilmektedir. Ayrıca kısa sürede betonarme olarak fabrikada imal edilen ön üretimli kolonlar, kirişler, döşemeler vb, kuruluş yerine nakledilir ve montajı yapılır. Yapı iskeleti çok hızlı bir şekilde oluşturulabilmektedir. Bu sistemler önceden hazırlanmış soket temeller üzerine yerleştirilir. Ön-üretimli elemanlar arası bağlantı detayları belli standartta olduğu için montaj işlerinde büyük bir kolaylıkla gerçekleştirilir. Vinçler yardımı ile kaldırılan elemanlar dakikalar içerisinde yerlerine yerleştirilir.

Ön-üretimli ard-germeli sistemlerin diğer avantajları:

- Endüstrileşmiş üretim teknikleri sayesinde sadece ön üretimli eleman üreten işletmelerde büyük ekonomik avantajlar sağlamaktadır.
- Seri üretime uygun olduğu için yerinde imalata göre daha hızlı üretim imkânı sunmaktadır.
- Montaj çok kısa sürede gerçekleştiği için inşaat sahasında depolama problemleri ortadan kalkar,
- Yerinde imalatı zor olan yapısal formlar ve şekiller atölyelerde çok daha kolay ve ekonomik olarak yapılabilir.
- Yapı içi tesisat montajının hızlı ve kolay gerçekleşmesi için yapı elemanlarına montaj elemanları, kanallar vb. kolaylıkla eklenebilir.

### **2.3.Ön çekme Verme Metotları**

Basit olarak çelik halatlar üzerine uygulanan gerilmenin, dökülen betonun prizini almasından önce veya sonra uygulanması, metoda adını vermektedir. Prefabrike elemanlarda ön-çekme olarak adlandırılan uygulama ön-germe metodu ve ard-germe metodu olmak üzere iki şekilde yapılmaktadır,

#### **Ön-germe Metodu:**

Uygulama şekli: Prefabrike elemanlarda yaygın olarak tatbik edilen ön-çekme verme şeklidir. Üretilen numunenin donatısı oluşturulup özel hazırlanmış çelik kalıp içine yerleştirildikten sonra, ön-germe yükünün verileceği yüksek mukavemetli çelik halatlar kalıp içine istenilen formda olacak şekilde yerleştirilir. Yerleştirilen çelik

halatlar, hidrolik piston veya vinç yardımı ile projede öngörülen yük miktarı kadar çekilir, bu esnada torondaki uzama miktarı da ayrıca kontrol amaçlı kayıt edilir. Öngörülen miktar kadar çekilen toron iki ucundan kilitlenerek sabitlenir. Çelik halatlar çekili ve kilitli pozisyonda iken beton döküm esnasında beton küp numuneler alınarak beton dökümü tamamlanır. Alınan numunelerden istenilen mukavemetin sağlandığı görüldükten sonra Önerilme Metodu ile hazırlanmış numune şantiyede montaj için nakliyeye hazır duruma gelir.

**Tablo 2.1 : Ön-gerilme metodunda hesaplarda göz önüne alınan kayıplar**

ÖNGERİLME KAYIPLARI %	TS 3233	ACI 318-89	AASHTO	IS-1343
Büzülme Kaybı	4.50	3.23	3.44	4.49
Elastik Kısılma Kaybı	2.78	3.86	2.78	2.44
Sünme Kaybı	3.50	5.08	4.80	4.87
Gevşeme Kaybı	2.00	2.21	1.96	2.00
<b>Toplam Kayıp</b>	<b>12.78</b>	<b>14.38</b>	<b>12.98</b>	<b>13.80</b>

#### **Ard-germe Metodu:**

Uygulama şekli: Ön çekme metodundan farklı olarak ard çekme metodunda, donatısı hazırlanmış numune kalıp içerisine yerleştirildikten sonra çelik halatlar yerine içinden sonradan çelik halatların geçeceği spiral plastik borular yerleştirilir ve döküm esnasında beton küp numuneleri alınarak beton dökümü tamamlanır. Beton küp numunelerin basınç test sonuçlarına göre yeterli mukavemete ulaşmış olduğu görüldükten sonra kalıp içindeki plastik borular içerisinden hesaplanan çapta çelik halatlar geçirilir ve kitleme aparatları toron üzerine yerleştirilir. Numune içerisindeki plastik borular içerisinden geçirilen bu çelik halatlar hidrolik piston veya vinç yardımı ile projede öngörülen miktar kadar kademeli olarak çekilir, bu esnada torondaki uzama miktarı da ayrıca kontrol amaçlı kayıt edilir. Çelik halatların gerilme işlemi tamamlandıktan sonra kitleme aparatlarının işlevlerini yerine getirip getirmediikleri çelik halat üzerindeki toplam boy uzaması yaklaşık olarak kontrol edilir. Çelik halattaki toplam boy uzamasının hesaplanan sınırlar içerisinde kaldığının onayından sonra ard-germe metodu ile hazırlanmış numune şantiyede montaj için nakliyeye hazır duruma gelir.

**Tablo 2.2 :** Mevcut şartnamelere göre ardçekme metodunda hesaplarda göz önüne alınan kayıplar

ARDGERİLME KAYIPLARI %	TS 3233	ACI 318-89	AASHTO	IS-1343
Büzülme Kaybı	3.00	1.87	2.75	2.02
Elastik Kısılma Kaybı	1.39	1.63	1.39	1.22
Sünme Kaybı	3.50	3.10	4.81	3.90
Gevşeme Kaybı	2.00	2.25	1.18	3.00
Sünme ve ankraj kaybı	8.35	9.41	10.06	10.59
<b>Toplam Kayıp</b>	<b>18.24</b>	<b>18.26</b>	<b>20.19</b>	<b>20.73</b>

Ön-germe metodu ile ard-germe metodu arasındaki toplam gerilme kayıpları TS 3233, ACI 318-89, AASHTO, IS-1343 standartlarına belirtilen hesap kabullüleri yukarıdaki tabloda belirtilen yüzdeler dikkate alınarak karşılaştırıldığında, ön gerilme metodundaki toplam kayıpların ard-germe metodundaki toplam kayıplara göre % 30 daha az olduğu görülmektedir. Bu kayıp farkına rağmen ard-germe metodunun imalat açısından en büyük avantajı, ön-germe işlemini yapabilmek için fabrika ortamında büyük germe aparatlarına ihtiyaç duyulmaması ve ard çekme işlemi basitçe inşaat alanında yapılabilir. Ard-germe işlemini sahada yapabilmek, imalatçıya büyük avantajlar sağlamaktadır.

### **2.3. Neden Yekpare ve Karma Sistemleri?**

Bu deney çalışması, ard-germeli kolona ön üretimli kirişin ayrı ayrı imal edilerek ard-germe uygulamak sureti ile birleştirilmesi sonucu oluşan özel karma moment çerçevesinin taşıma gücü, dönme oranı, enerji yutumu ve sünekliği hakkında bilgilerin elde edilmesi sağlar. Bu tür çerçeveler yüksek sismik aktivite olan bölgelerde veya yüksek sismik dayanım performansı gerektiren şartların sağlanması açısından uygundur. Büyük bir depremden sonra bu moment çerçevesinden kolon kiriş bölgesinde minimum hasar alması ve ihmal edilebilir kalıcı yer değiştirme yapması beklenebilir. Bu tür karma sistemler alışılmış olan yekpare sistemler için geliştirilmiş olan standartlar ve şartnamelerde belirtilen şartları sağlamaz. Bu çerçeve sistemin kabul edilme şartı geçerli olan ilgili şartnamede belirtilen şartları sağlayan yekpare betonarme numuneden elde edilecek dayanım ve sağlamlığa eşit ya da daha fazla olduğunu deneysel ve analitik açıdan kanıtlanmasıdır. Yapılan deney çalışması bu çerçevelerin yekpare çerçevelere göre en azından eşit derecede

dayanıma ve sağlamlığa sahip olduğunun gösteriminde kullanılacak hesap verilerinin elde edilmesi amacı ile yapılmıştır.

Bu alışma kapsamında iki yekpare ve iki ard gerilmeli kolon kiriş birleşimi test edilmiştir. Bu dört numune boyut, malzeme ve donatıları bakımından benzerdir. Bu çalışmada yeni birleşim detayı olarak denenen ard-gerilmeli kolon kiriş birleşiminin belirtilen kıstasların sağlanması açısından gözlemler yapılmıştır.

### **3. DENEYSEL PROGRAM**

#### **3.1. Deneysel Program Numunelerin Hazırlanması**

Bu tezin konusu olan deneyde kullanılan bütün numuneler Tekirdağ Alacalı Prefabrikte Elemanlar Üretim ve Montaj Tesislerinde hazırlanmıştır. Laboratuvardaki deney düzeneği ile uyumlu olarak 1/3 ölçeğinde numunelerin betonarme boyutları tayin edilmiş ve genel olarak kullanılan servis yüklerine orantılı olarak donatı detayları belirlenmiştir.

##### **3.1.1. Yekpare Numunenin Deneysel İçin Hazırlanması**

Klasik kolon kiriş birleşimli numune için deneysel programı 5 aşamadan oluşmaktadır.

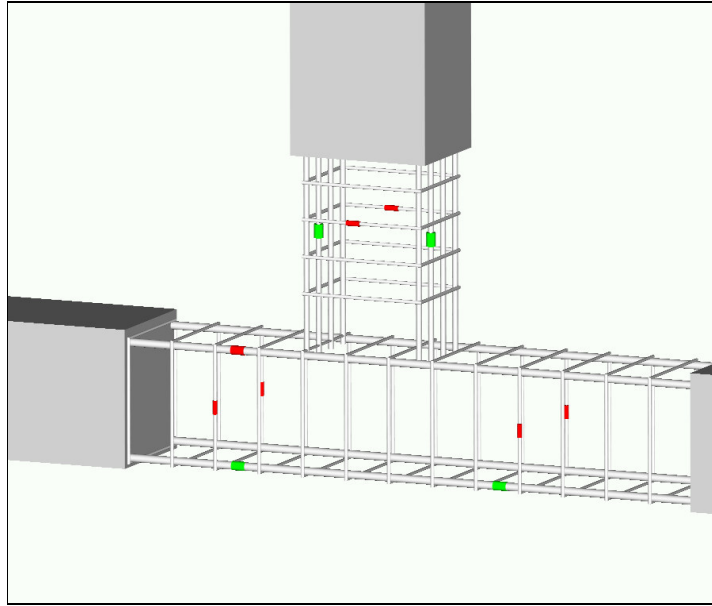
1. Klasik birleşimli betonarme deney elemanlarının fabrikada üretimi,
2. Klasik birleşimli elemanların deney alanına nakli,
3. Numunenin deney platformuna yerleştirilmesi,
4. Deneysel hazırlıklarının tamamlanması,
5. Tekrarlamalı tersinir yük uygulanması.





**Şekil 3-3** : Standart gerilme ölçer donatı üzerine monte edilmiş.

Yerleştirilen gerilme ölçerlerin donatı üzerindeki yer ve konumları, deney sırasında donatılar üzerinde oluşan gerilmelerin kontrolü ve kayıt edilebilmesi ve numune elemanları üzerinde oluşan moment, kesme kuvvetin tayin edilebilmesi açısından titizlikle belirlenmiştir.



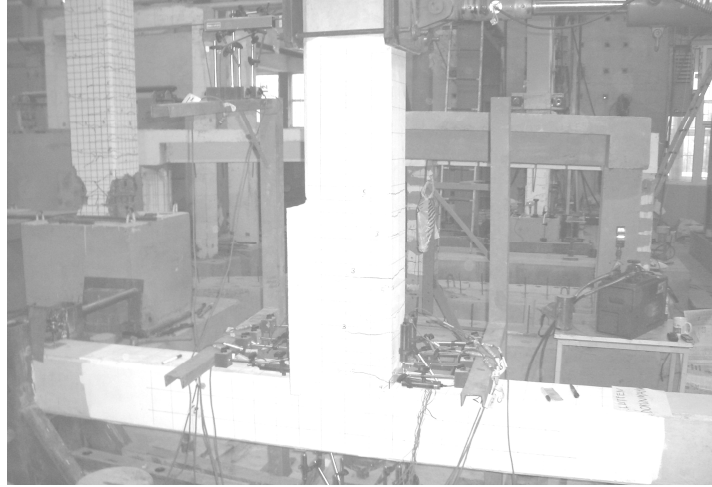
**Şekil 3-4** : Yekpare numune gerilimölçerlerin gösterimi

Döngüsel yükleme sırasında, yekpare numunede kolonu temsil eden yatay eleman üzerindeki etriyeler üzerine yerleştirilmiş düşey konumlu gerilme ölçerler oluşan kesme kuvvetlerinin belirlenmesi, aynı eleman üzerindeki yatay konumlu gerilme ölçerler ise oluşan moment kuvvetlerinin belirlenmesini sağlamaktadır. Kiriş

elemanını temsil eden düşey eleman üzerindeki etriye üzerine yerleştirilmiş yatay konumlu gerilme ölçerler kesme kuvvetlerini, boyuna donatı üzerine yerleştirilmiş düşey konumlu gerilme ölçerler ise moment değerlerinin belirlenmesini sağlamaktadır.

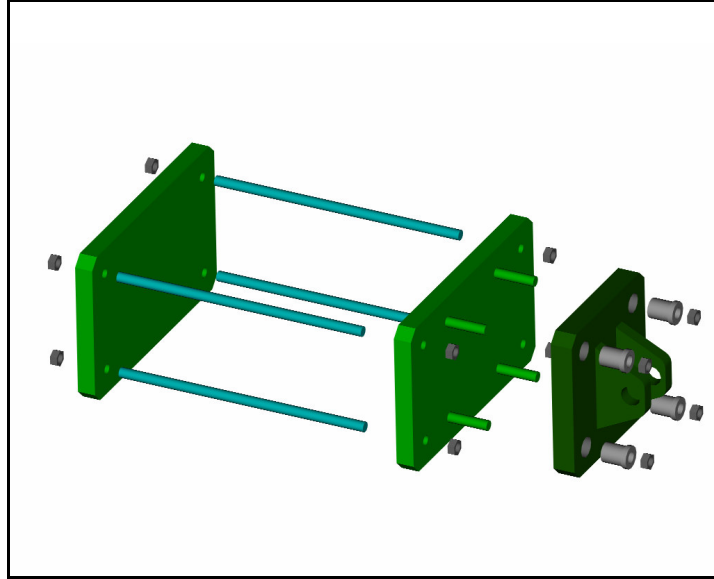
Beton dökümü sırasında alınan basınç dayanım test küplerinin sonuçları tasarım dayanımına ulaştıktan sonra numunenin laboratuvar alanına sevkiyatına izin verilmiştir.

Sevkiyatı yapılan numune deneyin yapılacağı platforma yerleştirilmesi sırasında mesnet bölgelerinde boşluklar kalmamasına özen gösterilmiş, montaj boşlukları çelik levhalar vasıtası ile doldurularak tasarımda öngörülen mesnet şartlarının oluşması sağlanmıştır.



**Şekil 3-5** : Yekpare numune

Yatay yükün uygulanacağı pistonun uç kısmına itme sırasında gerilmeyi yayarak numunede kirişi temsil eden elemanın zarar görmesini engellemek ve çekme kuvvetini kiriş elemanına uygulayabilmek amacı ile itme plakası tasarlanmıştır. Bu parçanın tasarımında numune tepe yer değiştirmesi ölçümlerinde hata oluşmaması için güvenlik katsayısı çok yüksek tutularak, itme plakası elastik yer değiştirmeleri ihmal edilecek mertebede tutulması amaçlanmıştır. İtme plakası numunenin kirişi temsil eden elemanına sıkıca monte edilerek diğer taraftan pistonun başlığına vidalanmıştır.



Şekil 3-6 : İtme plakası

### 3.1.2. Karma Numunenin Deney için Hazırlanması

Ard-germeli numuneler için deney programı 7 aşamadan oluşmaktadır.

1. Ard-germeli betonarme deney elemanlarının fabrikada üretimi,
2. Ard-germe elemanların deney alanına nakli ve montajı, yük hücresi ölçümlemesi,
3. Ard-germe işleminin yapılması ve halat borularının harç ile doldurulması,
4. Kolon - kiriş birleşiminin harç ile doldurulması,
5. Numunenin deney platformuna yerleştirilmesi,
6. Deney hazırlıklarının tamamlanması,
7. Tekrarlamalı tersinir yük uygulanması.



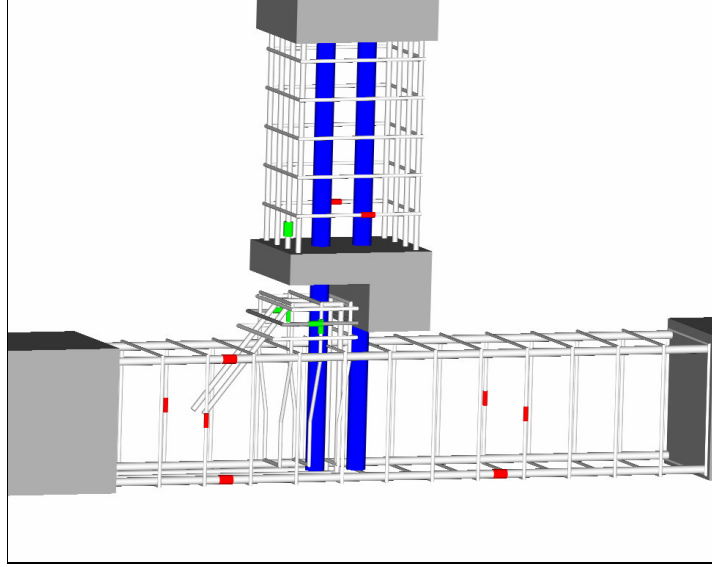
yakın olan gerilme ölçerler bu bölgede deney sırasında ileri aşamalarda oluşacak kalıcı şekil değiştirmeler altında çalışmaya devam edebilmesi açısından donatı üzerinde akma ötesi okuma yapabilen gerilme ölçerler (YFLA-5-11) kullanılmıştır. İmalatı yurtdışında yapılan gerilme ölçerlerin YFLA-5-11 modeli kablosuz olarak ithal edildiğinden uzatma kabloları sonradan eklenmiş ve ürün katalogunda belirtilen toplam direnç değerlerinden kablolar lehimlendikten sonra sapma olup olmadığı kontrol edilmiştir. İhmal edilebilecek ölçülerde direnç farkları olduğundan eklenen kabloların direnç değişimleri ihmal edilmiştir.



**Şekil 3-9** : Akma ötesi okuma yapabilen gerilme ölçerler (YFLA-5-11)

Kalıcı şekil değiştirme oluşması beklenmeyen diğer donatılar üzerinde standart elastik bölgede çalışan gerilme ölçerler (FLA-5-11-10LT) kullanılmıştır. Gerilme ölçerler çok hassas olduklarından yerleştirme sırasında azami dikkat sarf edilmiş, gerilme ölçerlerin üzerleri su geçirmeyen yalıtkanlar ile izole edildikten sonra kabloları dikkatlice kalıp dışına kadar uzatılmıştır. Deney sırasında alınan ölçüm yapılacak her nokta numune planı üzerinde işaretlenip gerilme ölçerlerin kabloları üzerine etiketler yapıştırılmıştır.

Yerleştirilen gerilme ölçerlerin donatı üzerindeki yer ve konumları, deney sırasında donatılar üzerinde oluşan gerilmelerin kontrolü ve kayıt edilebilmesi ve numune elemanları üzerinde oluşan moment, kesme kuvvetinin tayin edilebilmesi açısından titizlikle belirlenmiştir. Gerilme ölçerlerin yerlerinin belirlenmesinde yekpare numune ve karma numunede kolon giriş düğüm noktasına göre aynı mesafede olacak şekilde yerleştirilmeye dikkat edilmiştir.



Şekil 3-10 : Karma numune gerilme ölçerlerin gösterimi

Döngüsel yükleme sırasında, karma numune kolonu temsil eden yatay eleman üzerindeki etriyeler üzerine yerleştirilmiş düşey konumlu gerilme ölçerler oluşan kesme kuvvetlerinin belirlenmesi, aynı eleman üzerindeki yatay konumlu gerilme ölçerler ise oluşan moment kuvvetlerinin belirlenmesini sağlamaktadır. Kiriş elemanını temsil eden düşey eleman üzerindeki etriye üzerine yerleştirilmiş yatay konumlu gerilme ölçerler kesme kuvvetlerini, boyuna donatı üzerine yerleştirilmiş düşey konumlu gerilme ölçerler ise moment değerlerinin belirlenmesini sağlamaktadır. Guse elemanı üzerindeki yatay ve düşey konumlu elastik sınır ötesi ölçüm yapabilen gerilme ölçerler bu bölgede oluşacak moment ve kesme kuvveti değişimlerinin belirlenmesi amacı ile yerleştirilmişlerdir.

Gerilme ölçerler ve kabloların yerleştirilmesi tamamlandıktan sonra, donatılar kendinden sarsmalı tabla üzerine hazırlanmış çelik kalıp içine yatay pozisyonda dikkatlice yerleştirilmiştir. Donatı boyutları deney düzeneğine uygun olarak hazırlanan kalıp içine konulduktan sonra ard-germe kablolarının içinden geçeceği plastik spiral borular kalıp içine boyuna doğrultuda yerleştirilmiştir ve beton dökümü esnasında pozisyon değiştirmemesi için sabitlenmiştir.

Betonu oluşturan malzemelerin karışım oranları 50 Mpa basınç dayanımına ulaşacak şekilde ayarlanmıştır. Özel raylı taşıma sistemi ile beton karışım biriminden gelen betonyer, kalıp içine betonu boşaltırken belli aralıklar ile kalıbın bağlı olduğu

titreşim tablası da çalıştırılarak betonun kalıp içine tam yerleşmesi sağlanmıştır. Beton döküm esnasında, gözlemci personel betonun boşluksuz olarak yerleştiğini ve donatıların ve ard-germe halatının geçeceği spiral borunun sabit kaldığını gözlemlemiştir.

Beton döküm işlemi tamamlandıktan sonra 24 saat süre ile buhar kürü uygulanmış ve 3. gün sonunda numunenin beton basınç dayanımının ortalama 50 Mpa basınç dayanımına ulaştığı döküm sırasında alınan üç adet küp numunelerin basınç testleri sonucundan anlaşılmıştır.



Şekil 3-11 : Beton küp numunesi basınç testi

Özel taşıma aparatlarından askıya alınan numuneler deney alanına titizlikle nakledilmiştir.

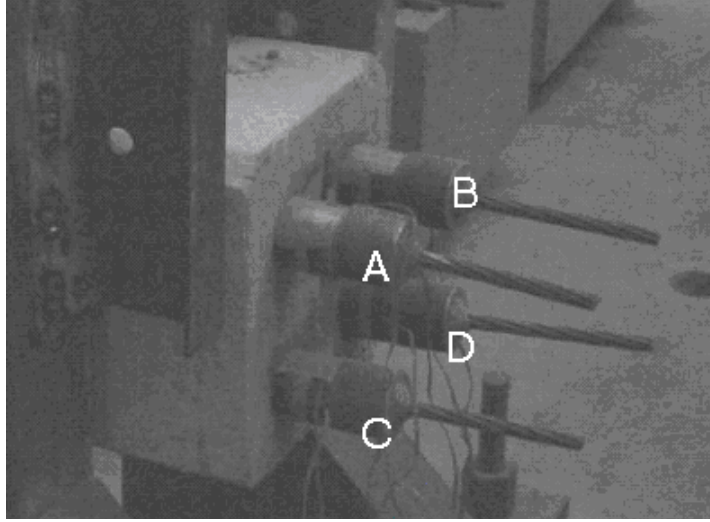
Ard-germe işlemine başlamadan önce Bölüm 3.3 de ayrıntılı açıklanan yük ölçüm hücresinin ölçümleme deneyleri tamamlanmıştır. Karma deney numunesinin kolon elemanı içindeki 4 adet plastik boru içerisinde 12.7 mm çapında 4 adet yüksek mukavemetli özel üretimli çelik halatlar geçirilip kitleme aparatları ve yük hücreleri çelik halatlar üzerine yerleştirilmiştir. Numune içerisindeki plastik borular içerisinde geçirilen 12.7 mm çapındaki çelik halatlar hidrolik piston kullanılarak sırası ile A,D,B,C halatlarına ard-germe işlemine 37 kN'luk boşluk alma yükü uygulanarak başlanmıştır. Bu sayede çelik halat kilitleme aparatının numuneye tam olarak temas etmesi ve çelik halatların yük almaya başlaması sağlanmıştır. Bu ilk aşama tamamlandıktan sonra çelik halatın toplam boyu ard-germe işlemi sonrasında çelik halat boyu ile kıyas için ölçülerek not edilmiştir. Çelik halatların

ard-germe işlemi yük ölçer ile kayıtları alınarak tamamlandıktan sonra çelik halattaki deney sonu toplam boyu tekrar ölçülerek not edilmiştir.

Çelik halatlar ard-gerilme sırasında A, D, B, C sırası ile 37 KN, 75 KN, 89 KN, 119 KN, 133 KN yükleri uygulanmıştır. Uygulanan bu yüklerin halat üzerindeki eşdeğer nihai gerilmelere eşit olması amaçlanmasına rağmen, numune boyutları gerçekteki boyutundan 1/3 oranında olduğu için kilitleme aparatı üzerinde oluşan kaymaların toplam gerilme kayıplarını arttırmış olup tasarlanan nihai halat gerilmelerine ulaşabilmek için elastik sınır içerisinde kalmak şartı ile çelik halatlara daha fazla yük uygulanmıştır. Halat üzerinde oluşan kalıcı gerilme miktarları yük hücresi sayesinde okunarak kayıt edilmiştir.

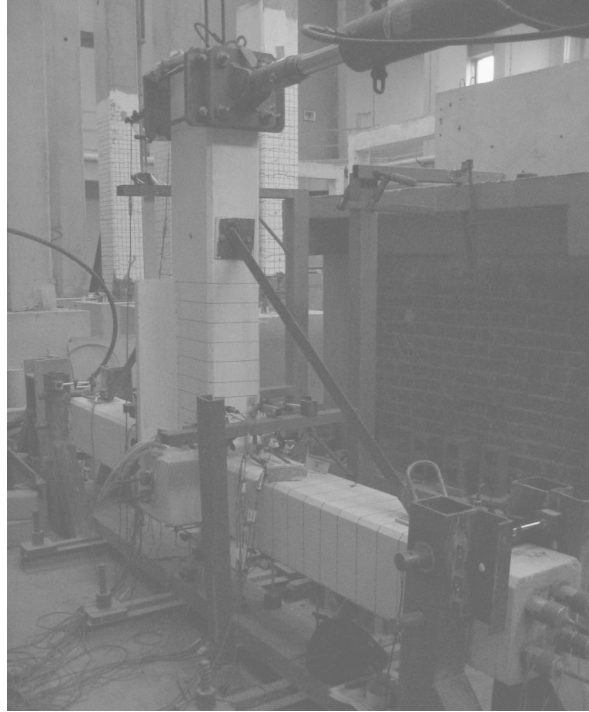
Deney numunesinde kirişi temsil eden eleman içerisinde bulunan 2 adet plastik spiral boru içerisinde 15.24 mm çapında özel çelik halat geçirilerek yukarıda kolon elemanı ard-germe işleminde uygulanan işlemler tekrarlanmıştır.

Ard-germe işlemleri tamamlandıktan ve çelik halatlar üzerindeki kalıcı gerilmeler kayıt edildikten sonra numunede kolon ve kirişi temsil eden betonarme elemanlar içerisinde bulunan spiral plastik borular içerisine, çelik halat ile betonarme eleman arasında sürtünme yüzeyini arttırmak amacı ile hacimsel küçülme yapmayan içerisine lif bulunan özel beton şerbeti imalat öncesinde özellikle bırakılan akıtma borularından yüksek basınç ile enjekte edilmiştir. Enjeksiyon işlemi tamamlandıktan sonra kiriş kolon ara yüzündeki boşluğun doldurulması amacı ile aynı özellikteki beton şerbeti enjekte edilmiştir. Deney numunesi üzerinde yapılan bu ıslak imalatların sertleşme süreci tamamlandıktan sonra deney numunesi deneyin yapılacağı platforma taşınarak, mesnet bölgelerinde boşluklar kalmamasına özen gösterilmiştir. Montaj boşlukları çelik levhalar vasıtası ile doldurularak tasarımda öngörülen mesnet şartlarının oluşması sağlanmıştır.



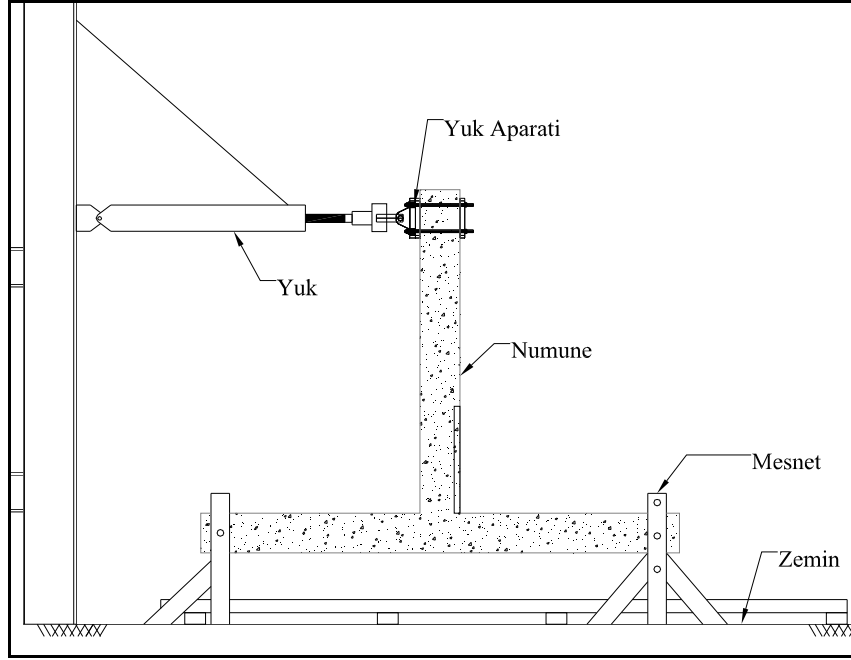
**Şekil 3-12** : Ard çekme işlemi tamamlanmış kolondaki çelik halatlar.

İmalat sırasında titizlikle yapılan boy okumaları bu deney sırasında da yapılmış ancak, deney numunesinin boyutları gerçeğinden 3 kat daha küçük olmasından dolayı halat üzerindeki uzama değerleri çok küçük olduğundan pratik olarak yapılan ölçümlerin hassas olmadıkları görülmüş ve bu tez kapsamına alınmamıştır.

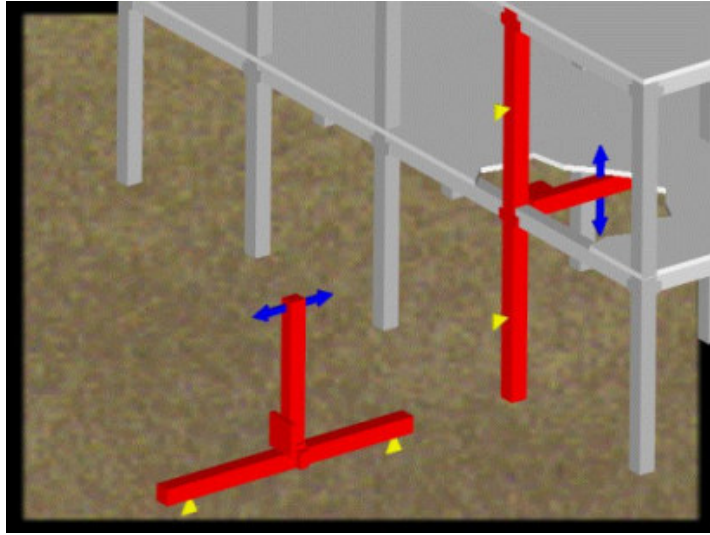


**Şekil 3-13** : Karma numunesi

### 3.2.Deney Düzenegi



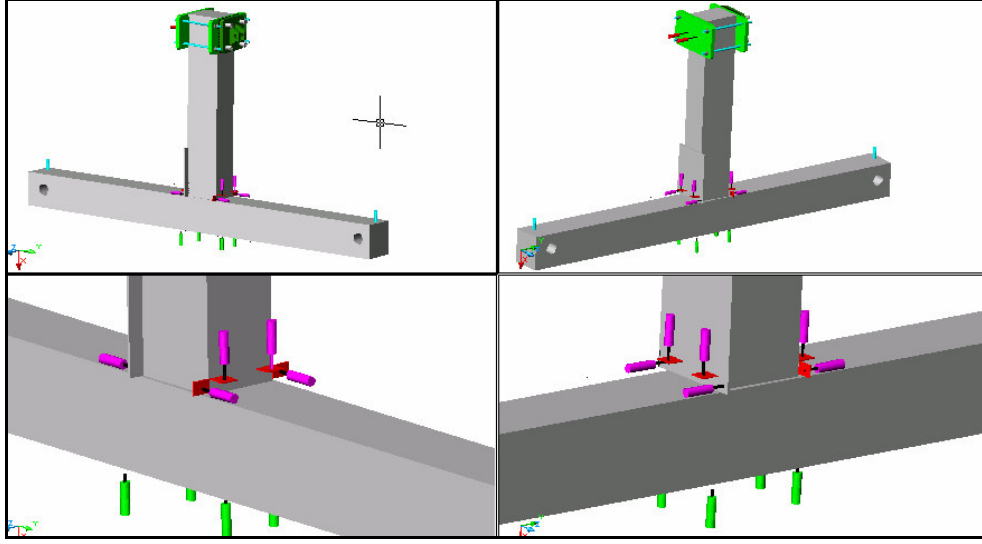
Şekil 3-14 : Deney Düzenegi



Şekil 3-15 : Numune modeli

### Numunenin yerleştirilmesi ve deneyin kontrolü:

Ard-germe işlemleri ve beton şerbeti enjeksiyonu tamamlandıktan sonra, numune yükleme platformuna taşınarak mesnetler üzerine yerleştirilmiştir. Bu çalışmada numunenin iki ucundaki mesnetler tarafından yatay ve düşey hareketleri tutulmuş, ancak dönmeler tutulmamıştır. Bu mesnet şeklinin seçilmesinin nedeni kolon orta noktalarındaki moment sıfır noktalarının temsil edilmesidir.



Şekil 3-16 : Yekpare numune LVDT yerleşimi

Numune üzerine yerleştirilen her bir LVDT (Linear Variable Displacement Transducer) nin yatay ve düşey yönden kontrol edilmiş ve numuneye göre pozisyonları kayıt edilmiştir. Numunenin üzerine LVDT lerin uçlarının temas ettiği noktalara okuma sırasındaki bozulmaların engellenmesi amacı ile cam lamalar yapıştırılmıştır. LVDT kabloları sırası ile kayıt cihazının bilgi girişine bağlanmış, kayıt ölçer cihazı da kumanda merkezindeki bilgisayara bağlanmıştır. Böylelikle kumanda merkezinden kuvvet ve tepe yer değişimleri gözlenerek, elastik bölge içerisinde kuvvet kontrolü ile deney sürdürülürken, yükün sabit kalarak kalıcı şekil değiştirmelere bağlı büyük yer değiştirmelerin olduğu elastoplastik bölgeye geçildiği durumda yer değiştirmeler üzerinden deney kontrolü sağlanmıştır. Deney sırasında yük artımı el kontrollü hidrolik vananın kumanda merkezi ile koordineli

kontrolü ile sağlanmıştır. Her bir yöndeki döngü sonrasında çatlak genişliği okuması yapılarak numune üzerinde işaretlenmiş ve numaralandırılmıştır.

Yekpare numunede elemanların yatay ve düşey hareketlerinin gözlem ve kayıtları, çeşitli kapasite ve farklı pozisyonlarda yer değiştirme ölçen aygıtların yerleştirilmesi ile aşağıdaki şekilde yapılmıştır:

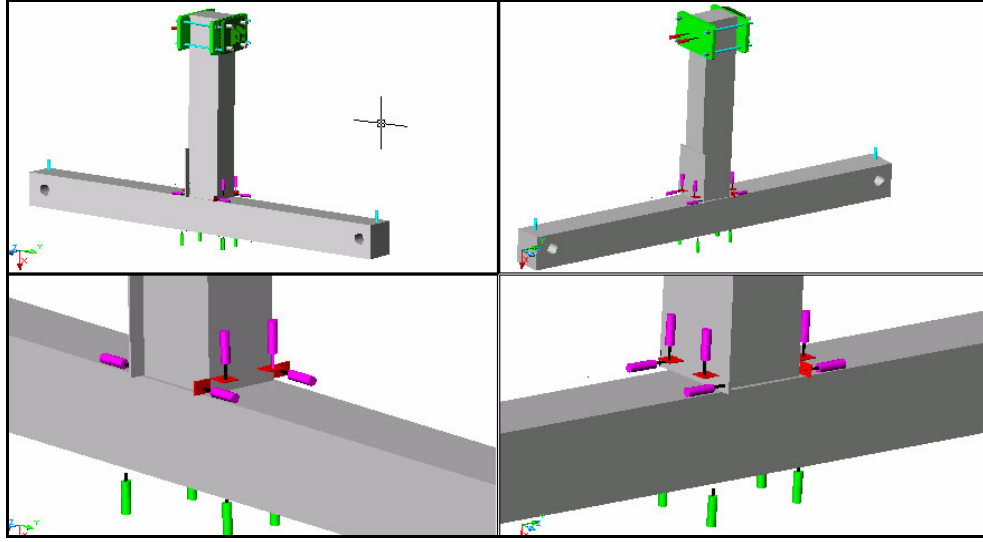
İki adet 200mm kapasiteli yatay konumlu LVDT numunenin kirişi temsil eden elemanının tepe noktasına, tepe yer değiştirme okumalarının yapılabilmesi yerleştirilmiştir.

Dört adet 25mm kapasiteli yatay konumlu LVDT kolon kirişi birleşim bölgesine kirişi üzerine, numunede kirişi temsil eden elamanda her iki yönde meydana gelen kaymaların ölçülmesi, kirişin mesnetlerdeki boşluklardan dolayı oluşabilecek toplam yer değiştirmenin tespiti ve kirişi tepe noktasının kirişin alt noktasına göre rölatif hareketinin bulunması için yerleştirilmiştir.

Dört adet 25mm kapasiteli düşey konumlu LVDT kolon kirişi birleşim bölgesine kolon üzerine, kirişte her iki yönde oluşan dönmelerin ölçülebilmesi amacı ile yerleştirilmiştir.

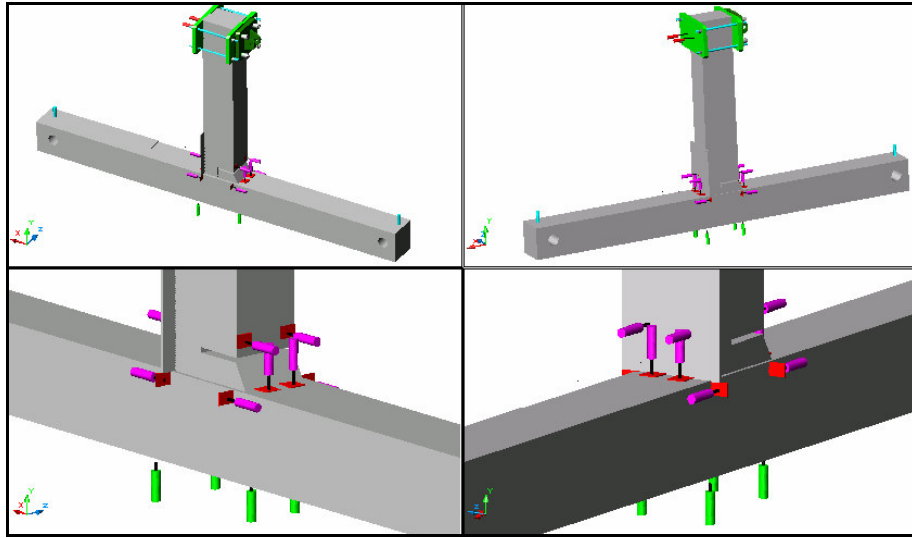
Dört adet 25mm kapasiteli düşey konumlu LVDT numunede kolonu temsil eden elemanının alt kısmına, kolonda oluşabilecek kayma çökmelerin ölçülebilmesi için yerleştirilmiştir.

İki adet 5mm düşey kapasiteli konumlu LVDT kolonu temsil eden elemanının uç noktalarına mesnetlerin tutulu olmasına rağmen istenmeyen düşey hareketin tespit edilebilmesi amacı ile yerleştirilmiştir.



Şekil 3-17 : Yekpare Numune LVDT yerleşimi

Karma numunede elemanların yatay ve düşey hareketlerinin gözlem ve kayıtları, yekpare numune için açıklanan adet, kapasite ve pozisyondaki LVDT lere ek olarak kolon kiriş temas bölgesinde kiriş üzerine düşey konumlu ilave dört adet LVDT konularak kiriş yüzeyindeki düşey yer değiştirmelerin okunması amaçlanmıştır.



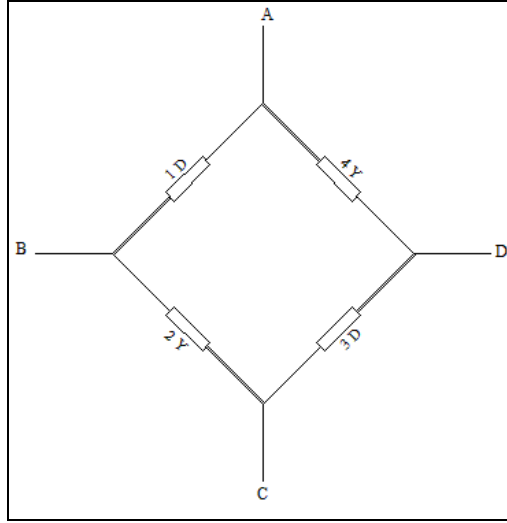
Şekil 3-18 : Karma numune LVDT yerleşimi

### 3.3. Yük Hücresi

#### 3.3.1. Üretim Amacı ve Çalışma Prensibi

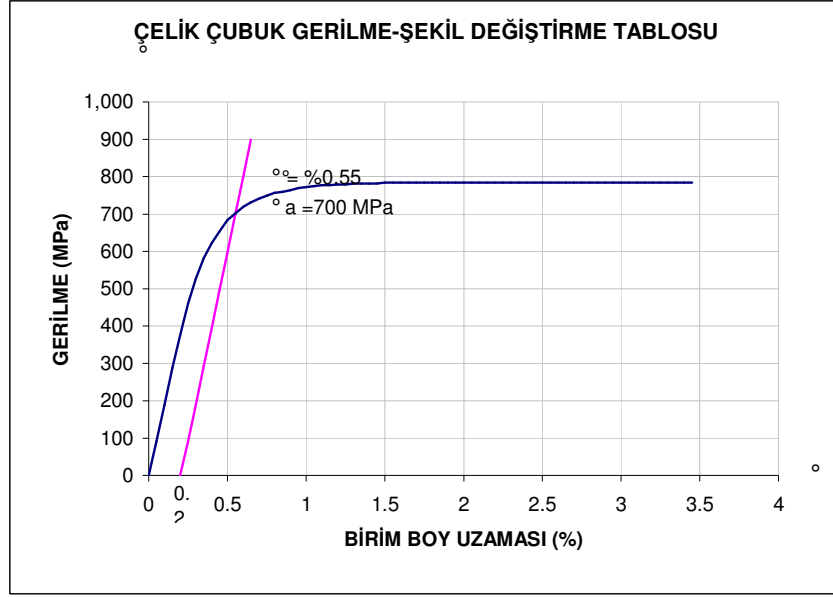
Ard-germe kablolarının çok telli olması ve yüksek basınçlı dolgu betonu ile sarılması gibi imalat zorlukları nedeniyle, gerilme ölçerlerin direkt olarak ard-germe kablosu üzerine yerleştirilmesi pratik açıdan mümkün olmamaktadır. Bu nedenle ard-germe kablolarındaki yük değişiminin ölçülebilmesi amacı ile ard-germe kovanı ile beton eleman yüzeyindeki metal plaka arasına Yük Hücresi adı verilen şekil 3.22 da gösterilen metal silindir ve üzerine yerleştirilmiş gerilme ölçerler tasarlanmıştır. Yük hücresin çalışma prensibi, tornalanmış metal silindirin paralel yüzeylerine etkiyen eksenel yükün, silindirin yanal yüzeylerinde oluşturacağı deformasyonların yüzeye yerleştirilmiş winston köprüsü oluşturacak şekilde bağlanmış gerilme ölçerler yardımı ile algılanması ve verilerin bir veri kayıt cihazı vasıtası ile toplanmasıdır. Bu sayede hem ard-germe sırasında hem de deney sırasında ard-germe kablolarındaki yük miktarı ve değişimi hesaplanacaktır.

#### 3.3.2. Tasarım ve Kullanım Şekli



Şekil 3-19 : Yük ölçer bağlantı gösterimi [6]

Yük hücresi imalatında kullanılan çeliğe ait gerilme-uzama diyagramına bağlı olarak tasarım kontrolleri yapılmıştır.



$$E = 700 \text{ MPa} / (0,55 - 0,20) / 100 = 200,000 \text{ Mpa}$$

**Yük hücresi tasarımı:** maksimum yük 200.000 N

$$\sigma_{akma} = 700 \text{ Mpa}, \sigma_{elastik} = 700 \text{ Mpa} * 0,6 = 420 \text{ Mpa} \quad [7]$$

$$\sigma_{akma} = 750 \text{ Mpa}, \sigma_{elastik} = 750 \text{ Mpa} * 0,5 = 375 \text{ Mpa}$$

$$\tau_{em} = 155 \text{ Mpa}$$

$$([8] : \sigma_{\text{çem}} = 0,6 * \sigma_{akma} \text{ veya } \sigma_{\text{çem}} = 0,5 * \sigma_{kopma} )$$

$$r_{dış} = 30 \text{ mm}, \quad r_{iç} = 24 \text{ mm}$$

$$F = \pi (r_{dış}^2 - r_{iç}^2) = 3,14 * (900 - 576) = 1018 \text{ mm}^2$$

$$I_x = I_y = \pi (r_{dış}^4 - r_{iç}^4) / 4 = 3,14 * (810000 - 33177600) / 4 = 375596 \text{ mm}^4$$

$$i_x = \sqrt{\frac{I_x}{F}}, \quad i_x = \sqrt{\frac{375596}{1018}} = 19,21 \text{ mm}$$

**Burkulma tahkiki :**

$$K=2 \text{ (bir ucu ankastre varsayımı ile)} \quad S_k = 50 \text{ mm} * 2 = 100 \text{ mm}$$

$$\lambda = 100 / 19,21 = 5,21 < 100 \checkmark \Rightarrow w = 1,01$$

$$\sigma = (P * \omega) / F = (200.000 * 1,01) / 1018 = 198 \text{ MPa} < 375 \text{ MPa} \checkmark$$

Ezilme tahkiki:

$$F = \pi (r_{dis}^2 - r_{ic}^2) = 3.14 * (900 - 576) = 1018 \text{ mm}^2$$

$$\sigma = P / F = 200,000 / 1018 = 196.46 \text{ MPa} < 375 \text{ MPa} \checkmark$$

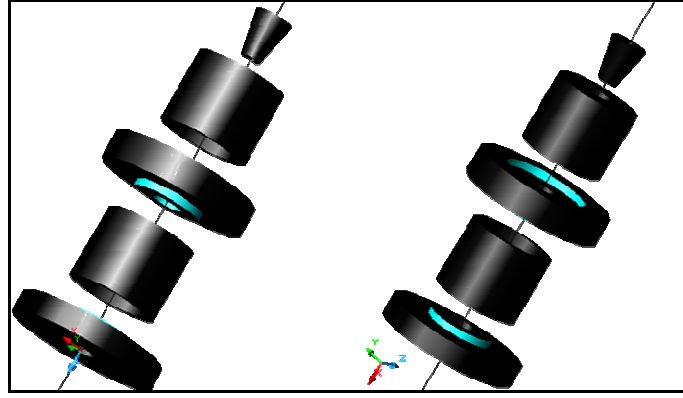
Zımbalama Tahkiki:

$$F_{levha} = 2 * \pi * r_{ic} * t_{levha} = 2 * 3.14 * 24 * t_{levha} = 150.8 * t_{levha}$$

$$\tau_{em} = P / F_{levha}$$

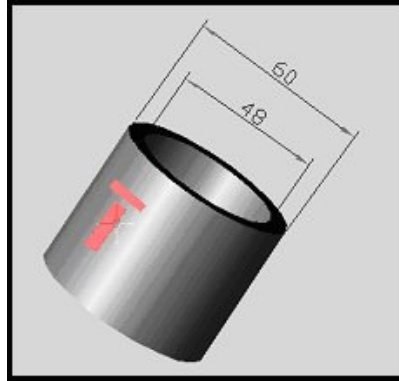
$$155 = 200,000 / (150.8 * t_{levha})$$

$$t_{levha \text{ min}} = 8.56 \text{ mm ( imalat için uygun kalınlık } t = 15 \text{ mm ) } \checkmark$$

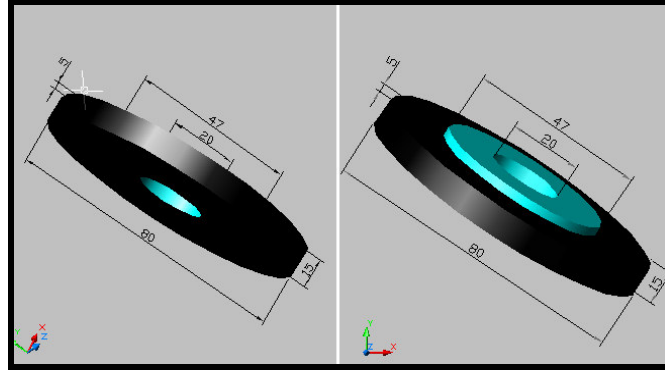


Şekil 3-21 : Beton yüzey aparatı-yük hücre-ara birleşim aparatı-kovan bağlantısı

Tasarımı ve imalatı özel olarak yapılan yük hücresi, yük hücresi, beton yüzeyi ve yük hücre arasındaki parça ve yük hücresi ve ard-germe kovanı arasındaki parça olmak üzere üç farklı aptardan oluşmaktadır.

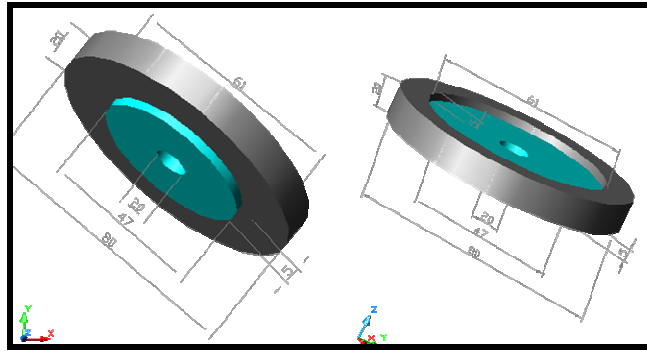


Şekil 3-22 : Yük hücresi



Şekil 3-23 : Beton yüzey plakası / Yük hücresi arası birleşim aparatı

Uç aparatlarından beton yüzeyine temas eden aparatın beton yüzeyi tarafı düz yüzeyli olup yük hücresi tarafı yük hücresinin içine yerleşecek şekilde kademelidir.



Şekil 3-24 : Kovan / Yük hücresi arası birleşim aparatı

Uç aparatlarından çekme kovanı tarafındaki aparatın çekme kovanı tarafındaki yüzeyi tarafı kovanın yerleşebilmesi için girintili, yük hücresi tarafı yük hücresinin içine yerleşecek şekilde kademelidir.



Şekil 3-25 : Yük hücresi

### 3.3.3. Ölçümleme Testleri

Yük ölçerin ölçümleme testi öngörülen maksimum yük: 190kN



Şekil 3-26 : Yük ölçer ölçümleme

## 3.4. Numune Özellikleri

### 3.4.1. Malzeme Özellikleri

Beton: Yekpare numunelerde olduğu gibi karma numunelerde de beton numune karakteristik basınç dayanımı her bir numune için test edilen 6'şar numunenin ortalaması 50 Mpa olarak belirlenmiştir.

Karma numunelerin kolon kiriş birleşimlerinde ve döşemeyi temsil eden tabla kısımlarında, hacimsel küçülme yapmayan ve içerisinde elyaf lifleri ihtiva eden ve karakteristik basınç dayanımı 30 Mpa beton kullanılmıştır.

Ard-germe kablolarının içinden geçtiği spiral boruların enjeksiyon harcının hazırlanmasında 100 kg çimento, 6 kg akışkanlaştırıcı katkı maddesi (EMACO S55) ve 34 litre su kullanılmıştır.

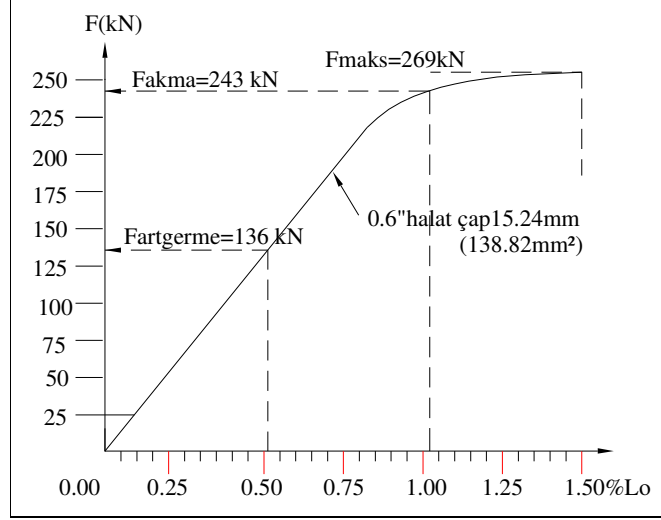


**Şekil 3-27** : Kayma eksenli doğrultularında kırılmış beton test numunesi

Betonarme çeliği: Yekpare numunelerde ve karma numunelerde betonarme donatısı olarak S420a çeliği kullanılmıştır.

Karma numunelerin kolonu temsil eden elemanda normal yükü temsil eden ard-germe halatı olarak 1,27cm (0,5 inç) çapındaki S5000bs (ASTM A 416-90 GRADE 270) (düşük gevşemeli) tip 4 adet çelik halat demeti kullanılmıştır.

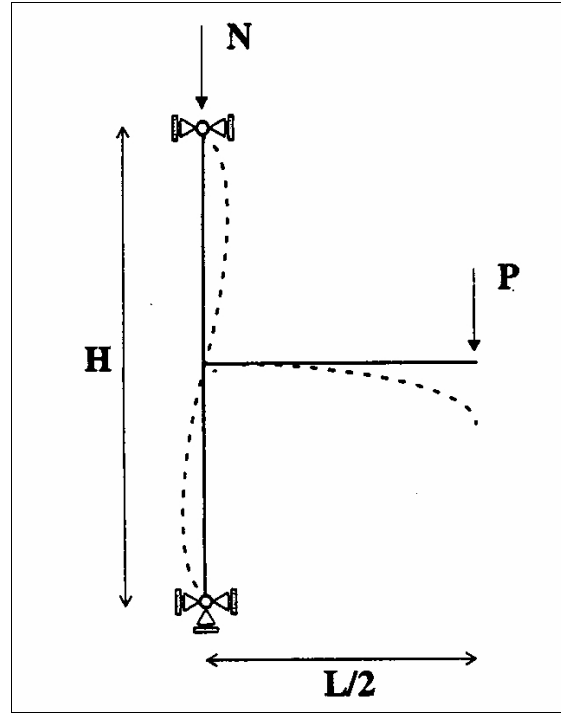
Karma numunelerin kiriş i temsil eden elemanın ard-germe halatı olarak ise 1,53cm (0,6 inç) çapındaki S5000bs (ASTM A 416-90 GRADE 270) (düşük gevşemeli) tip 2 adet çelik halat demeti kullanılmıştır.



Şekil 3-28 : 0,6" halat yük şekil değiştirme eğrisi

### 3.5.Betonarme Hesaplar

Kolon kirişin birleşimi kesit hesaplarında taşıma gücü hesap esaslarına dayanılarak klasik kesit hesabı yapılmıştır. Beton ve çelik için malzeme karakteristik gerilmeleri kullanılmıştır. Tasarım hesaplarında kullanılan malzeme azaltma katsayıları kullanılmamıştır. Düzeneğe ait çubuk modeli şekil 3.29 da görülmektedir.

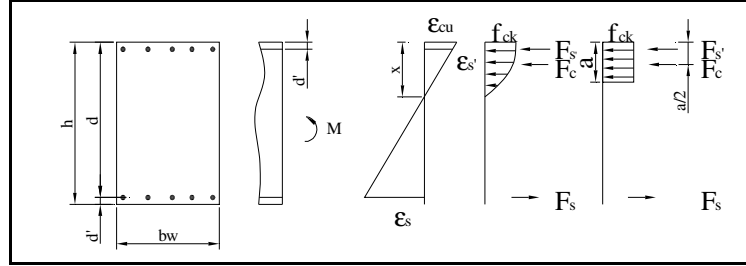


Şekil 3-29 : Numune çubuk modeli

### 3.5.1. Yekpare Numune Hesabı

Kolon kiriş birleşim betonarme kesit hesabı:

Kolon kiriş etkileşim düzleminin düzlem kaldığı kabulü ile basınç bölgesinde betonda en çok % 0.35 kısılma ve çekme bölgesinde donatıda en çok % 1 uzama meydana getiren yük deney sırasında limit yük olarak kullanılacaktır. [9]



Şekil 3-30 : Yekpare numune kolon kiriş etkileşimi kuvvetler dengesi.

Sistem çekme durumunda iken;

Betonarme kesit hesabı dikdörtgen gerilme bloğu kabulü ile yapılacaktır. Kesitin düzlem kaldığı kabulü ile [10]

$$\frac{\epsilon_{s'}}{\epsilon_s} = \frac{(x - d')}{(d - x)} \quad \dots 3.5.1. (1)$$

$$\sigma_{s'} = \epsilon_{s'} \cdot E_s \quad \dots 3.5.1. (2)$$

$$F_{s'} = \sigma_{s'} \cdot E_s \cdot A_{s'} \quad \dots 3.5.1. (3)$$

Denklem (1), (2) ve (3) kullanıldığında;

$$F_{s'} = \frac{\epsilon_s (x - d')}{(d - x)} \cdot E_s \cdot A_{s'}$$

Kesit üzerinde aksenal kuvvetlerin dengesinden;

$$F_s = F_{s'} + F_c \quad \dots 3.5.1. (4)$$

$$F_s = A_s \cdot f_{yk} \quad \dots 3.5.1. (5)$$

$$F_c = b \cdot k \cdot x \cdot f_{ck} \quad \dots 3.5.1. (6)$$

Denklem (4), (5) ve (6) kullanıldığında;

$$A_s \cdot f_{yk} = \frac{\epsilon_s (x - d')}{(d - x)} \cdot E_s \cdot A_s' + b \cdot k \cdot x \cdot f_{ck}$$

Bilinmeyenler denkleme yerleştirildiğinde;

$$\begin{aligned} b_w &= 240 & \text{mm} \\ h &= 350 & \text{mm} \\ d &= 335 & \text{mm} \\ d' &= 25 & \text{mm} \\ E_s &= 200,000 & \text{MPa} \\ E_c &= 36,964 & \text{MPa} \\ F_{yk} &= 420 & \text{MPa} \\ F_{ck} &= 50 & \text{MPa} \\ L &= 1.45 & \text{m} \\ k &= 0.70 \\ \epsilon_s &= 0.010 \\ A_s &= 565.00 & \text{mm}^2 \\ A_s' &= 688.00 & \text{mm}^2 \end{aligned}$$

$$8400 x^2 - 4343300 + x + 111522500 = 0$$

$$x_1 = 27.10 \text{ mm}$$

$$x_2 = 489.96 \text{ mm (kesit dışında)}$$

$$F_{ck} = 227.614 \text{ kN}$$

$$F_s = 9.686 \text{ kN}$$

$$F_s = 237.300 \text{ kN}$$

$$F_{ck} + F_s' - F_s = 0.000 \quad \checkmark$$

$$\begin{aligned} M &= F_s \cdot (h - x - d') \\ &= 70.692 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$H = M / L$$

$$H = 48.8 \text{ kN}$$

$$\epsilon_c = \epsilon_s \cdot x / (d - x)$$

$$\epsilon_c = 0.00091$$

Sistem itme durumunda iken;

Betonarme kesit hesabı dikdörtgen gerilme bloğu kabulü ile yapılacaktır. Kesitin düzlem kaldığı kabulü ile aynı hesap algoritması izlendiğinde;

Denklem (4), (5) ve (6) kullanıldığında;

$$A_s \cdot f_{yk} = \frac{\epsilon_s (x - d')}{(d - x)} \cdot E_s \cdot A_{s'} + b \cdot k \cdot x \cdot f_{ck}$$

$$\begin{aligned} b_w &= 240 & \text{mm} \\ h &= 350 & \text{mm} \\ d &= 335.0 & \text{mm} \\ d' &= 15.0 & \text{mm} \\ E_s &= 200,000 & \text{MPa} \\ E_c &= 36,964 & \text{MPa} \\ F_{yk} &= 420 & \text{MPa} \\ F_{ck} &= 50 & \text{MPa} \\ N &= 0 \\ L &= 1.45 & \text{m} \\ k &= 0.70 \\ \epsilon_s &= 0.010 \\ \epsilon_c &= 0.003 \\ A_s &= 688.00 & \text{mm}^2 \\ A_{s'} &= 565.00 & \text{mm}^2 \end{aligned}$$

$$8400 x^2 - 4232960 x + 113751600 = 0$$

$$\begin{aligned} x_1 &= 28.48 & \text{mm} \\ x_2 &= 475.44 & \text{mm (kesit dışında)} \end{aligned}$$

$$F_c = 239.25 \text{ kN}$$

$$F_s = 49.71 \text{ kN}$$

$$F_{s'} = 288.96 \text{ kN}$$

$$F_c + F_{s'} - F_s = 0.00 \quad \checkmark$$

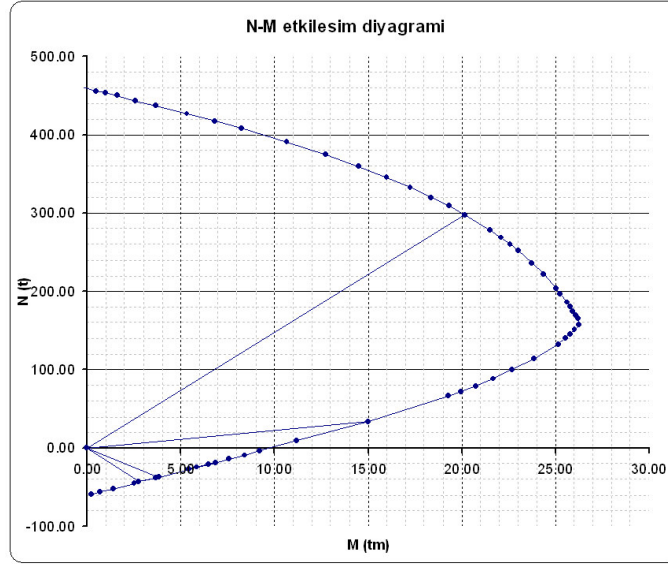
$$\begin{aligned} M &= F_s \cdot (h - x - d') \\ &= 88.57 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$H = M / L$$

$$H = 61.08 \text{ kN}$$

$$\epsilon_c = \epsilon_s \cdot x / (d-x)$$

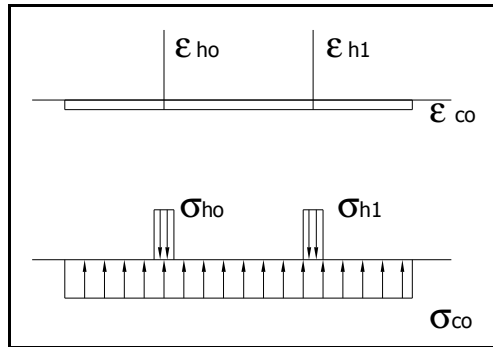
$$\epsilon_c = 0.00093$$



Şekil 3-31 : Betonarme kolon kesite ait etkileşim diyagramı [10]

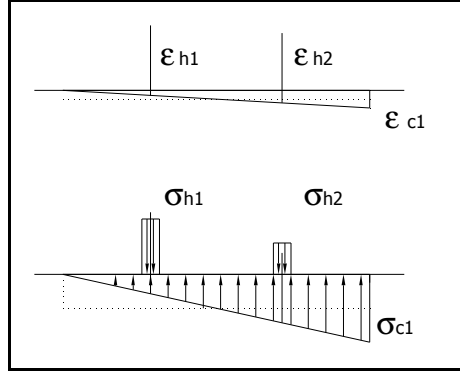
### 3.5.2. Ard-germeli Birleşim Hesabı

Numunenin kirişi temsil eden elemanı üzerindeki ard-germe halatları, halat akma dayanımının %55 i oranında gerdirildiğinde halatlardaki uzama  $\epsilon_{ho}$  ve  $\epsilon_{h1}$  birbirine eşit olacaktır. Buna karşılık betondaki kısalma  $\epsilon_{co}$  olacaktır. Bu şekil değiştirmelere tekabül eden gerilmeler sırası ile şekil 3.32- 3.36 de gösterilmiştir.



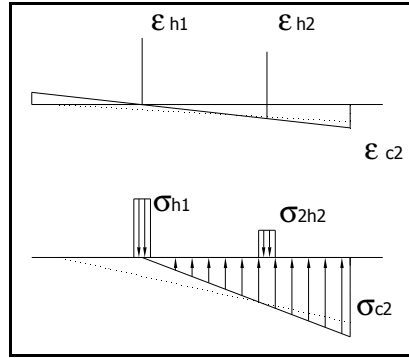
Şekil 3-32 : Sisteme ön gerilme verildikten sonraki kesitteki gerilme dağılımı

Sistem kiriş i temsil eden eleman uç noktasından yatayda kademeli olarak yüklenmeye başlandığında şekil 3.32 de gösterildiği üzere beton kesitin bir ucundaki basınç gerilmesi artarken diğer uçtaki gerilme “0” a yaklaşmaktadır. Bu esnada 1. halat üzerindeki gerilme artarken 2. halat üzerindeki gerilme değeri azalmaya başlamaktadır.



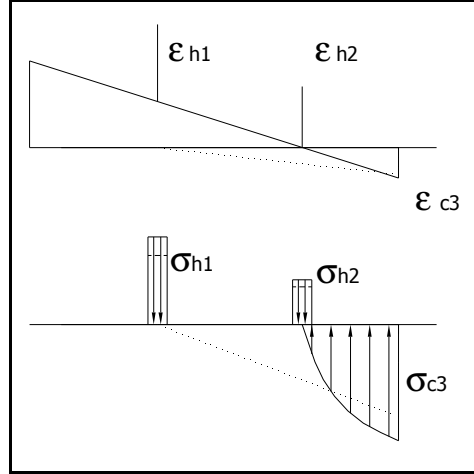
Şekil 3-33 : Kesit ucunda basınçtan çekmeye dönülen durumdaki gerilme yayılımı

Sisteme uygulanan yük bir miktar daha arttırıldığında kolon - kiriş birleşim yüzeyindeki basınç gerilmesi 1.halat hizasında sıfıra düşmekte bu esnada 1. halat üzerindeki gerilim artarken 2. halat üzerindeki gerilim azalmaktadır.



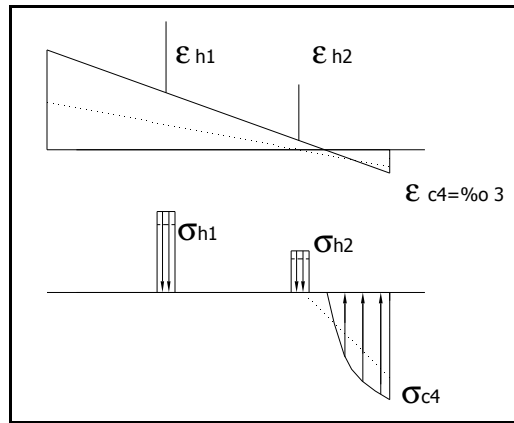
Şekil 3-34 : Tarafsız eksenin halat 1 üzeri hali gerilme yayılımı

Sisteme uygulanan yük bir miktar daha arttırıldığında kolon - kiriş birleşim yüzeyindeki basınç gerilmesi 2. halat hizasında sıfıra düşmekte bu esnada 1. halat üzerindeki gerilim artarken 2. halat üzerindeki gerilim kaybı azalmı durmaktadır. Bu noktadan sonraki yatay yük artırımları için her iki halattaki gerilme artımı oluşmaya başlamaktadır.



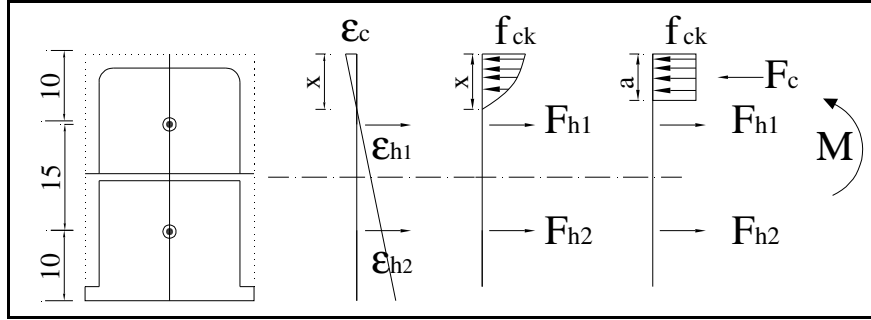
Şekil 3-35 : Tarafsız eksenin halat 2 üzeri durumdaki gerilme yayılışı

Sisteme uygulanan yük beton basınç bölgesindeki şekil değiştirme miktarı limit %0,35 e ulaşacak şekilde arttırıldığında kolon - kiriş birleşim tarafsız eksen kesit ucundan yaklaşık 40 mm kadar yaklaşıp bu noktadan sonra betonarme kesit taşıma kapasitesinin aşılması sonucu büyük plastik deformasyonlar ve buna bağlı halat gerilmelerinde geri dönüşümü olmayan gerilim azalmaları oluşmaktadır.



Şekil 3-36 : Kesitte Beton basınç gerilmesi % 0,35 durumdaki gerilme yayılışı

Sistem çekme durumunda iken numunenin kolon kiriş birleşim noktasının betonarme kesit hesabı:



Şekil 3-37 : Karma numune kolon kiriş etkileşimi kuvvetler dengesi.

$$\frac{x}{\epsilon_c} = \frac{(35 - x)}{\epsilon_{h1}} \quad \dots 3.5.2. (1)$$

$$F_c = b_w \cdot 0,7 \cdot x \cdot F_{ck} \quad \dots 3.5.2. (2)$$

$$\epsilon_{h1} = (\sigma_h + \epsilon_0) / E_s \quad \dots 3.5.2. (3)$$

$$\epsilon_0 = F_{h0} / A_h / E_s \quad \dots 3.5.2. (4)$$

$$\epsilon_{h1} = (F_{h2} / A_h) / E_s + (F_{h0} / A_h) / E_s \quad \dots 3.5.2. (5)$$

Kesit üzerinde aksenal kuvvetlerin dengesinden;

$$F_{h2} = F_c \quad \dots 3.5.2. (6)$$

Denklem (1), (2), (5) ve (6) kullanıldığında;

$$\frac{x}{\epsilon_c} = \frac{(35 - x)}{b_w \cdot 0,7 \cdot x \cdot F_{ck} + F_{h0}} \cdot A_h \cdot E_s$$

- $b_w = 200 \quad \text{mm}$
- $h = 350 \quad \text{mm}$
- $d = 250,0 \quad \text{mm}$
- $E_h = 200,000 \quad \text{MPa}$
- $E_c = 36,964 \quad \text{MPa}$
- $F_{h0} = 136,000 \quad \text{N}$

$$\begin{aligned}
F_{ck} &= 50 & \text{MPa} \\
N &= 0 \\
L &= 1.45 & \text{m} \\
k &= 0.70 \\
e_s &= 0.005 \\
e_c &= 0.003 \\
A_h &= 140.00 & \text{mm}^2
\end{aligned}$$

Bilinmeyenler denkleme yerleştirildiğinde;

$$7000 x^2 + 220000 x + -21000000 = 0$$

$$x_1 = 41.27 \text{ mm}$$

$$x_2 = -72.70 \text{ mm}$$

$$F_c = 288.9 \text{ kN}$$

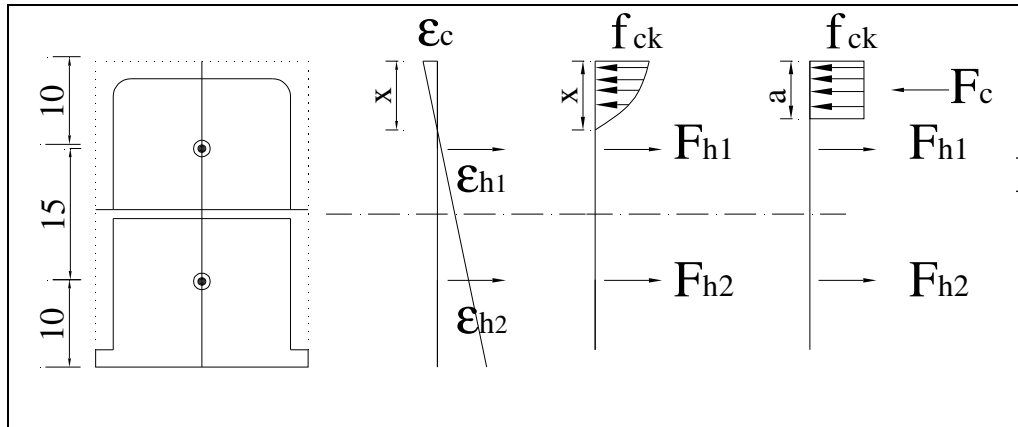
$$F_{h2} = 288.9 \text{ kN}$$

$$F_c - F_{h2} = 0 \quad \checkmark$$

$$\begin{aligned}
M &= F_{h2} * (h - x - d') & H &= M/L \\
&= 60.30 \text{ KNm} & H &= 41.6 \text{ KN}
\end{aligned}$$

Sistem itme durumunda iken;

Betonarme hesap dikdörtgen gerilme bloğu kabulü ile yapılacaktır. Kesitin düzlem kaldığı kabulü ile aynı hesap algoritması izlendiğinde;



Şekil 3-38 : Karma numune kolon kiriş etkileşimi kuvvetler dengesi itme durumu.

Denklem (1), (2), (5) ve (6) kullanıldığında;

$$\frac{x}{\epsilon_c} = \frac{(35 - x)}{\frac{b_w \cdot 0,7 \cdot x \cdot F_{ck} + F_{h0}}{A_h \cdot E_s}}$$

$$\begin{aligned} b_w &= 240 \text{ mm} \\ h &= 350 \text{ mm} \\ d &= 250,0 \text{ mm} \\ E_h &= 200,000 \text{ MPa} \\ E_c &= 36,964 \text{ MPa} \\ F_{h0} &= 136,000 \text{ N} \\ F_{ck} &= 50 \text{ MPa} \\ N &= 0 \\ L &= 1,45 \text{ M} \\ k &= 0,70 \\ e_s &= 0,005 \\ e_c &= 0,003 \\ A_h &= 140,00 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Bilinmeyenler denkleme yerleştirildiğinde;

$$8400 x^2 + 220000 x + -21000000 = 0$$

$$x_1 = 38,59 \text{ mm}$$

$$x_2 = -64,78 \text{ mm}$$

$$F_c = 324,2 \text{ kN}$$

$$F_h = 324,2 \text{ kN}$$

$$F_c - F_h = 0 \quad \checkmark$$

$$\begin{aligned} M &= F_h \cdot (h - x - d') & H &= M/L \\ &= 68,53 \text{ kNm} & H &= 47,3 \text{ KN} \end{aligned}$$

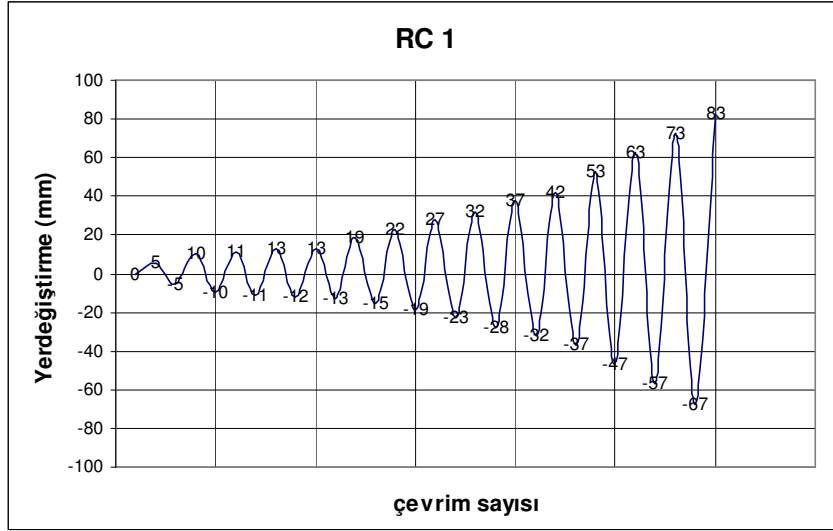
## 4. DENEY SONUÇLARI

### 4.1. Deney Gözlemleri

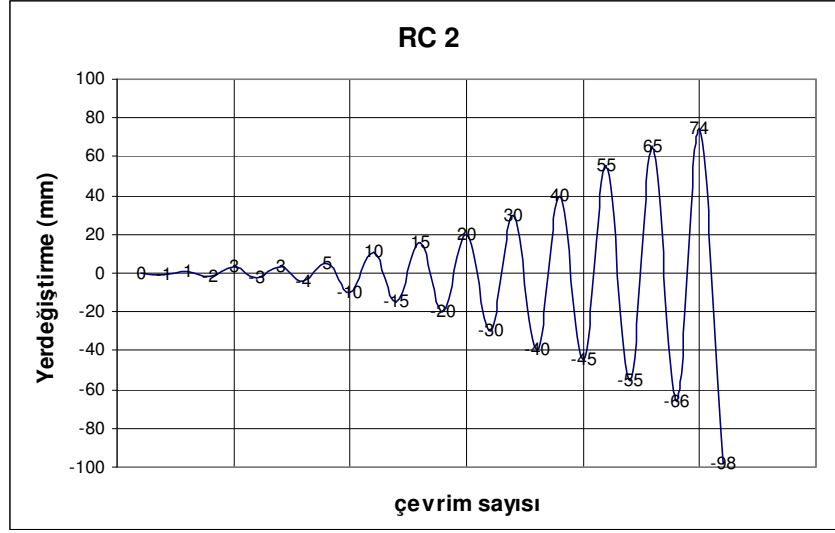
Yapılan seri deneyler sonucunda elde edilen sonuçlar grafikler haline getirilerek ifade edilmiştir.

#### Döngüsel yükleme:

Yekpare numune #1 ve yekpare numune #2 ye kirişi temsil eden elemanın üst ucundan, maksimum 295 kN gücündeki hidrolik pistonun bilgisayar kontrolü ile uygulanan tekrarlı yükleme durumu şekil 4.1 de gösterilmiştir.

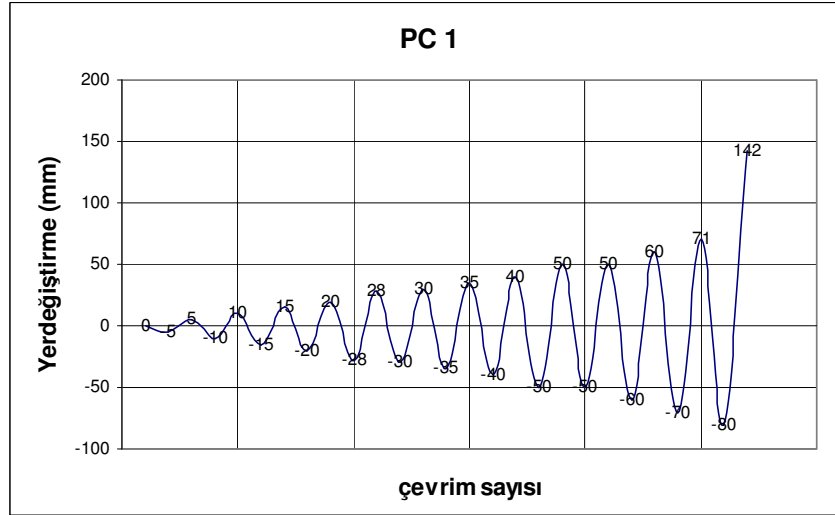


Şekil 4-1 : RC #1 yükleme durumu

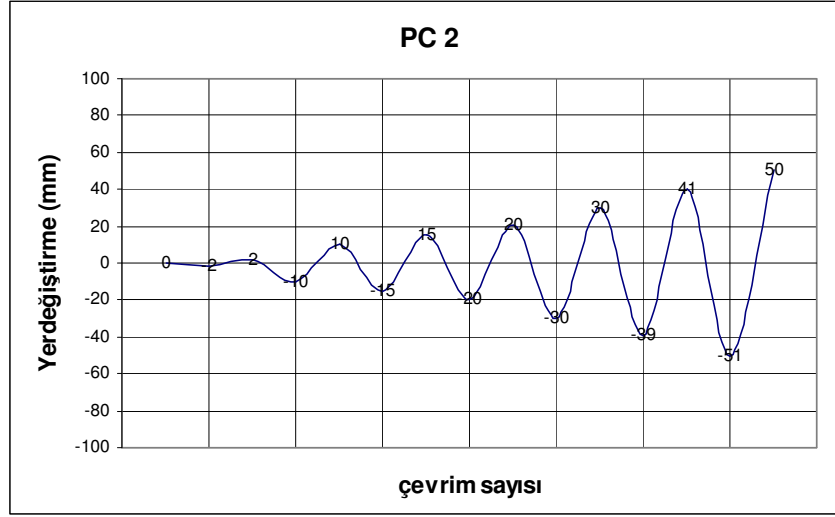


Şekil 4-2 : RC #2 yükleme durumu

Karma numune #1 ve Karma numune #2 ye kiriş i temsil eden elemanın üst ucundan, maksimum 295 kN gücündeki hidrolik pistonun bilgisayar kontrolü ile uygulanan tekrarlı yükleme durumu şekil 4.3 - 4.4 de gösterilmiştir.

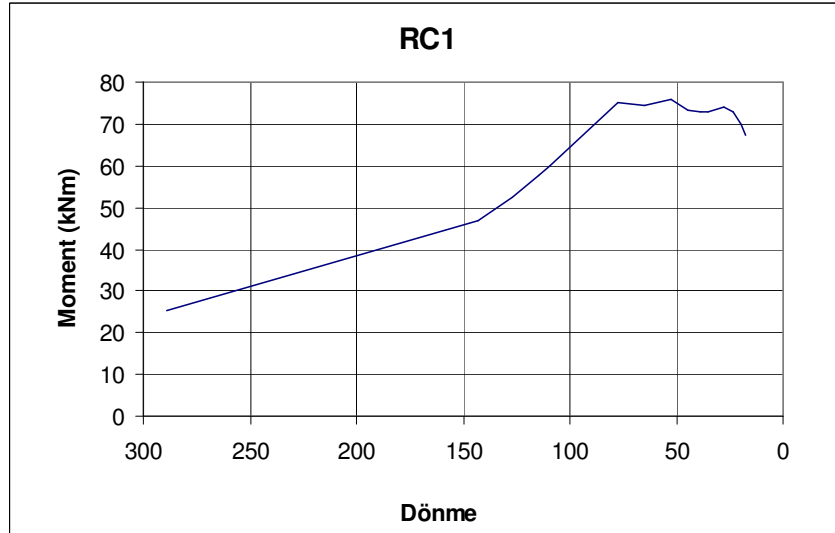


Şekil 4-3 : PC #1 yükleme durumu



Şekil 4-4 : PC#2 yükleme durumu

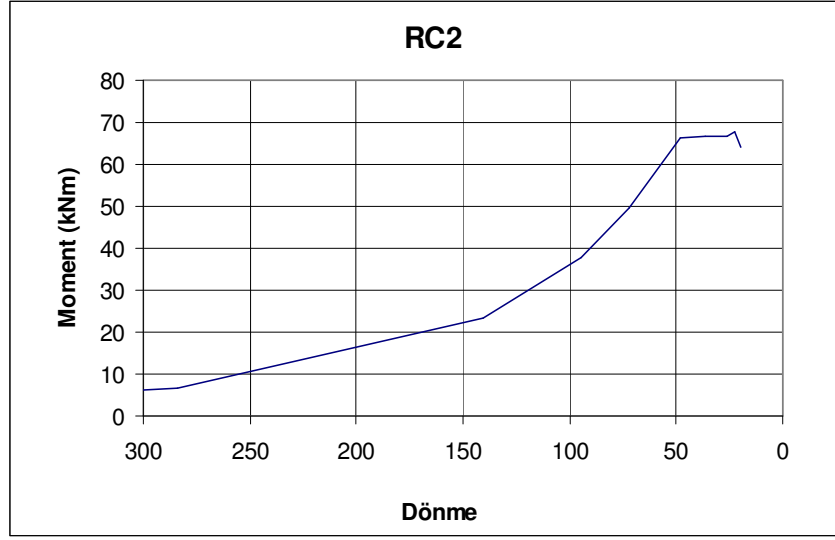
Yekpare numune #1 de kirişi temsil eden elemana uygulanan yatay döngüsel yük sonucunda kolon kiriş düğüm noktasında oluşan moment ve kiriş dönme ilişkisi şekil 4.5 de gösterilmiştir. Yekpare numune #1 in 67 kN luk moment altında kiriş ucu maksimum yer değiştirmesi 91mm ile 1/18 oranında dönme yaptığı görülmüştür.



Şekil 4-5 : RC #1 moment – dönme eğrisi

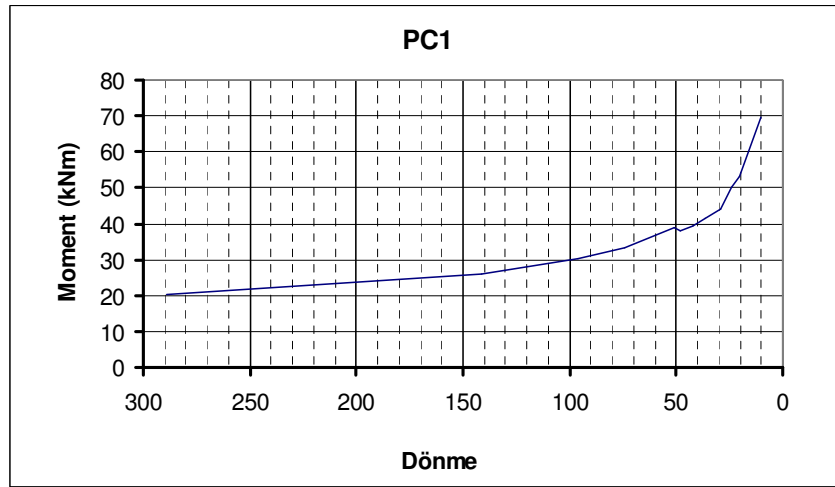
Yekpare numune #2 e kirişi temsil edene elemana uygulanan yatay döngüsel yük sonucunda kolon kiriş düğüm noktasında oluşan moment ve kiriş dönme ilişkisi şekil

4.6 de gösterilmiştir. Yekpare numune #2 nin 64 kNm luk moment altında kiriş ucu maksimum yer değiştirmesi 82 mm ile 1/19 oranında dönme yaptığı görülmüştür.



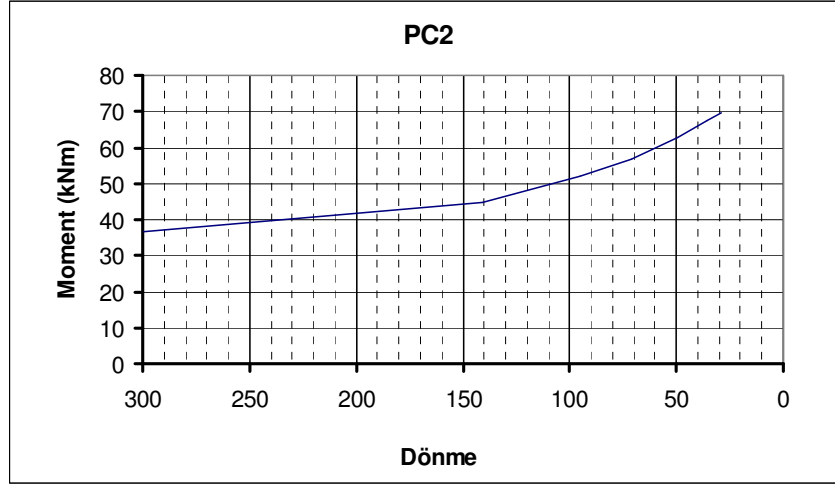
Şekil 4-6 : RC #2 moment – dönme eğrisi

Karma numune #1 e kirişi temsil edene elemana uygulanan yatay döngüsel yük sonucunda kolon kiriş düğüm noktasında oluşan moment ve kiriş dönme ilişkisi şekil 4.7 de gösterilmiştir. Karma numune #1 in 70 kNm luk moment altında kiriş ucu maksimum yer değiştirmesi 157mm ile 1/10 oranında dönme yaptığı görülmüştür.



Şekil 4-7 : PC #1 moment – dönme eğrisi

Karma numune #2 e kirişi temsil edene elemana uygulanan yatay döngüsel yük sonucunda kolon kiriş düğüm noktasında oluşan moment ve kiriş dönme ilişkisi şekil 4.8 de gösterilmiştir. Karma numune #2 in 70 kNm luk moment altında kiriş ucu maksimum yer değiştirmesi 55 mm ile 1/29 oranında dönme yaptığı görülmüştür.

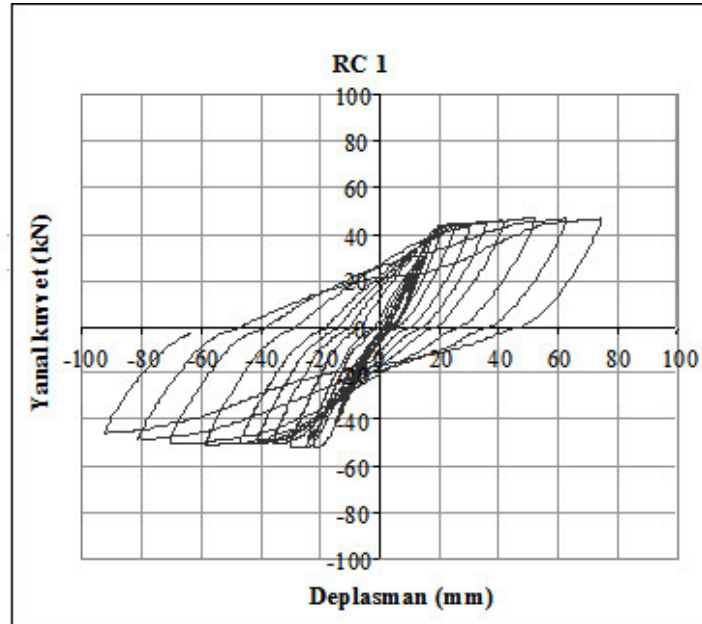


Şekil 4-8 : PC #2 moment – dönme eğrisi

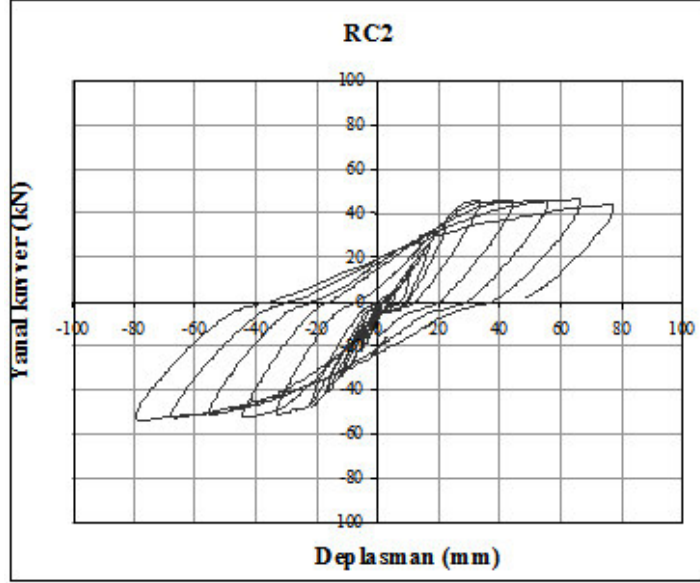
#### Yanal kuvvet & yer değiştirme:

Yekpare numune #1 ve Yekpare numune #2 ye kiriş i temsil eden elemanın üst ucuna yakın bir noktadan, 295 kN gücündeki hidrolik pistonun bilgisayar kontrolü ile kademeli olarak uygulanan tekrarlı yükleme durumu sonucunda uygulanan yatay yüke karşı numunenin kiriş i temsil eden elemanın uç kısmında meydana gelen yer değiştirmeler şekil 4.9 da gösterilmiştir.

Yekpare numune #1 de kirişi temsil eden elemanın maksimum uç yer değiştirme değeri 46 kN luk yatay yükleme altında 83 mm olarak ölçülmüştür.



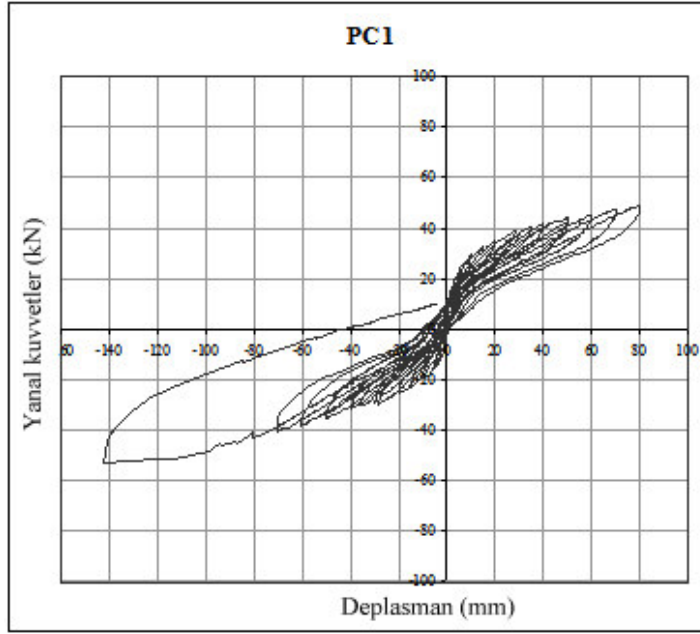
Yekpare numune #2 de kiriş i temsil eden elemanın maksimum uç yer değ iş tirme değ eri 44 kN luk yatay yü kleme altında 74 mm olarak ölç ülmü ş tür.



Ş ekil 4-10 : RC #2 Yanal kuvvet – Deplasman grafiğ i

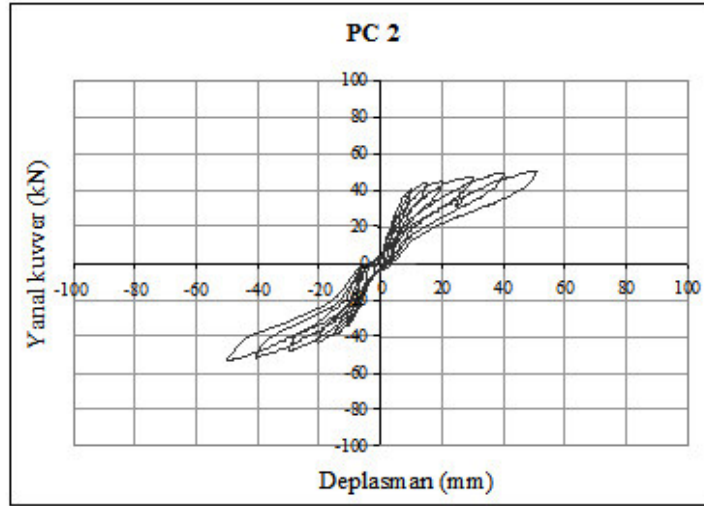
Karma numune #1 ve Karma numune #2 ye kiriş i temsil eden elemanın üst ucuna yakın bir noktadan, 295 kN gü cündeki hidrolik pistonun bilgisayar kontrolü ile kademeli olarak uygulanan tekrarlı yü kleme durumu sonucunda uygulanan yatay yü ke karşı numunenin kiriş i temsil eden elemanının uç kısmında meydana gelen yer değ iş tirmeler ş ekil 4.11- 4.12 de gösterilmiş tir.

Karma numune #1 de kiriş i temsil eden elemanın maksimum uç yer değ iş tirme değ eri 48 kN luk yatay yü kleme altında 142 mm olarak ölç ülmü ş tür.



Şekil 4-11 : PC #1Yanal kuvvet – Deplasman grafiği

Karma numune #2 de kirişi temsil eden elemanın maksimum uç yer değiştirme değeri 48 kN luk yatay yükleme altında 50 mm olarak ölçülmüştür.

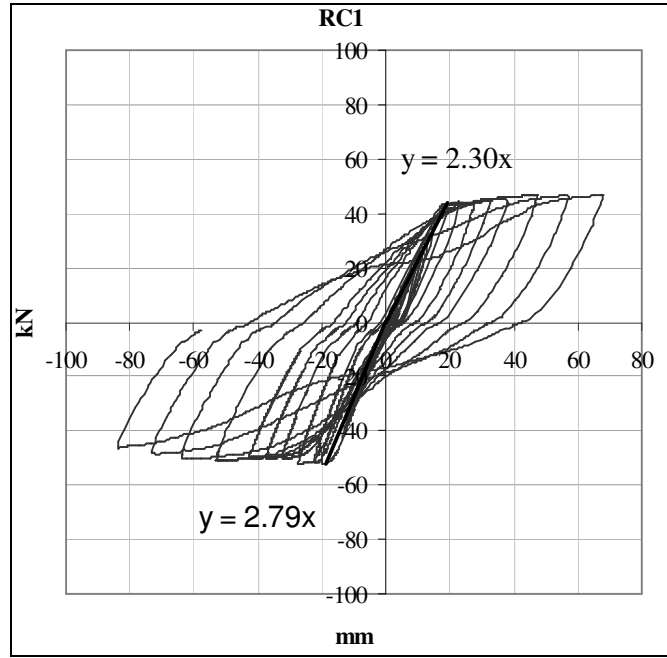


Şekil 4-12 : PC #2Yanal kuvvet – Deplasman grafiği

### Rijitlik:

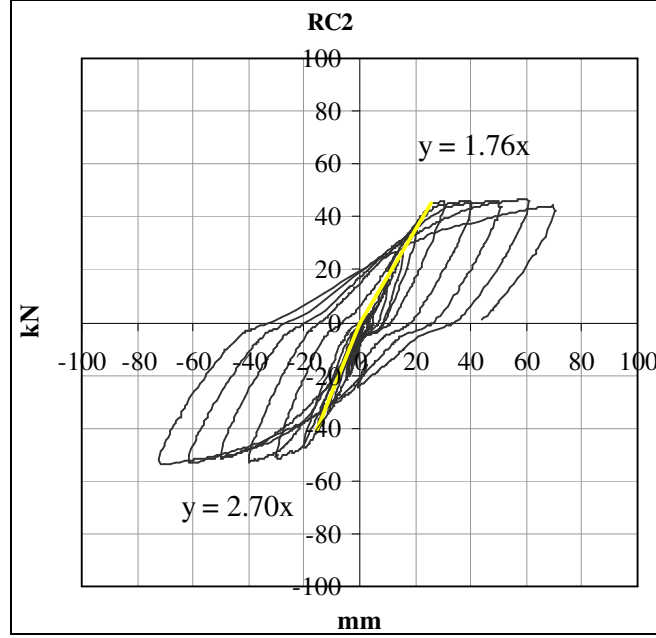
Yekpare numune #1 ve yekpare numune #2 ye kiriş i temsil eden elemanın üst ucuna yakın bir noktadan, hidrolik pistonun ile kademeli olarak uygulanan tekrarlı yükleme sonucunda elde edilen yatay yük – yer değiştirme grafiklerindeki numunenin elastik davranış gösterdiği bölgedeki tepe noktalarını birleştiren doğrunun eğiminin hesaplanması sonucu numunelere ait rijitlikler ayrı hesaplanmıştır. Şekil 4.13- de gösterilmiştir.

Yekpare numune #1 için elastik bölgedeki tepe noktalarından geçen doğrunun birleştirilmesi ile oluşan eğrinin eğimi itme bölgesinde 2.30, çekme bölgesinde 2.79 olarak hesaplanmıştır.



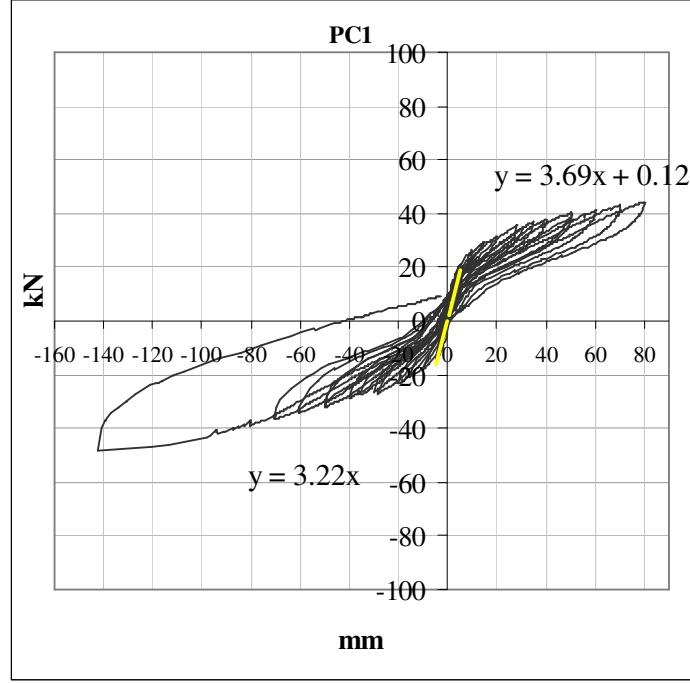
Şekil 4-13 : RC #1 rijitlik

Yekpare numune #2 için elastik bölgedeki tepe noktalarından geçen doğrunun birleştirilmesi ile oluşan eğrinin eğimi itme bölgesinde 1.76, çekme bölgesinde 2.70 olarak hesaplanmıştır.



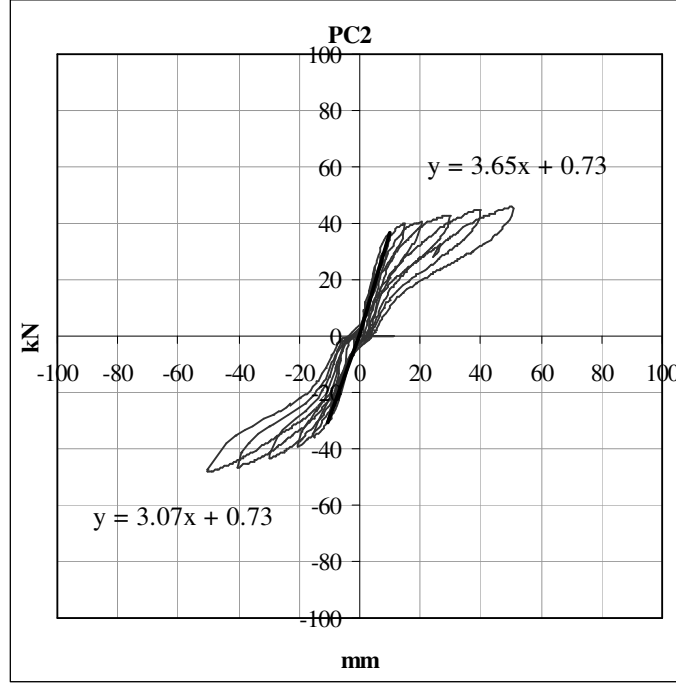
Şekil 4-14 : RC #2 rijitlik

Karma numune #1 için elastik bölgedeki tepe noktalarından geçen doğrunun birleştirilmesi ile oluşan eğrinin eğimi itme bölgesinde 3.69, çekme bölgesinde 3.22 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4-15 : PC #1 rijitlik

Karma numune #2 için elastik bölgedeki tepe noktalarından geçen doğrunun birleştirilmesi ile oluşan eğrinin eğimi itme bölgesinde 3.65, çekme bölgesinde 3.07 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4-16 : PC#2 rijitlik

**Süneklik:**

RC 1 Numunesi akma anındaki uzama miktarı:

Numune boyu 162 cm

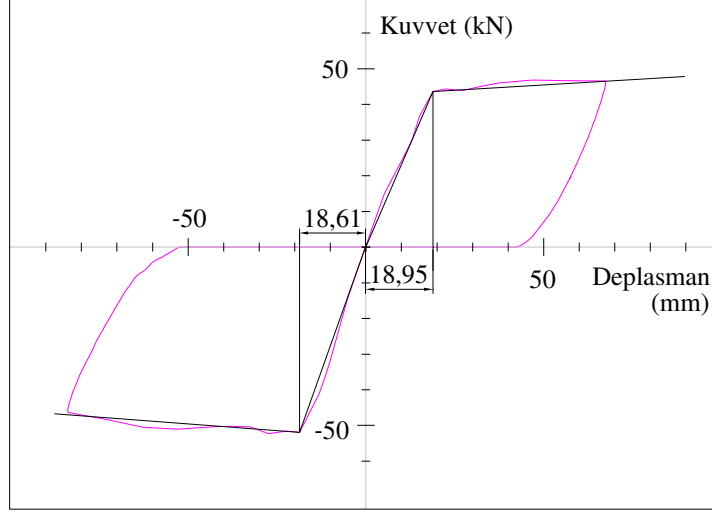
Kuvvet noktasının kolon yüzüne mesafesi 147 cm

Akmadaki maksimum uzama  $0.035 \times 147 = 51.45$  mm

Çekme bölgesinde 18.95 mm

Çekme durumunda süneklik:  $51.45 / 18.95 = 2.72$

İtme bölgesinde 18.61 mm:  $51.45 / 18.61 = 2.76$



Şekil 4-17 : RC #1 süneklik

RC 2 Numunesi akma anındaki uzama miktarı:

Numune boyu 162 cm

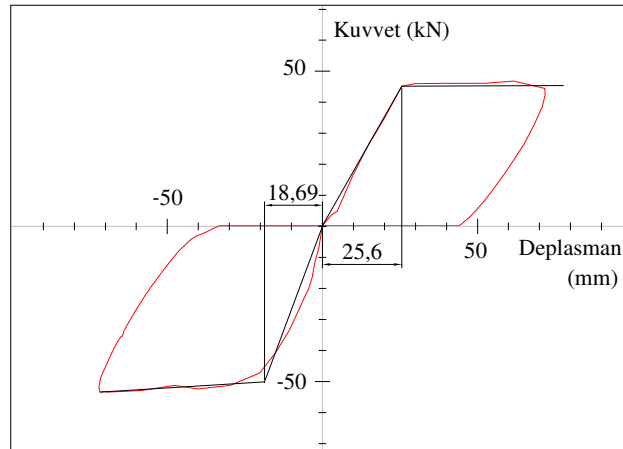
Kuvvet noktasının kolon yüzüne mesafesi 147 cm

Akmadaki maksimum uzama  $0.035 \times 147 = 51.45$  mm

Çekme bölgesinde 25.60 mm

Çekme durumunda süneklik:  $51.45 / 25.60 = 2.01$

İtme bölgesinde 18.69 mm:  $51.45 / 18.69 = 2.75$



Şekil 4-18 : RC #2 süneklik

PC 1 Numunesi akma anındaki uzama miktarı:

Numune boyu 160 cm

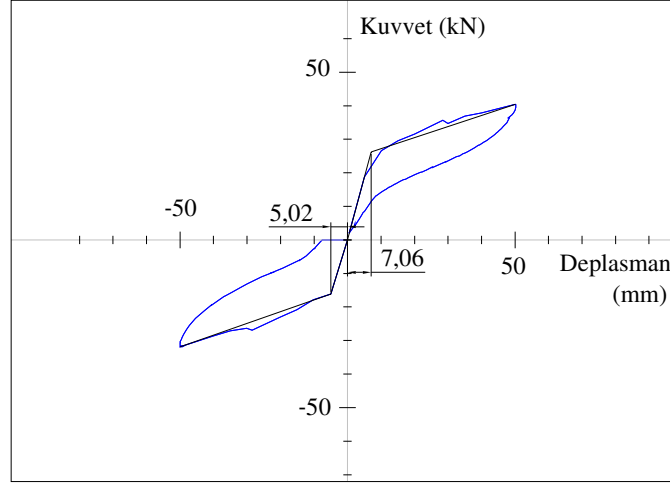
Kuvvet noktasının kolon yüzüne mesafesi 145 cm

Akmadaki maksimum uzama  $0.035 \times 145 = 50.08$  mm

Çekme bölgesinde 07.06 mm

Çekme durumunda süneklik:  $50.08 / 07.06 = 7.09$

İtme bölgesinde 05.02 mm:  $50.08 / 05.02 = 9.98$



Şekil 4-19 : PC#1 süneklik

PC 2 Numunesi akma anındaki uzama miktarı:

Numune boyu 160 cm

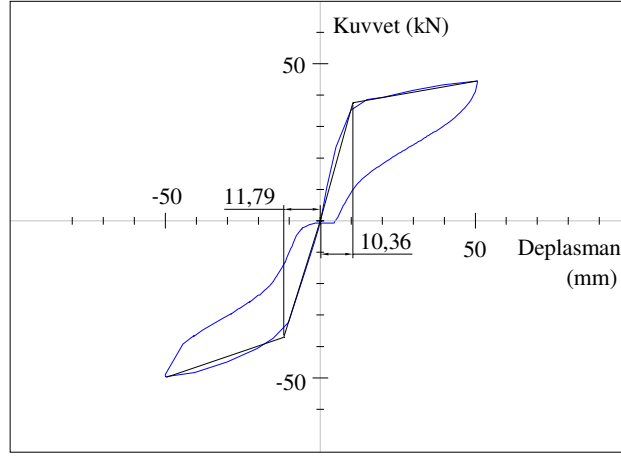
Kuvvet noktasının kolon yüzüne mesafesi 145 cm

Akmadaki maksimum uzama  $0.035 \times 145 = 50.08$  mm

Çekme bölgesinde 10.36 mm

Çekme durumunda süneklik:  $50.08 / 10.36 = 4.83$

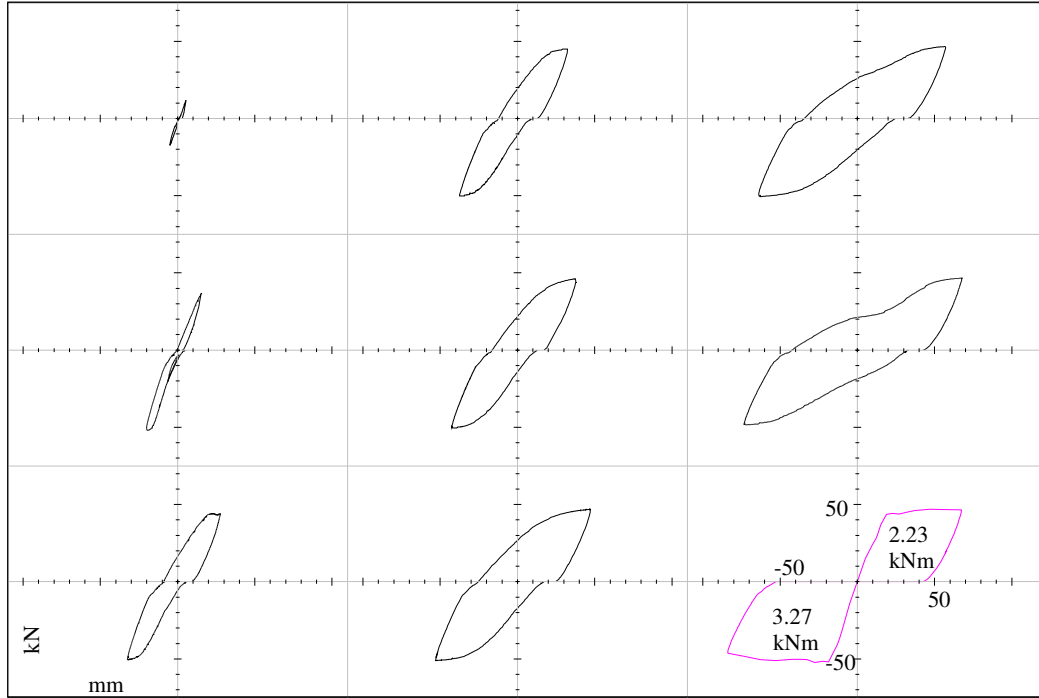
İtme bölgesinde 11.79 mm:  $50.08 / 11.79 = 4.24$



Şekil 4-20 : PC#2 süneklik

### Enerji:

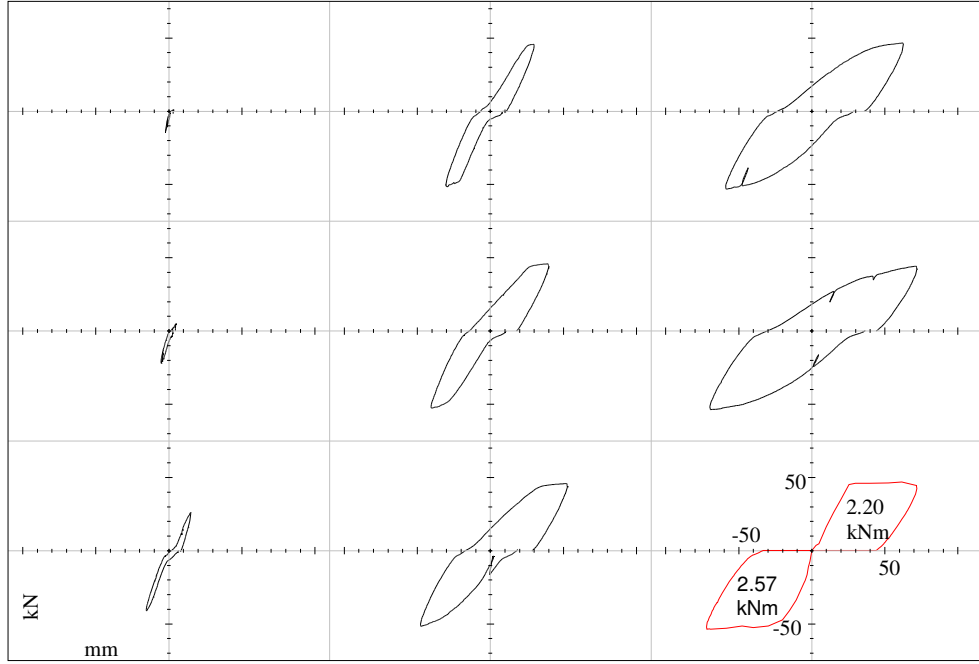
Numunelerin enerji yutma kapasiteleri, döngüsel yüklemeler ile elde edilen kuvvet yer değiştirme zarf grafiğinin altında kalan alanın hesaplanması ile bulunmuştur. Grafikler yaklaşık eşit yük değerleri alınarak karşılaştırılmıştır.



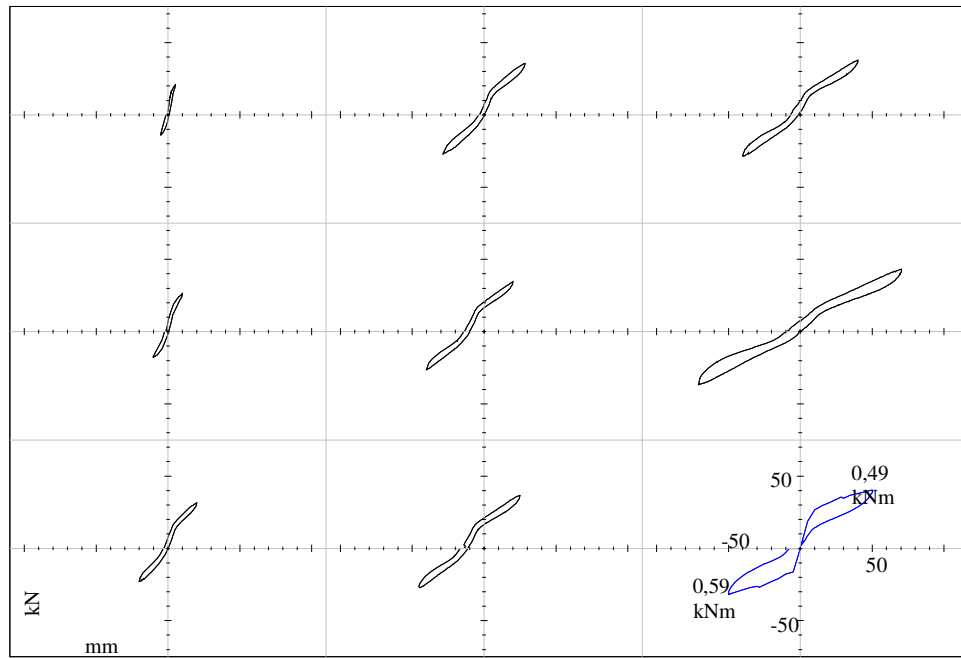
Şekil 4-21 : RC 1 Numunesi döngüsel yükleme şeması enerji yutma kapasiteleri

Şekil 4.21- 4.22- 4.23- 4.24 de görülen eğriler, her bir tersinir yükleme için numune üzerinden okunan yer değiştirme kayıtlarıdır. Her bir eğrinin farkı alanları eleman

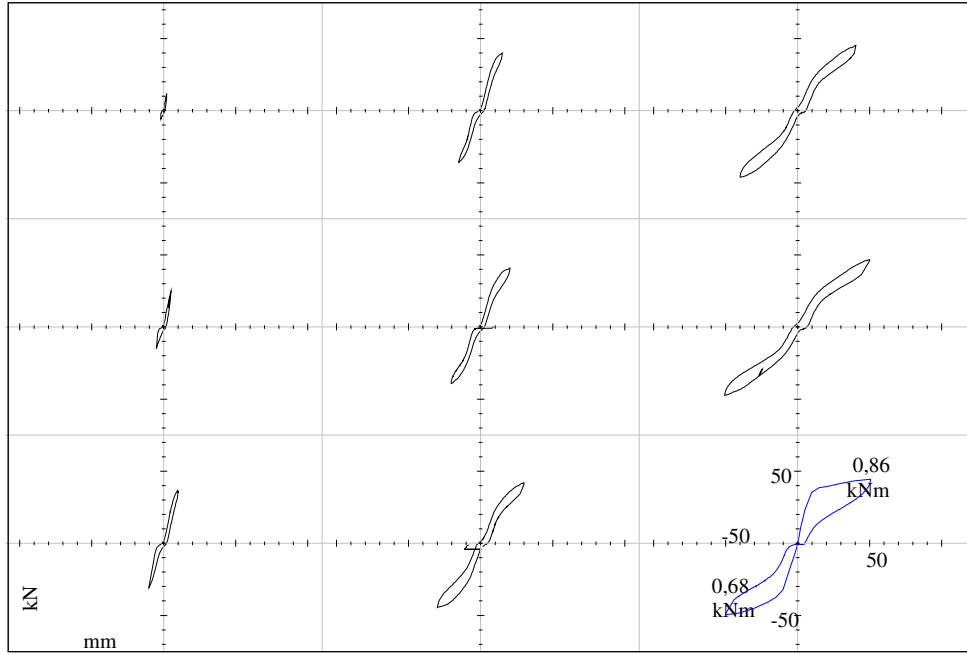
plastik şekil değiştirmeler ve iç sürtünmelerle yutulan enerji miktarına karşılık gelmektedir.



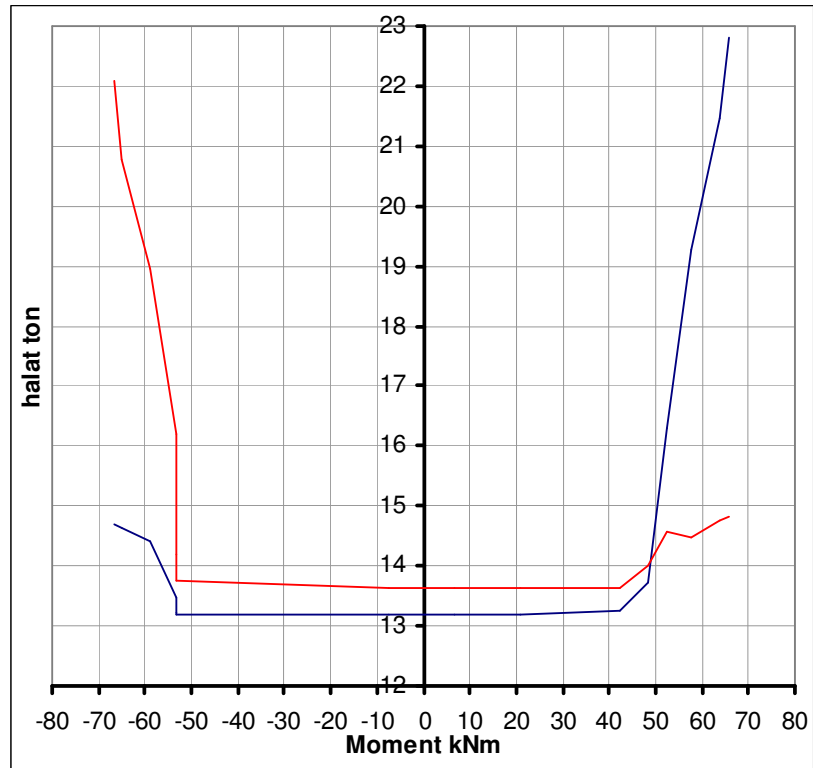
Şekil 4-22 : RC 2 Numunesi döngüsel yükleme şeması enerji yutma kapasiteleri



Şekil 4-23 : PC 1 Numunesi döngüsel yükleme şeması enerji yutma kapasiteleri

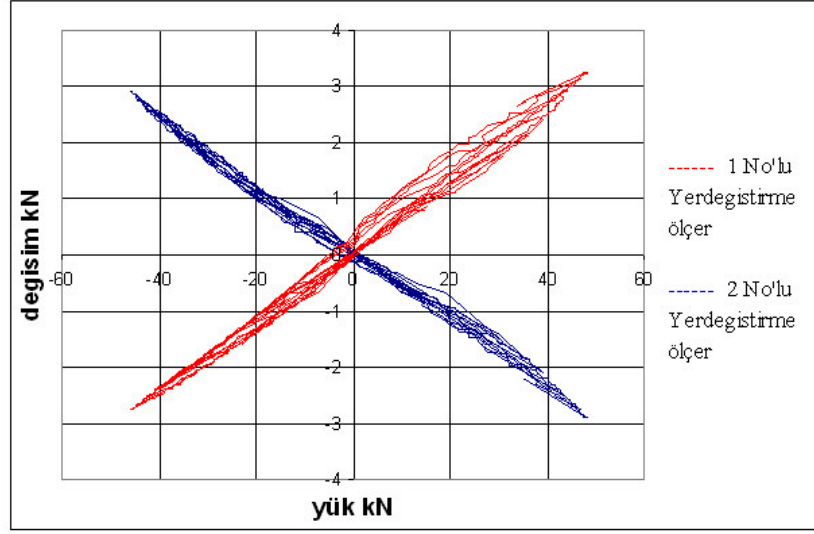


Şekil 4-24 : PC #2 Numunesi döngüsel yükleme şeması enerji yutma kapasiteleri



Şekil 4-25 : PC #2 numunesi halat yükünün uygulanan moment ile göre değişimi

Şekilde 4.25 görüldüğü üzere  $\pm 55$  kNm in üzerindeki yüklemelerde halatlardaki gerilmelerde önemli artışlar meydana gelmektedir.



Şekil 4-26 : Karma numune alt donatı– yatay yük ilişkisi

Kolon alt donatısı üzerine yerleştirilmiş olan gerilme ölçerlerden okunan elektronik sinyallerin dönüştürülmesi ile elde edilen Şekil 4.26 da görüldüğü gibi kiriş üzerinden aktarılan momentler ile kiriş ve guse bölgesinde hasar oluşur iken kolonda kalıcı deformasyon oluşmadığı görülmüştür (Ek Şekil B.4). Kiriş üzerinden kolon elemanına aktarılan moment miktarları halat üzerindeki gerilmelere bağlı olduğundan farklı halat ard germe yüklerine karşılık gelen kolon moment aktarım oranları bu tez kapsamı dışında tutulmuştur.

## 5. SONUÇLAR

Deney sırasında yük - şekil değiştirme diyagramı altında kalan alanlar karşılaştırıldığında, ard-germeli kolon kiriş birleşimi çerçevesinin yekpare numuneye göre daha az enerji yuttuğu gözlemlenmiştir. Ancak ard germe kabloları elastik bölgede kaldığı sürece kolon-kiriş ara yüzündeki dolgu betonu çatlayana kadar çerçevede neredeyse hiçbir deformasyon oluşmamıştır.

Yapılan deneyler sırasında döngüsel yük uygulanmış olduğundan, numunenin rijitliği yükleme döngüsü boyunca değişmektedir. Bu nedenle bağlı rijitlik tepeden tepeye rijitlik metodu kullanılarak hesaplanmıştır. Bir yapının dayanımı yapının rijitliği ile doğrudan ilişkili olduğu göz önüne alınır, bu tez çalışmasında denenen karma numunenin bağlı dayanımda belirgin bir azalma olmaya neden olmadan yapının dayanım kapasitesini arttırdığı söylenebilir.

Numunelere uygulanan maksimum yatay yükte belirgin bir değişim olmamasına rağmen, yatay yükün yekpare numunede aniden azaldığı gözlenmektedir. Oysa karma sistem geniş döngülerde dahi çok az dayanım kaybı göstermektedir.

**Tablo 5.1 :** Deney sonuçlarının karşılaştırılması.

Numune	Yanal kuvvet maks. kN	Rijitlik kN/m	Süneklik* $\mu$	Enerji toplam kNm
RC1	51.96	2.55	2.74	5.5
RC2	53.72	2.23	2.38	4.77
PC1	48.00	3.46	8.54	1.08
PC2	48.14	3.36	4.53	1.54

\* %3,5 Kat ötelenmesi durumu için

Uygun deney düzenekleri hazırlanarak ard germeli kiriş-kolon birleşiminin güvenliği ve deprem performansı istatistiksel olarak doğrulanabilir. Birleşimin yekpare numuneye göre zayıf olan enerji yutum karakteristiğinde çeşitli ek birleşim elemanları kullanmak sureti ile bir artış sağlanabilir.

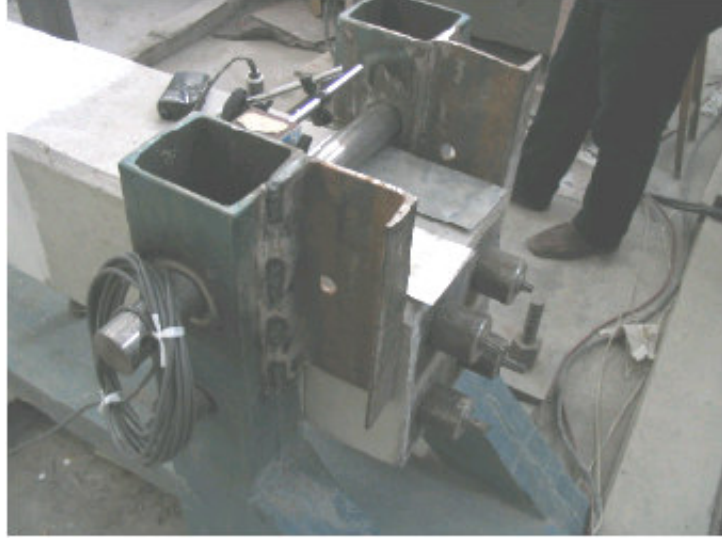
## KAYNAKLAR

- [1] **A.S. Arsan, M. Kaya, B. Doyranli**, “Post-Tension Prefabricated Column-Beam Connections”, Fifth National Conference on Earthquake Engineering, Istanbul Technical University, 26-30 May, 2003, Istanbul
- [2] **Erdik, M.**, 1999. Report on 1999 Kocaeli and Düzce earthquakes, 22-30
- [3] **W.C. Stone, G.S. Cheok, J.F. Stanton**, Performance of Hybrid Moment-Resisting Precast Beam- Column Concrete Connections Subjected to Cyclic Loading, ACI Journal, Vol.91, No:2, Mart-Nisan 1995, pp 229-249
- [4] **N.M. Hawkins, S. K. Ghosh**, Requirements for the Use of PRESSS Moment-Resisting Frame Systems, PCI Journal, Mart-Nisan 2004, pp.98-103
- [5] **Ala-Sawa Precast Column to Beam connection System Details**, ALACALI İNŞ. A.Ş
- [6] **HOFFMANN K**, Applying the Wheatstone Bridge Circuit, HBM 3rd improved edition,(1986)
- [7] **Türk Standartları**, (TS708), Donatı Çeliklerinin Mekanik Özellikleri
- [8] **Türk Standartları**, (TS648), Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, 1980
- [9] **Türk Standartları**, (TS500), Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, İstanbul (2000)
- [10] **CELEP Zekai, KUMBASAR Nahit**, ÖRNEKLERLE BETONARME, Dördüncü Baskı, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Profesörleri, İstanbul (1995),

## EKLER

### EK A

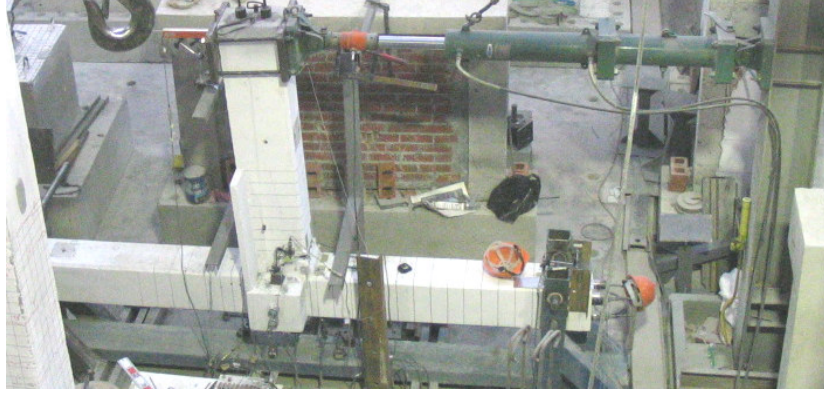
#### DENEY DÜZENEĞİ VE NUMUNE RESİMLERİ



Şekil A. 1 Yekpare ve karma numunelerin genel mesnetlenme görüşü



Şekil A. 2 Karma numune kolon ve kiriş elemanı ard germe işlemi



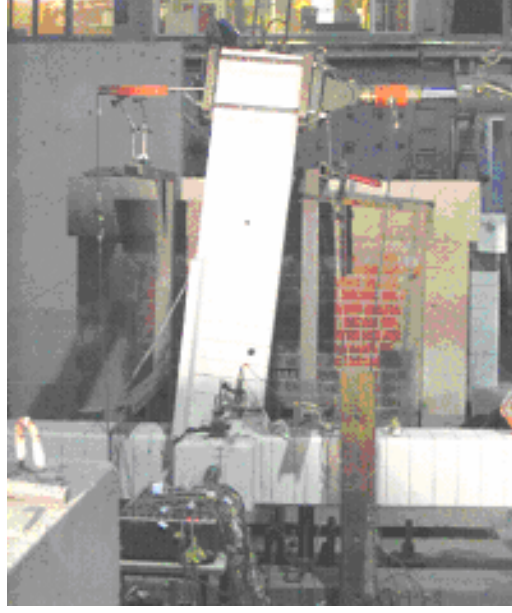
Şekil A. 3 Karma numune #1 deney başlangıcı genel görünüş.



Şekil A. 4 Karma numune #1 kolon gusesi üzerindeki kalıcı deformasyonlar genel görünüş



Şekil A. 5 Karma numune #1 döşeme kısmı basınç halinde iken kolon gusesi ile giriş açılması



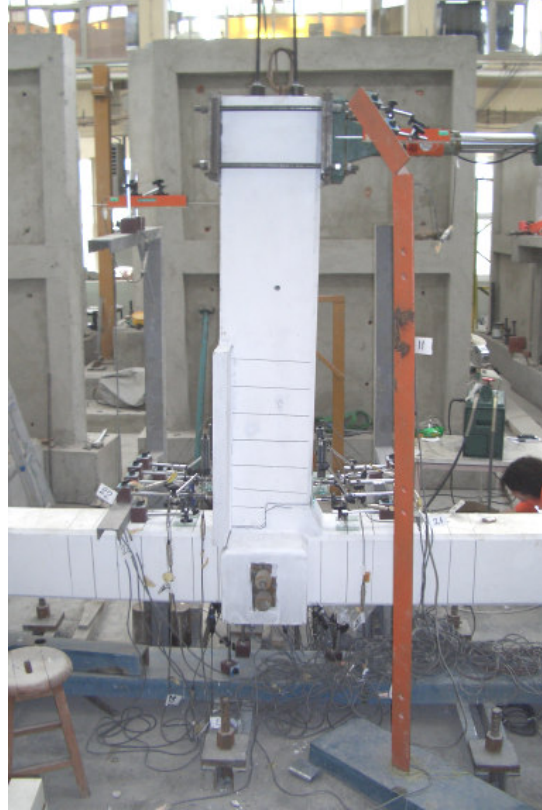
Şekil A. 6 Karma numune #1, yük kaybının başladığı 1/10 dönme hali genel görünüş.



Şekil A. 7 Karma numune #1 1/10 dönme durumunda kolon gusesi üzerindeki deformasyonlar yan görünüş



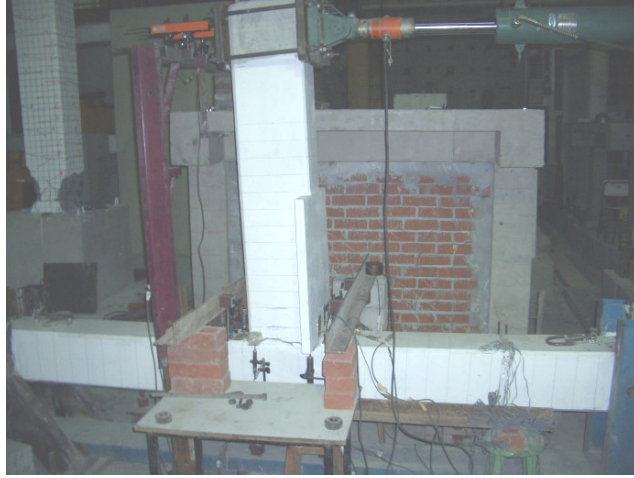
**Şekil A. 8** Karma numune #1 1/10 dönme durumunda kolon gusesi üzerindeki deformasyonlar ön görünüş



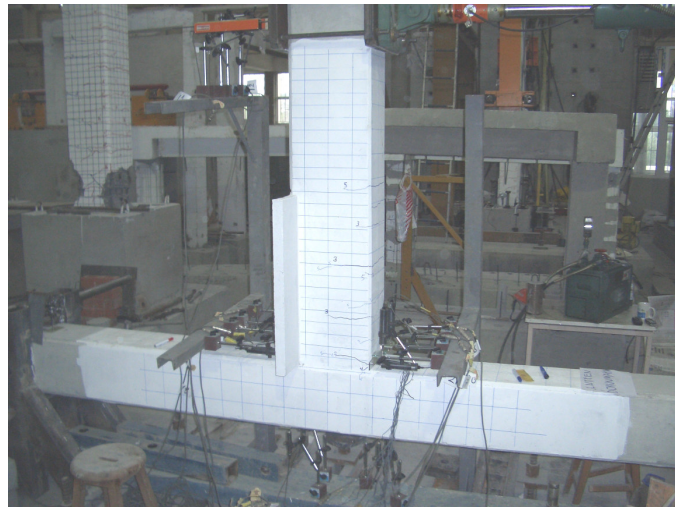
**Şekil A. 9** Karma numune #2 deney başlangıcı genel görünüş.



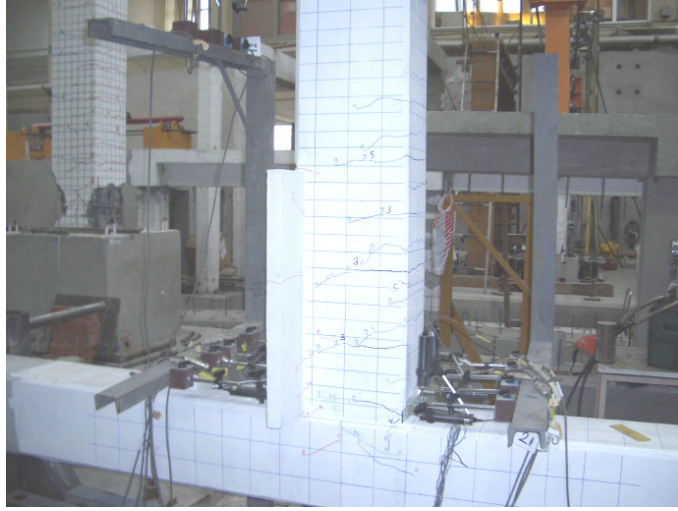
Şekil A. 10 Karma numune #2 plastik deformasyonların başlaması yan görünüşü.



Şekil A. 11 Yekpare numune #1, 1/20 dönme hali genel görünüşü.



Şekil A. 12 Yekpare numune #2 genel görünüşü



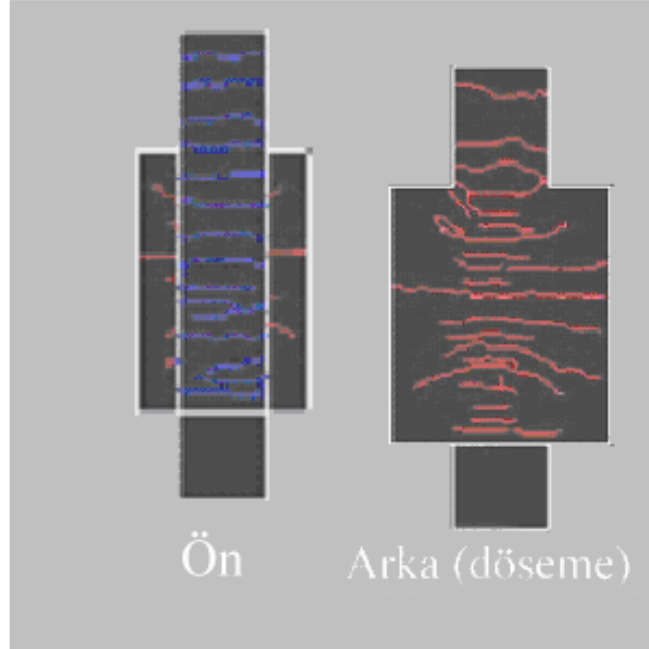
Şekil A. 13 Yekpare numune #2 kalıcı depormasyonlar genel görünüş.



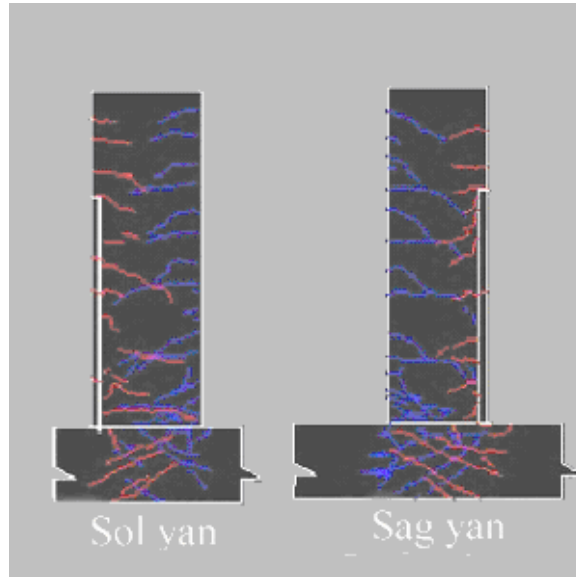
Şekil A. 14 Yekpare numune #2, deney sonu kalıcı depormasyonlar ön görünüş.

## EK B

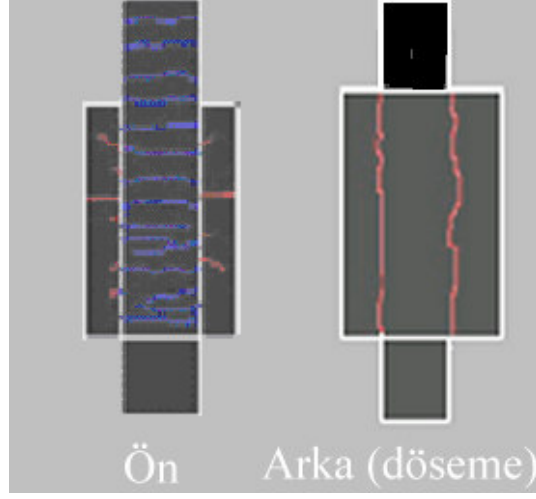
### YEKPARE VE KARMA NUMUNELERDE YÜKLEME SONUCU OLUŞAN KALICI DEFORMASYON ŞEKİLLERİ



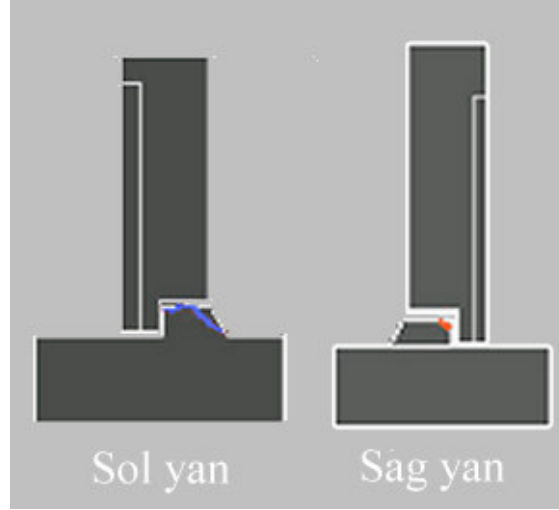
Şekil B. 1 Yekpare numunelerde sırasıyla itme ve çekme yükleri altında oluşan çatlak görüntüsü



Şekil B. 2 Yekpare numunelerde sırasıyla çekme ve itme yükleri altında oluşan çatlak görüntüsü



Şekil B. 3 Karma numunelerde sırasıyla itme ve çekme yükleri altında oluşan çatlak görüntüsü



Şekil B. 4 Karma numunelerde sırasıyla çekme ve itme yükleri altında oluşan çatlak görüntüsü

## EK C

### KİRİŞLERE UYGULANAN ARD GERME İŞLEMİ VE HALAT YÜKLERİNİN YÜK ÖLÇERLER İLE KONTROLÜ.

bar	ton	yük hücre a	yük hücre b
0	0.00	106	106
0	0.00	0.00	0.00
20	1.28	1.46	0.00
0	0.00	0.25	0.00
20	1.28	0.13	1.49
0	0.00	0.13	0.14
20	1.28	0.12	1.51
0	0.00	0.13	0.10
50	3.19	0.12	3.46
0	0.00	0.13	1.03
50	3.19	3.38	1.01
0	0.00	0.61	1.01
50	3.19	3.37	1.01
0	0.00	0.76	1.02
100	6.39	6.39	0.99
0	0.00	2.58	1.01
100	6.39	6.44	0.99
0	0.00	2.74	1.01
100	6.39	2.72	6.47
0	0.00	2.74	2.67
150	9.58	2.72	7.94
0	0.00	2.73	4.13
150	9.58	9.48	4.08
0	0.00	5.03	4.08
180	11.50	11.48	4.07
0	0.00	7.13	4.08
180	11.50	7.10	11.44
0	0.00	7.12	6.17
200	12.77	7.10	12.74
0	0.00	7.11	7.08
200	12.77	12.79	7.06
0	0.00	8.05	7.07
219	13.99	14.00	7.05
0	0.00	9.00	7.06
219	13.99	8.96	13.93
0	0.00	8.98	8.77
219	13.99	8.96	14.08
0	0.00	8.97	8.48
280	17.88	8.93	17.76
280	17.88	8.93	17.91
0	0.00	8.95	11.98
280	17.88	17.84	11.92
0	0.00	12.25	11.94
300	19.16	19.27	11.92
0	0.00	13.30	11.93
300	19.16	13.26	19.15
0	0.00	13.28	13.84
310	19.80	19.99	13.77
0	0.00	12.49	13.79
320	20.44	20.60	13.76
0	0.00	13.32	13.78

Şekil C. 1 Kirişlere uygulanan ard germe işlemi ve halat yüklerinin yük ölçerler ile kontrolü.

## ÖZGEÇMİŞ

**Murat AKTAŞ**, 05.02.1975 tarihinde İstanbul'da doğmuştur. İlk, Orta ve Lise eğitimini tamamladıktan sonra 1993 yılında girdiği İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümünden 1997 yılında mezun olmuştur. Yedi yıl inşaat sektöründe çalıştıktan sonra 2004 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Anabilim Dalı, Deprem Mühendisliği Yüksek Lisans Programı'na kayıt olmuştur. Yüksek Lisans eğitimi sırasında İnşaat Mühendisliği derslerini başarı ile tamamlayıp, tez çalışmasına hak kazanmıştır.