

**DÜZENLİ KARE VEYA DAİRESEL BOŞLUKLARA SAHİP
BETONARME KİRİŞLERİN DAVRANIŞ VE DAYANIMI**

Yusuf Emre EĞRİBOZ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HAZİRAN 2008
ANKARA**

Yusuf Emre EĞRİBOZ tarafından hazırlanan DÜZENLİ KARE VEYA DAİRESEL BOŞLUKLARA SAHİP BETONARME KİRİŞLERİN DAVRANIŞ VE DAYANIMI adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Öğr. Gör. Dr. Bengi AYKAÇ

.....

Tez Danışmanı, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Hüsnü CAN

.....

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Öğr. Gör. Dr. Bengi AYKAÇ

.....

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Özgür ANIL

.....

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Tarih: 27 / 06 / 2008

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nermin ERTAN

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Yusuf Emre EĞRİBOZ

**DÜZENLİ KARE VEYA DAİRESEL BOŞLUKLARA SAHİP
BETONARME KİRİŞLERİN DAVRANIŞ VE DAYANIMI
(Yüksek Lisans Tezi)**

Yusuf Emre EĞRİBOZ

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Haziran 2008**

ÖZET

Genellikle, yapılardaki inşaat sonrası tesisat ihtiyaçları yüzünden, kirişlerde, sonradan bir takım boşluklar açılmaktadır. Fakat bu boşlukların eğilme elemanının davranışını nasıl etkileyeceği tam olarak bilinmemektedir. Bu nedenle bir dizi araştırma yapılması ihtiyacı duyulmuştur. Bundan önceki deneysel araştırmalarda, genellikle bir veya birkaç boşluğa sahip kirişler incelenmiştir. Sürekli ve sistematik olarak boşluk bırakılmış kirişler üzerinde herhangi bir araştırmaya rastlanmadığı için; Gazi Üniversitesi Yapı Mekaniği Laboratuvarı'nda bir dizi araştırma yapılması planlanmıştır. Bu araştırmalarda; boşluk geometrisi, X donatısı malzemesi ve düzenlemesi, boyuna donatı oranı değişken parametreler olarak dikkate alınmıştır.

Bu tez çalışması ise bu araştırmaların bir kısmını oluşturmaktadır. Bu çalışmada, aynı boyutlara sahip 3 adet referans deney elemanı ile 3'er adet özdeş, dairesel veya kare boşluklara sahip toplam 9 adet deney elemanı tek düze yükler altında test edilmişlerdir.

Deney sonuçları, dayanım, süneklilik ve eğilme rijitliği bakımından değerlendirilmiştir. Az ve normal donatılı dairesel boşluklu kirişler, referans (boşluksuz) kirişlere veya kare boşluklu kirişlere göre daha

sünek bir davranış göstermiştir. Fazla donatı oranındaki boşluklu kirişlerde ise süneklilik, dayanım ve eğilme rijitliği değerleri referans kirişlere göre azaldığı gözlenmiştir.

Deney parametleri göz önüne alındığında az veya normal donatı oranına sahip, düzenli ve özdeş, X donatılı, dairesel boşluklu kirişlerin, düzenli ve özdeş kare boşluklu kirişlere oranla daha başarılı, referans kirişlere yakın sonuçlar verdiği görülmüştür.

Bilim Kodu : 911.1.145

Anahtar Kelimeler : Betonarme kiriş, kare boşluk, dairesel boşluk

Sayfa Adedi : 98

Tez Yöneticisi : Öğr. Gör. Dr. Bengi AYKAÇ

**BEHAVIOR AND STRENGTH OF R/C BEAMS WITH
REGULAR RECTANGULAR OR CIRCULAR WEB OPENINGS**

(M. Sc. Thesis)

Yusuf Emre EĞRİBOZ

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE**

June 2008

ABSTRACT

Generally, some holes are drilled due to the facility needs at buildings. On the other hand, the behavior of the beam after these drilling operations was not investigated. Before this study, beams with one or more than one hole were investigated. Due to no investigation on the beams consisting of purposefully and systematically located holes, it is planned to make an investigation on the subject, in the Structural Mechanics Laboratories of Gazi University. In the study, blank geometry, X reinforcement material and arrangement and longitudinal reinforcement ratio are taken as variables.

This thesis includes a part of these researches. In this study, three geometry wise identical reference experiment beams, three circular and three square web opened beams, totally nine beams are subjected to testing under monotonous loading.

The experimental results are analysed in terms of ductility, strength and rigidity parameters. Low and medium reinforcement applied circular web opened beams shows more ductile behaviour than reference

beams. High reinforcement applied beams ductility, strength and bending rigidity properties are worse than reference beams.

In the light of experiment results, low or medium level reinforcement applied, regularly and identically drilled and X reinforced circular web opened beams shows better results than regularly and identically drilled square web opened beams.

Science code : 911.1.145

Keywords : Reinforced Concrete, Square Openings, Circular
Openings

Page Number : 98

Adviser : Dr. Bengi AYKAÇ

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca bana yardımını esirgemeyen, İnşaat Bölümü'nün değerli tüm hocalarına, çalışmalarım boyunca, bu araştırmayı planlayıp yöneten, değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren, deneysel çalışmalarımla bizzat kendisi ilgilenen ve takip eden danışmanlarım, değerli hocalarım Öğr. Gör. Dr. Bengi AYKAÇ ve Öğr. Gör. Dr. Sabahattin AYKAÇ' a teşekkür ederim.

Ayrıca çalışmalarım boyunca desteklerini esirgemeyen Arş. Gör. Mahmut Cem YILMAZ' a, Arş. Gör. Eray ÖZBEK' e, Arş. Gör. Yağmur KOPRAMAN' a, Arş. Gör. Şule BAKIRCI ER' e ve laboratuvar sorumlusu Faruk OGÜN' e, teşekkürü bir borç bilirim.

İnşaat mühendisliği bölümünü seçmemde büyük katkısı olan ve okuduğum süre içerisinde desteklerini esirgemeyen, her şeyimi borçlu olduğum değerli babam Enver EĞRİBOZ' a, annem Nurcan EĞRİBOZ' a ve kardeşim Eda EĞRİBOZ' a, çalışmalarım da her zaman beraber olduğum dostlarıma teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	xii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xiii
RESİMLERİN LİSTESİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR	xvi
1. GİRİŞ	18
2. AMAÇ VE KAPSAM	19
3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	20
4. DENEYSEL ÇALIŞMA	27
4.1. Deney Parametreleri	27
4.1.1. Boyuna donatı oranı	27
4.1.2. Boşluk geometrisi	28
4.1.3. X donatısı malzemesi ve düzenlemesi	30
4.2. Malzemelerin Mekanik Özellikleri	30
4.2.1. Donatı çeliği özellikleri	30
4.2.2. Beton malzemesi özellikleri	31
4.2.3. Çelik halat özellikleri	32
4.3. Deney Elemanları Kodlandırılması	32
4.4. Donatı Geometrisi	33

Sayfa

4.5. Kalıp Özellikleri.....	35
4.6. Deney Elemanları Kapasiteleri	38
4.7. Deney Düzeni.....	40
4.7.1. Yükleme düzeni.....	40
4.7.2. Ölçüm düzeni.....	42
5. DENEYLER	47
5.1. S Kodlu, Az Donatılı Kirişler	48
5.1.1. B_S kirişi	48
5.1.2. R_S kirişi	50
5.1.3. C_{SX} kirişi.....	52
5.2. N Kodlu, Normal Donatılı Kirişler	54
5.2.1. B_N kirişi.....	54
5.2.2. R_N kirişi.....	56
5.2.3. C_{NX} kirişi	59
5.3. B Kodlu, Fazla Donatılı Kirişler	61
5.3.1. B_B kirişi	61
5.3.2. R_B kirişi	64
5.3.3. C_{BX} kirişi	67
6. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	69
6.1. S Kodlu, Az Donatılı Kirişlerin İncelenmesi.....	72
6.2. N Kodlu, Normal Donatılı Kirişlerin İncelenmesi.....	74
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	78
ÖZGEÇMİŞ	97

Sayfa

EK-1 Kiriş donatı planları.....	83
EK-2 Normalize edilmiş yük değerleri ile kesme kuvveti-kayma açısı grafikleri (LVDT numaralarına göre sıralanmıştır).....	88

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1. Deney elamanlarının özellikleri	39
Çizelge 6.1. Dayanım, süneklik oranı ve eğilme rijitliği değerleri	71
Çizelge 6.2. Parametrelere göre kirişlerin birbirleri ile oranları.....	71

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 4.1. Kare boşluk yerleşimi.....	29
Şekil 4.2. Dairesel boşluk yerleşimi.....	29
Şekil 4.3. Yükleme Düzeneği Genel Görünüşü.....	41
Şekil 4.4. B kodlu kirişlerde LVDT yerleşimi.....	43
Şekil 4.5. C kodlu kirişlerde LVDT yerleşimi.....	43
Şekil 4.6. R kodlu kirişlerde LVDT yerleşimi.....	43
Şekil 4.7. Kesme kuvveti altında boşluk davranışı.....	45
Şekil 5.1. R kodlu kirişlerde koloncuk numaralandırılması.....	47
Şekil 5.2. C kodlu kirişlerde koloncuk numaralandırılması.....	47
Şekil 5.3. B_S kirişi yük-deplasman grafiği.....	49
Şekil 5.4. R_S kirişi yük-deplasman grafiği	51
Şekil 5.5. C_{SX} kirişi yük-deplasman grafiği.....	53
Şekil 5.6. B_N kirişi yük - deplasman grafiği	55
Şekil 5.7. R_N kirişi yük-deplasman grafiği	57
Şekil 5.8. C_{NX} kirişi yük-deplasman grafiği.....	60
Şekil 5.9. B_B kirişi yük-deplasman grafiği.....	62
Şekil 5.10. R_B kirişi yük-deplasman grafiği	65
Şekil 5.11. C_{BX} kirişi yük-deplasman grafiği.....	68

Şekil	Sayfa
Şekil 6.1. Dairesel boşluklu (C_{SX}), kare boşluklu (R_S) ve referans (B_S) kirişlerinin yük-deplasman grafikleri	73
Şekil 6.2. Dairesel boşluklu (C_{NX}), kare boşluklu (R_N) ve referans (B_N) kirişlerinin yük-deplasman grafikleri	75
Şekil 6.3. Dairesel boşluklu (C_{BX}), kare boşluklu (R_B) ve referans (B_B) kirişlerinin yük-deplasman grafikleri	77

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 4.1. Kiriş kalıbına yerleştirilmiş kare boşluk kalıbı.....	37
Resim 4.2. Kiriş kalıbına yerleştirilmiş dairesel boşluk kalıbı.....	37
Resim 4.3. Kiriş üzerinde LVDT yerleşimi	42
Resim 4.4. LVDT' leri, Data Loader' a bağlanmış, deneye hazır bir kiriş	44
Resim 5.1. B_S kirişinin deney sonrası görüntüsü	49
Resim 5.2. Deney sonrası R_S kirişi.....	51
Resim 5.3. Deney sonrası C_{SX} kirişi görüntüsü.....	53
Resim 5.4. B_N kirişinde ezilme görüntüsü.....	55
Resim 5.5. R_N kirişinin deney öncesi görüntüsü	58
Resim 5.6. R_N kirişinin deney sonrası görüntüsü.....	58
Resim 5.7. C_{NX} kirişinin deney sonrası görüntüsü	61
Resim 5.8. B_B kirişinde betonda ezilme ve basınç donatısında burkulma.....	63
Resim 5.9. B_B kirişinin deney sonrası görüntüsü	63
Resim 5.10. R_B kirişinin deney öncesi görüntüsü	66
Resim 5.11. R_B kirişinin deney sonrası görüntüsü.....	66
Resim 5.12. C_{BX} kirişinin deney sonrası görüntüsü	68

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
A_s	Donatı alanı
b_w	Kiriş genişliği
f_{ck}	Karakteristik beton basınç dayanımı (standart silindir)
f_{cd}	Dizayn beton basınç dayanımı (standart silindir)
f_{yk}	Donatı çeliği karakteristik min akma dayanımı
f_{yd}	Donatı çeliği dizayn min akma dayanımı
f_{su}	Donatı çeliği min kopma dayanımı
ϵ_{su}	Minimum kopma uzaması
E_s	Elastisite Modülü
h	Kirişin yüksekliği
l	Kiriş boyu
δ_u	En büyük yükün %15 azaldığı noktadaki deplasman
δ_y	Akma anındaki deplasman değeri
$\emptyset$	Donatı çeliği çapı
α	Basınç donatısı endeksi katsayısı
ρ	Donatı oranı
σ	Gerilme
σ_c	Beton basınç gerilmesi
d'	Basınç donatısının üst yüze mesafesi
d	Çekme donatısının üst yüze mesafesi
As_1	Basınç donatısı alanı
As_2	Çekme donatısı alanı
P_{max}	Kirişin taşıyabildiği maksimum yük değeri
P_y	Akma anındaki yük değeri

Simgeler	Açıklama
P_u	En büyük yükün %15 azaldığı noktadaki yük değeri
δ_i	Kayma açısı hesaplanacak iki noktası arası mesafe
δ_f	Kayma açısı hesaplanacak iki noktası arası yükleme sonrası mesafe
δ_l	LVDT'nin okuduğu deplasman değeri
δ_s	Kesme kuvveti sebebiyle oluşan deplasman
θ_s	Kesme kuvveti sebebiyle oluşan kayma açısı
δ_u	En büyük yükün %15 azaldığı noktadaki deplasman
δ_y	Akma anındaki deplasman değeri

Kısaltmalar	Açıklama
ACI	Amerika Beton Enstitüsü
LVDT	Elektronik deplasman ölçerler

1. GİRİŞ

Özellikle bina inşaatlarında, sıhhi tesisat, kalorifer veya müşterek tesisat boruları, havalandırma tesisatı kanalları ile elektrik kablo taşıyıcı tavaalarının zorunlu olarak geçirilmesi gereken durumlarda, kirişlerde boşluklara ihtiyaç olmaktadır. Tesisat boru veya kanallarını kiriş altından geçirmek de mümkündür. Ancak bu uygulama, mimari açıdan her zaman mümkün olamamaktadır. Tesisat kanalları proje aşamasında düşünülmemiş veya uygulamada yapılmamış ise, maalesef bazı durumlarda bunun yerine kirişlerde, hesap aşamasında öngörülmemiş boşluklar açılabilir. Genellikle bu boşluklar mesnet noktalarına yakın yerlerde, boruların veya kanalların gizlenebileceği noktalarda, betonarme imalat sonrasında kırım yapılarak açılmaktadır. Bu tür uygulamalar kirişe, dolayısı ile taşıyıcı sisteme ciddi zararlar verebilmektedir.

Bu gözlemler ışığında kiriş mesnet noktalarına yakın yerlerde açılan boşlukların kiriş üzerine etkisi daha önceki çalışmalarda incelenmiş ve bu çalışmalar sonucunda kirişlerin mesnet bölgelerinde kesme gerilmelerinin bu boşluk oranlarına bağlı olarak, gerilme yığılmalarına sebep olduğu gözlenmiştir. Bu gerilme yığılmaları, genellikle kirişlerde kesme dayanımının aşılması sonucu gevrek bir kırılma gerçekleştirmektedir.

Yapılan bu çalışmada; kirişlerde bir veya birkaç boşluk açılması yerine, kirişlerde sürekli boşluklar açılarak, kirişin kesme kırılması yerine, eğilme davranışı sergilemesi amaçlanmıştır.

Bu çalışmada aynı boyutlarda 3 adet referans (boşluksuz kiriş), 3 adet kare ve 3 adet dairesel boşluklu kiriş olmak üzere toplam 9 adet deney elemanı üretilmiş ve tek düze yükler altında test edilmiştir. Çalışma Gazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Mekaniği Laboratuvarında sürekli ve özdeş boşluklu kirişlerle ilgili yürütölmekte olan bir dizi çalışmanın bir bölümünü oluşturmaktadır.

2. AMAÇ VE KAPSAM

Bu çalışmanın amacı; düzenli ve özdeş, kare veya dairesel boşluklara sahip betonarme kirişlerin, davranış ve dayanımını araştırmaktır. Kiriş üzerinde açılacak sürekli ve özdeş boşlukların, gerilme yığılmalarını önleyip, gerilmelerin tek bir nokta yerine kiriş boyunca yayılmasını sağlayabilmeyi, aynı zamanda kullanılacak malzemeyi minimumda tutabilmeyi araştırmaktır.

Bu amaçla sürekli boşluklara sahip kirişler üzerinde deneyler yapılmıştır. Kiriş geometrisi düzgün, prizmatik geometriye sahip olup, kiriş uzunluğu boyunca sabit geometriye sahip, özdeş ve eşit aralıklı, dairesel veya kare kesitli boşluklar açılmıştır. Oluşturulan toplam 9 adet deney elemanında, boşluk geometrisi, içerilerine yerleştirilen boyuna donatı oranları, kirişlerdeki X donatısının malzemesi ve düzenlemesi parametre olarak dikkate alınmıştır.

Deney sonuçlarında, bu değişen parametrelerin dayanıma, sünekliliğe ve eğilme rijitliğine katkıları incelenmiştir.

Elde edilen sonuçlar kendi aralarında kıyaslanarak değerlendirilmiştir.

3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Günümüze kadar boşluklu kirişlerle ilgili bir çok araştırma yapılmıştır. Bu araştırmalarda kiriş malzemesi, boşluk geometrisi ve yeri, donatı oranı, boşluğun dışmerkezliği, boşluk kenarları güçlendirme türleri ve yükleme çeşitleri gibi farklı parametreler incelenmiştir. Ancak düzenli boşluklara sahip betonarme kirişlerle ilgili sistematik bir araştırmaya rastlanmamıştır. Boşluklu kirişlerle ilgili çalışmalardan bazıları aşağıda özetlenmiştir.

Mansur' un çalışması

Amaç: Betonarme kirişlerde yer alan boşluğun, derinliğine ve genişliğine göre kiriş üzerindeki etkisini araştırmıştır. Ayrıca boşlukların, kiriş üzerinde bulunduğu mesafenin etkisini de araştırmıştır.

Deney elemanları: Küçük ve büyük boşluklu kiriş elemanlarıdır. Küçük boşluklu olanlar derinliği ile yüksekliği birbirine yakın olan, yani kare veya kareye yakın olanlar, büyük boşluklular ise genişliği uzun olan yani dikdörtgen boşluklulardır.

Yükleme türü: Yayılı yüktür.

İncelenen parametreler: Boşluk türü ve yeri.

Sonuçlar:

- Standart bir kirişe boşluk açıldığı zaman, yayılı yük altında kirişteki çatlamayı boşluk etrafındaki köşelerde gözlemiştir. Ancak, boşluk etrafı yeterli boyuna ve enine demirlerle sarıldığı zaman, kirişin normal davranışa yakın bir hareket sergilediğini gözlemiştir.
- Küçük boşluklu kirişlerdeki göçmeyi iki şekilde incelemiştir. Birincisi deliğin merkezinden geçen ve devam eden çatlaklar, ikincisi ise boşluğun altında ve üstünde kalan iki kirişte oluşan bağımsız çatlaklardır. İkinci

göçme şekli; kiriş tipi göçme ve çerçeve tipi göçme olarak ikiye ayrılır. Kiriş tipi göçmede, kirişte 45° ile, çerçeve tipi göçmede ise kirişte 90° ile göçme çatlağı oluşmaktadır. Hesap metodunu da bu kırılma açısı belirlemektedir.

- Küçük boşluklu kirişlerde yeterli donatı ile birlikte, taşıma kapasitesinde çok az bir azalma yaşanırken, büyük boşluklu kirişlerde boşluk oranına bağlı olarak kapasite azalması gözlenmektedir.
- Boşluk konumu kiriş açıklığı boyunca, mesnete yakın (mesnetlenme bölgesi dışında) veya tam merkezde ise eğilme çatlaklarından fazlaca etkilenmemekte, ancak kiriş tam ortası ile mesnet noktası arasında herhangi bir yerde ise moment büyüklüğüne bağlı olarak çatlaklar oluşmaktadır.
- Boşluk genişliği kare boşluklarda kiriş derinliğinin %25' ini, dairesel boşluklarda kiriş derinliğinin %33' ünü aşmadığı sürece, kapasitede azalma olmadığı kabul edilebilir, sonucunu ortaya koymuştur [1].

Ashour ve Rishi' nin çalışmaları

Amaç: Kiriş açıklık sayısına bağlı olarak, boşluk derinliğinin ve uzunluğunun açıklıktaki yerine bağlı olarak kiriş dayanımına etkisidir.

Deney elemanları: 16 adet betonarme, boşluklu, derin ve sürekli kirişler.

Yükleme türü: Yayılı yük.

İncelenen parametreler: Boşluk boyutu, boşluğun konumu ve boşluk çevresindeki donatı düzenidir.

Sonuçlar:

- Gövde boşluğu çevresine yerleştirilen düşey donatılar, yatay donatılara göre kirişin kesme kapasitesini daha fazla arttırmaktadırlar.

- Kiriş mesnet reaksiyonları boşluğun boyutuna ve konumuna göre değişmektedir.
- Dıştaki kesme açıklığı bölgesinde küçük gövde boşluğu bulunan sürekli derin kirişler, referans kirişlerine daha yakın davranış göstermektedirler.
- Gövde boşluğunun içteki kesme açıklığı kısmında yer alması, dıştaki kesme açıklığı kısmında yer almasına göre kiriş kapasitesini daha fazla azaltmaktadır.
- Sürekli derin kirişlerin göçme yüklerini önceden hesaplayabilmek için ileri sürülen denklemler oldukça makul sonuçlar verdiği gözlenmiştir [2].

Tan, Mansur ve Wei' nin çalışmaları

Amaç: Çalışmada, dairesel boşluklara sahip kirişlerin kesmeye karşı tasarımı ve dayanımı ile ilgili olan ACI Yönetmeliği' nde yer alan yaklaşımın yeterliliğini sorgulamaktadırlar.

Deney elemanları: T kesitli, dairesel boşluklu 7 adet betonarme kiriş.

Yükleme türü: Yayılı yüktür. Tasarımda deney numuneleri, sürekli kirişin negatif moment bölgesinde meydana gelen duruma benzer bir durum elde etmek amacıyla ters çevrilerek teste tabi tutulmuşlardır.

İncelenen parametreler: Boşluk boyutu, boşluğun konumu ve boşluk çevresindeki donatı düzeni ve ACI Yönetmeliği.

Sonuçlar:

- Dairesel boşluklu kirişlerin tasarımı ACI yönetmeliğinde yer alan normlara göre yapılabilir.
- Boşluk etrafında bulunan çapraz donatılar çatlak seviyesini belirlemektedir.

- Yerleştirilen çapraz donatıların miktarı, meydana gelen kesme kuvvetinin en az yarısını taşıyabilecek yeterlilikte olmalıdır. Yeterli miktarda çapraz donatı kullanıldığında, oluşacak kesme kuvveti, boşluk altında ve üstünde kalan kesit alanları ile orantılı olarak paylaşılmaktadır.
- Yöntemde, betonun kesme mukavemetine az olan katkısını, gövde boşluğuna bağlı olarak artırmakta ve iki farklı tip göçme şeklini dikkate almaktadır.
- Dolu gövdeli kirişler için maksimum kesme kuvvetini sınırlayan ACI yönetmeliğinin, bünyesinde küçük boşluklar bulunan kirişler için de kullanılabileceği sonucunu ortaya koymuşlardır [3].

Tan, Mohammad, Mansur ve Huang' un çalışmaları

Amaç: Sürekli kirişlerde yer alan büyük gövde boşluğu veya boşluklarının kiriş dayanımına etkisini araştırmaktır. Kiriş üzerinde açılması istenilen boşluğun, birden fazla boşluk ile açılması ve bir tek boşluk açılmasına göre dayanım ve kullanılabilirlik açısından kıyaslanmasıdır.

Deney elemanları: 15 adet T kesitli sürekli gövde boşluğu veya boşlukları bulunan kirişler.

Yükleme türü: Yayılı yüktür. Bu kirişlerin bir kısmı negatif bir kısmı da pozitif momente maruz bırakılmıştır.

İncelenen parametreler: Boşluk sayısı, boşluk etrafında yer alan kolon, alt ve üst başlık kirişlerinin dayanımı.

Sonuçlar:

- Genel olarak, sürekli kirişlerde gövde boşluklarının varlığı, çatlama ve göçme dayanımı azaltmasının yanı sıra, çatlama sonrası kiriş rijitliğini de azaltmaktadır.

- Kiriş üzerinde açılması istenilen boşluğun, birden fazla boşluk ile açılması, bir tek boşluk açılmasına göre dayanım ve kullanılabilirlik açısından daha iyi performans göstermektedir.
- Erken göçmeye neden olmamak için, komşu iki boşluğun arasındaki kolon kalınlığının, kiriş derinliğinin bir buçuk katından daha az olmaması ve kolonların yeterli miktarda donatılandırılması gerekmektedir.
- Büyük dikdörtgen gövde boşluğu bulunduran T kesitli sürekli kirişlerin boşluk kısmında, “Vierendeel Panel” davranışı göstermektedir. Hem eğilme hem de kesme etkisi altındaki kirişler, yaklaşık olarak kiriş açıklığının ortasında iki farklı eğim ile eğilirler.

Toplam kesme kuvveti, sürekli kiriş içerisinde yer alan boşluk alt ve üstündeki kirişler arasında, bunların eğilme rijitliklerine bağlı olarak paylaşılmaktadır. Bu paylaşım çeşitli yükler altında, boşluğun pozitif veya negatif moment kısmında olmasına bağlı değildir [4].

Dündar’ ın çalışması

Amaç: Düzenli boşluklara sahip kirişlerin davranış ve dayanımını araştırmak.

Deney elemanları: 4 adet kare, 4 adet daire boşluklu ve 2 adet referans kiriş.

Yükleme türü: Yayılı yük.

İncelenen parametreler: Boyuna donatı oranı, boşluk geometrisi, X donatısı kullanımı ve boşluklar arasında yer alan dikmelerde etriye kullanımıdır.

Sonuçlar:

- Kare boşluklu ve dikmeleri etriyesiz olan kirişler dahil, tüm elemanlar referans kiriş dayanımına yakın sonuçlar vermiştir.
- Dikmelerde etriye olmaması hasarların bu bölgelerde olmasına ve dayanımda %10 mertebesinde kayıplar olmasına sebep olmaktadır.

- Düzenli ve sürekli boşluklu kirişlerde, eğilme türünde göçme gözlenmiştir.
- Daire boşluklu elemanların, kare boşluklu elemanlara göre dayanım, süneklilik ve rijitlik açısından daha iyi bir davranış gösterdiği görülmüştür.
- Etriyeli veya etriyesiz daire boşluklu elemanların dikmelerinde, kare boşluklu elemanlara göre daha az hasar oluşmuştur.
- X donatısının ileri deformasyon aşamalarında gerildiği ve başlıklar arasında yük aktarımını gerçekleştirdiği görülmüştür [5].

Yılmaz' ın çalışması

Amaç: Düzenli boşluklara sahip kirişlerin davranış ve dayanımını araştırmak.

Deney elemanları: 3 adet üçgen, 3 adet dairesel, 3 adet referans (boşluksuz) Kiriş.

Yükleme türü: Yayılı yük.

İncelenen parametreler: Boyuna donatı oranı, boşluk geometrisi.

Sonuçlar:

- Gerilme yığılmasının zayıf bir bölgede yoğunlaşmasını engellemek amacıyla oluşturulan çok sayıdaki boşluklar, amacına uygun yönde kiriş davranışına etkide bulunmuştur. Boşluklu kirişlerde göçmeler, ya maksimum moment değerinin olduğu bölgede, yada maksimum kesme kuvvetinin geldiği bölgede meydana gelmiştir.
- Boşluklu kiriş yapılırken, kesme bölgesinde kolon uçlarındaki aderans yetersizliğinden kaynaklanan erken mafsallaşmaları önlemek için işçiliğe bu bölgelerde özellikle dikkat edilmelidir.
- Maksimum donatı oranına yakın donatı kullanıldığını kirişlerde iyi sonuçlar vermemektedir.
- Normal ve az donatılı kirişler sünek bir davranış göstermiştir.

- Dairesel boşluklu kirişler üçgen boşluklu kirişlere göre daha iyi sonuçlar vermiştir. Ayrıca üçgen boşluklu kiriş imalatının daha zor olduğu gözlenmiştir.
- Düzenli boşluklu kirişlerde göçmeler; maksimum moment değerinin olduğu bölgede veya maksimum kesme kuvvetinin geldiği bölgede meydana gelmiştir [6].

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

Deney elemanları, mühendislik açısından sonuçları etkilemeyecek, laboratuvar koşulları da dikkate alınarak, gerçek ölçülerinin 1/2 katı büyüklüğünde dizayn edilmiştir. Deney ve sonuçları, hazırlanan bu sisteme göre değerlendirilmiştir. Bütün deney elemanları, 150x400x4000 mm ölçülerinde hazırlanmıştır. Toplam 9 adet farklı parametrelere sahip kiriş üretilmiş ve deneye tabi tutulmuştur. Kirişlerde değişken parametreler kullanılmış, bu parametrelerin kirişler üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

4.1. Deney Parametreleri

Yapılan çalışmada kiriş taşıma kapasitesini etkileyecek üç parametre üzerinde çalışılmıştır. Bunlardan birincisi boyuna donatı (eğilme donatısı) oranıdır. Kiriş eğilme donatısı bilindiği üzere kiriş taşıma kapasitesini etkileyen en önemli faktördür. İkincisi boşluk geometrisidir. Üçüncüsü ise kullanılan X donatısının malzemesi ve düzenlemesidir.

4.1.1. Boyuna donatı oranı

Boyuna donatı oranı kiriş kesit alanına göre az, normal ve çok olmak üzere üç sınıfta toplanmıştır. Kiriş enkesitinde yer alan donatı alanları şu anda yürürlükte olan TS500-2000' e göre dizayn edilmiştir. Aşağıda bu dizayn sonuçlarına göre elde edilmiş, deneyde kullanılan donatı oranları görülmektedir.

TS500-2000' e göre kirişlerde çekme donatısı oranı

- $\rho = A_s / (b_w d) \geq \rho_{min}$
 $\rho_{min} = 0,8 f_{ctd}/f_{yd} = 0,8 (1,604/1,5) / (420/1,15) = 0,0023$
- $\rho_{min} \leq 0,02$

- $\rho - \rho' \leq \rho_{\max} = 0,85 \rho_b = 0,85 \frac{A_{sb}}{b_w d}$

$$\rho_b = \frac{A_{sb}}{b_w d} = 0,85 f_{cd} / f_{yd} k_1 0,003 E_s / (0,003 E_s + f_{yd}) =$$

$$\rho_b = (0,85 \times 21 / 1,5) / (420 / 1,15) \times 0,85 \times [(0,003 \times 2 \times 10^5) / (0,003 \times 2 \times 10^5) + (420 / 1,15)]$$

$$\rho_b = 0,0172 \text{ (BS21 ve S420 için)}$$

$$\rho_{\max} = 0,85 \rho_b = 0,85 \times 0,0172 = 0,0146 \text{ (BS21 ve S420 için)}$$

$$\rho_{\max} = 0,85 \rho_b = 0,85 \times 0,0180 = 0,0153 \text{ (BS22 ve S420 için)}$$

$$\rho_{\max} = 0,85 \rho_b = 0,85 \times 0,0164 = 0,0139 \text{ (BS20 ve S420 için)}$$

Yapılan deneyde az, normal ve çok donatılı olmak üzere üç farklı donatı oranı kullanılmıştır.

Az donatılı kirişlerde; Minimum donatı oranına, $\rho_{\min} = 0,0023'$ e yakın donatı oranı kullanılmıştır. Bu kirişler “S” koduyla adlandırılmıştır. Az donatılı kirişlerde kullanılan donatı oranı 0,0026'dır.

Normal donatılı kirişlerde; Minimum donatı oranından fazla ve maksimum donatı oranından az, ortalamaya yakın bir değer kullanılmıştır. Bu kirişler “N” koduyla adlandırılmıştır. Normal donatılı kirişlerde kullanılan donatı oranı 0,0052'dir.

Fazla donatılı kirişlerde; Maksimum donatı oranına yakın ($\rho_{\max} = 0,0153$) bir donatı oranı kullanılmıştır. Bu kirişler “B” koduyla adlandırılmıştır. Fazla donatılı kirişlerde kullanılan donatı oranı 0,0092'dir.

4.1.2. Boşluk geometrisi

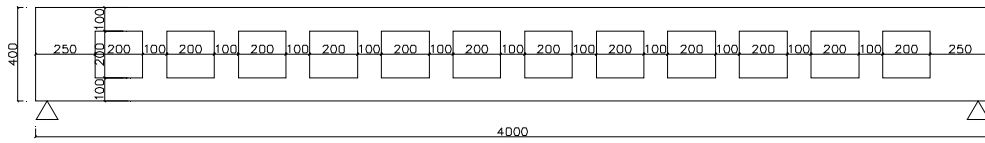
Deneyin asıl amacı, uygulamada ihtiyaç duyulan, kirişlerde açılması muhtemel boşlukların, kiriş kapasitesine etkisini araştırmaktır. Bunu araştırmak üzere, deney elemanlarında, kare veya dairesel boşluklar

açılmıştır. Burada hangi geometrinin daha optimum performans verebileceği araştırılmıştır.

Her bir boşluklu deney elemanı, aynı ebatlara ve donatı oranına sahip ancak boşluksuz (referans) kiriş ile kıyaslanmıştır. Deneylerde kullanılan kiriş boşluk türleri, ebatları ve yerleri şöyle açıklanabilir;

Kare geometriye sahip boşluk türü

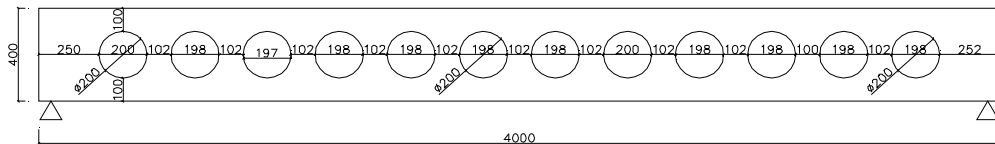
Kiriş deney kodu “R” dir. 150x400x4000 ebatlarındaki kirişte, kiriş uzunluğu boyunca düzgün sabit geometriye sahip, özdeş ve eşit aralıklı, 200x200 ebatlarında kare kesitli 12 adet boşluk açılmıştır. Şekil 4.1’ de kare boşluk yerleşimi görülmektedir.



Şekil 4.1. Kare boşluk yerleşimi

Dairesel geometriye sahip boşluk türü

Kiriş deney kodu “C” dir. 150x400x4000 ebatlarındaki kirişte, kiriş uzunluğu boyunca düzgün sabit geometriye sahip, özdeş ve eşit aralıklı, $\phi 200$ ebatlarında daire kesitli 12 adet boşluk açılmıştır. Şekil 4.2’ de dairesel boşluk yerleşimi görülmektedir.



Şekil 4.2. Dairesel boşluk yerleşimi

4.1.3. X donatısı malzemesi ve düzenlemesi

Boşluk kenarlarında bulunan kiriş üst başlığı ile alt başlığını birbirine bağlayan donatı “X” donatısı olarak adlandırılmıştır.

X donatısının malzemesi çelik kablo veya donatı çeliği olarak kullanılmıştır. Düzenlemesi ise kabloda sürekli veya parçalı olarak, donatı çeliğinde ise parça parça kullanılmıştır. Parçalı yerleştirilen malzemeler boşluğun üst başlık kiriş yüzeyinden başlamakta ve alt başlık yüzeyinde bitmektedir. İki parça birbiri üzerine bindirme payı kadar binmektedir. Bir kesit yüzeyinde kaç adet X donatısı kullanılacağı boyuna donatı oranına bağlı olarak değişiklik göstermektedir.

X donatısının kullanılmasındaki amaç kiriş üst başlığı ile alt başlığı arasında yük aktarımını sağlayabilmektir.

4.2. Malzemelerin Mekanik Özellikleri

Deney sisteminde malzeme olarak donatı çeliği, beton ve kablo kullanılmıştır.

4.2.1. Donatı çeliği özellikleri

Donatı çeliği olarak boyuna donatılarda 6mm’ den daha büyük çaplarda nervürlü donatı çeliği; 6 mm çapındaki donatılarda ise düz yüzeyli donatı çeliği kullanılmıştır. Etriyelerde ise 4 mm çapında düz yüzeyli donatı çeliği kullanılmıştır. Donatılar, malzeme özelliklerinin tüm deney elemanlarında olabildiğince aynı olabilmesi için aynı şirketten, tek parti olarak alınmıştır.

Kullanılan donatı çeliğinin çekme deneyi sonucu elde edilmiş ortalama karakteristik özellikleri:

$$F_{yk} = 420 \text{ MPa} \quad F_{su} = 500 \text{ MPa} \quad \epsilon_{su} = 12\% \quad E_s = 2 \times 10^5 \text{ Mpa}$$

4.2.2. Beton malzemesi özellikleri

0,7 mm kum, 7-15 mm çakıl ile birlikte 1/2 su-çimento oranına sahip beton karışımı Gazi Üniversitesi Yapı Mekaniği Laboratuvarında hazırlanmıştır. Laboratuvarda yer alan beton karıştırıcı ile beton hazırlanmış ve yerinde dökümü yapılmıştır. Dökümü yapılan her bir parti için 10'ar adet 150x300 mm yüksekliğinde standart silindir numune alınmış, 28 gün küre tabi tutulan numuneler, 28. gün sonunda standart silindir basınç deneyine tabi tutulmuştur. Silindir basınç deneyinden önce, 28 gün küre tabi tutulmuş numunelere, kükürt ve parafinden oluşan başlık yapılmıştır. Başlık kullanımındaki amaç pres tablası ile numune yüzeyleri arasında oluşabilecek, sürtünmeden kaynaklı, yük eksenine dik kesme kuvvetlerini önlemektir.

Her bir partide alınmış beton silindir numunelerinin, standart silindir basınç deneyi sonuçları ortalama olarak aşağıda belirtilmiştir.

Az donatılı kirişler

Birinci parti döküm sırasında alınmış numune sonuçlarıdır.

$$f_{ck} = 22 \text{ Mpa} \quad \rightarrow \quad f_{ctk} = 0,35 \sqrt{f_{ck}} = 0,35 \sqrt{22} = 1,6417 \text{ Mpa}$$

Normal donatılı kirişler

İkinci parti döküm sırasında alınmış numune sonuçlarıdır.

$$f_{ck} = 20 \text{ Mpa} \quad \rightarrow \quad f_{ctk} = 0,35 \sqrt{f_{ck}} = 0,35 \sqrt{20} = 1,5653 \text{ Mpa}$$

Fazla donatılı kirişler

Üçüncü parti döküm sırasında alınmış numune sonuçlarıdır.

$$f_{ck} = 21 \text{ Mpa} \quad \rightarrow \quad f_{ctk} = 0,35 \sqrt{f_{ck}} = 0,35 \sqrt{21} = 1,6039 \text{ Mpa}$$

4.2.3. Çelik halat özellikleri

Çelik halatlarda; metal kesit alanı, elastik uzamaların tespitinde ve hazır tablolar olmadığında halat kopma yükü hesaplamalarında kullanılmaktadır. Kopma yükü hesaplamalarında, metal alan tel kopma yükü aralığı ortalaması ile çarpılarak tespit edilir. Halat kopma yükü P ;

$P = \text{Metal kesit alanı (mm}^2\text{)} \times \text{tel mukavemeti (N/mm}^2\text{)} \times \text{halatlama kaybı katsayısı}$ şeklinde formüle edilir. Deneylerde, $\Phi 10$ çaplı galvanizli halat kullanılmıştır. Halatın çekme deneyi sonucu elde edilmiş mekanik özellikleri:

Kopma dayanımı = $614,7 \text{ N/mm}^2$

$F_{yk} = 420 \text{ MPa}$ $F_{su} = 500 \text{ MPa}$ $\epsilon_{su} = 12\%$ $E_s = 2 \times 10^5 \text{ MPa}$

4.3. Deney Elemanları Kodlandırılması

Deney elemanları kodlandırılırken, boşluk geometrisine ve boyuna donatı oranlarına göre kodlandırılmıştır.

B_S : “Bare small”, boşluksuz az eğilme donatılı kiriş

B_N : “Bare normal”, boşluksuz normal eğilme donatılı kiriş

B_B : “Bare big”, boşluksuz fazla eğilme donatılı kiriş

R_S : “Rectangular small”, kare boşluklu az eğilme donatılı kiriş

R_N : “Rectangular normal”, kare boşluklu normal eğilme donatılı kiriş

R_B : “Rectangular big”, kare boşluklu fazla eğilme donatılı kiriş

C_{SX} : “Circle small”, dairesel boşluklu az eğilme donatılı, X donatılı kiriş

C_{NX} : “Circle normal”, dairesel boşluklu normal eğilme donatılı, boşluk çevresi çelik halat ile sarılmış kiriş

C_{BX} : “Circle big”, dairesel boşluklu fazla eğilme donatılı, boşluk çevresi çelik halat ile sarılmış kiriş

4.4. Donatı Geometrisi

Boşluksuz, kare ve dairesel boşluklu tüm kirişlerin donatı planları Ek-1' de gösterilmiştir.

Kiriş kodu B olan, boşluksuz kirişler

150x400x4000 mm ebatlarında (boşluksuz) referans olarak kabul edilen kiriştir. Donatı düzeni olarak basınç bölgesinde 2 ϕ 8, gövde donatısı olarak 2 ϕ 6 kullanılmıştır.

“B” kodlu deney kirişlerinde eğilme donatısı olarak, B_S kodlu kirişlerde 2 ϕ 10, B_N kodlu kirişlerde 4 ϕ 10, B_B kodlu kirişlerde ise 7 ϕ 10 nervürlü demir kullanılmıştır. Prensip olarak gövde, etriye ve basınç donatısı tüm kirişlerde sabit tutulmuş, sadece eğilme donatısı değiştirilmiştir.

Kiriş etriyeleri, kirişin her iki ucundan merkeze doğru ilk 80 cm' lik kısımda ϕ 4'lük düz yüzeyli demirden 4 cm ara ile kiriş orta bölgesinde ise yine ϕ 4'lük düz yüzeyli demirden 8 cm ara ile yerleştirilmiştir.

Kiriş kodu R olan, kare boşluklu kirişler

“R” kodlu deney kirişlerinde, boşluğun üzerinde oluşan küçük kiriş üst başlık kirişi, alt kısımdaki alt başlık kirişi olarak adlandırılmıştır. Kirişler arası oluşan kollar ise koloncuk olarak adlandırılacaktır. Deney sonuçları incelenirken de bu adlandırmalar kullanılmıştır.

Bu kirişlerde basınç donatısı olarak 2 ϕ 8 nervürlü demir kullanılmıştır. Üst ve alt başlık kirişlerinin iç yüze bakan yüzlerinde 2 x 2 ϕ 8 konstrüktif nervürlü donatı kullanılmıştır. Bu donatıları, kiriş üst başlığı ile alt başlığında yer alan küçük etriyeler tutmaktadır.

Kiriş eğilme donatısı olarak S kodlu kirişlerde $2\phi 10$, N kodlu kirişlerde $4\phi 10$, B kodlu kirişlerde ise $7\phi 10$ nervürlü demir kullanılmıştır. Gövde, etriye ve basınç donatısı tüm kirişlerde sabit tutulmuş, sadece eğilme donatısı değiştirilmiştir.

Alt ve üst başlık kiriş etriyeleri, $\phi 4$ 'lük düz yüzeyli demirden 4 cm ara ile yerleştirilmiştir. Koloncuk etriyeleri de $\phi 4$ 'lük düz yüzeyli demirden hazırlanıp 4 cm ara ile koloncuk yüksekliğince, her bir koloncukta 6 adet olacak şekilde yerleştirilmiştir.

Her iki mesnet bölgesinde de 6 mm çapında düz yüzeyli demirden üretilmiş toplam 8 adet donatı 4 cm ara ile kiriş kısa eksenini boyunca yatayda yerleştirilmiştir. Her iki mesnete yakın olan koloncuklarda $6\phi 12$ diğer koloncuklarda ise $4\phi 8$ düşey donatı, alt ve üst başlık kirişlerini birleştirmektedir. Mesnet bölgelerinde 4 cm ara ile her iki yüzde toplam 12 adet $\phi 6$ yatay donatı kullanılmıştır.

Kiriş kodu C olan, dairesel boşluklu kirişler

“C” kodlu deney kirişlerinde, kodlama sistemindeki “X” buradaki çapraz donatıyı anlatmaktadır. Alt başlık kirişinde oluşacak çekme kuvvetlerini üst başlık kirişine aktarmak için “X” donatısı kullanılmıştır. Boyuna donatı oranına göre C_{SX} , C_{NX} ve C_{BX} olarak adlandırılmışlardır.

C_{SX} kodlu kiriş donatı düzenlemesi: Donatı düzenlemesi kare kiriş ile tamamen aynı ve ilave olarak kiriş üst başlığı ile alt başlığını birbirine bağlayan her iki ucu kancalı “X” donatısından oluşan kiriştir. Bu kirişte eğilme donatısı $2\phi 10$ ’dur.

C_{NX} kodlu kiriş donatı düzenlemesi: Donatı düzenlemesi kare kiriş ile tamamen aynı ve ilave olarak kiriş üst başlığı ile alt başlığını birbirine bağlayan 90 cm boyunda çelik halatlardan oluşan kiriştir. Bu çelik halatlar dairesel boşluğun üst başlık kiriş yüzeyinden başlamakta ve alt başlık yüzeyinde bitmektedir. Halatlar kiriş eninin (150 mm' lik yüzey) tam ortasında uzanmaktadır. Her bir yüzde bir adet olmak üzere, bir kesit yüzeyinde toplamda iki adet çelik halat yer almaktadır. Eğilme donatısı olarak 4φ10 kullanılmıştır.

C_{BX} kodlu kiriş donatı düzenlemesi: Donatı düzenlemesi kare kiriş ile tamamen aynı ve ilave olarak kiriş üst başlığı ile alt başlığını birbirine bağlayan, sürekli devam eden çelik halatlardan oluşmaktadır. Her bir yüzde iki adet olmak üzere toplamda bir kesit yüzeyinde dört adet sürekli çelik halat bulunmaktadır. Eğilme donatısı olarak 7φ10 kullanılmıştır.

4.5. Kalıp Özellikleri

Deney elemanlarının kalıbı çelik malzemeden üretilmiştir. 3 adet özdeş çelik kalıp, 3 mm kalınlığındaki çelik levhadan özel olarak imal edilmiştir.

Deney elemanlarının kalıbı, alt yüz kalıbı ve kirişin yan yüz kalıpları olarak toplam 5 ayrı parçadan oluşmaktadır. Bu parçalar birbirine civata ile bağlanabilme, sökölüp takılabılme kolaylığına sahiptir. Bu da aynı kalıbın tekrar, tekrar kullanılabilme olanağını sağlamıştır.

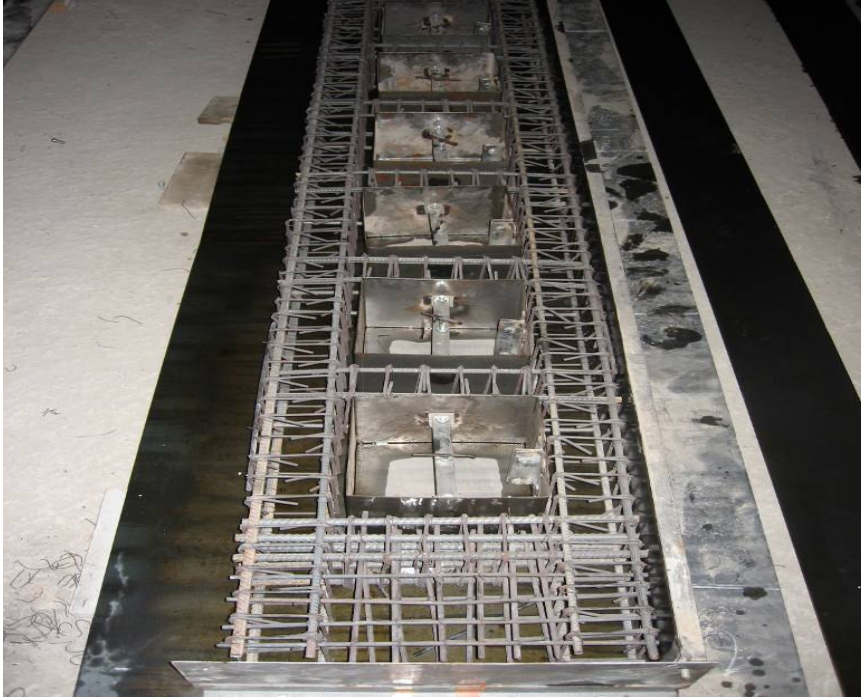
Beton döküldükten sonra, kalıbın şekil değiştirmesini önlemek amacıyla kalıp yan yüzleri çelik profillerle desteklenmiştir. Ayrıca, beton döküldükten sonra kalıp yan yüzleri işkence ile sıkılarak, betonun kalıp içerisinde rijitliği sağlanmıştır.

Bu kirişlerde kare boşluklar bırakabilmek için 200x200 mm kare , dairesel boşluklar bırakabilmek için 200 mm çapında plastik dairesel boşluk kalıpları hazırlanmış ve kalıba sabitlenmiştir.

Boşluk içeren kiriş kalıplarında, kalıba boşluk geometrisine uygun ilave kalıplar yerleştirilmiştir. Kiriş kalıbında kare boşluklar bırakabilmek için 200x200 mm kare şeklinde çelik levhalar, dairesel boşluklar bırakabilmek için 200 mm çapında, plastik, dairesel boşluk kalıpları hazırlanmış ve kalıba sabitlenmiştir.

Bu boşluk kalıplarının betonlama sırasında rijitliğinin bozulmaması için, kalıplar boşluk yüzeylerinden (boşluk iç yüzü) çelik profiller ile desteklenmiş ve alt yüz kalıbına vidalanmıştır. Kalıp hazırlama işlemi Gazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Mekaniği Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir.

Resim 4.1 ve Resim 4.2' de boşluk kalıbı yerleşimleri görülmektedir.



Resim 4.1. Kiriş kalıbına yerleştirilmiş kare boşluk kalıbı



Resim 4.2. Kiriş kalıbına yerleştirilmiş dairesel boşluk kalıbı

4.6. Deney Elemanları Kapasiteleri

Deney elemanlarının kapasitesi veya sünekliliği incelenirken eğilme donatısı oranı önemli bir etkindir. Deney elemanlarında, çekme bölgesindeki eğilme donatısı oranı değişken tutulurken; etriye ve basınç donatıları tüm kirişlerde sabit tutulmuştur.

Deney elemanlarında boşluk alt kirişi ve boşluk üst kirişi kendi içlerinde üst ve alt donatı bulundurduğundan (ikinci sıra donatı), aynı eğilme donatı oranına sahip referans kirişe göre daha fazla bir dayanıma sahiptirler. Eleman kapasiteleri de ikinci sıra donatılar göz önüne alınarak hesaplanmıştır. Kiriş kapasiteleri hesaplanırken X donatılarının kirişe yapacağı katkının sadece kesme yönünde olacağı, eğilme yönündeki katkısının ise daha az olacağı düşünüldüğünden buradaki hesaplara X donatısının katkısı eklenmemiştir.

Kiriş kapasiteleri hesaplanırken malzeme katsayıları kullanılmamış ve taşıma gücü sınır durumuna göre hesap yapılmıştır. Bu hesaplarda, basınç donatısının akıp akmadığını belirleyen endeksin ismi α_c 'dir. Donatı endeksi $\alpha = (\rho - \rho')f_y / f_c$ formülü ile hesaplanabilir. Donatı endeksi hesaplanırken pas payı ile faydalı yükseklik oranı parametre olarak kullanılır ve abaklar yardımı ile α_c değeri hesaplanır. Kiriş basınç donatısı endeksi $\alpha \geq \alpha_c$ ise basınç donatısının akmış olduğu varsayılabilir. Aksi durumda basınç donatısının akmadığı varsayılır ve basınç donatısı gerilme değeri $\sigma'_s \leq f_{yd}$ dir. Bu durumda basınç donatısının gerilme değerinin hesaplanması gerekir. S420 için $\alpha_c = 0.064$ dr.

Çizelge.4.1' de deney elemanlarının öngörülen hesap akma dayanımları verilmiştir.

Çizelge 4.1. Deney elamanlarının özellikleri

No	Deney Adı	Boşluk Geometrisi	Beton Dayanımı (MPa)	Çekme Donatısı	Çekme Donatısı Oranı (ρ)	Basınç Donatısı	Basınç Donatısı Oranı (ρ')	Basınç Donatısı Endeksi (α)	$\alpha_c = 0.064$ için Basınç Donatısı	$(\rho - \rho')$	ρ_b	Süneklik	Öngörülen kiriş dayanımı (kN)	X Donatısı
1	B _S	Boşluksuz	22	2 ϕ 10	0.0026	2 ϕ 8	0.0026	0.000	Akmamış	0.0000	0.018	Sünek	57,1	--
2	B _N	Boşluksuz	20	4 ϕ 10	0.0052	2 ϕ 8	0.0026	0.055	Akmamış	0.0026	0.016	Sünek	104,4	--
3	B _B	Boşluksuz	21	7 ϕ 10	0.0092	2 ϕ 8	0.0026	0.132	Akmış	0.0066	0.017	Sünek	176,5	--
4	R _S	Kare	22	2 ϕ 8 2 ϕ 10	0.0043	2 ϕ 8	0.0026	0.032	Akmamış	0.0017	0.018	Sünek	84,8	--
5	R _N	Kare	20	2 ϕ 8 4 ϕ 10	0.0069	2 ϕ 8	0.0026	0.090	Akmış	0.0043	0.016	Sünek	123,7	--
6	R _B	Kare	21	2 ϕ 8 7 ϕ 10	0.0111	2 ϕ 8	0.0026	0.170	Akmış	0.0085	0.017	Sünek	187,3	--
7	C _{SX}	Daire	22	2 ϕ 8 2 ϕ 10	0.0043	2 ϕ 8	0.0026	0.032	Akmamış	0.0017	0.018	Sünek	84,8	2 ϕ 10
8	C _{NX}	Daire	20	2 ϕ 8 4 ϕ 10	0.0069	2 ϕ 8	0.0026	0.090	Akmış	0.0043	0.016	Sünek	123,7	Kablo
9	C _{BX}	Daire	21	2 ϕ 8 7 ϕ 10	0.0111	2 ϕ 8	0.0026	0.170	Akmış	0.0085	0.017	Sünek	187,3	Sürekli Kablo

* Boyutları, donatısı ve malzeme özellikleri bilinen bir kiriş için, denge ve uygunluk denklemleri yardımıyla hesaplanmış taşıma gücü değerleridir.

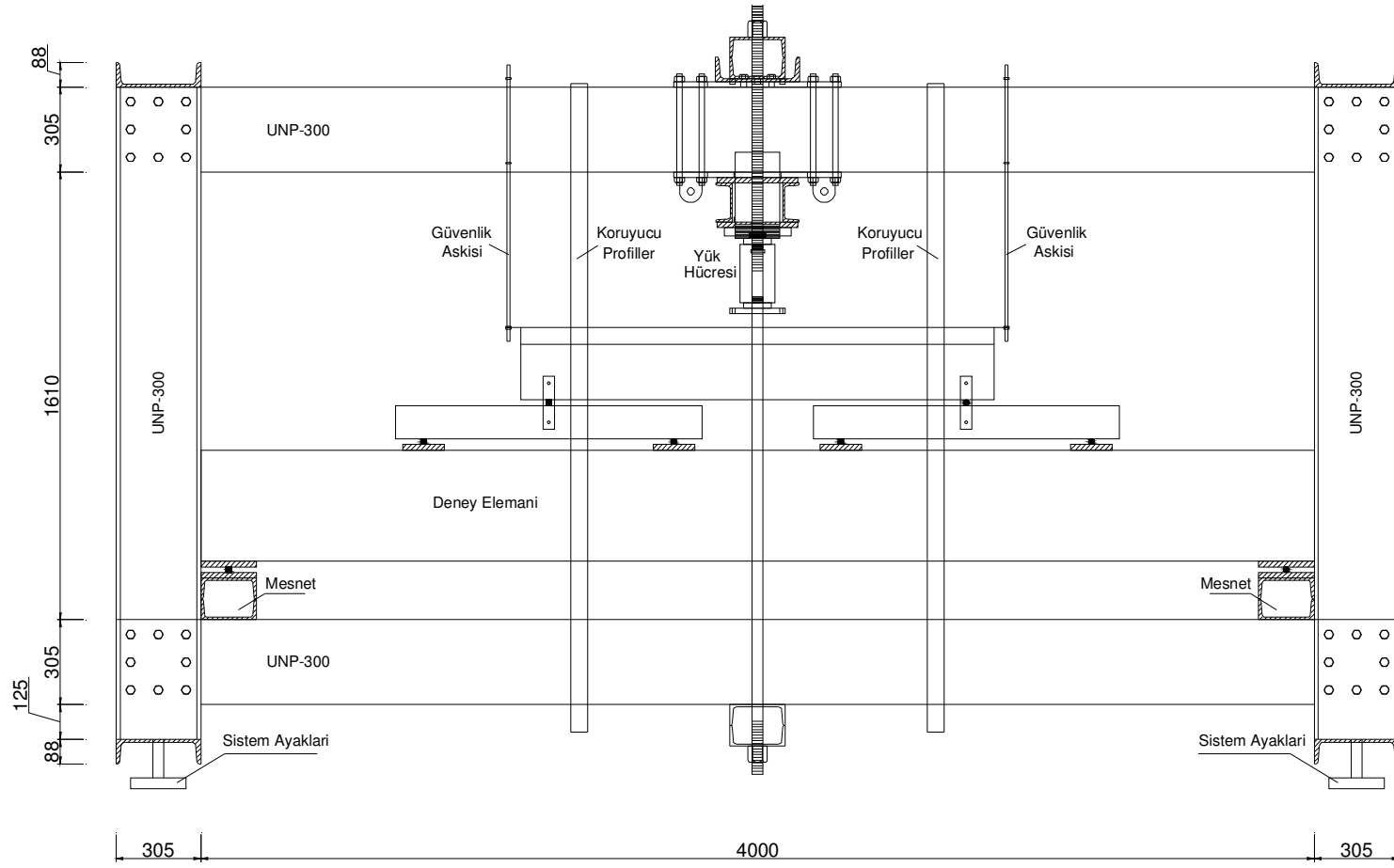
4.7. Deney Düzeni

4.7.1. Yükleme düzeni

Çalışmalarda, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Mekaniği Laboratuvarı'nda yer alan mevcut çelik çerçeve düzeneği kullanılmıştır. Çerçeve düzeneği yük kapasitesi 200 kN'dur. Deney uygulamasına geçilmeden yükleme çerçevesinin çok donatılı elemanlar nedeniyle zorlanabileceği düşünülmüş ve güçlendirilmesine karar verilmiştir.

Yükleme işlemi hidrolik düzeneğe sahip yük hücresi vasıtası ile yapılmıştır. Hidrolik pompa vasıtası ile sıkıştırılan yük hücresi, altına konulan UNP-140 çelik profili, UNP-140 çelik profili de, altında yer alan daha küçük diğer iki adet UNP-120 çelik profile kuvvet aktararak deney elemanlarını dört noktadan yüklemiştir. Mesnet yüzeylerine, ikişer adet 200x200x20 mm plaka konulmuş ve iki plaka arasına sabit mesnet için 10x10x150 mm ebadında, kayıcı mesnet içinse silindirik şekilde $\phi 10 \times 150$ ebadında çelik mesnet elemanları kullanılmıştır. Her yük alan profil, kirişe iki noktadan yük aktarmaktadır. Bu iki noktadan biri kayıcı diğeri ise sabit mesnet olarak görev yapmaktadır.

Yükleme sırasında oluşabilecek hatalar deney sonuçlarını doğrudan etkileyecektir. Bu yüzden yüklemenin tam simetrik, eşit ve dengeli olarak yapılması gerekmektedir. Kirişin deney sistemine yerleştirilme işlemi de yük hücresine göre merkezde, tam simetrik, mesnetlerinde boşluksuz ve %100 dengeli oturmuş halde yapılmalıdır. Aksi halde elde edilen sonuçlar gerçek değerleri vermeyecektir. Çalışmalar bunların bilinci ve hassasiyeti ile gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.3' de yükleme düzeneği görülmektedir.

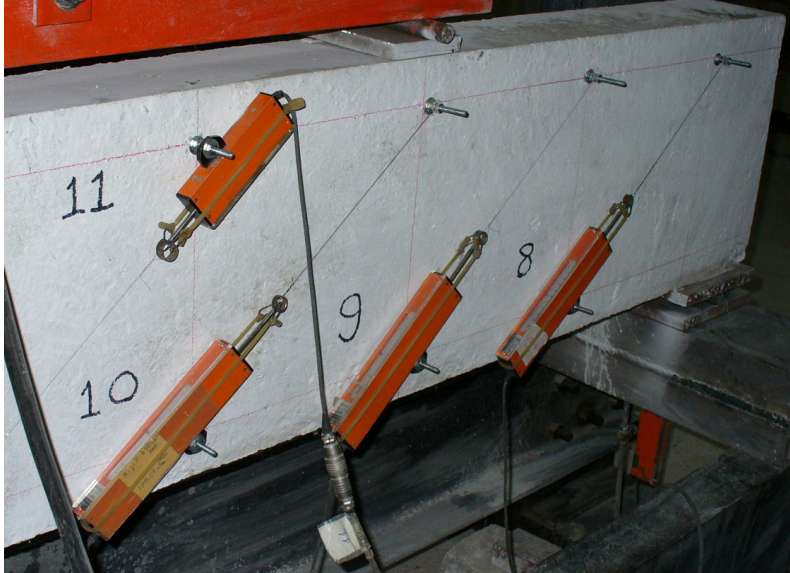


Şekil 4.3. Yükleme Düzeneği Genel Görünüşü

4.7.2. Ölçüm düzeni

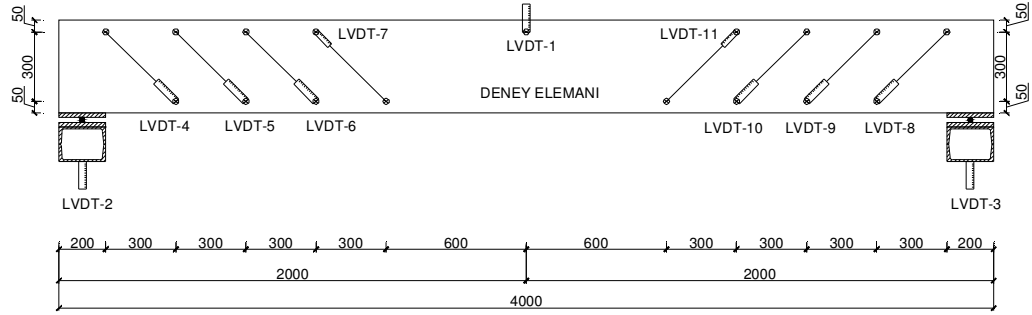
Dört noktadan yüklenmiş deney elemanımız, yükleme sonucu deformasyon ve şekil değiştirme yapmıştır. Bu şekil değiştirme ve deformasyonları ölçebilmek için milimetrenin yüzde biri hassasiyette ölçüm cihazları, LVDT' ler kullanılmıştır. Resim 4.3' de kiriş üzerinde LVDT yerleşimi görülmektedir. Bu cihazlar elektronik deplasman ölçerlerdir. Ölçüm yapılmak istenilen her bir noktaya bir adet LVDT yerleştirilmiş ve LVDT kabloları veri toplama cihazlarına, oradan da bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Özel yazılımlar ile alınan veriler istenilen formata çevrilmiştir.

Mesnetlerde çökme olup olmadığını anlayabilmek için, mesnet altlarına mesnet deplasmanı ölçen, mesnet LVDT' leri yerleştirilmiştir. Resim 4.4' de dört noktadan yükleme düzeneği tamamlanmış, yük pistonu bağlanmış, tüm LVDT' ler veri toplama cihazlarına bağlanmış, ölçüm düzeneği tamamlanmış, yükleme yapılabilecek, yani tamamıyla deneye hazır bir kiriş görülmektedir.

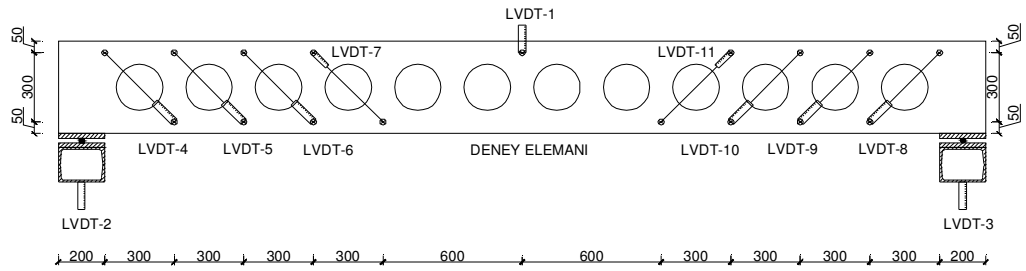


Resim 4.3. Kiriş üzerinde LVDT yerleşimi

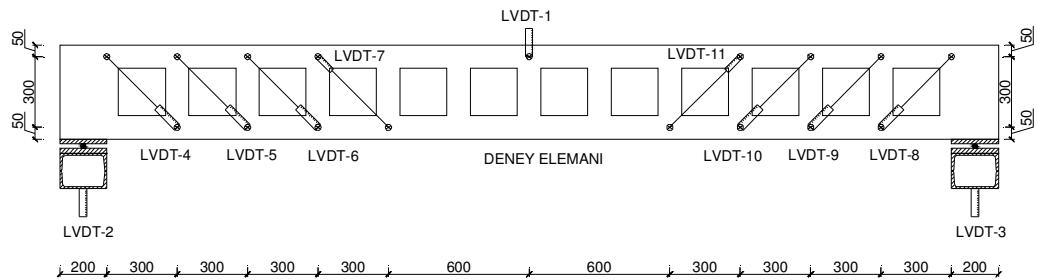
LVDT yerleşimi ve konumları Şekil 4.4’ de “B” kodlu, Şekil 4.5’ de “C” kodlu ve Şekil 4.6’ da “R” kodlu kirişler için gösterilmiştir.



Şekil 4.4. B kodlu kirişlerde LVDT yerleşimi



Şekil 4.5. C kodlu kirişlerde LVDT yerleşimi



Şekil 4.6. R kodlu kirişlerde LVDT yerleşimi

Deney sırasında, nokta deplasman ölçümü ve yük değerleri kayıt altına alınmıştır. Bu veriler sonucunda deney elemanlarında yük-deplasman ilişkisi incelenmiştir.

Referans kiriş, kare ve dairesel boşluklu kiriş deney elemanlarında aynı konumlarda bulunan 11 adet ölçüm noktası belirlenmiştir. Her bir deneyde 11 adet LVDT bu noktalara bağlanmıştır. Ölçüm aletleri, LVDT' ler 1' den 11' e kadar numaralanmıştır.

1 numaralı ölçer kiriş tam orta noktasındaki düşey deplasmanı ölçmektedir. 2 ve 3 numaralı ölçerler mesnet deplasmanlarını, mesnet bölgelerinde çökme olup olmadığını ölçmektedir. 4,5,6,7,8,9,10,11 numaralı ölçerler kiriş üzerine 30 cm ara ile yerleştirilmiştir. Bu ölçerler, kayma deformasyonunu ölçebilmek amacıyla konulmuştur. 1 numaralı ölçer 200 mm , 2,3,7,11 numaralı ölçerler 50 mm 4,5,6,8,9,10 numaralı ölçerler 100 mm deplasman ölçme kapasitesindeki LVDT' ler kullanılarak hazırlanmıştır.



Resim 4.4. LVDT' leri, Data Loader' a bağlanmış, deneye hazır bir kiriş

4,5,6,7,8,9,10,11 numaralı LVDT' ler bağlandıkları iki nokta arasında oluşan deplasman farkını ölçerler. Bu okuma değerine “ δ_i ” dersek;

$$\delta_i = \delta_f - \delta_s \quad (4.1)$$

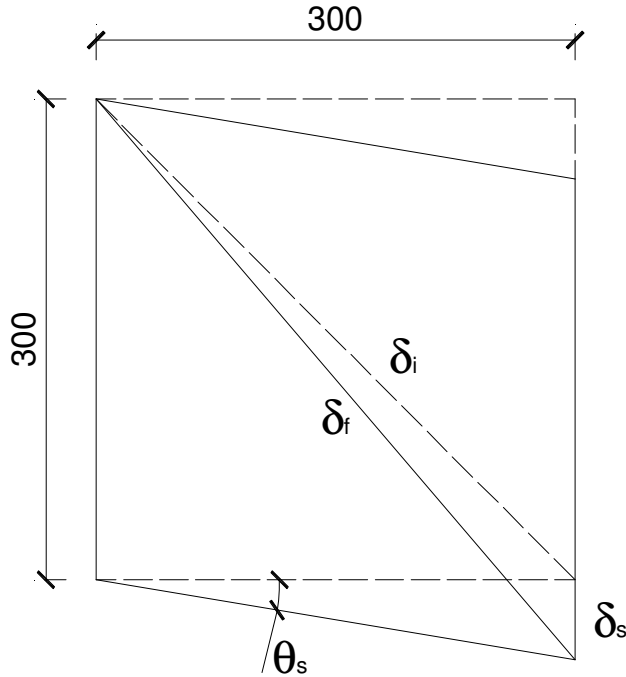
Şekil 4.7.'de yer alan üçgende “Pisagor Teoremi” kullanılarak Eş.4.2’ de elde edilmiştir.

$$\delta_s + 300 = \sqrt{\delta_f^2 - 300^2} \quad (4.2)$$

$$\delta_s = \sqrt{\delta_f^2 - 300^2} - 300 \quad (4.3)$$

Kesme kuvveti sebebiyle oluşan kayma açısı, θ_s , bir dik kenarı δ_s , diğer dik kenarı 300 mm olan üçgende Eş.4.4 ile bulunabilir.

$$\theta_s = \frac{\delta_s}{300} \quad (4.4)$$



Şekil 4.7. Kesme kuvveti altında boşluk davranışı

Bu denklemlerde kullanılan simgeler aşağıda ki gibi özetlenebilir;

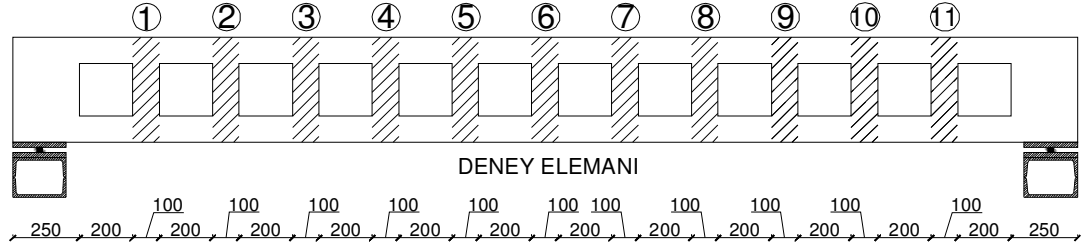
- δ_i : Kayma açısı hesaplanacak iki noktası arası mesafe
- δ_f : Kayma açısı hesaplanacak iki noktası arası yükleme sonrası mesafe
- δ_l : LVDT'nin okuduğu deplasman değeri
- δ_s : Kesme kuvveti sebebiyle oluşan deplasman
- θ_s : Kesme kuvveti sebebiyle oluşan kayma açısı

Deney elemanlarında, soldan ve sağdan ilk iki boşluk, uygulanan yük değerinin yarısı oranında kesme kuvvetine maruz kalırken bu iki boşluğun yanındaki ikişer boşluk ise uygulanan yükün $\frac{1}{4}$ ' ü oranında kesme kuvvetine maruz kalmıştır. Her kiriş elemanın da yer alan boşluklar için çizilen bu grafikler, elemanın göçme sistemi ile ilgili bize bilgi vermektedir. Ek-2' de kesme kuvveti - kayma açısı grafikleri tüm elemanlar için verilmiştir.

5. DENEYLER

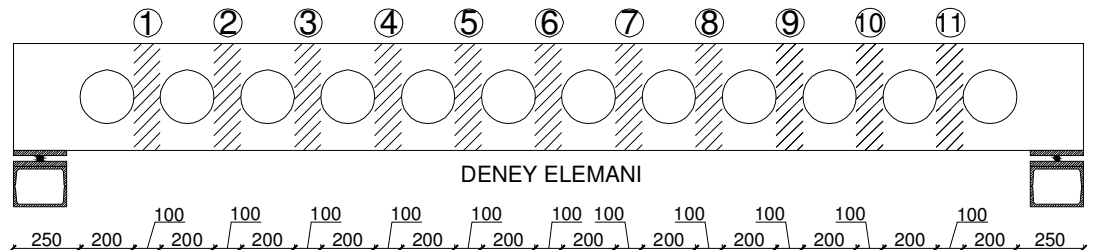
Bu bölümde deney esnasında ölçülmüş yük-deplasman eğrileri çizilmiş ve meydana gelen gelişmeler aktarılmıştır. Deney elemanları göçmeye ulaştığında deneyler sonlandırılmıştır.

Deneyler anlatılırken “R” ve “C” kodlu kirişlerdeki boşluklar arasında oluşan düşey parçalara koloncuk adı verilmiş ve 1’ den 11’ e kadar numaralandırılmışlardır.



Şekil 5.1. R kodlu kirişlerde koloncuk numaralandırılması

Bu adlandırma deneyler irdelenirken kullanılmıştır. Örneğin 2-3 daresi, 2 ile 3 koloncukları arasındaki daire; 1 karesi 1 numaralı koloncuğun solunda kalan kare; 11 numaralı kare 11 numaralı karenin sağında kalan kare olarak ifade edilmiştir.



Şekil 5.2. C kodlu kirişlerde koloncuk numaralandırılması

Kiriş boyuna donatı oranı deney parametresi olarak ele alınmıştır. Deneyler incelenirken referans kiriş, kare ve dairesel boşluklu kirişler, bu parametreye göre gruplanmış ve deneyler irdelenmiştir.

5.1. S Kodlu, Az Donatılı Kirişler

Bu kirişlerde eğilme donatısı olarak 2 ϕ 10 kullanılmıştır. Eğilme donatı oranı 0,0026' dır. Birer adet referans, kare boşluklu ve dairesel boşluklu kiriş imal edilmiş ve deneye tabi tutulmuştur.

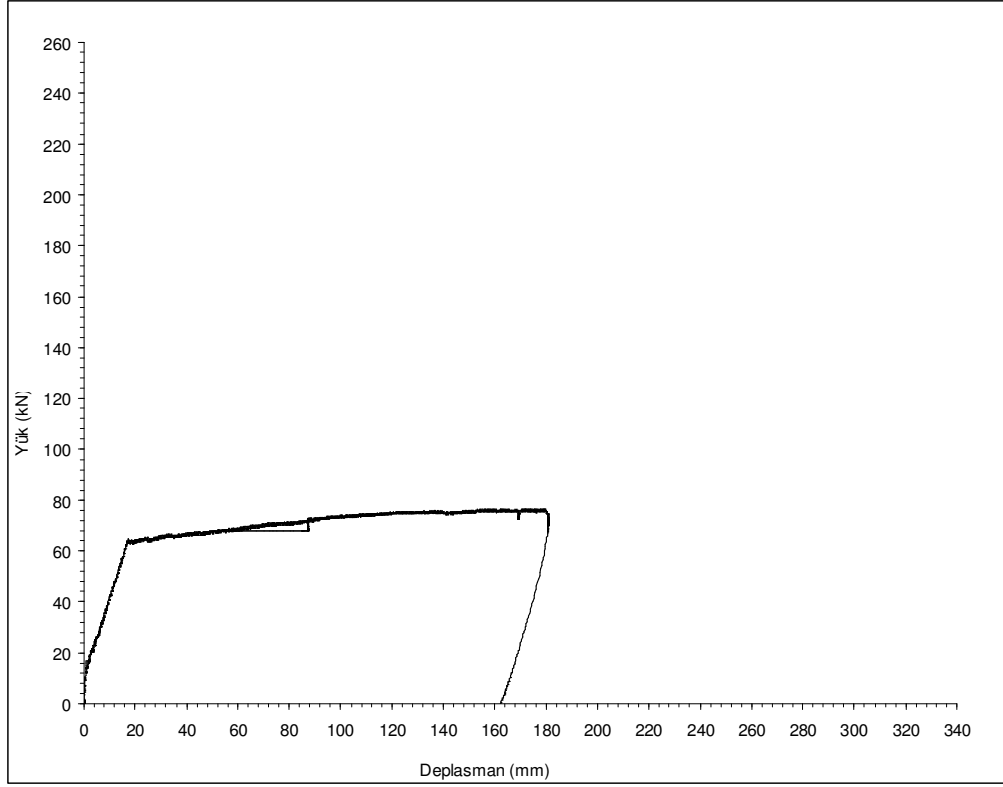
5.1.1. B_S kirişi

B_S kodlu kiriş çekme donatısı az ve boşluksuz kiriştir. Az donatılı bu kiriş, az donatılı ve boşluklu diğer kirişlere referans kiriştir. Kiriş yükleme aşamaları ve izlenimleri aşağıda belirtilmiştir.

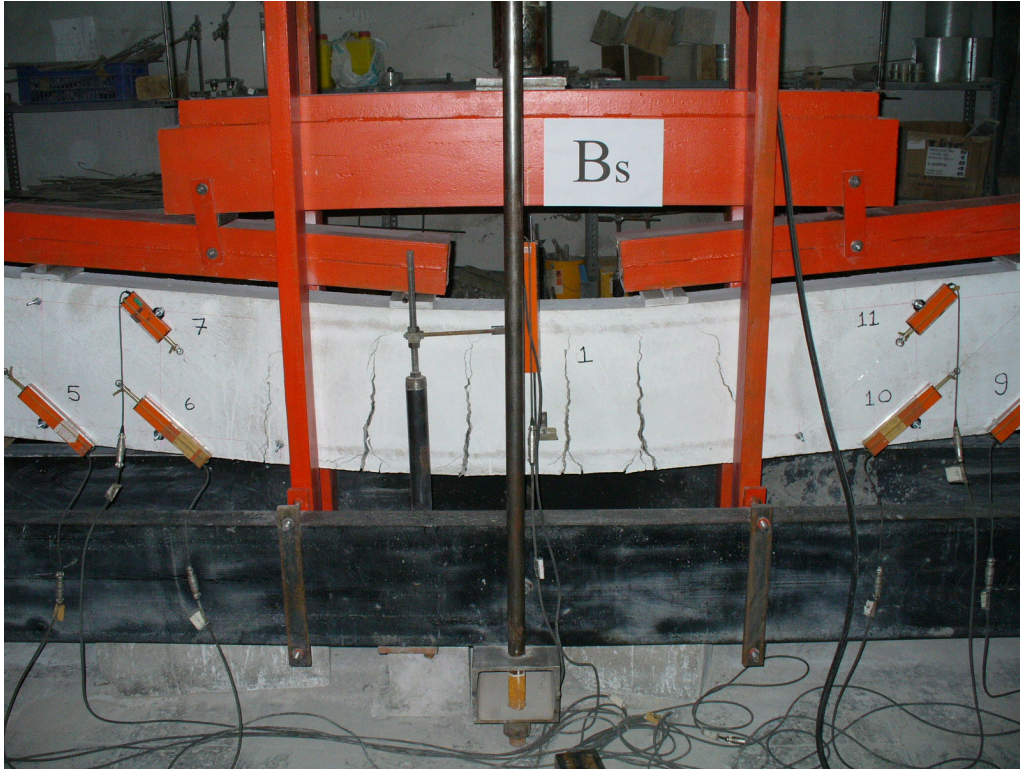
Kiriş yük değeri 16 kN' a ulaştığında, kiriş orta bölgesinde kılcal eğilme çatlakları gözlenmiştir. Yük değeri 64 kN' a ulaşınca, kiriş yüzeyindeki maksimum çatlak genişliği 3 mm olarak gözlenmiştir. Yük değeri arttıkça çatlak sayısı ve çatlak genişlikleri artmış, çatlaklar kiriş ortasındaki 1000 mm' lik kısımda eğilme çatlağı olarak yoğunlaşmıştır. Yük değeri 68 kN iken beton basınç bölgesinde ezilme belirtisi gözlenmiştir.

Yük değeri 70 kN' a ulaştığında donatı pekleşmeye başlamış, bu anda kiriş ortasında yer alan 1 numaralı LVDT' de okunan değer 70 mm olmuştur. Beton basınç bölgesindeki ezilmeler kiriş ortasındaki 600 mm' lik kısımda üniform olarak belirginleşmiştir. Kiriş göçme şekli eğilme karakterinde gerçekleşmiştir.

Deneye 75 kN yük ve 182 mm deplasman değerlerinde son verilmiştir. Kirişe ait yük-deplasman grafiği Şekil 5.3' de görüldüğü gibidir.



Şekil 5.3. B_s kirişi yük-deplasman grafiği



Resim 5.1. B_s kirişinin deney sonrası görüntüsü

5.1.2. R_S kirişı

R_S kirişı, çekme donatısı az, kare boşluk geometrisine sahip kiriştir. Bu deneyde amaç kare boşlukların etkisini araştırmaktır. Kiriş yükleme aşamaları ve izlenimleri aşağıda belirtilmiştir.

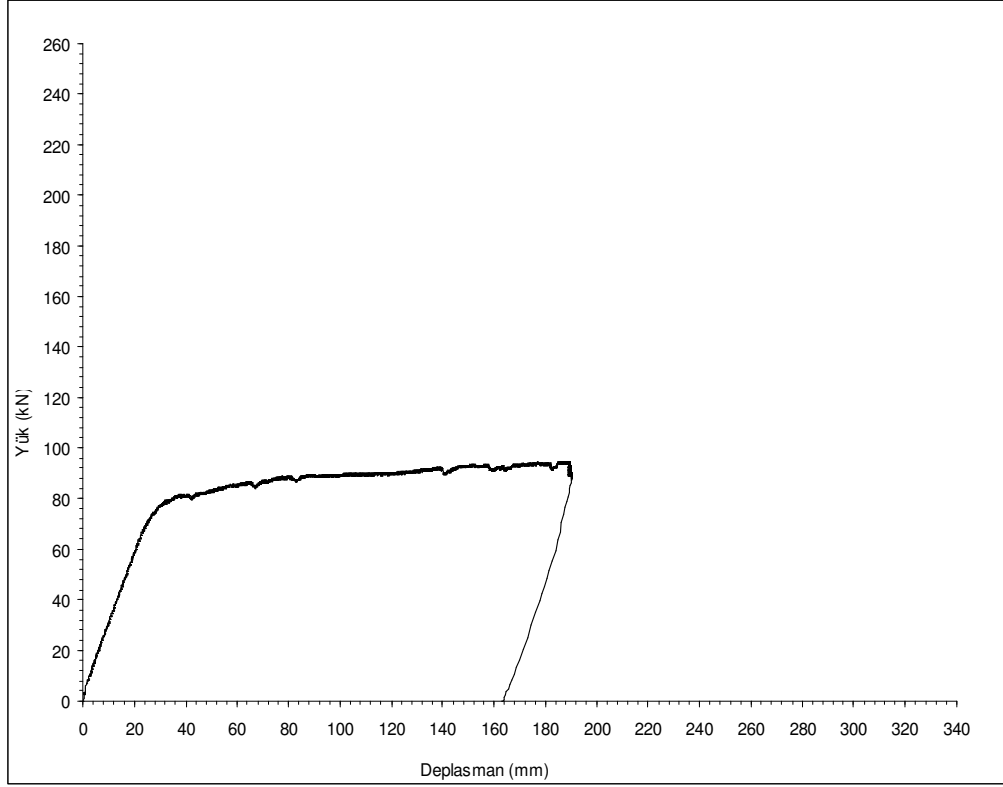
25 kN yük, 78 mm deplasman değerlerinde 11 dikmesinin alt kiriş ile birleşim noktasında 45° çatlak gözlenmiştir. 4, 5, 6 dikmelerinin hemen sağında yer alan alt bölümde -135° çatlaklar gözlenmiştir. 60 kN yük, 21 mm deplasman değerlerinde 8, 9, 10 numaralı koloncukların alt kiriş ile birleştiği noktada çapraz çatlaklar oluşmuştur. Dikmeler pandülleşme eğilimi göstermişlerdir. 7 numaralı dikmenin hemen altında eğilme çatlakları gözlenmiştir.

75 kN yük, 28 mm deplasman değeri okunmuştur. 1~5 koloncukları arası alt kirişte boydan boya 2 mm çekme çatlakları gözlenmiştir.

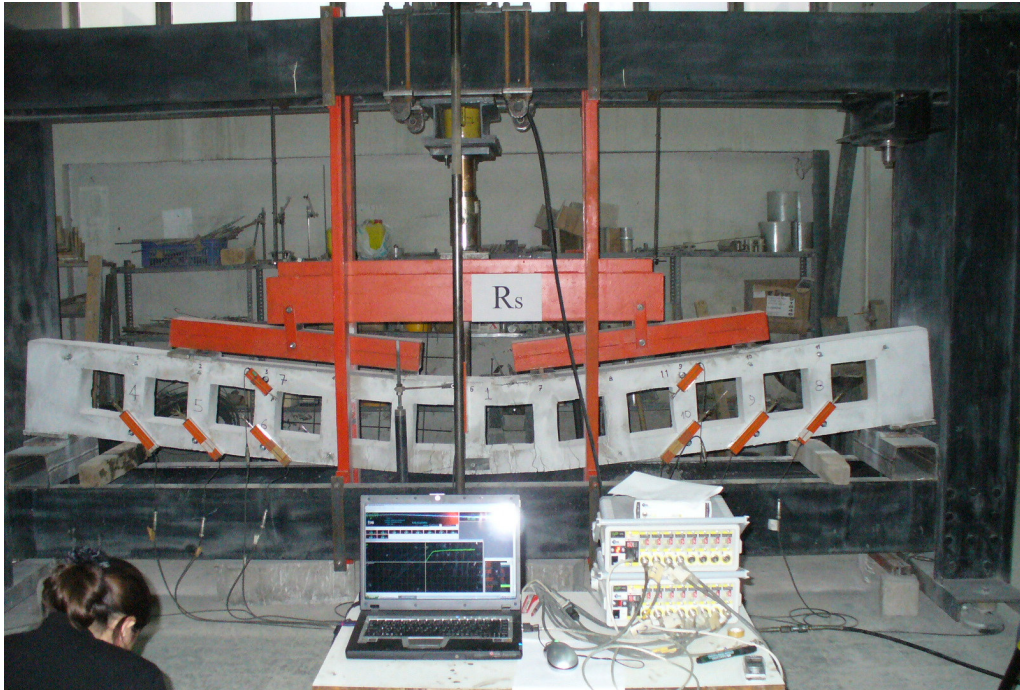
84 kN yük, 54 mm deplasman değerinde çatlaklar genellikle alt dikmelerin alt ucunda yoğunlaşmış, üst uçlarda da sınırlı çatlaklar gözlenmiştir. Bu çatlaklar 45° ile köşegen şeklinde uzanmıştır. Sırasıyla 85 kN yük, 63 mm deplasman, 88 kN yük, 82 mm deplasman değerleri okunmuştur. 1, 5, 7 koloncuklarının arasında basınç bölgesinde ezilme belirtisi gözlenmiştir. 5, 6, 7 koloncuklarının arasında alt başlık kirişinde düzgün sayılabilecek, yayılı 2,5~3 mm ebadında çatlaklar gözlenmiştir.

Yaklaşık 90 kN yük değerinde sırasıyla 121, 126, 130 mm deplasman değerleri okunmuş, 93 kN yük, 174 mm deplasman değerinde deneye son verilmiştir.

Deney sonrasında alt kirişin orta 1000 mm' lik kısmının, üst kirişin orta 600 mm' lik kısmının çekmeye çalıştığı ve üst başlık kirişinin küçük bir kiriş gibi çalışmaya başladığı gözlenmiştir.



Şekil 5.4. R_s kirişi yük-deplasman grafiği



Resim 5.2. Deney sonrası R_s kirişi

5.1.3. C_{SX} kirişı

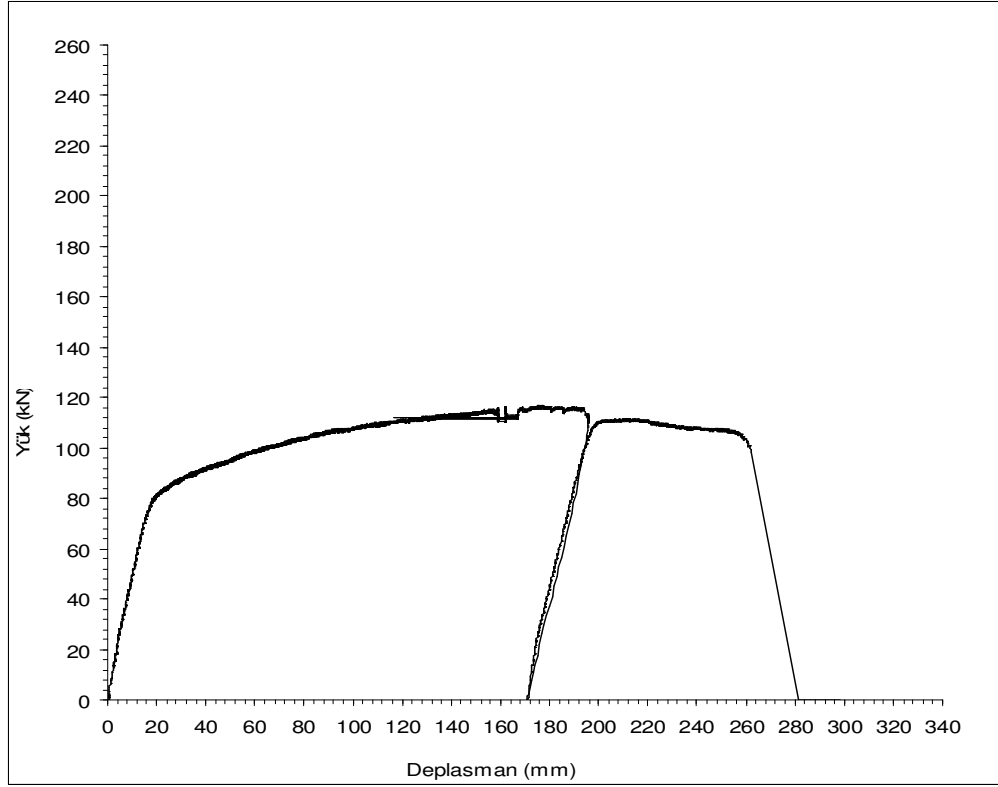
C_{SX} kirişı, çekme donatısı az, dairesel boşluk geometrisine sahip, X donatılı kiriştir. Bir koloncuk kesitinin sağ üst köşesinden sol alt köşesine 2 ϕ 10, sol üst köşesinden sağ alt köşesine 2 ϕ 10 olmak üzere toplamda boyu 600 mm olan 4 adet ϕ 10 nervürlü demir, X donatısı olarak kullanılmıştır. Bu deneyde amaç bu demirlerin etkisini, dairesel boşluktan kaynaklı rijitlik azalması ile birlikte kiriş üzerindeki etkisini araştırmaktır.

Yüklemeye başlangıcından sonra, ilk çatlaklar 15 kN yük değerinde oluşmuştur. Sırasıyla 15 kN yük 3 mm deplasman, 30 kN yük 5,5 mm deplasman, 40 kN yük 8 mm deplasman değerleri okunmuştur. Gözlenen çatlaklar; 1, 2, 4, 5, 9, 10, 11 deliklerinin alt kısımlarında ve simetriktir. Yüklemeye devam edildiğinde 85 kN yük 26 mm deplasman değerine ulaşılmıştır.

Donatı akma başlangıcı 87 kN yük 30 mm deplasman değerinde gözlenmiştir. Kirişte eğilme çatlakları kiriş orta bölgesinde ve simetrik olarak, alt başlık kirişinde, tüm kesiti sarmıştır. Bu yük değerlerinde, en dış deliklerde çatlaklara rastlanmamıştır. 90 kN yük 38mm deplasman, 96 kN yük 56 mm deplasman değerlerinden sonra mesnet bölgelerindeki çatlakların sınırlı kaldığı, 1 numaralı deliğin sağ ve sol kısımlarında maksimum çatlak genişliğinin 2 mm olduğu gözlenmiştir.

106 kN yük, 92 mm deplasman değerlerinde ezilme mesnetlerde simetrik olarak gözlenmiştir. 116 kN 17,7 mm değerinde maksimum çatlak genişliği 6~7 mm civarlarında gözlenmiştir.

Kirişin dayanımında öngörülenden biraz fazla yük taşımasının sebebi, X donatılarının kanca demirlerinin iki taraftan birbirleriyle çakışması, bir miktarda olsa birbirlerine yük aktarabilmeleridir. Deney sonucunda, kiriş iyi bir davranış sergilemiş, neredeyse monolitik kiriş davranışı göstermiştir.



Şekil 5.5. C_{SX} kirişi yük-deplasman grafiği



Resim 5.3. Deney sonrası C_{SX} kirişi görüntüsü

5.2. N Kodlu, Normal Donatılı Kirişler

Bu kirişlerde eğilme donatısı olarak 4 ϕ 10 kullanılmıştır. Eğilme donatı oranı 0.0052' dir. Birer adet referans, kare boşluklu ve dairesel boşluklu kiriş imal edilmiş ve deneye tabi tutulmuştur.

5.2.1. B_N kirişi

B_N kodlu kiriş çekme donatısı normal ve boşluksuz kiriştir. Normal donatılı bu kiriş, normal donatılı ve boşluklu diğer kirişlere referans kiriştir. Kiriş yükleme aşamaları ve izlenimler aşağıda belirtilmiştir.

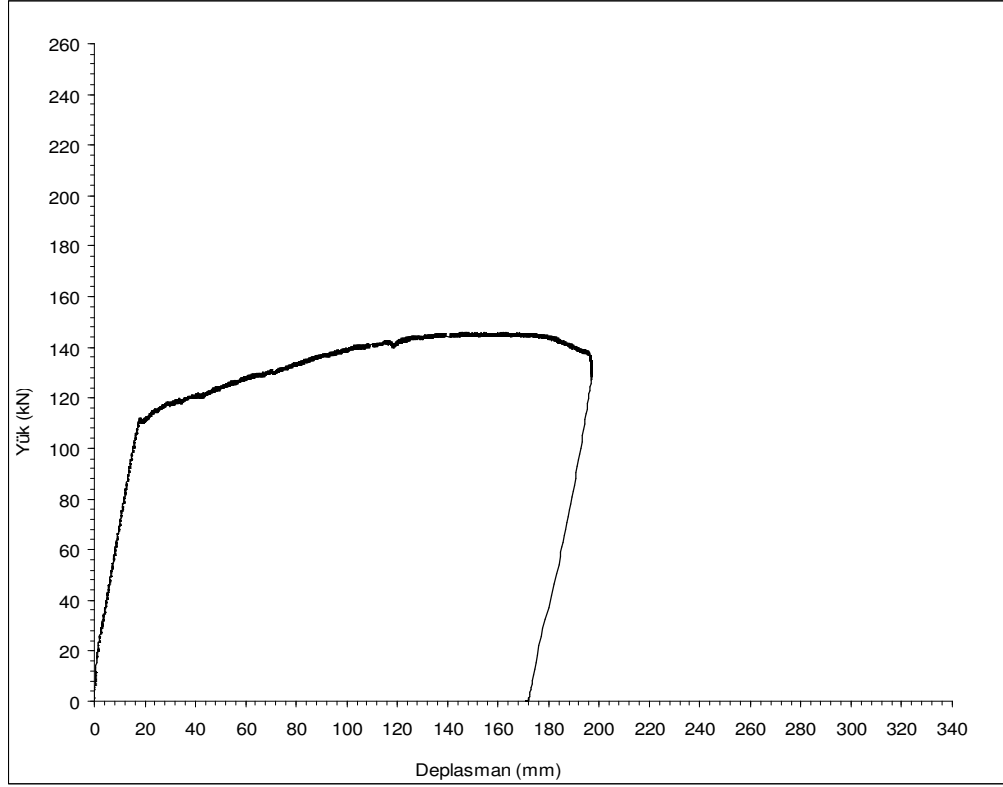
Yük değeri 30 kN olduğunda, kiriş orta bölgesinde ilk kılcal eğilme çatlakları görülmüştür. 55 kN yük değerine ulaşıldığında sol ve sağ mesnet bölgelerinde kılcal çatlaklar oluşmuş, akma 110 kN yük değerinde gerçekleşmiştir.

115 kN yükte hem sağ hem de sol mesnet bölgelerinde yaklaşık 45⁰ eğimli kesme çatlakları gözlenmiştir. Kesme çatlağı genişliği 0,5~0,6 mm civarındadır. Kiriş üzerinde gözlenen çatlaklar yoğun olarak kiriş orta bölgesindeki 100 cm' lik bölgede oluşmuştur.

Yük değeri 140 kN' a geldiğinde kiriş orta bölgesinde ezilme belirtisi gözlenmiş ve 143 kN yük değerinde ezilme gerçekleşmiştir. Ezilmenin gerçekleştiği anda 1 numaralı LVDT' nin gösterdiği değer 130 mm' dir.

Deney sırasında kiriş basınç donatısında burkulma gözlenmiştir. Kirişin göçme şekli eğilme karakterinde olmuştur.

Kirişe ait yük-deplasman grafiği Şekil 5.6' da görüldüğü gibidir.



Şekil 5.6. B_N kirişi yük - deplasman grafiği



Resim 5.4. B_N kirişinde ezilme görüntüsü

5.2.2. R_N kirişı

R_N kirişı, çekme donatısı normal, kare boşluk geometrisine sahip kiriştir. Bu deneyde amaç, kare boşlukların etkisini, donatı parametresi ile birlikte araştırmaktır.

Sırasıyla 32 kN yük 8 mm deplasman, 50 kN yük 14 mm deplasman değerleri okunmuştur. Yaklaşık 60 kN yük değerinden sonra 1, 2, 3, 4, 8, 9, 10 koloncuklarının üst ve alt uçlarında çatlaklar görülmüştür. 70 kN yük, 20 mm deplasman değerinde maksimum çatlak genişliği 0.8 mm olarak gözlenmiştir.

95 kN yük, 30 mm deplasman değerinde 11 deliğinin üst başlık kirişinin sağ üst ucunda çekme çatlakları, 1 deliğinin sol ucunda basınç kabarmaları gözlenmiştir. 1 deliğinin sol alt köşesinden mesnete doğru, 3 mm genişliğinde çatlak gözlenmiştir. 3 kolonunda diyagonal çatlak gözlenmiştir.

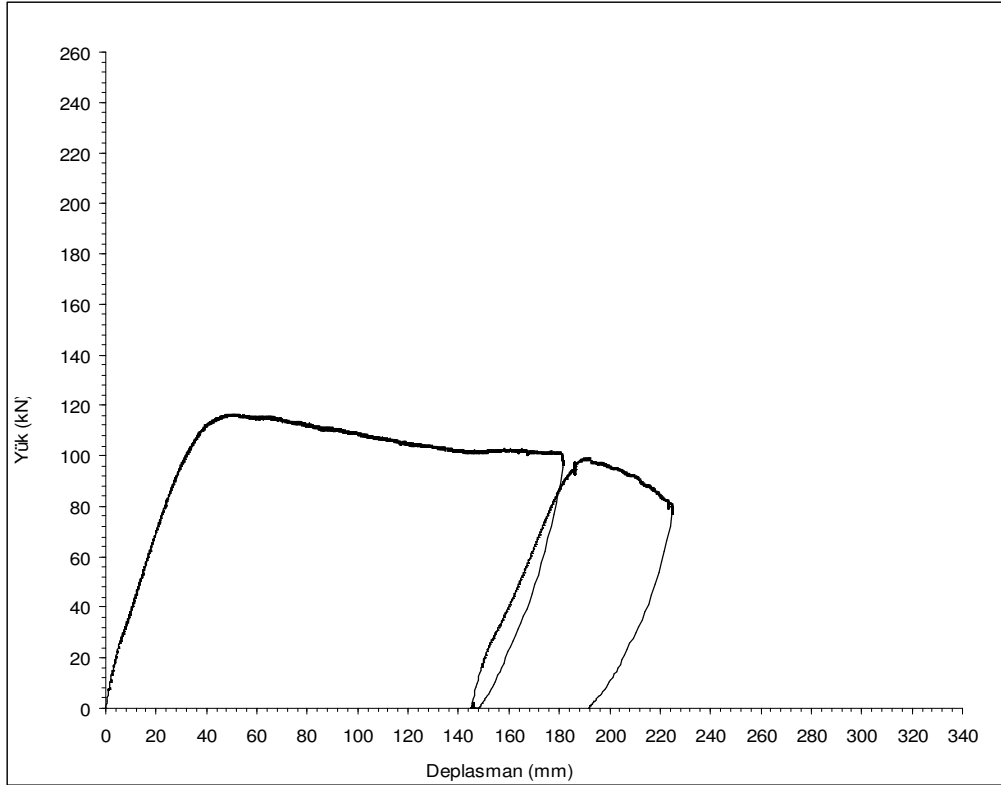
115 kN yük, 45 mm deplasman değerinde mesnete yakın kolonlar baklava dilimi şeklini almaya başlamıştır. Bu yük değerinde 1 ve 2 deliğindeki çatlak boyutları 4 mm civarında gözlenmiştir.

115 kN yük 72 mm deplasman değerinde eğilme çatlakları gözlenmiştir. Çatlaklar alt başlık kirişlerinde 45° olarak, üst başlık kirişlerinde ise 45° den farklı olarak gözlenmiştir. Bunun sebebi çatlak basınç bölgesi içine giremediği için koloncuğun üst ucunda yatay ya da yataya yakın bir eğimde gitmiştir. Kesme çatlakları ise 5 numaralı kolona kadar yayılmış, kayma deformasyonları gözlenmiştir. Aderansta çözülme olmamasına rağmen 1, 2 koloncuklarının boy donatıları kirişten sıyrılmıştır. Boy donatılarının kirişten ayrılması ile birlikte koloncuklarda plastik mafsallara başlamış, 3 koloncuğunun üst ucunda ezilme gözlenmiştir.

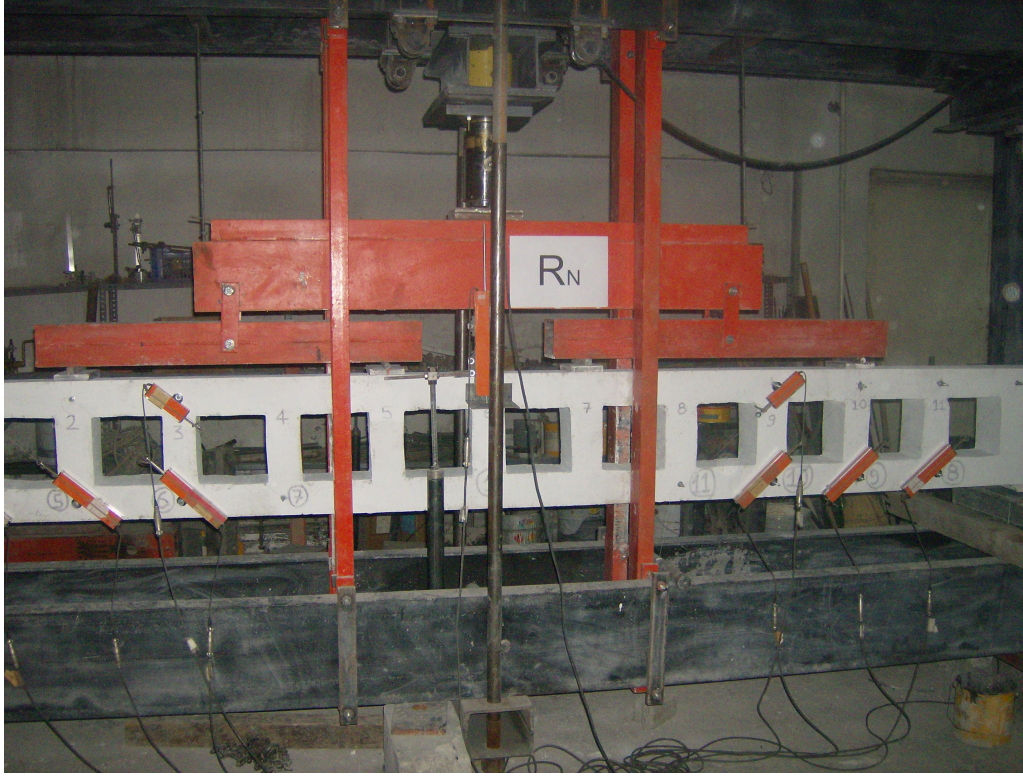
Ezilme momentin maksimum olduğu yerde gerçekleşmemiştir. Kirişin kayma deformasyonlarının fazla olduğu bölgede, moment ile kayma deformasyonları etkileşim içerisine girmiş ve ezilme 3 numaralı koloncuğun olduğu yerde gerçekleşmiştir.

1, 2 numaralı koloncuklar plastik pandül şeklinde davranmıştır. Bu koloncuklar kesme kuvvetini sol mesnete aktarmaya çalışmış ancak sınırlı kesme kuvveti dayanımları aşıldınca koloncuklarda plastik mafsall oluşmuş ve artan kesme kuvveti 3 numaralı koloncuğa yüklenmiş, bu koloncukta kesme kırılması gözlenmiştir.

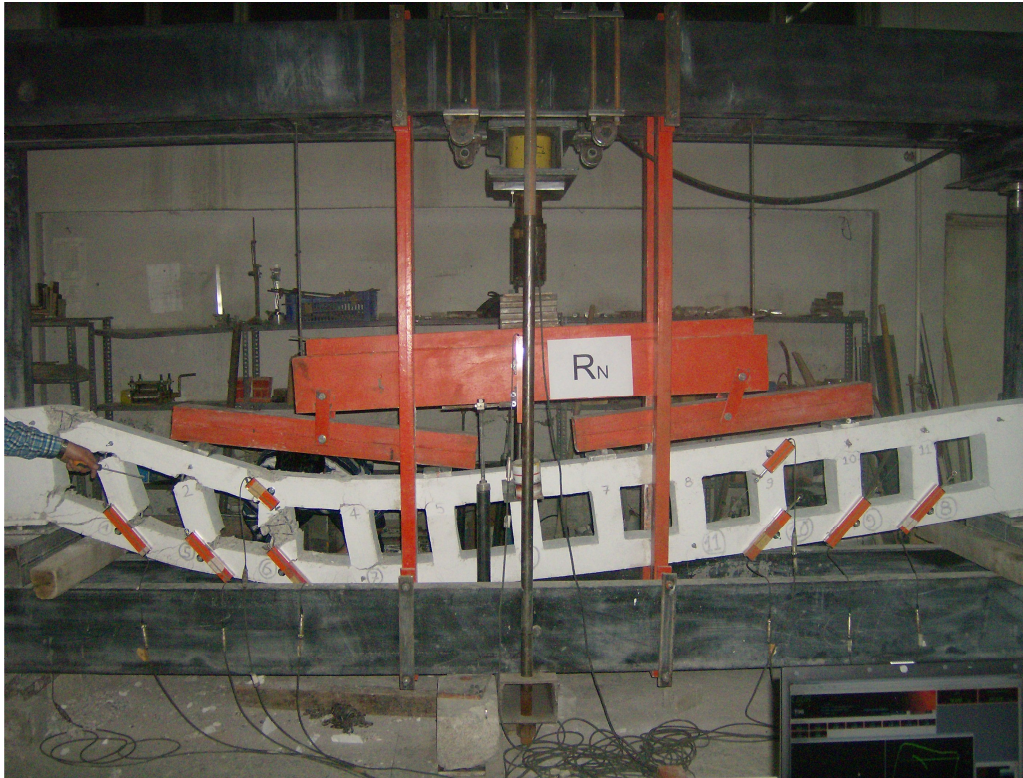
Yüklemeye öncesi 200 x 200 mm genişliğinde olan kare şekilli delikler, deney sonrası yaklaşık 350 x 220 mm genişliğine ulaşarak deforme olmuşlardır.



Şekil 5.7. R_N kirişi yük-deplasman grafiği



Resim 5.5. R_N kirişinin deney öncesi görüntüsü



Resim 5.6. R_N kirişinin deney sonrası görüntüsü

5.2.3. C_{NX} kirişi

C_{NX} kirişi, çekme donatısı normal, kiriş üst başlığı ile alt başlığını birbirine bağlayan 900 mm boyunda çelik kablolardan oluşmaktadır. Bu çelik kablolar dairesel boşluğun üst başlık kiriş yüzeyinden başlamakta ve alt başlık yüzeyinde bitmekte ve kiriş kısa kenarının (150 mm' lik yüzey) tam ortasında uzanmaktadır. Her bir yüzde bir adet olmak üzere, bir kesit yüzeyinde toplamda iki adet çelik kablo yer almaktadır. Eğilme donatısı olarak 4φ10 kullanılmıştır.

Bu deneyde amaç, çelik kabloların etkisini, dairesel boşluktan kaynaklı rijitlik azalması ile birlikte araştırmaktır.

50 kN yük değerine ulaşıldığında 11 deliğinde, 10 deliğinden mesnete doğru uzanan köşegen şeklinde çatlaklar oluşmaya başlamıştır. 7 deliğinin sağ alt, 1, 2, 3 deliklerinin sol alt köşelerinden basınç bölgesine doğru yaklaşık 30° çatlaklar oluşmuştur. 120 kN yük değerinde 20 mm deplasman değeri okunmuştur. 11 koloncuğunda diyagonal olarak çelik kablodan kaynaklanan pas payında patlama gözlenmiştir.

130 kN yük, 25 mm deplasman değerinde maksimum çatlak genişliği 0,5 mm olarak ölçülmüş, kiriş orta bölgesinde düzenli eğilme çatlakları oluşmaya başlamıştır.

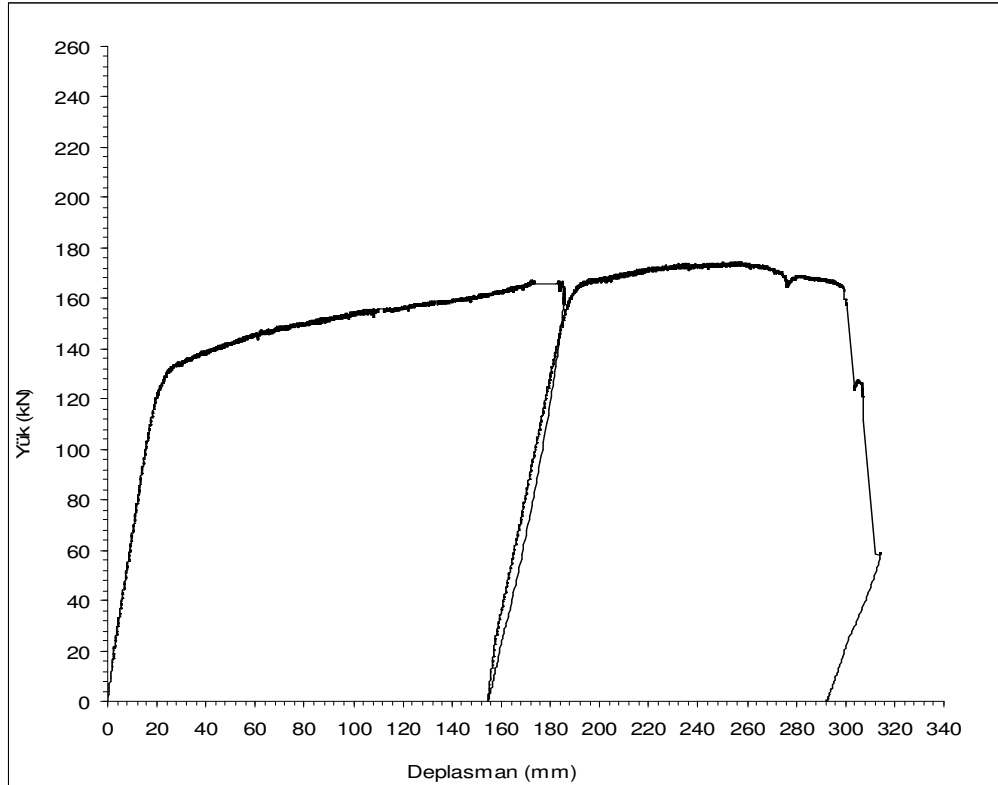
138 kN yük, 41 mm deplasman değerinde çatlakların mesnet bölgelerinden, kiriş orta bölgesinde yer alan, 900 mm' lik kısma doğru geçmeye başladığı, bu bölgede düzenli sayılabilecek eğilme çatlaklarının olduğu gözlenmiştir. Bu yük değerinde, maksimum çatlak genişliği 1,5 mm civarında delik alt kirişlerinde, alt kirişi tümünden sarmış durumdadır.

143 kN yük, 53 mm deplasman değerinde 5 koloncuğunun üzerinde betonda ezilme gözlenmiştir. 153 kN yük değerinde 100 mm deplasman değerine

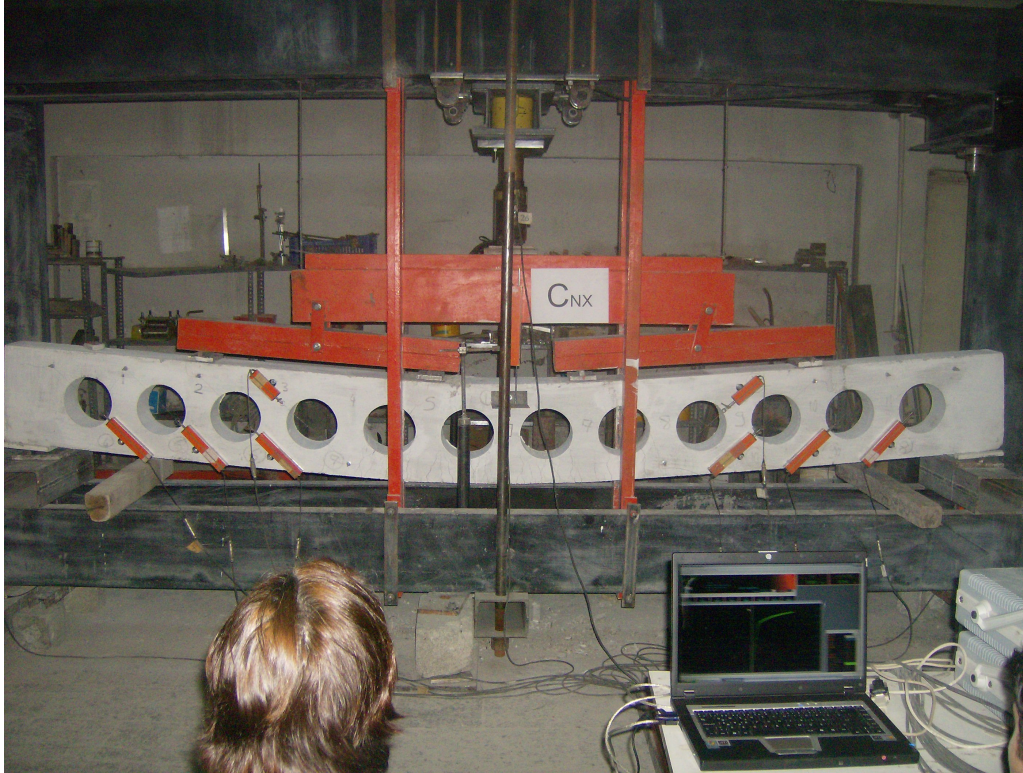
ulaşılmıştır. Bu değerinde, iç yükleme noktaları altında yer alan bölgelerde betonda ezilme gözlenmiştir.

159 kN yükleme ve 141 mm deplasman değerinden sonra yük-deplasman eğiminde, pekleşmeyi andıran belirgin bir değişiklik gözlenmiştir. Bu değişiklik çelik kablolardan kaynaklanmaktadır. Çelik kablo çaplarındaki daralmalar son sınır noktasına gelip, yük almaya başlamış, bunların etkisiyle deney sırasında kiriş dayanım yükünde bir süre artış gözlenmiştir.

Kiriş basınç donatısında burkulma oluşmuş, ancak iyi sargılama sonucu basınç donatısı çok iyi tutulmuştur. Kiriş basınç bölgesinde, simetrik ezilme noktası gözlenmiştir. Yük değeri arttırıldıkça 4 adet boy donatısından, 3 tanesi kopmuştur. Deney sonucunda, çelik kabloların, genel olarak kiriş dayanımında olumlu etki yarattığı söylenebilir.



Şekil 5.8. C_{NX} kirişi yük-deplasman grafiği



Resim 5.7. C_{NX} kirişinin deney sonrası görüntüsü

5.3. B Kodlu, Fazla Donatılı Kirişler

Bu kirişlerde eğilme donatısı olarak $7\phi 10$ kullanılmıştır. Eğilme donatısı oranı 0.0092' dir. Birer adet referans, kare boşluklu ve dairesel boşluklu kiriş imal edilmiş ve deneye tabi tutulmuştur.

5.3.1. B_B kirişi

B_B kodlu kiriş eğilme donatısı fazla ve boşluksuz kiriştir. Fazla donatılı bu kiriş, fazla donatılı ve boşluklu diğer kirişlere referans kiriştir.

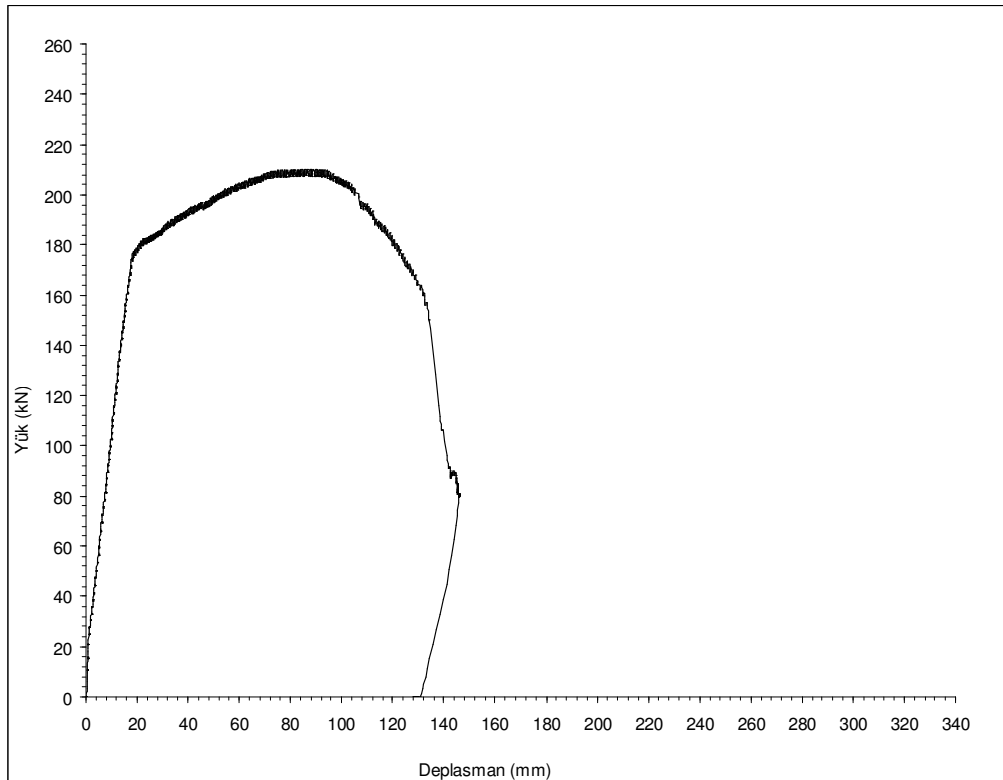
İlk çatlaklar 55 kN yük değerinde, kirişin orta 600 mm' lik bölgesinde 0,1 mm değerinde gözlenmiştir. 130 kN yük değerinde sağ mesnette, 170 kN yük değerinde ise sol mesnette 0,1 mm kesme çatlakları görülmüştür.

183 kN yük ve 27 mm deplasman değerinde donatıda akma meydana gelmiştir.

Yük değeri 200 kN' a ulaştığında ve ortadaki 1 nolu LVDT 58 mm deplasman değerini gösterirken, kiriş orta bölgesindeki eğilme çatlakları yoğunlaşmış ve betonda ezilme gözlenmiştir. 205 kN yük, 68 mm deplasman değerinde ezilme bölgesindeki basınç donatılarında burkulma gözlenmiştir.

205 kN yük mertebelerinden sonra, yük değeri düşmeye başlamış ve yük değeri 180 kN' a geldiğinde, kirişte gevrek kırılma gözlenmiştir.

Kiriş mesnet bölgelerinde 0,1 mm civarında kesme çatlakları gözlenmiştir. Deney sonuçlarına göre, kiriş hafif hasarlı olarak nitelendirilebilir.



Şekil 5.9. B_B kirişi yük-deplasman grafiği



Resim 5.8. B_B kirişinde betonda ezilme ve basınç donatısında burkulma



Resim 5.9. B_B kirişinin deney sonrası görüntüsü

5.3.2. R_B kirişi

Sürekli kare boşluk geometrisine sahip, eğilme donatısı fazla olan kiriştir. Bu deneyde amaç kare boşlukların etkisini araştırmaktır.

40 kN yük, 6,5 mm deplasman değerinde en sağ ve en sol deliklerin alt köşelerinde kılcal çatlaklar görülmüştür.

50 kN yük, 8,5 mm deplasman değerinde 10 ve 11 numaralı koloncukların üst ucunda 0,3 mm çatlaklar gözlenmiştir.

50 kN yük değerinden sonra, 1, 2, 3, 4 numaralı koloncukların üst uçlarında yatay çatlaklar gelişmeye başlamıştır. 80 kN yük, 16 mm deplasman değerinde, kiriş açıklığı boyunca eğilme çatlakları gözlenmemiştir.

105 kN yük, 24 mm deplasman değerinde 1 numaralı koloncuğun sol alt köşesinden rijit mesnet bölgesine doğru uzanan 0,8 mm çatlaklar gözlenmiştir.

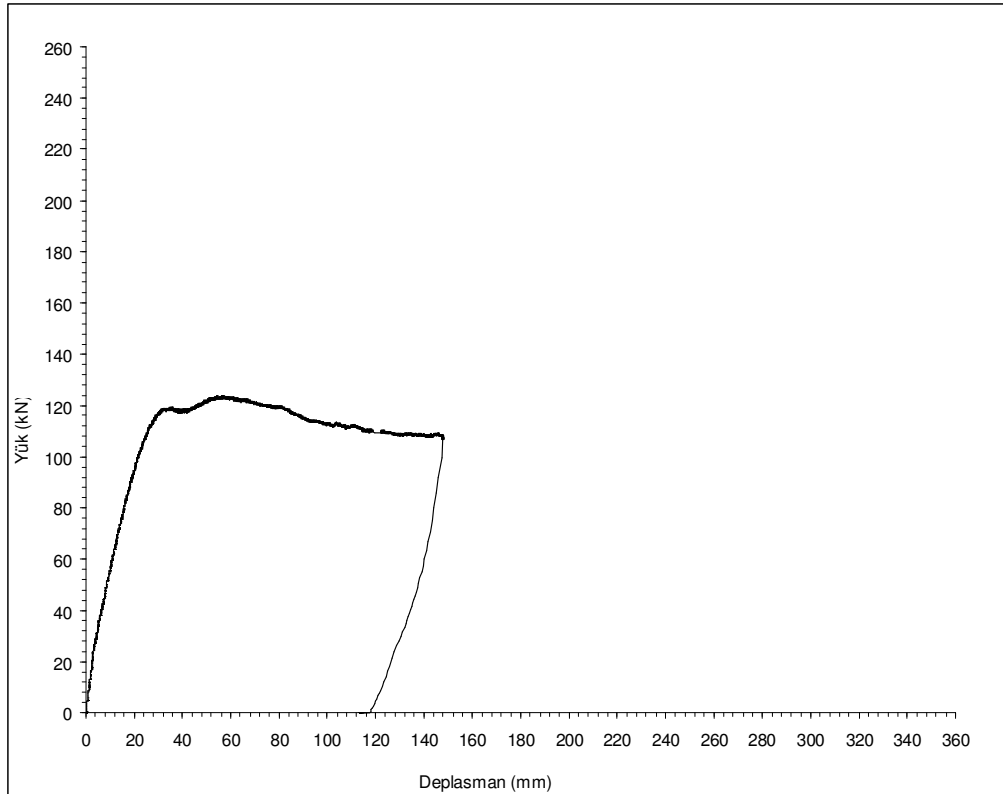
115 kN yük, 29 mm deplasman değerinde, üst kirişin rijit kısım ile birleştiği mesnet bölgesinde çekme çatlakları gözlenmiştir. Kirişin en solunda yer alan 2 karenin alt bölgesinde yer alan, kirişin alt ucuna doğru uzanan, aderans çatlakları gözlenmiştir.

113 kN yük, 93 mm deplasman değerinde donatının aktığı gözlenmiştir.

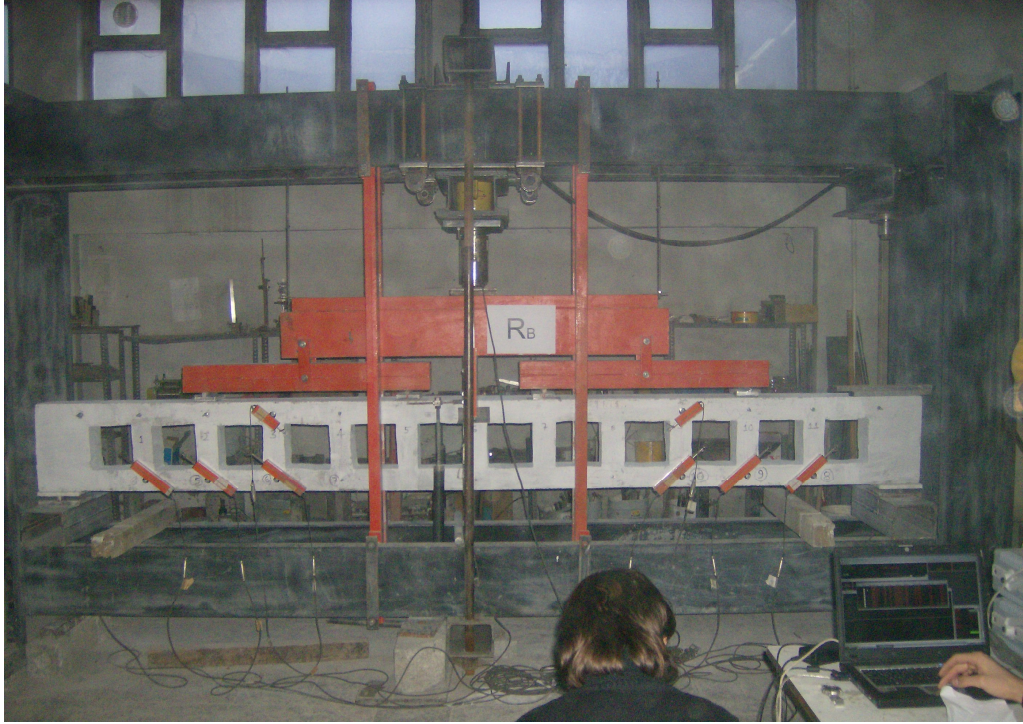
115 kN yük değerinden sonra, 3 kolonunda diyagonal çatlak gözlenmiş, mesnete yakın kolonlar baklava dilimi şeklini almaya başlamıştır. 1, 2 deliğindeki çatlak boyutları 4 mm civarında oluşmuştur. Çatlaklar alt başlık kirişlerinde 45°, üst başlık kirişlerinde ise 45° değildir; bunun sebebi çatlak basınç bölgesi içine giremediği için koloncuğun üst ucunda yatay ya da yataya yakın bir eğimde gitmiştir. 1 ve 2 koloncuklarının boy donatılarının

kirişten sıyrılmıştır. Boy donatıların kirişten sıyrılması ile birlikte koloncuklarda plastik mafsallara başlamıştır. 3 koloncuğunun üst ucunda ezilme gözlenmiş, ezilme momentin maksimum olduğu yerde gerçekleşmemiştir. Kirişin kayma deformasyonlarının fazla olduğu bölgede, moment ile kayma deformasyonları etkileşim içerisine girmiş ve ezilme 3 numaralı koloncuğun olduğu yerde gerçekleşmiştir.

1 ve 2 numaralı koloncuklar plastik pandül şeklinde davranmıştır. Bu koloncuklar kesme kuvvetini sol mesnete aktarmaya çalışmış ancak sınırlı kesme kuvveti dayanımları aşıldıkça koloncuklarda plastik mafsallara oluşmuş ve artan kesme kuvveti 3 numaralı koloncuğa yüklenmiş, bu koloncukta kesme kırılması gözlenmiştir.



Şekil 5.10. R_B kirişi yük-deplasman grafiği



Resim 5.10. R_B kirişinin deney öncesi görüntüsü



Resim 5.11. R_B kirişinin deney sonrası görüntüsü

5.3.3. C_{BX} kirişı

C_{BX} kirişı, çekme donatısı fazla, kiriş yan yüzü boyunca sürekli devam eden çelik kablolardan oluşmaktadır. Her bir yüzde iki adet olmak üzere, bir kesit yüzeyinde, toplamda dört adet sürekli çelik kablo yer almaktadır.

Kirişte eğilme donatısı olarak 7φ10 kullanılmıştır.

Bu deneyde amaç, sürekli çelik kabloların etkisini, dairesel boşluktan kaynaklı rijitlik azalması ile birlikte araştırmaktır.

40 kN yük, 4 mm deplasman, 50 kN yük, 6 mm deplasman değerleri okunduğunda, 1 ve 11 delikleri etrafında 0,1 mm genişliğinde çatlaklar görülmüştür.

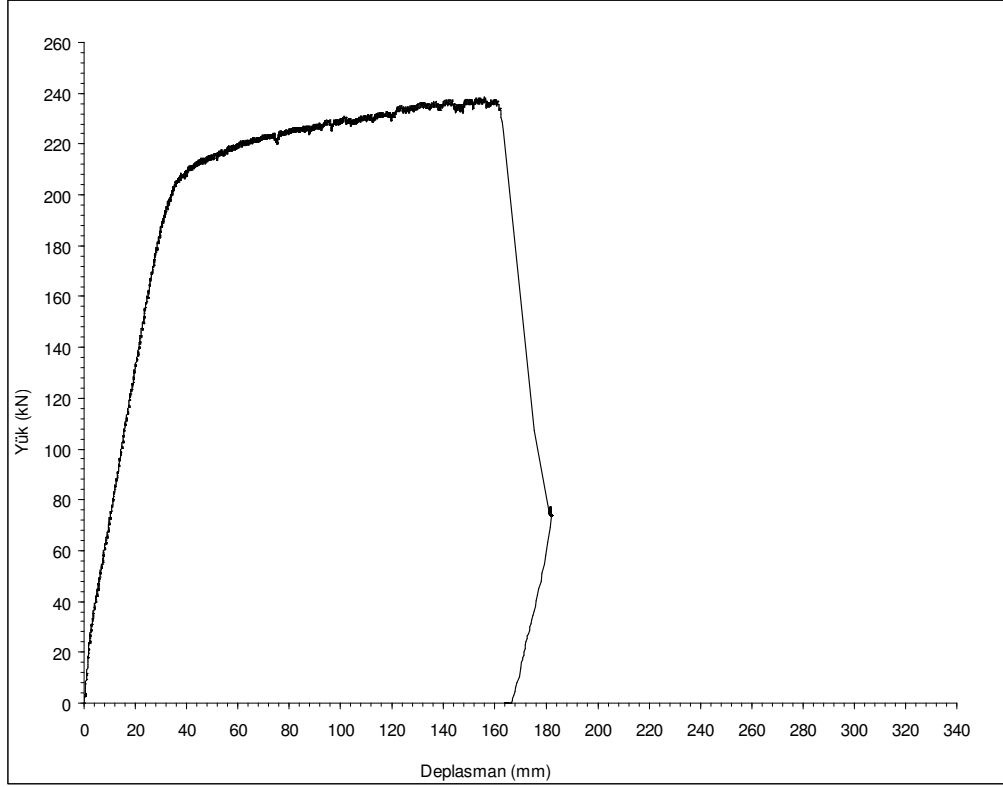
55 kN yük 7 mm deplasman değerinde maksimum çatlak genişliği 0,3 mm değerindedir.

100 kN yük 15 mm deplasman değerinde maksimum çatlak genişliği 0,9 mm değerindedir.

Yüklemeye arttıkça, mesnet bölgelerinde çatlak değerleri artmıştır. 190 kN yük 31 mm deplasman değerinde, kiriş açıklığının 1000 mm' lik orta kısmında 0,3 mm çatlaklar gözlenmiştir.

Deney sonucunda, kiriş dayanımının referans kirişe yakın ancak süneklik ve eğilme rijitliğinin ise referans kiriş değerlerine göre az olduğu görülmüştür.

Genel olarak kiriş davranışının, donatı oranının artmasına bağlı olarak, referans kiriş davranışından uzaklaştığı gözlenmiştir.



Şekil 5.11. C_{BX} kirişi yük-deplasman grafiği



Resim 5.12. C_{BX} kirişinin deney sonrası görüntüsü

6. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Deney sonuçları değerlendirilirken, kıyaslamanın gerçekçi olabilmesi için çeşitli parametreler seçilmişti. Bu parametrelerden bir tanesi kirişlerin eğilme donatı oranları eşit tutularak sınıflandırma yapmaktı. Ancak, boşluklu kirişlerin alt ve üst başlıklarında (boşluk etrafında), hem basınç hem de çekme bölgelerinde iç yüzey boşluğuna yakın ikinci sıra boyuna donatı bulunmaktadır. Boşluklu ve referans (boşluksuz) kirişler arasında, ikinci sıra donatılar nedeniyle dayanım farklılıkları oluşmaktadır. Bu fark, deney sonuçları değerlendirilirken, gerçek dışı sebep oluşturmaktadır.

Kıyaslamaların gerçekçi sonuçlar verebilmesi için, deney sonucu elde edilmiş yük-deplasman grafiklerinin yanıltıcı olabileceği düşünülmüş, grafikler üzerinde düzeltme yapılması uygun görülmüştür.

Kiriş moment kapasiteleri, ikinci sıra boyuna donatı oranı için hesaplanmış ve düzeltme katsayıları elde edilmiştir. Elde edilen düzeltme katsayıları, az donatılı kirişler için 0,674, normal donatılı kirişler için 0,844, fazla donatılı kirişler için 0,943' tür. Bu katsayılar ile boşluklu kiriş yük-deplasman grafikleri çarpılarak normalize edilmiştir.

Bu bölümde yapılacak kıyaslamalarda, düzeltme katsayıları ile çarpılarak normalize edilmiş, deney sonuç değerleri kullanılmıştır. Sonuçlar da düzeltme katsayıları ile çarpılarak normalize edilmiş, yük-deplasman grafiklerine göre değerlendirilmiştir.

Deney sonrası, elde edilen veriler, (kirişlerin süneklilik, rijitlik, akma-kopma dayanımları, göçme karakterleri gibi) kiriş karakteristik özellikleri ile birlikte değerlendirilmiştir.

Süneklilik, kırılma anındaki birim kısalmadır. Bir başka deyişle; bir kesitin taşıma kapasitesinde önemli bir azalma olmadan deformasyon yapabilme

yeteneğidir. Kapasitede kabul edilebilecek düşme oranı %15 mertebelerini geçmiyor ise bir kiriş sünek olarak kabul edilebilir.

Yapılan deneylerde eğrilik ölçümleri yapılmamıştır. Eğrilik ölçümleri, betonarme deney elemanlarında sağlıklı elde edilemediği gibi, bu değerlerin moment-eğrilik grafiğinden ölçülmesinin de her zaman doğru sonuçlar vermeyeceği düşünülmüştür.

Eğrilik birim dönme açısıdır ve kesitteki birim deformasyondan yararlanılarak hesaplanabilir. Bu tanımdan yola çıkarak kırılma anındaki kiriş deplasman değerinin (δ_u), eğilme donatısının aktığı andaki deplasman değerine (δ_y) oranı süneklik oranı olarak kabul edilebilir.

Eğilme rijitliği, moment-eğrilik ilişkisi yerine, yük-deplasman grafiğinin çıkış kolunun eğiminden hesaplanmıştır. Yük momentin bir fonksiyonu, deplasman da eğriliğin bir fonksiyonu olduğu için, yük-deplasman grafiğinin çıkış kolu eğimi kullanılmıştır. Hesaplanan değerler gerçek eğilme rijitlik değerleri değildir. Ancak bütün deney elemanlarında eğilme rijitliği değerleri aynı şekilde hesaplandığı ve bu kirişler de kendi aralarında kıyaslandığı için kıyas mertebesi değişmeyecektir.

Kirişlere ait akma yükü, ulaşılan maksimum yük, δ_u ve δ_y deformasyon değerleri, süneklik oranı değerleri ile eğilme rijitliği değerleri, düzeltilmiş yük-deplasman grafiklerine göre hesaplanmış ve Çizelge 6.1' de gösterilmiştir.

Bu bölümde kirişlerin yük-deplasman değerleri incelenirken, grafikler üzerinde yük değerinin sıfıra inip, tekrar çıktığı noktalar, deney sırasında piston kapasitesinin yetmemesi nedeniyle, kirişte yapılmış olan yük boşaltma ve tekrar yükleme noktalarını göstermektedir.

Kirişlerin süneklik, dayanım ve eğilme rijitliği parametrelerine göre, birbirleri ile oranları Çizelge 6.2' de gösterilmiştir.

Çizelge 6.1. Dayanım, süneklik oranı ve eğilme rijitliği değerleri

<i>Kiriş Donatı Oranı</i>	<i>Kiriş Adı</i>	<i>Kiriş Hesap Dayanımı</i>	<i>P_y (kN)</i>	<i>P_{max} (kN)</i>	<i>P_u=0,85xP_y (kN)</i>	<i>δ_u (mm)(≥)</i>	<i>δ_y (mm)</i>	<i>Süneklik Oranı (δ_u/δ_y)</i>	<i>Eğilme Rijitliği</i>
S	B _S	57,1	64,0	76,3	64,9	180,0	17,0	10,59	2,93
	C _{SX}	84,8	53,8	70,2	59,7	279,5	19,3	14,48	2,73
	R _S	84,8	53,3	63,1	53,6	189,2	18,6	10,17	1,19
N	B _N	104,4	110,0	146,0	124,1	196,0	17,6	11,14	5,67
	C _{NX}	123,7	109,3	137,4	116,8	302,3	23,8	12,70	4,83
	R _N	123,7	94,2	69,9	59,4	221,8	39,9	5,56	2,61
B	B _B	176,5	170,0	210,0	178,5	122,0	17,5	6,97	9,16
	C _{BX}	187,3	193,3	221,1	187,9	165,8	36,1	4,59	5,75
	R _B	187,3	110,6	102,1	86,8	147,8	30,9	4,78	3,77

Çizelge 6.2. Parametrelere göre kirişlerin birbirleri ile oranları

<i>Kiriş Donatı Oranı</i>	<i>Kiriş Deney Kodu</i>	<i>Karşılaştırma Parametreleri</i>								
		<i>Süneklik</i>			<i>Dayanım</i>			<i>Eğilme Rijitliği</i>		
Az		Bs	Csx	Rs	Bs	Csx	Rs	Bs	Csx	Rs
	Csx	1.37	-	1.42	0.92	-	1.11	0.93	-	2.29
	Rs	0.96	0.70	-	0.83	0.90	-	0.41	0.44	-
Normal		Bn	Cnx	Rn	Bn	Cnx	Rn	Bn	Cnx	Rn
	Cnx	1.14	-	2.28	0.94	-	1.97	0.85	-	1.85
	Rn	0.50	0.44	-	0.48	0.51	-	0.46	0.54	-
Fazla		Bb	Cbx	Rb	Bb	Cbx	Rb	Bb	Cbx	Rb
	Cbx	0.66	-	0.96	1.05	-	2.17	0.63	-	1.53
	Rb	0.69	1.04	-	0.49	0.46	-	0.41	0.66	-

6.1. S Kodlu, Az Donatılı Kirişlerin İncelenmesi

Az donatı düzeninde imal edilmiş, dairesel boşluklu (C_{SX} kodlu) ve kare boşluklu (R_S kodlu) kirişlerin deney sonuçları, aynı donatı oranına sahip, boşluksuz (B_S kodlu, referans kiriş) kiriş ile karşılaştırılmıştır.

C_{SX} , R_S ve B_S kirişlerinin göçme şekilleri eğilme karakterinde olmuştur. Her üç kirişe ait yük-deplasman grafikleri Şekil 6.1' de gösterilmiştir.

Az donatılı, dairesel boşluklu, C_{SX} kodlu, kiriş deney sonuçları

C_{SX} kirişinin B_S kirişine olan süneklik oranı 1,37, dayanım oranı 0,92, eğilme rijitliği oranı ise 0,93 olarak bulunmuştur.

C_{SX} kirişinin R_S kirişine olan süneklik oranı 1,42, dayanım oranı 1,11, eğilme rijitliği oranı ise 2,29 olarak bulunmuştur.

C_{SX} kirişi R_S ve B_S kirişlerine göre daha sünek bir davranış sergilemiştir. Bu süneklığe X donatılarının katkısı olduğu gözlenmiştir.

C_{SX} kirişi dayanım ve eğilme rijitliği olarak B_S kirişine yakın ve R_S kirişinden daha iyi sonuçlar vermiştir.

Genel olarak, C_{SX} kirişinin diğer iki kirişe oranla daha iyi bir davranış sergilediği sonucuna varılabilir.

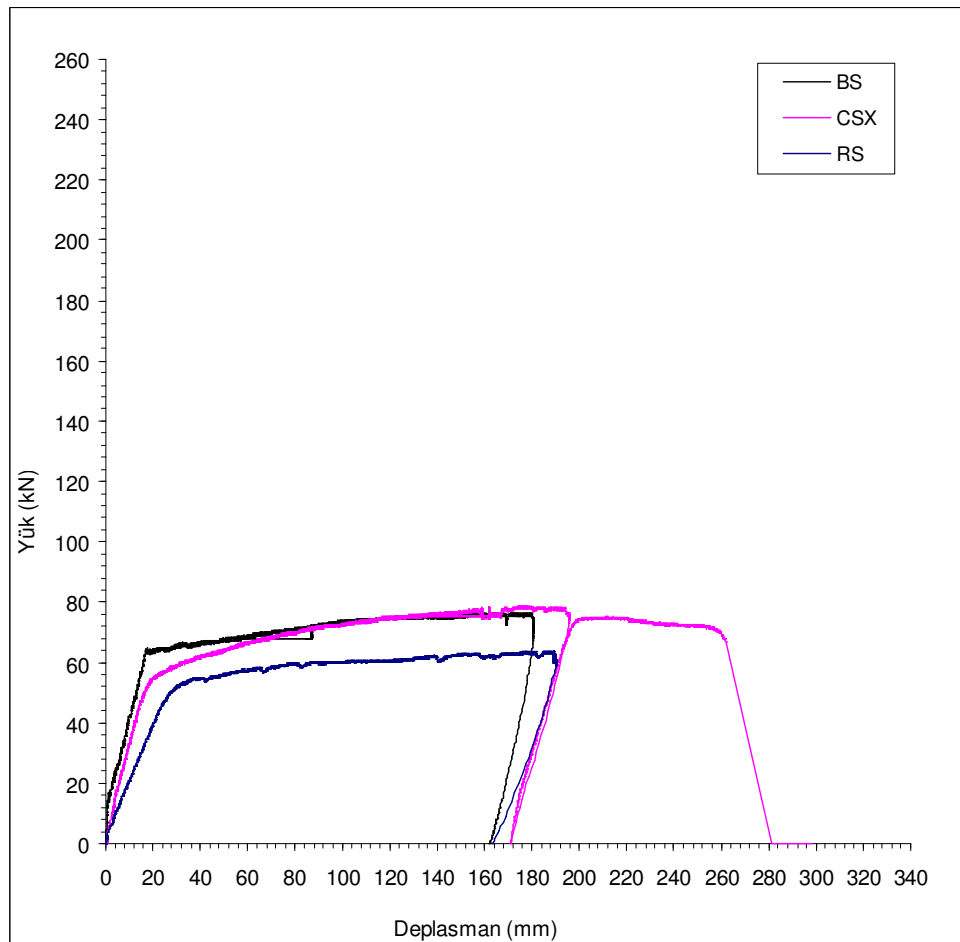
Az donatılı, kare boşluklu, R_S kodlu, kiriş deney sonuçları

R_S kirişinin B_S kirişine olan süneklik oranı 0,96, dayanım oranı 0,83, eğilme rijitliği oranı ise 0,41 olarak bulunmuştur.

R_S kirişinin C_{SX} kirişine olan süneklik oranı 0,70, dayanım oranı 0,90, eğilme rijitliği oranı ise 0,44 olarak bulunmuştur.

R_S kirişinin süneklik, dayanım ve eğilme rijitliği değerleri B_S ve C_{SX} kirişleri değerlerinden daha küçüktür.

Genel olarak, R_S kirişinin diğer iki kirişe oranla daha kötü bir davranış sergilediği sonucuna varılmıştır.



Şekil 6.1. Dairesel boşluklu (C_{SX}), kare boşluklu (R_S) ve referans (B_S) kirişlerinin yük-deplasman grafikleri

6.2. N Kodlu, Normal Donatılı Kirişlerin İncelenmesi

Normal donatı düzeninde imal edilmiş, dairesel boşluklu (C_{NX} kodlu) ve kare boşluklu (R_N kodlu) kirişlerin deney sonuçları, aynı donatı oranına sahip, boşluksuz (B_N kodlu, referans kiriş) kiriş ile karşılaştırılmıştır.

C_{NX} , R_N ve B_N kirişlerinin göçme şekilleri eğilme karakterinde olmuştur. Her üç kirişe ait yük-deplasman grafikleri Şekil 6.2' de gösterilmiştir.

Normal donatılı, dairesel boşluklu, C_{NX} kodlu, kiriş deney sonuçları

C_{NX} kirişinin B_N kirişine olan süneklik oranı 1,14, dayanım oranı 0,94, eğilme rijitliği oranı ise 0,85 olarak bulunmuştur.

C_{NX} kirişinin R_N kirişine olan süneklik oranı 2,28, dayanım oranı 1,97, eğilme rijitliği oranı ise 1,85 olarak bulunmuştur.

C_{NX} kirişi B_N ve R_N kirişlerine göre daha sünek bir davranış sergilemiştir. Bu süneklığe X kablolarının katkısı olduğu gözlenmiştir.

C_{NX} kirişi dayanım ve eğilme rijitliği sonuçları, B_N kirişine yakın, R_N kirişinden daha iyi değerler vermiştir.

Genel olarak, C_{NX} kirişinin diğer iki kirişe oranla daha iyi bir davranış sergilediği, ancak eğilme rijitliği ve süneklik değerlerinin C_{sx} kirişine göre azaldığı, R_N kirişine göre daha yüksek değerler verdiği gözlenmiştir.

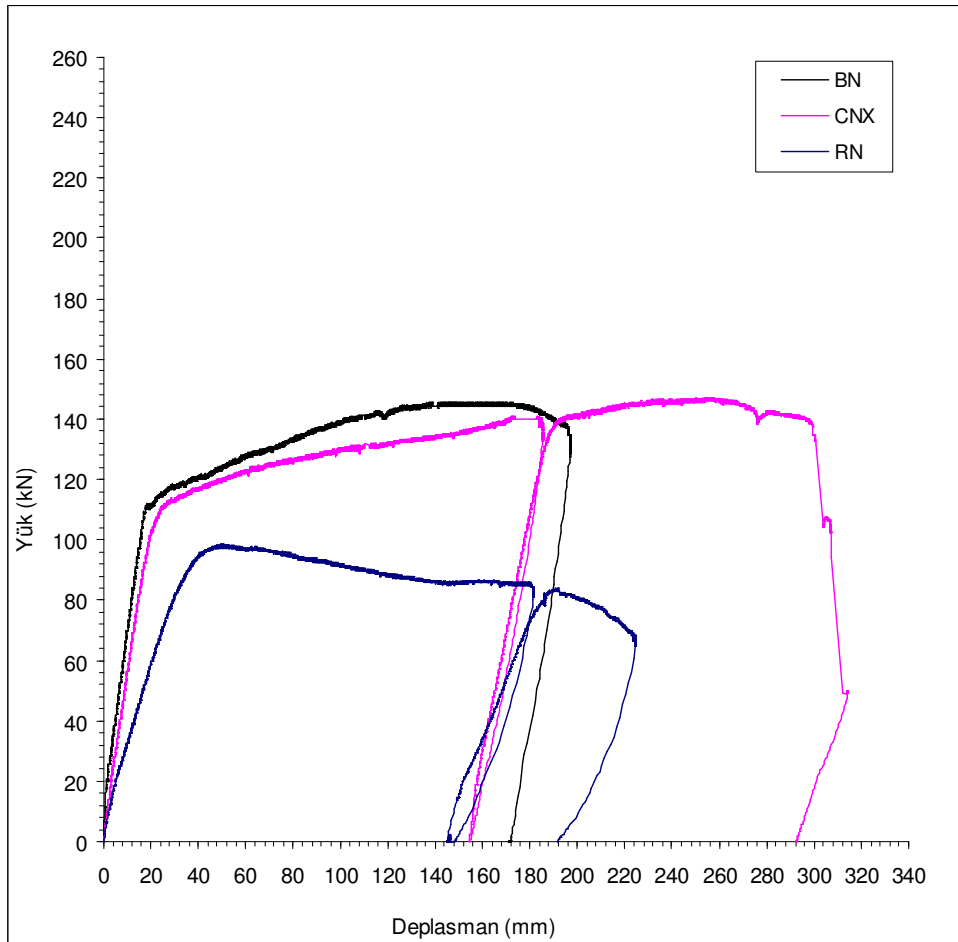
Normal donatılı, kare boşluklu, R_N kodlu, kiriş deney sonuçları

R_N kirişinin B_N kirişine olan süneklik oranı 0,50, dayanım oranı 0,48, eğilme rijitliği oranı ise 0,46 olarak bulunmuştur.

R_N kirişinin C_{NX} kirişine olan süneklik oranı 0,44, dayanım oranı 0,51, eğilme rijitliği oranı ise 0,54 olarak bulunmuştur.

Bu oranlardan da anlaşılacağı üzere R_N kirişinin süneklik, dayanım ve eğilme rijitliği değerleri B_N ve C_{NX} kirişleri değerlerinden daha kötüdür.

Genel olarak, R_N kirişinin diğer iki kirişe oranla daha kötü bir davranış sergilediği sonucuna varılmıştır.



Şekil 6.2. Dairesel boşluklu (C_{NX}), kare boşluklu (R_N) ve referans (B_N) kirişlerinin yük-deplasman grafikleri

6.3. B Kodlu, Fazla Donatılı Kirişlerin İncelenmesi

Fazla donatı düzeninde imal edilmiş, dairesel boşluklu (C_{BX} kodlu) ve kare boşluklu (R_B kodlu) kirişlerin deney sonuçları, aynı donatı oranına sahip, boşluksuz (B_B kodlu, referans kiriş) kiriş ile karşılaştırılmıştır.

C_{BX} ve R_B kirişlerinin göçme şekilleri eğilme karakterinde, B_B kirişi, sünek bir davranış gösterdikten sonra, göçme şekli gevrek olmuştur.

Her üç kirişe ait yük-deplasman grafikleri Şekil 6.3' de gösterilmiştir.

Fazla donatılı, dairesel boşluklu, C_{BX} kodlu kiriş deney sonuçları

C_{BX} kirişinin B_B kirişine olan süneklik oranı 0,66, dayanım oranı 1,05, eğilme rijitliği oranı ise 0,63 olarak bulunmuştur.

C_{BX} kirişinin R_B kirişine olan süneklik oranı 0,96, dayanım oranı 2,17, eğilme rijitliği oranı ise 1,53 olarak bulunmuştur.

C_{BX} kirişi süneklik değeri B_B ve R_B kirişlerine göre daha düşüktür.

C_{BX} kirişi dayanım olarak B_B ve R_B kirişlerinden daha yüksek, eğilme rijitliği olarak B_B kirişine göre daha az, yine eğilme rijitliği olarak R_B kirişine göre daha fazla bir değer vermiştir.

Genel olarak, C_{BX} kirişinin B_B kirişine göre iyi bir davranış sergilemediği, R_B kirişine göre iyi bir davranış sergilediği gözlenmiştir.

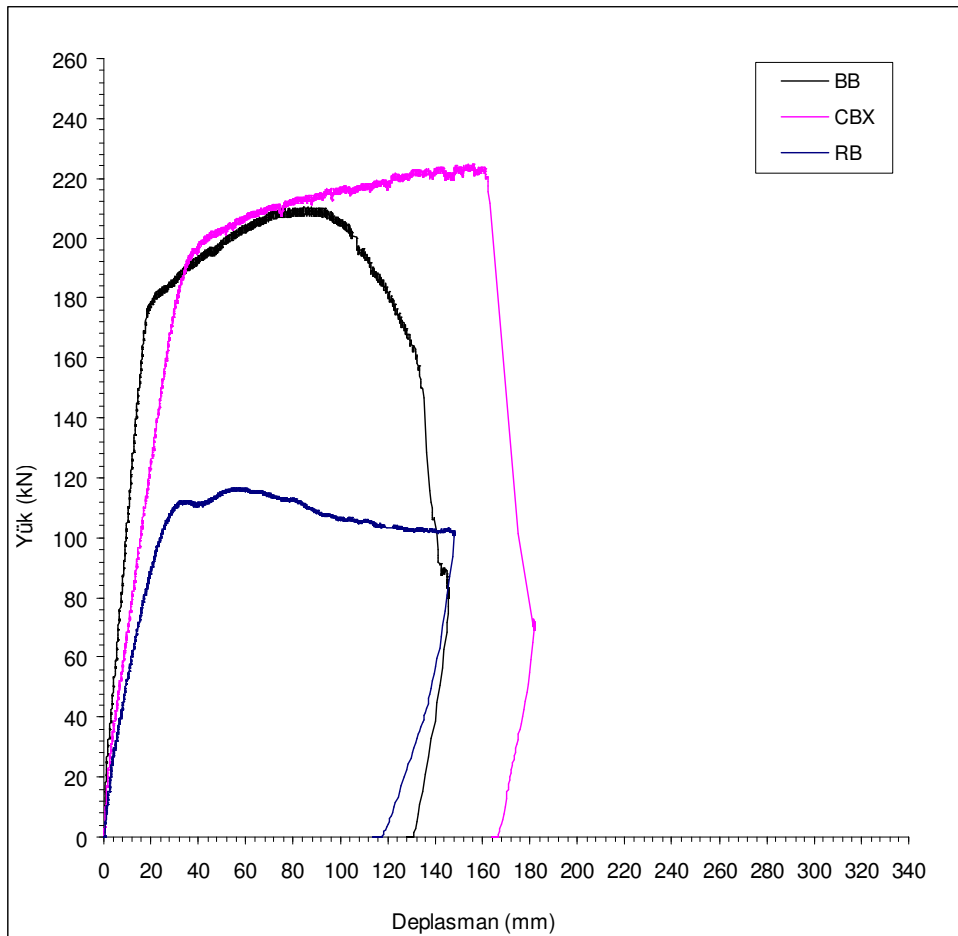
Boşluklu kirişlerin donatı oranı fazla olduğu zaman, az veya normal donatı oranına sahip boşluklu kirişlere göre başarısız sonuçlar verdiği görülmüştür.

Fazla donatılı, kare boşluklu, R_B kodlu kiriş deney sonuçları

R_B kirişinin B_B kirişine olan süneklik oranı 0,69, dayanım oranı 0,49, eğilme rijitliği oranı ise 0,41 olarak bulunmuştur.

R_B kirişinin C_{BX} kirişine olan süneklik oranı 1,04, dayanım oranı 0,46, eğilme rijitliği oranı ise 0,66 olarak bulunmuştur.

R_B kirişi süneklik, dayanım ve rijitlik olarak B_B ve C_{BX} kirişlerine göre daha kötü sonuçlar vermiştir. R_B kirişinin genel olarak, iyi bir davranış sergilemediği sonucuna varılmıştır.



Şekil 6.3. Dairesel boşluklu (C_{BX}), kare boşluklu (R_B) ve referans (B_B) kirişlerinin yük-deplasman grafikleri

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Düzenli ve özdeş, dairesel veya kare boşluklara sahip betonarme kirişlerin davranış ve dayanımı bu tezde incelenmiştir. Deney parametreleri kirişlerdeki boşluk şekli, eğilme donatısı oranı, X donatısı malzemesi ve X donatısı malzemesi düzenlemesidir.

Deneylerde test edilmek istenilen düzenli ve özdeş boşlukların, kiriş dayanımını nasıl etkileyeceği ve bu kirişlerde optimum bir değer elde edilip edilemeyeceği idi. Deney sonuçları, dayanım, süneklili ve eğilme rijitliği bakımından değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre; düzenli ve özdeş boşluklu kiriş imalatının yapılabileceğidir.

Kiriş üzerinde yer alan boşlukların, düzenli ve özdeş olması ile maksimum moment, kiriş açıklık ortasında, maksimum kesme kuvveti, mesnet bölgesinde oluşmuş, gerilme yığılmalarının bütün kirişe yayıldığı gözlenmiştir.

C_{SX} kirişi referans kirişten %8, C_{NX} kirişi referans kirişten %6 daha az ve C_{BX} kirişi referans kirişten %5 daha fazla dayanım göstermiştir. Düzenli ve özdeş, X donatılı, dairesel boşluklu kirişler için taşıma gücü hesapları yapılırken, betonarmede bilinen klasik yöntemle hesaplanan değer %10 küçültülmesi önerilebilir.

R_S kirişi referans kirişten %17, R_N kirişi referans kirişten %52 ve R_B kirişi referans kirişten %51 daha az dayanım göstermişlerdir. Az donatı oranına sahip, kare boşluklu (R_S) kirişler için taşıma gücü hesapları yapılırken, betonarmede bilinen klasik yöntemle hesaplanan değer %20 küçültülmesi önerilebilir. R_N ve R_B kirişlerinin kullanılabilirliği çok ekonomik olmayacağından, uygulamada kullanılması önerilmemektedir.

Eğilme rijitliği yönünden C_{SX} kirişi referans kirişten %7, C_{NX} kirişi referans kirişten %15 daha az ve C_{BX} kirişi referans kirişten %37 daha az eğilme

rijitliđi göstermiřlerdir. R_S kiriři referans kiriřten %59, R_N kiriři referans kiriřten %54 ve R_B kiriři referans kiriřten %59 daha az eđilme rijitliđi göstermiřlerdir. Sehim hesaplarında, eđilme rijitliđinin bu oranlarda dūřūrölerek kullanılması önerilebilir.

Sūneklik deđerleri incelendiđinde; C_{SX} kiriři referans kiriřten %37 daha fazla, C_{NX} kiriři referans kiriřten %14 daha fazla ve C_{BX} kiriři referans kiriřten %44 daha az sūneklik göstermiřlerdir. R_S kiriři referans kiriřten %4, R_N kiriři referans kiriřten %50 ve R_B kiriři referans kiriřten %31 daha az sūneklik göstermiřlerdir. Bořluklu kiriřlerdeki sūneklik deđerlerinin, donatı oranı arttıkça azaldıđı gözlenmiřtir.

Deney elemanların sonuçlarında genel olarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Deney parametleri göz önüne alındığında az veya normal donatı oranına sahip, düzenli ve özdeş, X donatılı, dairesel boşluklu kirişlerin, düzenli ve özdeş kare boşluklu kirişlere oranla daha başarılı, referans kirişlere yakın sonuçlar verdiği görölmüştür.
- Bořluklu kirişlerdeki fazla donatı oranının, sūneklik, dayanım ve rijitlik değerlerini, referans kiriş değerlerinden uzaklaştırdığı gözlenmiştir.
- Donatı oranı çok olan “B” kodlu kirişlerin amaçlarından uzaklaştıkları görölmüştür.
- Dairesel boşluklu kirişlere bakıldığında, dairesel boşluk etrafında kullanılan donatı veya çelik kabloların etkili olduğu,

- Boşluk çevresinde, çelik kabloların donatıya göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Çelik kablo kullanılması kesit kapasitesini ve sünekliğini olumlu yönde arttırdığı gözlenmiştir.
- Boşluklu kirişler imal edilirken, kesme bölgesinde koloncuk uçlarındaki aderans yetersizliğinden kaynaklanabilecek erken mafsallaşmaları önleyebilmek için, işçiliğe dikkat edilmelidir.
- Boşluklu kirişler için kullanılabilir nominal donatı oranı* (ρ_n) sınırı 0,0069 olarak bulunmuştur. Bu orana eşit veya daha küçük değerler için (az veya normal donatı oranı); düzenli ve özdeş boşluklu kirişlerde, taşıma gücü hesapları, betonarmedeki bilinen klasik hesap ve yöntemlerle yapılabileceği, bu çalışmada denenmiş donatı detayında uygulanabileceği sonucuna varılmıştır.

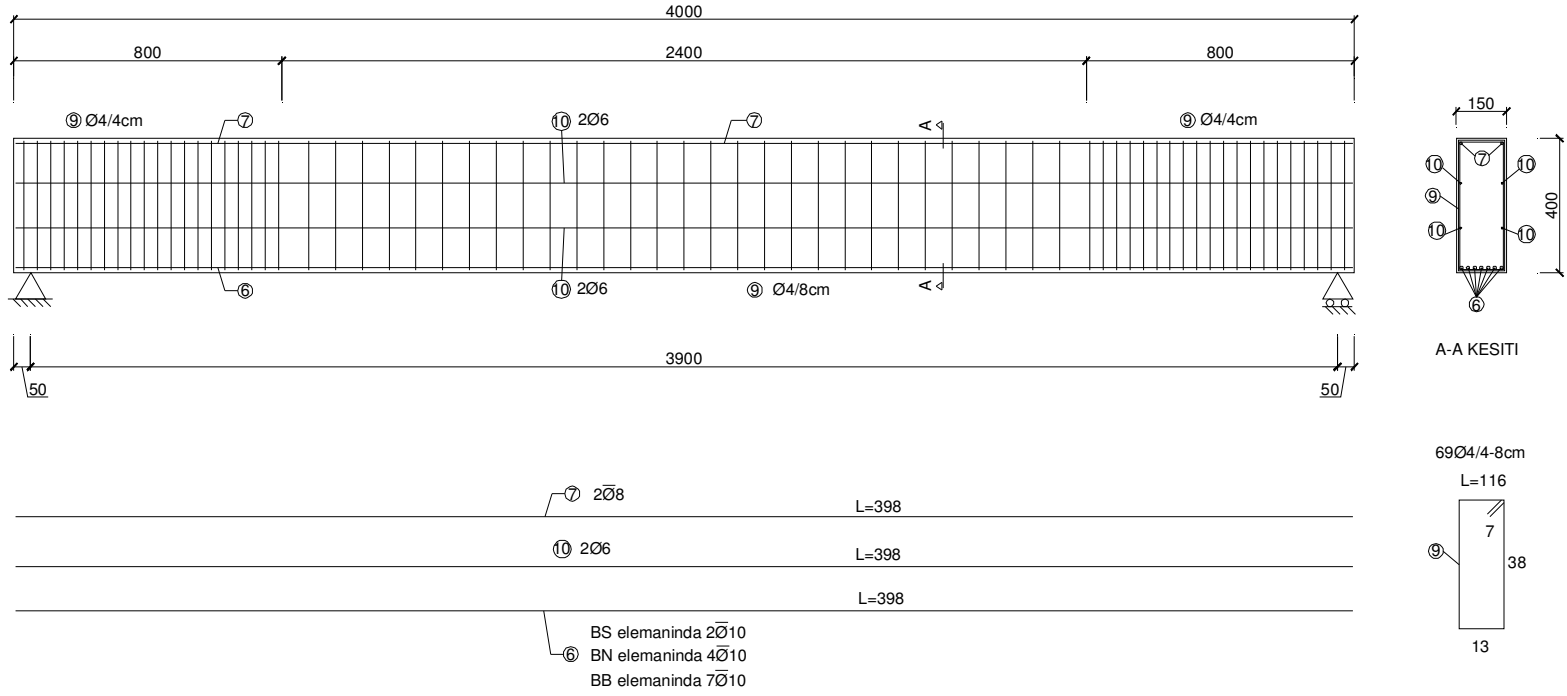
* Nominal donatı oranı (ρ_n): Kiriş alt başlığındaki çekme donatısı alanının dolu gövdenin brüt kesit alanına (en x boy) oranı.

KAYNAKLAR

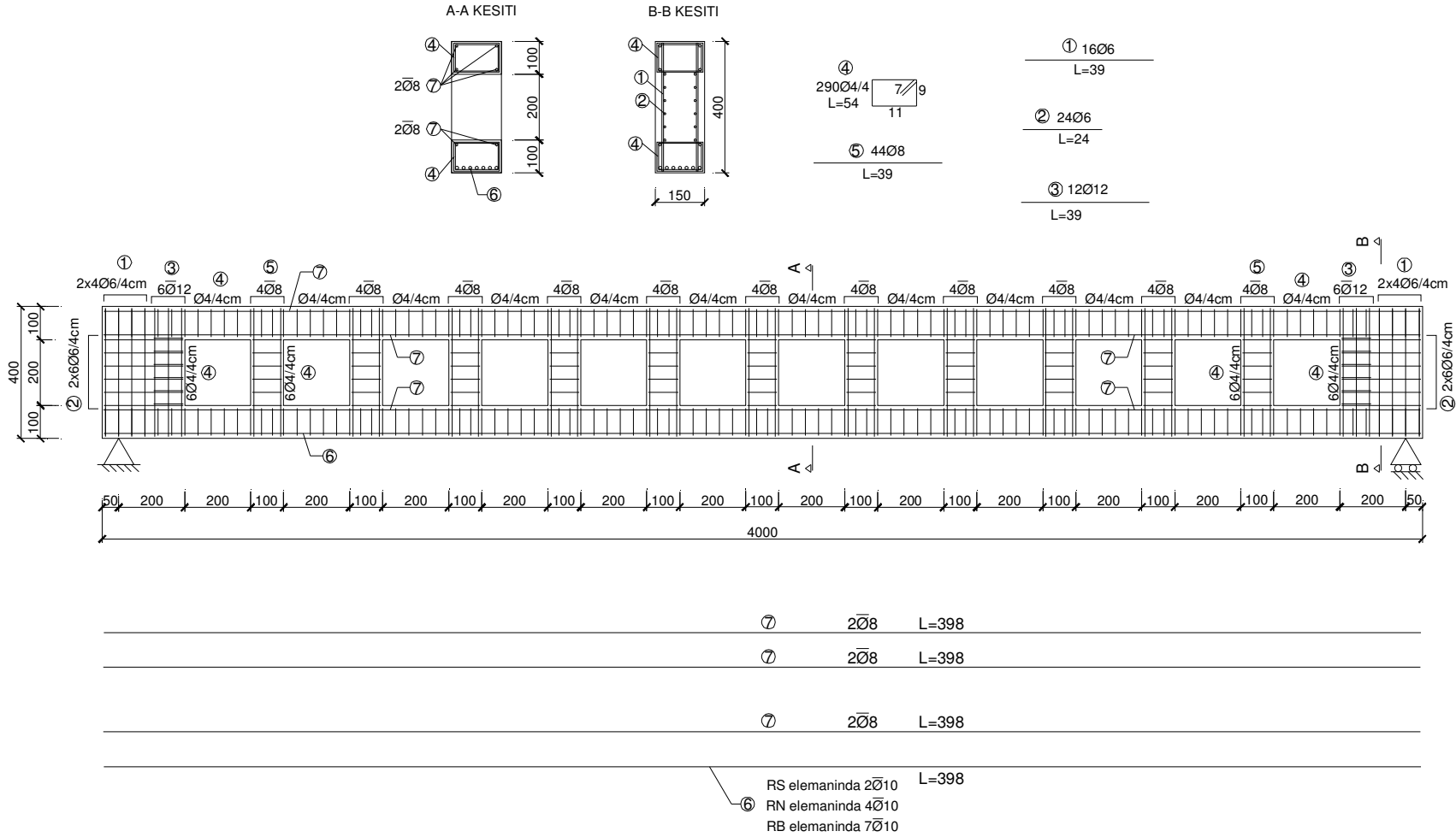
- [1]. Mansur M.A., “Effect of openings on the behavior and strength of R/C beams in shear”, **Cement and Concrete Composites**, 20 (6): 477-486, (1998).
- [2]. Ashour A.F., Rishi G., “Tests of reinforced concrete continuous deep beams with web openings”, **Structural Journal**, 97 (3): 418-426, (2000).
- [3]. Tan K. H, Mansur M.A., Wei W., “Design of reinforced concrete beams with circular openings”, **Structural Journal**, 98 (3): 407-415, (2001).
- [4]. Tan K. H., Mansur M.A., Huang L.M., “Reinforced concrete T-beams with large Web openings in positive and negative moment regions”, **Structural Journal**, 93 (3): 277-289, (1996).
- [5]. Dündar B., “Düzenli boşluklara sahip betonarme kirişlerin davranış ve dayanımı”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 4, (2008).
- [6]. Yılmaz C., “Düzenli üçgen veya dairesel boşluklara sahip betonarme kirişlerin davranış ve dayanımı”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 4, (2008).
- [7]. **Türk Standartları Enstitüsü**, TS.500, “Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları”, Ankara, 15, (2000).
- [8]. Ersoy, U., Betonarme Cilt-I (Temel İlkeler ve Taşıma Gücü), **Evrım Yayınevi**, İstanbul, 224, (2000).
- [9]. Mansur M.A., Lee Y.F., Tan K.H., Lee S.L., “Tests on R/C continuous beams with openings”, **Journal of Structural Engineering**, 117 (6): 1593-1606, (1991).

EKLER

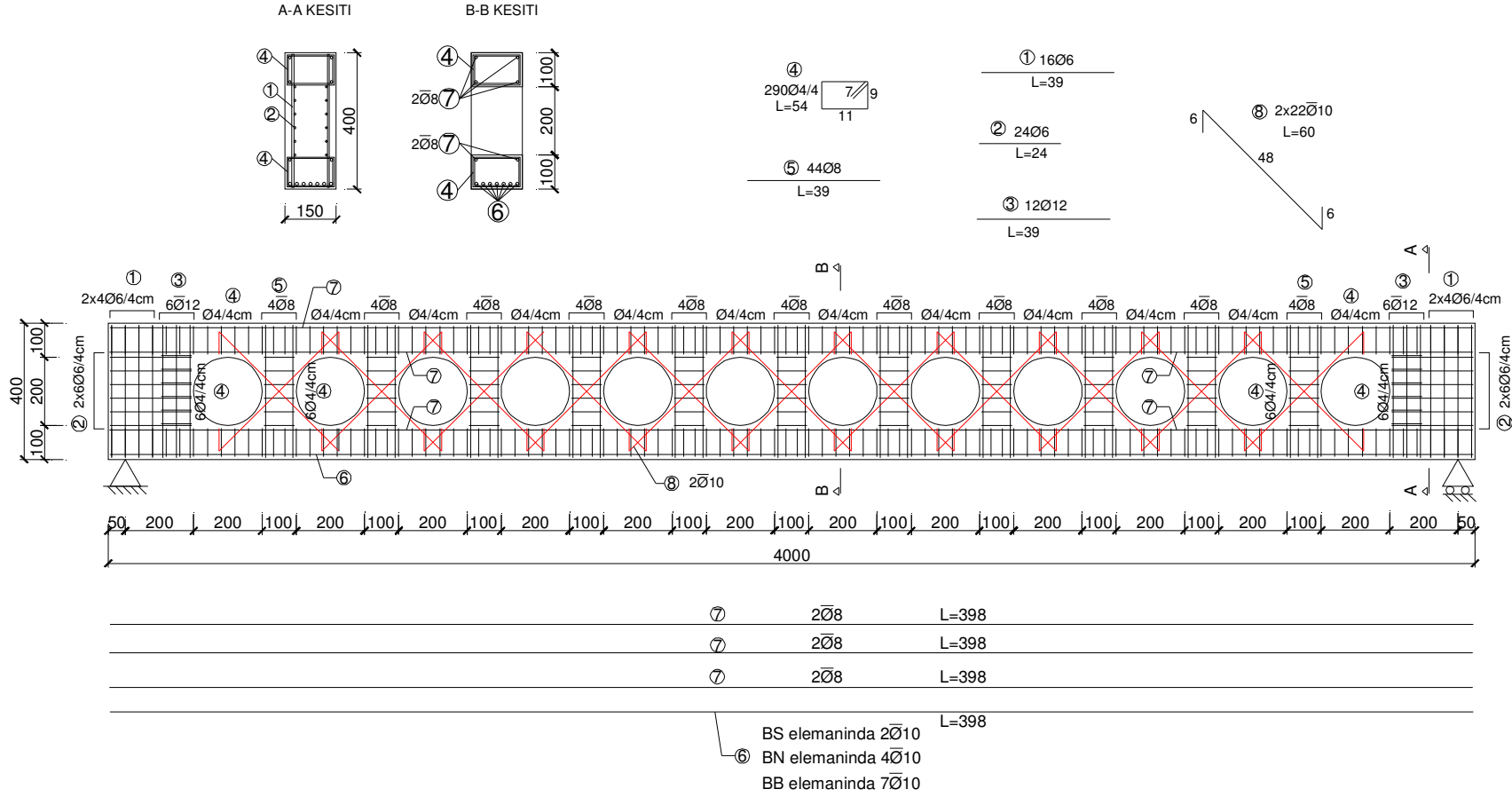
EK-1 Kiriş donatı planları



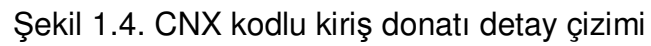
Şekil 1.1. B kodlu kiriş donatı detay çizimi

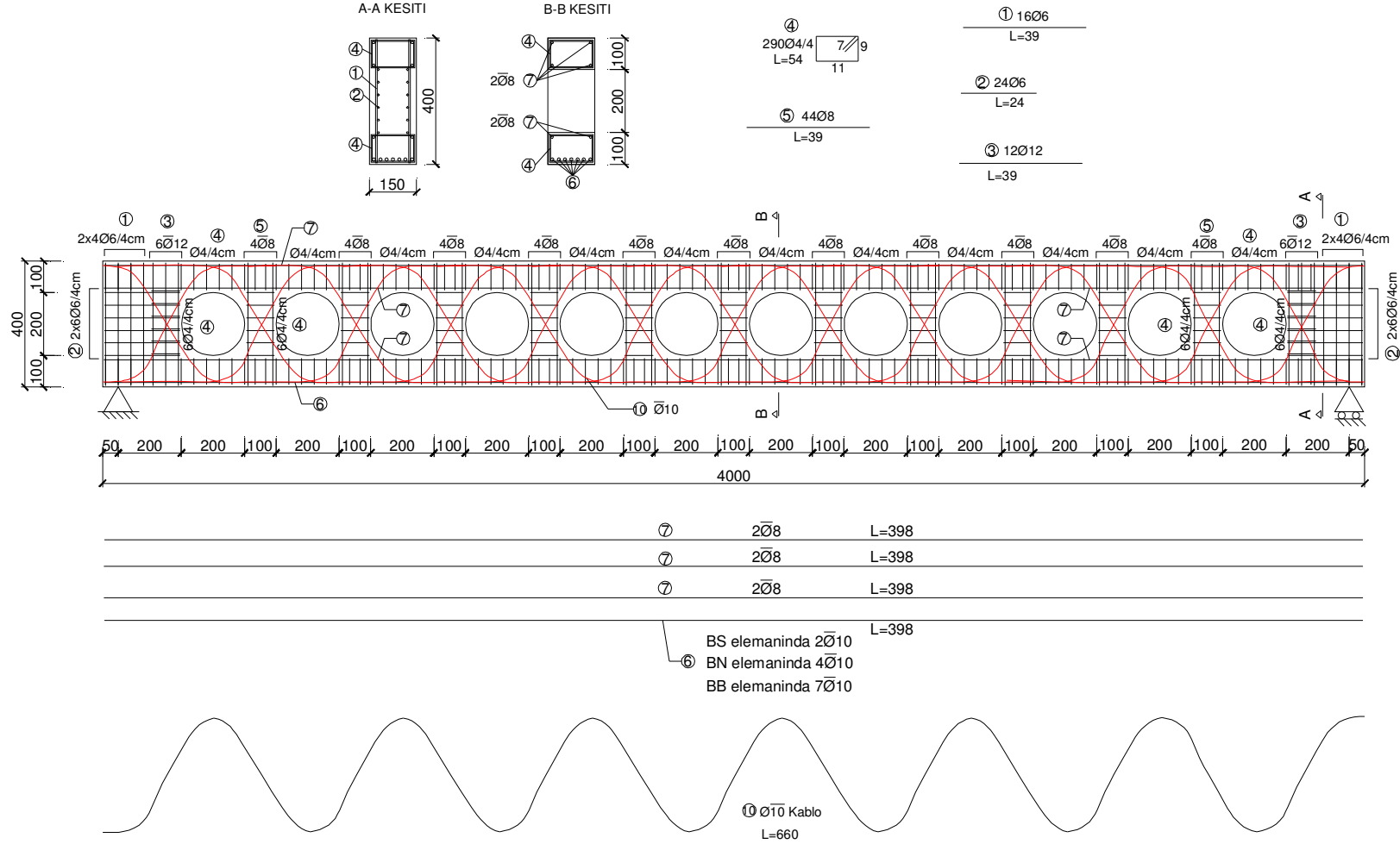


Şekil 1.2. R kodlu kiriş donatı detay çizimi



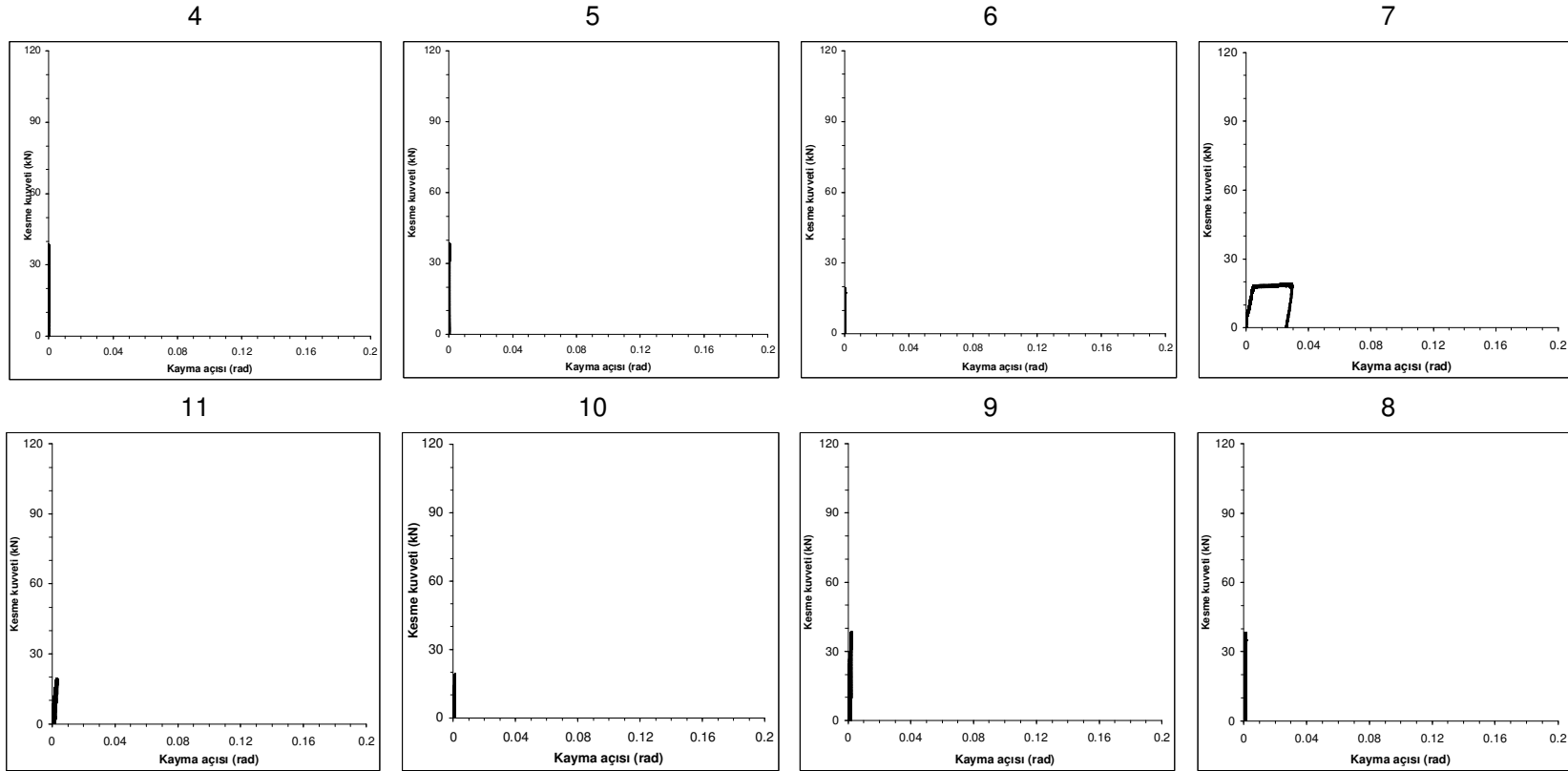
Şekil 1.3. CSX kodlu kiriş donatı detay çizimi





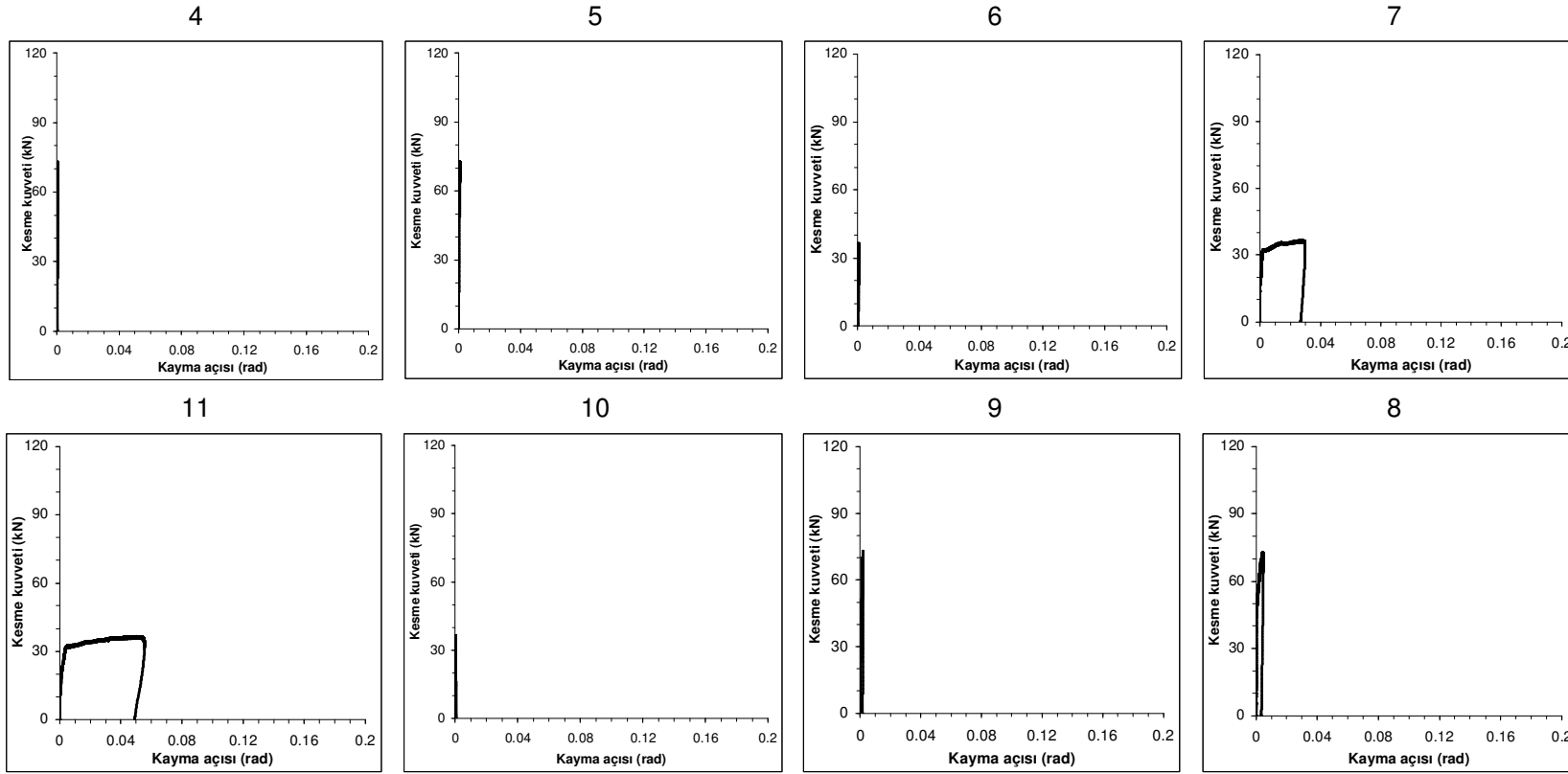
Şekil 1.5. CBX kodlu kiriş donatı detay çizimi

EK-2 Normalize edilmiş yük değerleri ile kesme kuvveti-kayma açısı grafikleri (LVDT numaralarına göre sıralanmıştır)



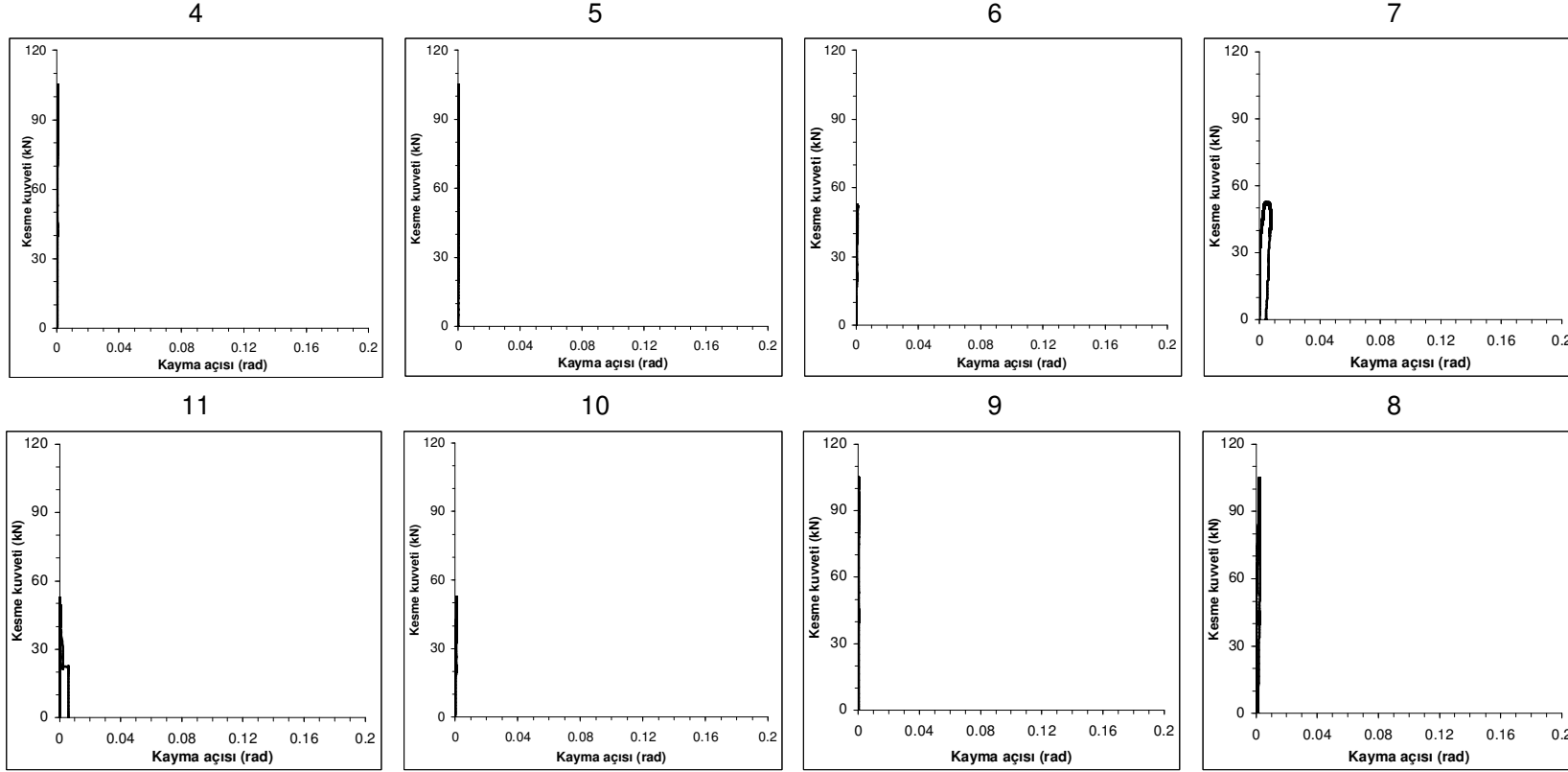
Şekil 2.1. B_S kirişi kesme kuvveti-kayma açısı grafikleri

EK-2 (Devam) Normalize edilmiş yük değerleri ile kesme kuvveti-kayma açısı grafikleri (LVDT numaralarına göre sıralanmıştır)



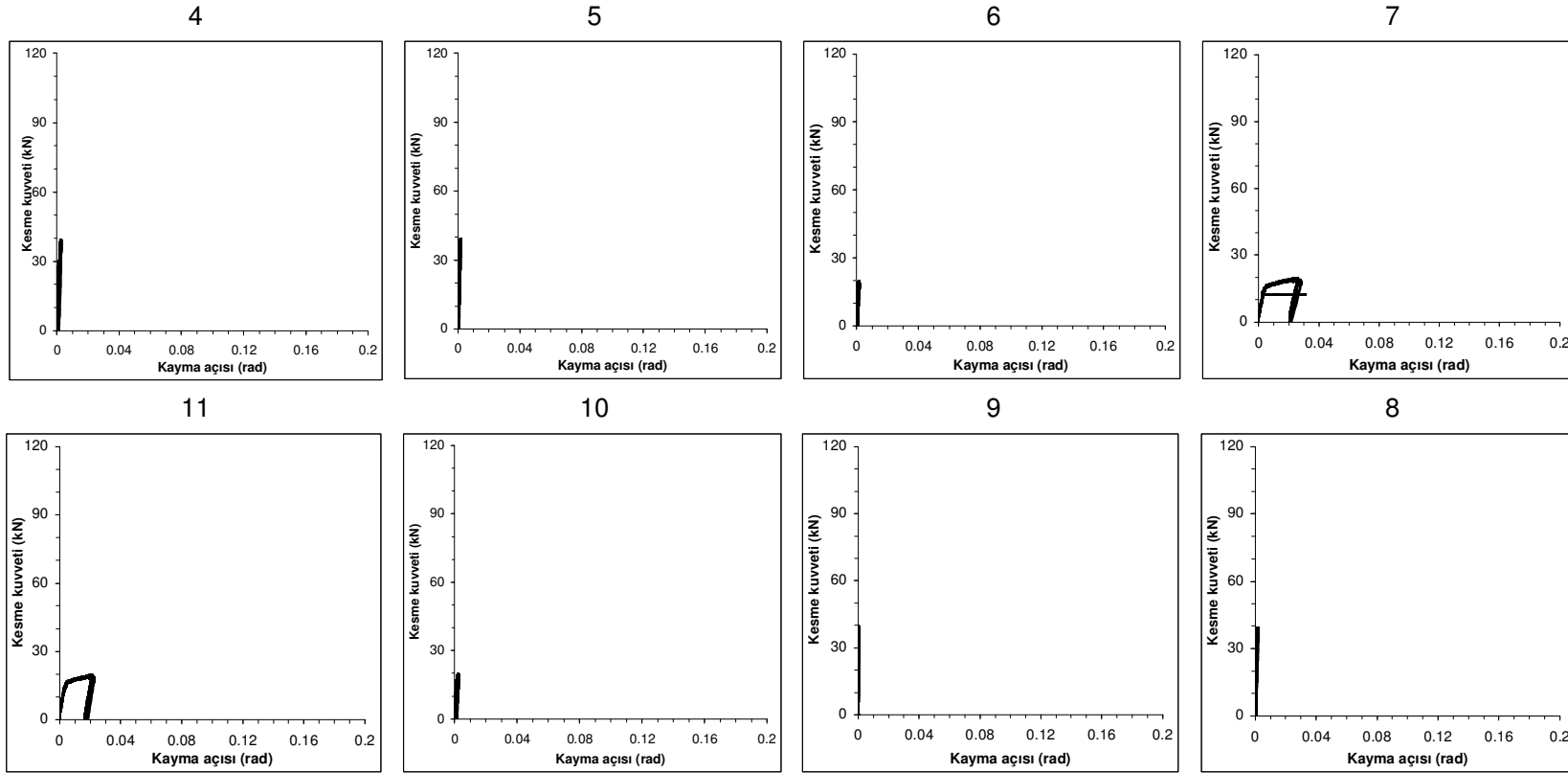
Şekil 2.2. B_N kirişi kesme kuvveti-kayma açısı grafikleri

EK-2 (Devam) Normalize edilmiş yük değerleri ile kesme kuvveti-kayma açısı grafikleri (LVDT numaralarına göre sıralanmıştır)



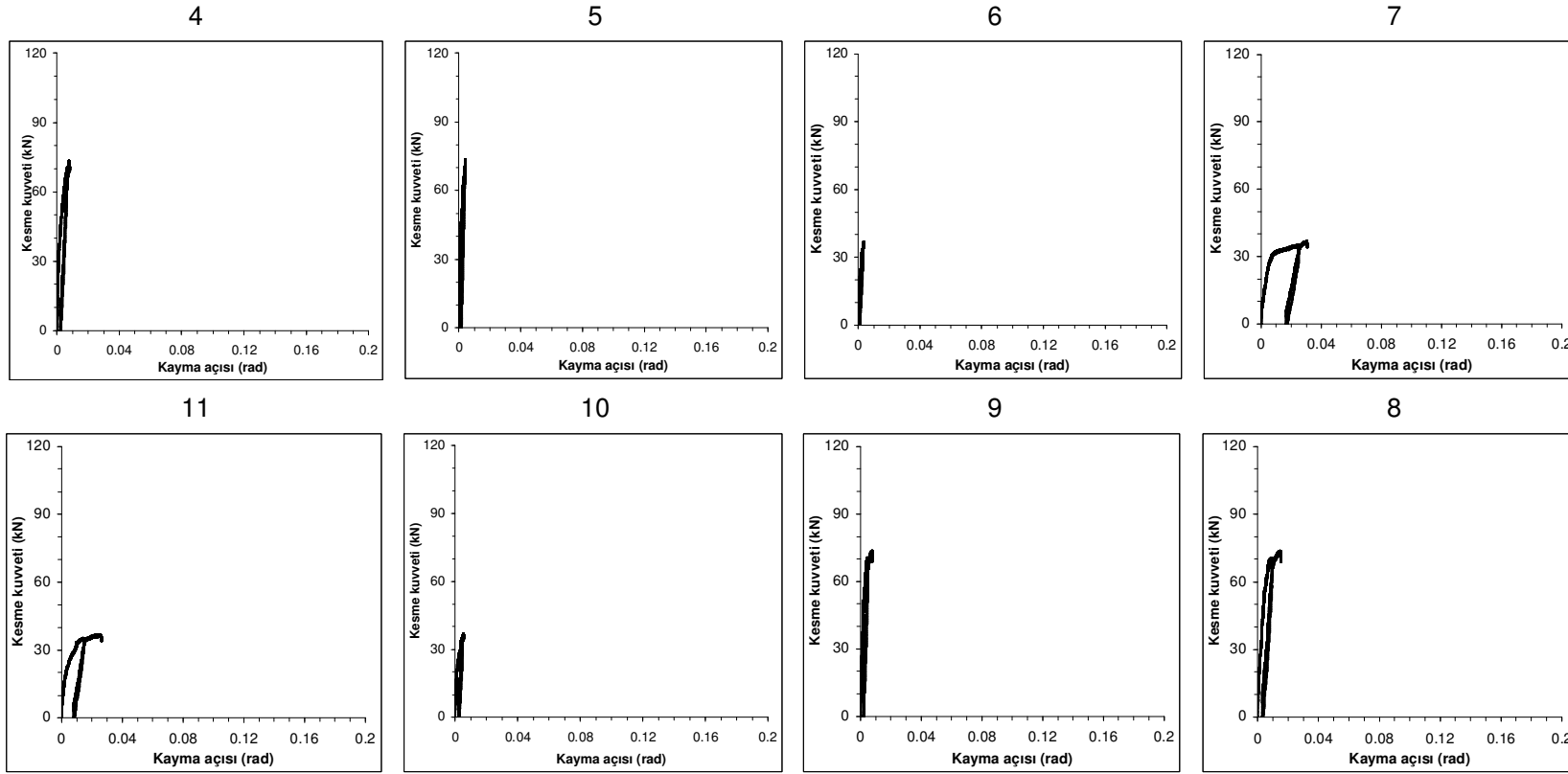
Şekil 2.3. B_B kirişi kesme kuvveti-kayma açısı grafikleri

EK-2 (Devam) Normalize edilmiş yük değerleri ile kesme kuvveti-kayma açısı grafikleri (LVDT numaralarına göre sıralanmıştır)



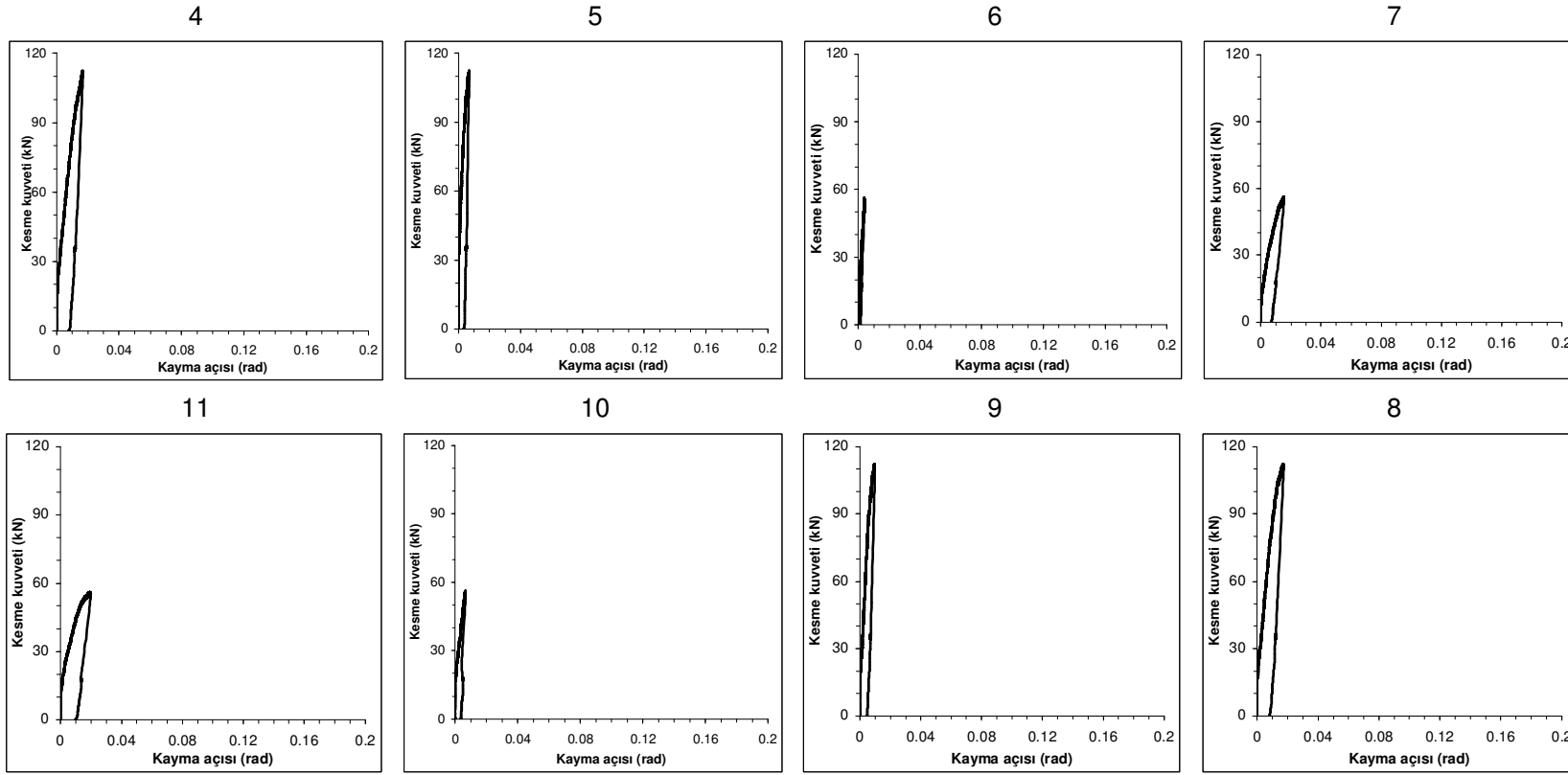
Şekil 2.4. C_{SX} kirişi kesme kuvveti-kayma açısı grafikleri

EK-2 (Devam) Normalize edilmiş yük değerleri ile kesme kuvveti-kayma açısı grafikleri (LVDT numaralarına göre sıralanmıştır)



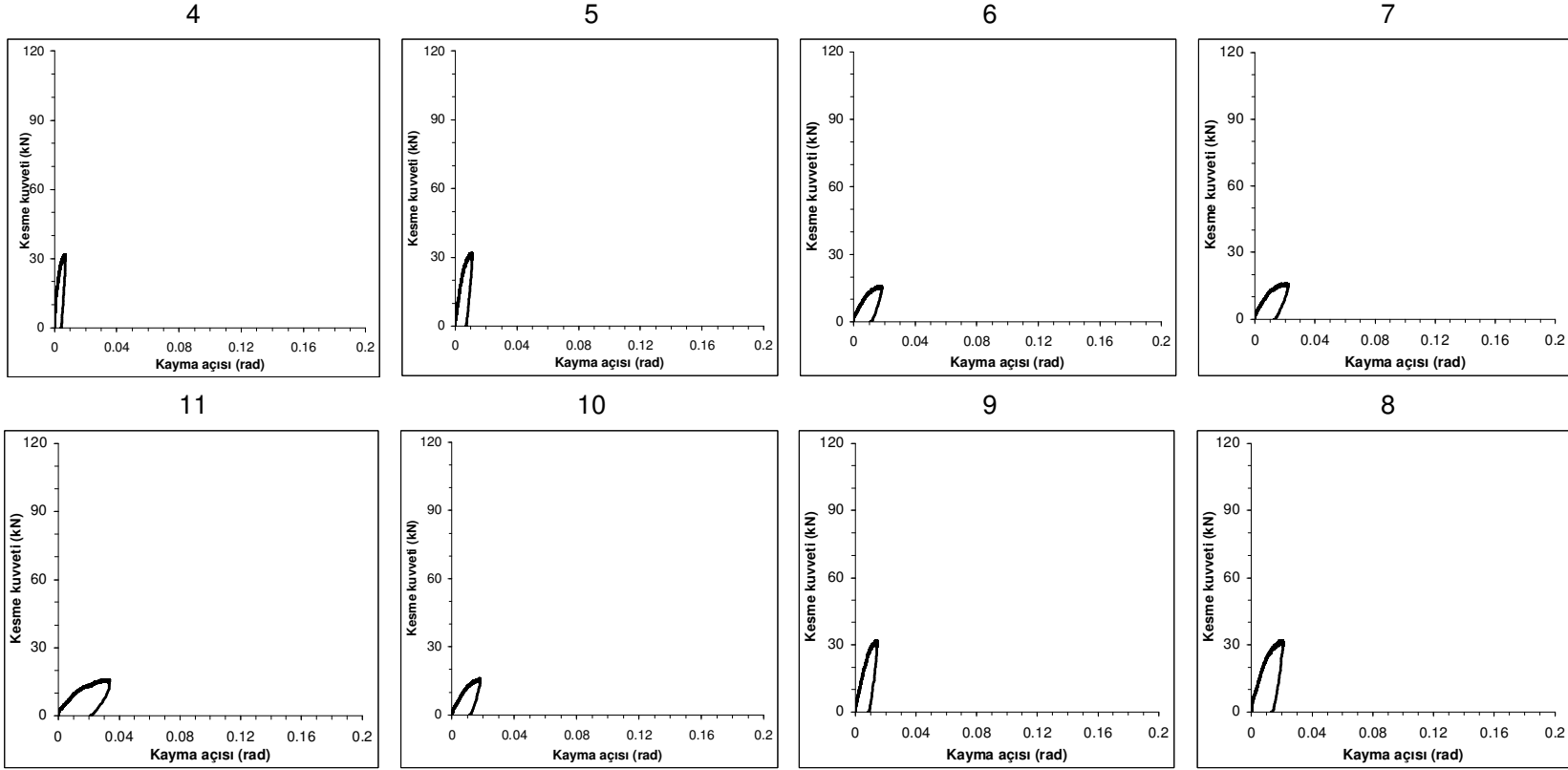
Şekil 2.5. C_{NX} kirişi kesme kuvveti-kayma açısı grafikleri

EK-2 (Devam) Normalize edilmiş yük değerleri ile kesme kuvveti-kayma açısı grafikleri (LVDT numaralarına göre sıralanmıştır)



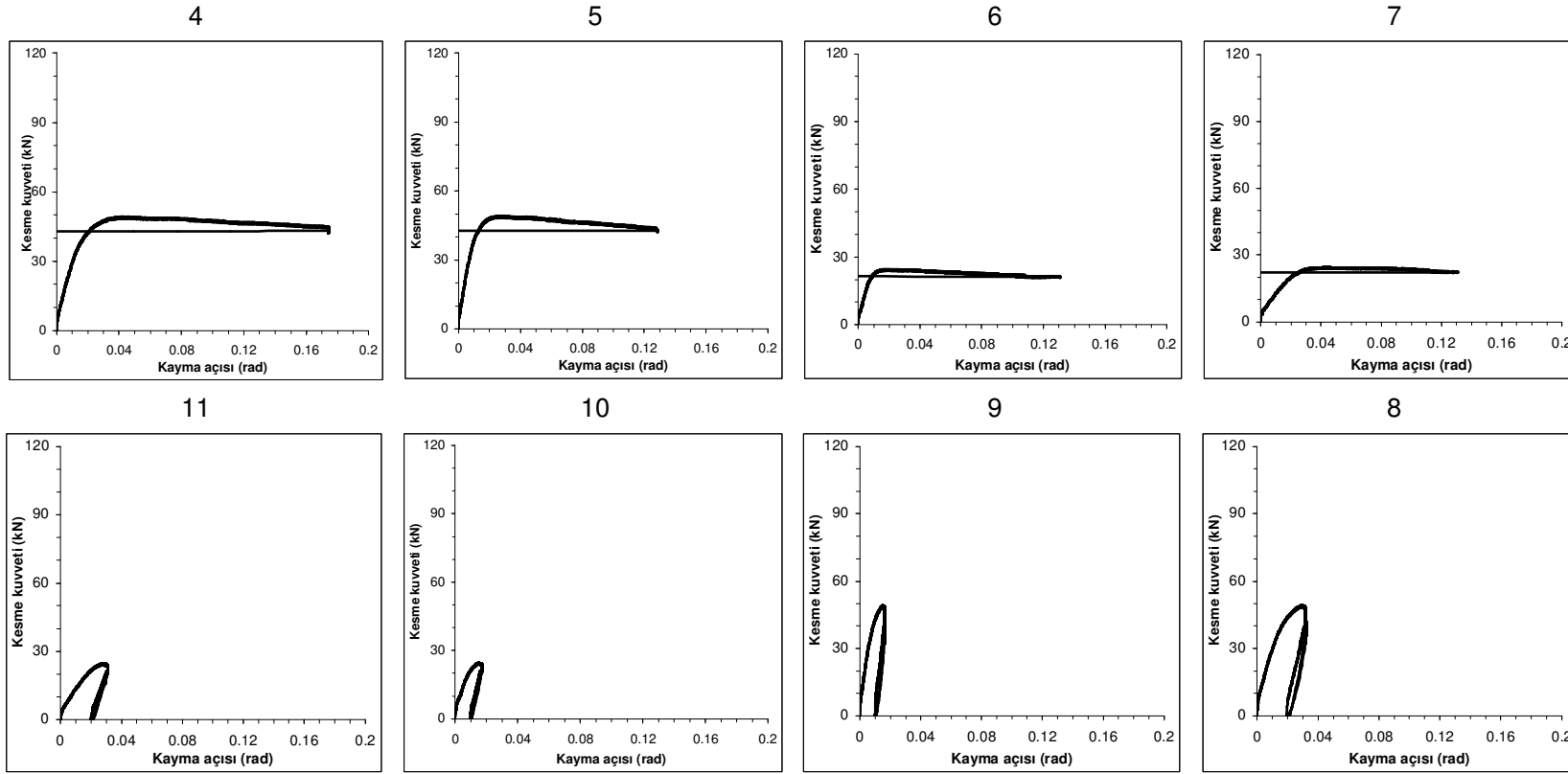
Şekil 2.6. C_{BX} kirişi kesme kuvveti-kayma açısı grafikleri

EK-2 (Devam) Normalize edilmiş yük değerleri ile kesme kuvveti-kayma açısı grafikleri (LVDT numaralarına göre sıralanmıştır)



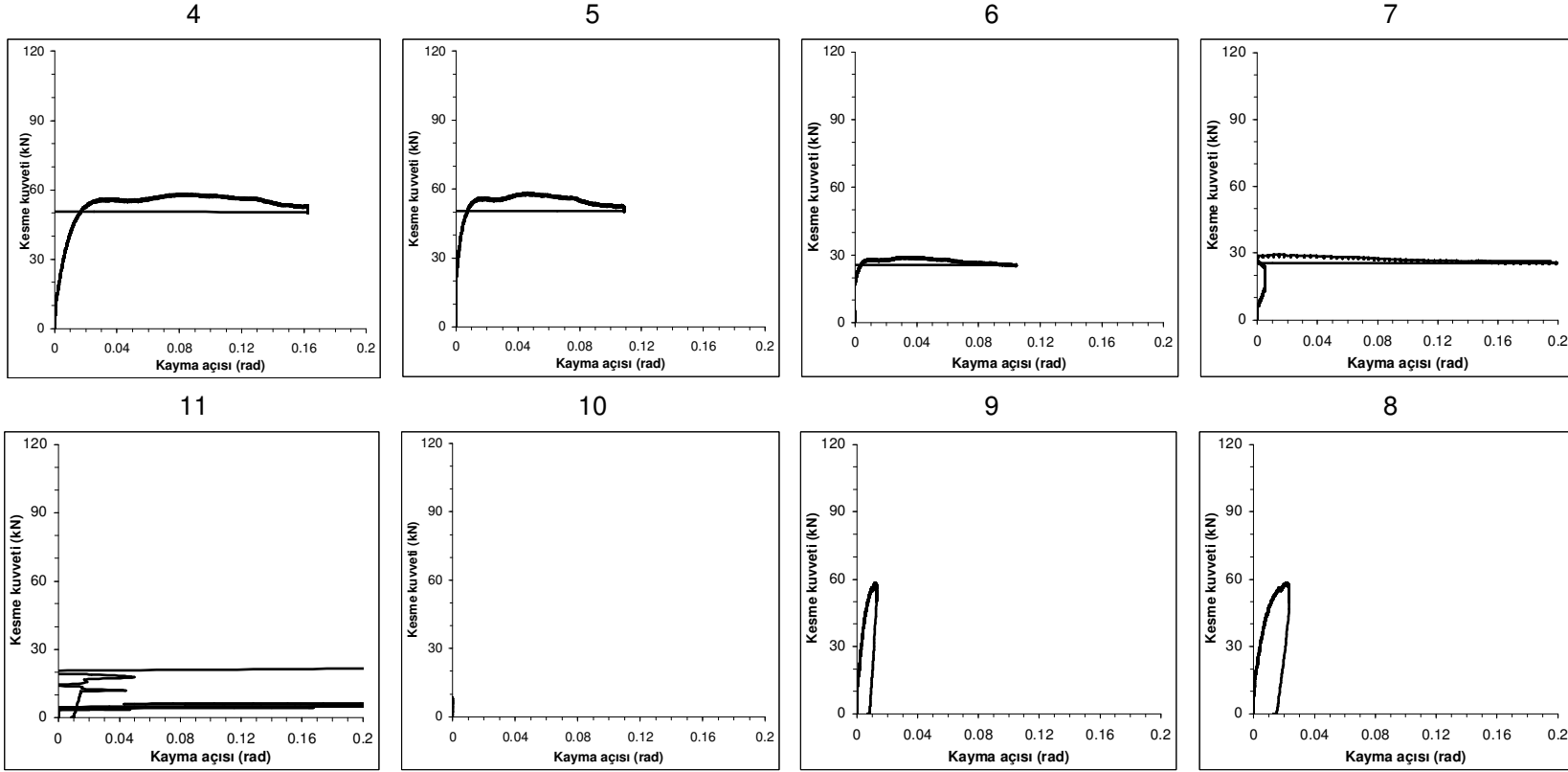
Şekil 2.7. R_S kirişi kesme kuvveti-kayma açısı grafikleri

EK-2 (Devam) Normalize edilmiş yük değerleri ile kesme kuvveti-kayma açısı grafikleri (LVDT numaralarına göre sıralanmıştır)



Şekil 2.8. R_N kirişi kesme kuvveti-kayma açısı grafikleri

EK-2 (Devam) Normalize edilmiş yük değerleri ile kesme kuvveti-kayma açısı grafikleri (LVDT numaralarına göre sıralanmıştır)



Şekil 2.9. R_B kirişi kesme kuvveti-kayma açısı grafikleri

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : EĞRİBOZ, Yusuf Emre
 Uyuğu : T.C.
 Doğum Tarihi ve Yeri : 02.05.1980; Ankara
 Medeni Hali : Bekar
 Telefon : +90 532 308 1156
 +380 93 453 6273
 E-mail : e_egriboz@hotmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Gazi Üniversitesi/ İnşaat Mühendisliği Bölümü	-
Lisans	Niğde Üniversitesi/ İnşaat Mühendisliği Bölümü	2005
Lise	Gazi Anadolu Lisesi	1999

İş Deneyimi

4/2007- (Devam)	ERS Müh.Ltd.Şti. Kiev/Ukrayna. Statik Bölümde Proje Mühendisi, Uygulama Projesi Hazırlama.	(Müteahhit Firma)
6/2006 – 3/2007	Artı Müh.Mim.Ltd.Şti., Ankara. Statik Bölümde Proje Mühendisi, Statik Proje Hazırlama ve İdari İş Takibi.	(Statik Proje Ofisi)
1/2006 – 6/2006	Piramit Müh.Ltd.Şti., Ankara. Statik Bölümde Proje Mühendisi, Proje Hazırlama ve İdari İş Takibi.	(Statik Proje Ofisi)

3/2004 – 12/2005 Kemal Türkaslan Müh. Ltd.Şti. Ankara.

(Statik Proje Ofisi)

Statik Bölümde Proje Mühendisi,
Proje Hazırlama ve İdari İş Takibi.

Yabancı Dil

İngilizce : İyi

Rusça : Başlangıç

Bilgisayar Bilgisi

Autocad, SAP 2000, Etabs, Safe, Ide-Yapı, Sta4-Cad, Probina, MS Office