

**DÜZENLİ BOŞLUKLARA
SAHİP BETONARME KİRİŞLERİN
DAVRANIŞ VE DAYANIMI**

Berk DÜNDAR

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**MAYIS 2008
ANKARA**

Berk DÜNDAR tarafından hazırlanan DÜZENLİ BOŞLUKLARA SAHİP
BETONARME KİRİŞLERİN DAVRANIŞ VE DAYANIMI adlı bu tezin Yüksek
Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Hüsnü CAN

Tez Danışmanı, İnşaat Mühendisliği Yapı Anabilim Dalı

Öğr. Gör. Dr. Sabahattin AYKAÇ

Tez Danışmanı, İnşaat Mühendisliği Yapı Anabilim Dalı

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

Prof. Dr. Hüsnü CAN

İnşaat Mühendisliği Yapı Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Öğr. Gör. Dr. Sabahattin AYKAÇ

İnşaat Mühendisliği Yapı Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Tekin Gültop

İnşaat Mühendisliği Mekanik Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Doç. Dr. Kurtuluş Soyluk

İnşaat Mühendisliği Mekanik Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Hanifi Tokgöz

Yapı Tasarımı Eğitimi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Tarih : 28/05/2008

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 bana ait olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Berk DÜNDAR

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

Berk DÜNDAR

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Mayıs 2008

ÖZET

İnşaat yapılarında uygulamada ki problemlerden ötürü kirişler üzerinde boşluklar açılıp, bu boşluklardan tesisat geçirilmektedir. Fakat bu açılan boşluk kirişin dayanımını ciddi ölçüde etkilemektedir. Bu konuda daha önce yapılan araştırmalarda kiriş üzerinde bırakılan tek boşluğun yarattığı olumsuz etkiler araştırılıp çözüm bulunmaya çalışılmıştır. Bu çalışma kapsamında, kiriş üzerinde tek bir zayıf nokta yaratmak yerine düzenli boşluklar oluşturulup, boşluğun yarattığı zayıflamanın tek nokta yerine bütün kirişe yayılması hedeflenmiştir. Bu sebeple 4 adet kare, 4 adet daire boşluklu kiriş ve 2 adet boşluksuz (referans) kirişi deneye tabi tutulmuştur. Deneyde kiriş boyutu ve delik yerleri sabit tutulmuştur. Değişen parametreler, boyuna donatı oranı, boşluk geometrisi, x donatısı kullanımı ve dikmelerde etriye kullanımı olmuştur. Deney sonuçları, değişen parametrelerin dayanıma, sünekliğe, kesme davranışına ve rijitliğe etkileri açısından kıyaslamalar da yapılarak değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeler tasarlanan kirişlerin dayanım, süneklik ve rijitlik açısından genellikle başarılı sonuçlar verdiğini göstermiştir.

Bilim Kodu : 911.1145
Anahtar Kelimeler : Betonarme Kiriş, Boşluk, Delik
Sayfa Adedi : 125
Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Hüsnü CAN

**BEHAVIOUR AND STRENGTH OF REINFORCED CONCRETE
BEAMS WITH REGULAR OPENINGS**

(M. Sc. Thesis)

Berk DÜNDAR

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE**

May 2008

ABSTRACT

In construction structures, the problems during construction forces us to create some openings on the beams for installment. But these openings seriously effect badly to the beam's strength. Most of the researches tried to find solutions to the bad effects of the one opening on the beams. But in this thesis, instead of creating one opening on the beam, continuous openings created to distribute the bad effect of the opening to whole of beam in stead of one point. For this reason, 4 with square opening, 4 with circular opening and 2 without opening (reference) beams has been subjected to experiment. In the experiment, the size of the beam and the place of openings taken as constants. The changing parameters are taken as, the ratio of longitudinally steel, the tipe of opening, using X cable and using stirrup in the column. The experiment results estimated with making comparisions about the changes in strength, ductility, stiffness and shear behavior of the beam with the change in parameters. These estimates has shown that the designed beams have usually given good results in terms of strength, stiffness and ductility.

Science Code : 911.1145

Keywords : Reinforced Concrete, Opening, Hole

Number of pages : 125

Thesis supervisor : Prof. Dr. Hüsnü CAN

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca, bu araştırmayı planlayıp yöneten, değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren, deneysel çalışmalarımla bizzat kendisi ilgilenen ve takip eden danışmanlarım, değerli hocalarım Prof. Dr. Hüsnü CAN'a ve Dr. Sabahattin AYKAÇ'a teşekkür ederim.

Ayrıca çalışmalarım boyunca desteklerini esirgemeyen Araş. Gör. Şule BAKIRCI ER'e, Araş. Gör. Eray Özbek'e, Araş. Gör. Mahmut Cem Yılmaz'a ve laboratuvar çalışanlarına, manevi destekleriyle beni hiç yalnız bırakmayan aileme teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xi
RESİMLERİN LİSTESİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiv
1. GİRİŞ	1
2. ÇALIŞMANIN AMACI VE KAPSAMI	4
3. GEÇMİŞTEKİ ÇALIŞMALAR	5
4. DENEYSEL ÇALIŞMA	16
4.1. Deney Programı	16
4.1.1. Boşluk geometrisi ve boşluk yerleri	17
4.1.2. Donatı düzenlemesi	18
4.1.3. Malzeme özellikleri	19
4.1.4. Deney elemanlarının hazırlanması	21
4.2. Deney Elemanlarının Adlandırılması	22
4.3. Deney Elemanları Özellikleri	22
4.4. Deney Düzeneği	24
4.4.1. Deney çerçevesi	24
4.4.2. Yükleme düzeni	24

Sayfa

4.4.3. Ölçüm düzeni	27
4.5. Deneyler.....	28
4.5.1. RBn: Normal donatılı yalın kiriş (referans kirişi).....	29
4.5.2. RBb: Çok donatılı yalın kiriş (referans kirişi)	32
4.5.3. RRxn: Normal ve x-donatılı kare boşluklu kiriş	34
4.5.4. RRxcn: Normal ve x-donatılı, etriyeli kare boşluklu kiriş	37
4.5.5. RRxb: Çok ve x-donatılı kare boşluklu kiriş	39
4.5.6. RRxcb: Çok ve x-donatılı, etriyeli kare boşluklu kiriş	42
4.5.7. RCb: Çok donatılı daire boşluklu kiriş.....	44
4.5.8. RCcb: Çok donatılı ve etriyeli daire boşluklu kiriş	47
4.5.9. RCxb: Çok ve x-donatılı daire boşluklu kiriş	50
4.5.10. RCxcb: Çok ve x-donatılı, etriyeli daire boşluklu kiriş	52
5. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	55
5.1. Genel	55
5.2. Taşıma Gücü	55
5.2.1. X-donatısı kullanımı	55
5.2.2. Etriye kullanımı.....	58
5.2.3. Boşluk geometrisi	63
5.3. Kayma Deformasyonlarının Hesabı ve Dağılımı	66
5.3.1. RBn kirişi	68
5.3.2. RBb kirişi	69
5.3.3. RRxn kirişi	69
5.3.4. RRxcn kirişi	69

Sayfa

5.3.5. RRxb kirişı	70
5.3.6. RRxcb kirişı	70
5.3.7. RCb kirişı.....	71
5.3.8. RCcb kirişı	71
5.3.9. RCxb kirişı	71
5.3.10. RCxcb kirişı	72
5.4. Süneklik	72
5.5. Rijitlik.....	76
6. SONUÇLAR	79
KAYNAKLAR	81
EKLER	83
EK-1 M. C. Yılmaz'ın çalışmasında deney elemanlarının özellikleri ve elemanların dayanım, süneklik ve eğilme rijitliği karşılaştırmaları	84
EK-2 Y. E. Eğriboz'un çalışmasında deney elemanlarının özellikleri	86
EK-3 M. C. Yılmaz'ın çalışmasında kiriş yük – deplasman grafikleri.....	87
EK-4 Y. E. Eğriboz'un çalışmasında kiriş yük – deplasman grafikleri	92
EK-5 Kiriş donatı planı, kesitleri ve donatı pozları	95
EK-6 Kiriş boşluklarının kesme kuvveti / kayma açısı grafikleri	115
ÖZGEÇMİŞ	125

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1. Silindir numunelerin basınç dayanımları	20
Çizelge 4.2. Ø12, Ø10 donatılarının çekme testi sonuçları	21
Çizelge 4.3. Deney elemanlarının özellikleri	23
Çizelge 5.1. Süneklik oranları	73
Çizelge 5.2. Süneklik oranları karşılaştırması	75
Çizelge 5.3. Dayanımların karşılaştırması	76
Çizelge 5.4. Rijitlik oranları	77
Çizelge 5.5. Rijitlik Karşılaştırması	78

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 4.1. Kare Boşluklu Kirişler	17
Şekil 4.2. Daire Boşluklu Kirişler	18
Şekil 4.3. Yükleme çerçevesi ve düzeneği	25
Şekil 4.4. Yükleme noktaları	26
Şekil 4.5. LVDT yerleşim.....	28
Şekil 4.6. Kiriş üstü numaralandırma	29
Şekil 4.7. RBn Yük – Deplasman grafiği	30
Şekil 4.8. RBb Yük – Deplasman grafiği	32
Şekil 4.9. RRxn Yük – Deplasman grafiği	35
Şekil 4.10. RRxcn Yük – Deplasman grafiği	37
Şekil 4.11. RRxb Yük – Deplasman grafiği	40
Şekil 4.12. RRxcb Yük – Deplasman grafiği	43
Şekil 4.13. RCb Yük – Deplasman grafiği	45
Şekil 4.14. RCcb Yük – Deplasman grafiği	48
Şekil 4.15. RCxb Yük – Deplasman grafiği	50
Şekil 4.16. RCxcb Yük – Deplasman grafiği	53
Şekil 5.1. RBb- RCb- RCxb kıyaslama grafiği	56
Şekil 5.2. RBb- RCcb- RCxcb yük – deplasman karşılaştırma grafiği	57
Şekil 5.3. RBn- RRxn- RRxcn yük – deplasman karşılaştırma grafiği	59
Şekil 5.4. RBb- RRxb- RRxcb yük – deplasman karşılaştırma grafiği	60
Şekil 5.5. RBb- RCb- RCcb yük – deplasman karşılaştırma grafiği.....	61
Şekil 5.6. RBb- RCxb- RCxcb yük – deplasman karşılaştırma grafiği	62

Şekil	Sayfa
Şekil 5.7. RBb- RRxb- RCxb yük – deplasman karşılaştırma grafiği.....	64
Şekil 5.8. RBb- RRxcb- RCxcb yük – deplasman karşılaştırma grafiği	65
Şekil 5.9. Kesme kuvveti altında boşluk davranışı	68
Şekil 5.10 (a) RBn akma ve taşıma gücünü kaybetme deplasmanları (b) RBb akma ve taşıma gücünü kaybetme deplasmanları.....	73
Şekil 5.11 (a) RRxn akma ve taşıma gücünü kaybetme deplasmanları (b) RRxcn akma ve taşıma gücünü kaybetme deplasmanları	74
Şekil 5.12 (a) RRxb akma ve taşıma gücünü kaybetme deplasmanları (b) RRxcb akma ve taşıma gücünü kaybetme deplasmanları	74
Şekil 5.13 (a) RCb akma ve taşıma gücünü kaybetme deplasmanları (b) RCcb akma ve taşıma gücünü kaybetme deplasmanları.....	74
Şekil 5.14 (a) RCxb akma ve taşıma gücünü kaybetme deplasmanları (b) RCxcb akma ve taşıma gücünü kaybetme deplasmanları	75

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 4.1. RBn kirişi deney öncesi görüntüsü.....	31
Resim 4.2. RBn kirişi deney sonrası görüntüsü	31
Resim 4.3. RBb kirişi deney öncesi görüntüsü.....	33
Resim 4.4. RBb kirişi deney sonrası görüntüsü	33
Resim 4.5. RRxn kirişi deney öncesi görüntüsü.....	36
Resim 4.6. RRxn kirişi deney sonrası görüntüsü	36
Resim 4.7. RRxcn kirişi deney öncesi görüntüsü	38
Resim 4.8. RRxcn kirişi deney sonrası görüntüsü.....	38
Resim 4.9. RRxb kirişi deney öncesi görüntüsü.....	41
Resim 4.10. RRxb kirişi deney sonrası görüntüsü	41
Resim 4.11. RRxcb kirişi deney öncesi görüntüsü	43
Resim 4.12. RRxcb kirişi deney sonrası görüntüsü.....	44
Resim 4.13. RCb kirişi deney öncesi görüntüsü.....	46
Resim 4.14. RCb kirişi deney sonrası görüntüsü	46
Resim 4.15. RCcb kirişi deney öncesi görüntüsü.....	49
Resim 4.16. RCcb kirişi deney sonrası görüntüsü	49
Resim 4.17. RCxb kirişi deney öncesi görüntüsü.....	51
Resim 4.18. RCxb kirişi deney sonrası görüntüsü	51
Resim 4.19. RCxcb kirişi deney öncesi görüntüsü	54
Resim 4.20. RCxcb kirişi deney sonrası görüntüsü.....	54

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklama
f_c	Deney numuneleri beton basınç dayanımı
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
P_u	En büyük yükün %15 azaldığı noktadaki yük değeri
P_y	Akma anındaki yük değeri
Kısaltmalar	Açıklama
ACI	Amerika Beton Enstitüsü
LVDT	Elektronik deplasman ölçerler

1. GİRİŞ

İnşaat yapıları, inşaat işleri yanı sıra mekanik ve elektrik işlerini de içermektedir. Bunlardan bazıları ortak tesisat, kalorifer tesisatı, havalandırma kanalları, elektrik kablo tavaları gibi işlerdir. Bu mekanik ve elektrik işlerinin yapı içinde iletimi çeşitli borular ve kanallar yardımıyla yapılır. Boru veya kanalların kirişlere denk gelmesi durumunda boru veya kanallar kirişlerin altından geçirilir. Bu da bulunulan mekan hacminde yükseklik kaybına neden olur. Ayrıca boruların kiriş altından döndürülmesi borularda yük kayıplarına neden olmakta; aynı zamanda maliyeti de arttırmaktadır.

Bu gibi durumlarda başvurulacak bir kaç yol vardır.

Bunlardan biri kirişsiz plak döşeme kullanımıdır. Ancak bu tip bir durumda, olağan plak kalınlıkları ile geçilebilecek açıklık oldukça sınırlı olmaktadır. Bu uygulamanın başka bir sorunu da çok sıkı kalite denetimi gerektirmesidir. Zira kirişsiz plak döşemelerde zımbalama sorunu ortaya çıkmaktadır.

Ülkemizde başvuru yollarından biri de sonradan kiriş gövdesinin gelişi güzel kırılarak, tesisatın bu boşluklardan geçirilmesidir. Böyle bir uygulamanın son derece sakıncalı olacağı ve kabul edilemez olduğu da bilinen bir gerçektir.

Bir başka yol da, kirişin içinde tesisatın geçeceği bölgelerde döküm sırasında boşluklar bırakmaktır. Boşluğu, imalat esnasında açılan kirişlerin nasıl davranacağı üzerine bu güne kadar birçok çalışma yapılmış ve göçmenin genellikle delik civarında ve kesme kırılması olarak gerçekleştiği belirlenmiştir [1-7]. Bilindiği gibi kesme kırılması genellikle oldukça gevrek bir kırılma türüdür. Yani bu çalışmalarda gerilmelerin, zayıf bölge olan, delik civarında birikmesi sonucu kırılmaların, genellikle, eğilme taşıma gücüne ulaşmadan çok önce kesme taşıma gücünün yitirilmesi ile gerçekleştiği görülmüştür.

Bu nedenle; bu çalışmada istenilen, eğilme taşıma gücüne ulaşan ve sünek davranış gösteren boşluklu kirişlerin üretimi hedeflenmiştir. Kirişlerin kesme

davranışı yerine eğilme davranışına yönelmesi için kiriş üzerindeki delik sayısı arttırılarak gerilmelerin bir yerine, birden çok delik üzerine yayılması ve gerilme yığılmalarının önüne geçilmesi hedeflenmiştir. Üzerinde birçok delik bulunduran kirişler bu yüz yılın başından beri ilgi çekmesine rağmen genellikle teorik olarak ele alınmış ve deneysel çalışmalar daha çok bölgesel deliklere sahip kirişler üzerinde yoğunlaşmıştır [1-7].

Bölgesel deliklere sahip kirişler üzerinde yapılan çalışmalarda kiriş davranışı, boşluğun yerine, boyutuna, geometrisine göre incelenmiştir. Bu çalışmalarda kiriş üzerinde bırakılan tek boşluk, genellikle göçme mekanizmasının oluştuğu nokta olmuştur. Tek boşluklu kirişler dışında az da olsa birden çok boşluğa sahip kirişler de incelenmiştir. K.H. Tan, M.A. Mansur ve L.M. Huang'ın bir çalışmasında, çok boşluklu kirişler üzerinde deneyler yapılmıştır. Bu deneylerde çok boşluklu kirişlerin, tek boşluklu kirişlere göre çok daha iyi davrandığı görülmüştür [8].

Ancak bu tez kapsamında yürütülen bu çalışmada K.H. Tan, M.A. Mansur ve L.M. Huang'ın çalışmasından farklı olarak sadece çok boşluklu kirişler ile ilgilenilmiş ve parametreler sistematik bir şekilde ele alınmıştır.

Bu tez Gazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Mekaniği laboratuvarında boşluklu kirişlerle ilgili yürütülmekte olan bir dizi çalışmanın devamı niteliğindedir. Önceki çalışmalarda, istenilen sonuçlar kısmen elde edilebildiği için boşluklu kirişlerin tasarımında yeni düzenlemeler yapılmış ve bu tez kapsamında araştırılmıştır.

Sürekli boşluklu kirişler yerinde döküm betonlar için geçerli olabilecek bir uygulama değildir. Yerinde dökülen kiriş betonları, döşemeyle birlikte, kiriş üst yüzünden dökülen betonlardır. Kiriş betonunun dökümü esnasında boşluk yerlerine koyulan kalıplar, betonun vibratörle sıkıştırılması esnasında büyük zorluklar yaşanmasına sebep olur. Ayrıca kiriş içine donatının yerleştirilmesi ve boşluk kalıplarının yapılması da hem işçilik hem de zaman açısından

kayıplara sebep olur. Bu sebepten dolayı sürekli boşluklu kirişler prefabrik elemanlar olarak düşünülerek tasarlanmıştır. Kirişin prefabrik yapılması durumunda demir montajı ve beton dökümü kiriş yan yüzünden yapılacağı için yukarıda belirtilen işçilik sorunları yaşanmamıştır.

Çalışma kapsamında 10 deney elemanından 2'si referans olması açısından boşluksuz, 4 tanesi daire boşluklu, 4 tanesi de kare boşluklu olarak yapılmıştır. Bu çalışmada elemanlarda boşluk geometrisi, boyuna donatı oranı, dikmelerde etriye kullanımı ve X-donatısı olarak kablo kullanımı parametreleri ele alınmıştır. Deney sonuçlarına göre bu parametrelerin, dayanıma, sünekliğe ve göçme mekanizmasına katkıları incelenmiştir.

2. ÇALIŞMANIN AMACI VE KAPSAMI

Günümüz yapılarında, yapı içi mekanik ve elektrik tesisatı, ya tabandan üstü beton kaplanarak veya yükseltilmiş döşeme kullanılarak ya da tavandan üstü asma tavanla kapatılarak veya açıkta bırakılarak geçirilmektedir. Tavandan geçen mekanik veya elektrik tesisat kirişlere denk geldiğinde bunların altından dolanmakta ve mekanda yükseklik kaybı yaratmaktadır. Bu nedenle kiriş içinden tesisatın geçmesi için boşluklar bırakmak bir çözüm yöntemidir. Fakat bu boşluklar kirişin dayanımını da olumsuz yönde etkilemektedir. Yapılan çalışmalarda genellikle gerilmelerin bu tek boşluk civarında biriktiği ve kırılmanın bu bölgede gerçekleştiği görülmüştür. Bu nedenle, bu çalışmada kırılmanın tek bir noktada oluşumunu engellemek için gerilmelerin kiriş boyunca yayılmasını hedeflenmiştir. Bunun için de kiriş üzerinde tek bir zayıf nokta yerinde birden çok zayıf nokta (kiriş boyunca yayılmış çok sayıda boşluk) oluşturulmuştur.

Bu tez kapsamında sürekli boşluklu kirişlerin, çeşitli parametreleriyle oynanarak, kiriş davranışının ve dayanımının nasıl değiştiği incelenmiştir. Bu sebeple çeşitli parametrelere göre hazırlanmış 10 adet boşluklu kiriş Gazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Mekaniği laboratuvarında deneye tabi tutulup davranışları incelenmiştir. Yapılan kirişlerde aşağıdaki parametreler kullanılmıştır.

- a. Kirişlerin kare boşluklu, daire boşluklu veya boşluksuz oluşu,
- b. Kiriş boyuna donatılarının çok veya normal oluşu,
- c. Kiriş boşlukları nedeniyle oluşan dikmelerin etriyeli veya etriyesiz oluşu,
- d. X-donatısı, kullanılıp kullanılmaması.

Elde edilen sonuçlara göre kirişler kendi aralarında ve geçmiş çalışmalar ile karşılaştırılıp değerlendirilmiştir.

3. GEÇMİŞTEKİ ÇALIŞMALAR

Betonarme ve çelik kirişler üzerinde boşluk bırakmak eskiden beri üzerinde çalışılan bir konu olmuştur. Boşlukların betonarme kirişlerde sağladığı faydaların yanı sıra çelik kirişlerde bu boşluklar ekonomi de sağlayabilmiştir. Bu nedenle boşluklu çelik kirişler üzerine de birçok araştırma yapılmıştır [9-11]. Her ne kadar bu çalışmada boşluklu betonarme kirişler ele alınmışsa da özellikle elasto-plastik hesapların çelik ve betonarme kirişler için birçok durumda benzer olduğu da unutulmamalıdır.

Boşluklu betonarme kirişlerle ilgili yapılan çalışmalarda ise ekonomi hedeflenen bir parametre olmaktan çıkmıştır. Bunun sebebi, boşluk bölgesinin güçlendirilmesi için uygulanan ilave çözümler ve bunun sonucunda artan işçiliktir. Bu konuda yapılan çalışmaların çoğu, kiriş üzerinde bırakılan tek boşluğun güçlendirilmesi üzerinedir. Bu çalışmalarda kiriş üzerinde bulunan tek boşluğa göre, bu boşluğun boyutu, konumu, geometrisi ve boşluk çevresi donatıları parametre olarak ele alınıp araştırmalar bu çerçevede sürdürülmüştür. Buna rağmen bazı çalışmalarda elemanın üzerinde ikinci bir boşluk bırakılıp bunun kiriş davranışına faydalı etkileri olduğu görülmüştür. Bu konuda yapılan çalışmalardan bazıları aşağıda özetlenmiştir.

Boşluklu Betonarme Sürekli Kirişler Üzerinde Deneyler

M.A. Mansur, Y.F. Lee, K.H. Tan ve S.L. Lee gövdesinde büyük enine bir boşluk bulunan 8 adet sürekli kiriş üzerinde deneyler yapmışlardır. Deney elemanlarının hepsi dikdörtgen en kesite sahip olup, aynı oranda boyuna donatı içermektedirler. Temel değişkenler olarak, açıklık sayısı, boşluk boyutu ve boşluğun açıklıkta ki yeri alınmıştır. Deney sonuçları, sürekli kirişin yük-deplasman eğrisinin belirgin bir biçimde birbirinden farklı dört ana safhadan oluştuğunu göstermektedir. Deneylerde boşluk derinliği ve uzunluğu artışının kiriş mukavemetini ve rijitliğini düşürdüğü görülmüştür.

Benzer şekilde boşluğun, yüksek momentin olduğu yerlerde bulunmasının etkisi de erken göçme ve büyük deplasman olarak görülmüştür. Çalışma kapsamında, çatlama ve deformasyonlar, kirişlerin deforme olmuş şekilleri, gereğinden fazla mesnet reaksiyonları, mafsalların oluşma biçimi ve sırası, göçme modu ve göçme anındaki yük değeri gibi önemli haller ayrıntılı olarak anlatılmıştır. Kiriş gövde boşluklarının uzunluğunun, derinliğinin ve konumunun kiriş davranışına olan etkileri irdelenmiştir. Bu araştırma çerçevesinde aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır:

- Sürekli kirişin göçmesinin mekanizma oluşumu ile gerçekleştiği ve plastik mafsalların genellikle boşluk uçlarında oluştuğu görülmüştür.
- Gövde boşluğunun boyundaki ve yüksekliğindeki artış erken çatlamaya öncülük etmekte ve daha büyük deformasyonlar ve belirgin Vierendeel davranışına neden olmaktadır. Boşluk boyutları arttıkça göçme anındaki yük değeri düşmektedir. Bununla birlikte boşluk boyutundaki artışın göçme moduna bir etkisi olmamaktadır.
- Gövde boşluğunun açıklıktaki yerinin, çatlama yüküne etkisi çok az olmaktadır. Fakat boşluk, moment değerinin büyük olduğu bölgede bulunduğu kirişin daha büyük deplasman yaptığı ve daha küçük yük değerlerinde göçtüğü görülmüştür.
- Vierendeel davranışına bağlı olarak oluşan “göçme ve deformasyon (dönme) modu” genel olarak gövde boşluğunun konumundan etkilenmemektedir [1].

Boşluklu Sürekli Betonarme Derin Kirişler Üzerinde Deneyler

A.F. Ashour ve G. Rishi bünyesinde gövde boşluğu bulunan iki açıklıklı 16 adet betonarme kiriş deneye tabi tutulmuştur. Numuneler aynı geometriye, alt-üst kısımlarında aynı boyuna donatı düzenine sahiptirler. Boşluk boyutu, boşluğun konumu ve boşluk çevresindeki donatı düzeni ana parametreler olarak alınmıştır. Deneyden elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:

- Gövde boşluğu boyutunu, boşluk çevresindeki donatı miktarını ve tipini dikkate almadığımızda sadece boşluğun konumuna bağlı olarak göçme iki biçimde gerçekleşmektedir.
- Gövde boşluğunun iteki kesme açıklığı kısmında yer alması dıştaki kesme açıklığı kısmında yer almasına göre kiriş kapasitesini daha fazla oranda azaltmaktadır.
- Gövde boşluğu çevresine yerleştirilen dışey donatılar, yatay donatılara göre kirişin kesme kapasitesini artırma bakımından daha fazla etkili olmaktadır.
- Mesnet reaksiyonları boşluğun boyutuna ve konumuna göre değişmektedir.
- Dıştaki kesme açıklığı bölgesinde küçük gövde boşluğu bulunan sürekli derin kirişler, referans kirişlerinininkine daha yakın davranış göstermektedirler.
- Sürekli derin kirişlerin göçme yüklerini önceden hesaplayabilmek için ileri sürülen denklemler oldukça makul sonuçlar vermiştir [2].

Dairesel Boşluklu Betonarme Kirişlerin Tasarımı

K. H. Tan, M. A. Mansur ve W. Wei yaptıkları çalışmada, bünyesinde dairesel boşluk bulunduran kirişlerin kesmeye karşı tasarımı ile ilgili olan ACI Yönetmeliği yaklaşımının yeterliliğini sorgulamışlardır. zerine gelen fazla kesme kuvvetini azaltabilecek şekilde tasarlanmış, bünyesinde dairesel boşluk bulunduran yedi adet T kesitli kirişe deney yapılmıştır. Deney numuneleri, sürekli kirişin negatif moment bölgesinde meydana gelen duruma benzer bir durum elde etmek amacıyla ters çevrilerek deneye tabi tutulmuşlardır. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir:

- Dairesel boşluk bulunduran kirişlerin tasarımı ACI yönetmeliğine göre yapılabilir. Bu yöntem gövde boşluğuna bağlı olarak betonun kesme

mukavemetine az olan katkısını artırmakta ve iki farklı tip göçme şeklini dikkate almaktadır.

- Çapraz donatılar çatlağın belirli bir seviyede kalması için önemli bir rol oynamaktadırlar. Konulan çapraz donatıların miktarı gelen kesmenin en az %50'sini taşıyabilecek yeterlilikte olmalıdır
- Yeteri miktarda çapraz donatı konulduğunda gelen kesme kuvveti, alt ve üst kirişler arasında kesit alanları ile orantılı olarak dağıtılabilmektedir.
- Dolu gövdeli kirişler için maksimum kesme kuvvetini sınırlandıran ACI yönetmeliği bünyesinde küçük boşluklar bulunan kirişler için de kullanılabilir [3].

Yüksek Dayanımlı Betonarme Derin Kirişlerin Yapısal Davranışında Boşluk Etkisi

K.H. Yang, H.C. Eun ve H.S. Chung, içerisinde gövde boşlukları bulunan yüksek dayanımlı betonarme derin kirişlerde, gövde boşluklarının kirişe (kiriş davranışına) etkisi ile ilgili deneysel ve analitik çalışmalar yapmışlardır. İçerisinde boşluklar bulunan ve boşluk bulunmayan toplam 32 adet deney elemanı deneye tabi tutulmuştur. Deney parametreleri beton dayanımı, kesme açıklığının derinliğe oranı, boşluğun genişliği ve boşluğun derinliğidir.

Deney elemanları içerisinde boyutları değişen dikdörtgen şeklindeki boşluklara sahip kirişler ile içerisinde boşluk bulunmayan (yalın) kirişlerden oluşmaktadır. Kirişlerin kalınlıkları 160 mm, derinlikleri 600 mm, kiriş boyları 2400 mm'dir (kiriş açıklıkları ise 2100 mm'dir.). Gövde boşlukları kirişlerde kesme açıklığı bölgesinin merkezine yerleştirilmişlerdir. Deney elemanları beton dayanımına bağlı olarak üç gruptan oluşmaktadır. Birinci grupta $f_c=24$ MPa ikinci grupta $f_c=50$ MPa üçüncü grupta da $f_c=80$ MPa'dır. Ayrıca bu grupların içerisinde a/d oranı, boşluk genişliği ve boşluk derinliği değerleri de değişmektedir. Kirişler basit mesnetli olarak, 4 noktalı yükleme altında deneye tabi tutulmuştur.

Çalışmadan aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Boşluk genişliğinin ve derinliğinin deneylerde yüklemenin başlangıç aşamasında orta açıklıktaki deplasmanı etkilemediği fakat diyagonal çatlak oluştuktan sonra boşluğun orta açıklıktaki deplasmanı belirgin şekilde etkilediği görülmüştür. Beton dayanımı, (boşlukların varlığından dolayı) boşluklu kirişlerin rijitliğini fazla etkilememiştir.
- En büyük çatlak genişliğini gösteren eğik düzlemin eğimi; beton dayanımının, boşluk boyutlarının ve kesme açıklığının derinliğe olan oranının artması ile birlikte düşmektedir.
- Boşluklu derin kirişlerde yalın derin kirişlere göre beton dayanımının nihai kesme dayanımına olan etkisi belirgin bir şekilde azalmıştır.
- Kesme açıklığının derinliğe oranı arttıkça kiriş rijitliği de kademeli olarak düşmüştür.
- Eğik çatlakların oluşmaları ile birlikte kiriş rijitlikleri de azalmıştır [4].

Mevcut Kirişlerde Boşluk Yaratmanın Etkileri

M.A. Mansur, Y.F. Lee, K. H. Tan ve W. Wei yaptıkları çalışmada mevcut kirişte boşluk açmayı temsil eden veya uygun beton dayanımını belirlemek için 9 adet tablalı dairesel boşluklu kiriş üretilmiştir. Çalışmada göz önüne alınan temel değişkenler boşluğun boyutu ve yeridir. Test sonuçlarında boşluğun mesnet bölgesine yakın yerlerde oluşturulmasının erken diyagonal çatlaklara sebep olduğu ve kirişin dayanım ve rijitliğini düşürdüğü görülmüştür. Yinede boşluk boyutunun sınırlandırılması ve boşluğun açılması esnasında herhangi bir etriyenin hasar görmemesi dayanım ve rijitlikte ki düşmeyi en az ölçüye indirebilir. Yaratılan boşluğun tekrardan grout malzemesiyle doldurulması orijinal davranışını gösterip, dayanım ve rijitliğini tekrardan kazanmasına yeterli olmamıştır. Bu sebeple tasarımcı her koşulda durumu dikkatlice belirleyip analiz etmelidir. Böyle bir boşluğun yaratılmasının zorunlu olduğu durumlarda ise kirişin orijinal hali kadar güvenli

ve işe yararlı olması için yapılacak güçlendirmenin uygun hesaplamaları yapılmalıdır. Orijinal tasarıma normal güvenlik faktörlerinde daha büyük bir faktör dahil edilmedikçe veya kirişin güçlendirilmesi garanti edilmeden kesinlikle kiriş üzerinde boşluk açılmamalıdır. Bu çalışma kapsamında kiriş üzerinde açılan boşluğa dıştan yapıştırılan FRP plakalarla yapılan güçlendirme göstermiştir ki boşluk bölgesine uygulanacak uygun güçlendirme metodu sayesinde boşluğun kirişte oluşturduğu dayanım kaybını yeniden kazanılabilmektedir [5].

Geniş Boşluklu Betonarme Kirişlerde Tasarım Metodu

M.A. Mansur, K.H. Tan ve S.L. Lee eğilmeye ve kesmeye maruz bırakılmış betonarme kirişler için rasyonel bir tasarım metodu tasarlamışlardır. Çalışma kapsamında tek noktadan yüklemeli 12 kiriş tasarlanmıştır. Boşlukların uzunluğu, derinliği, eksantrisitesi ve konumu, ayrıca köşe donatılarının miktarı ve dizilişi deney elemanlarında ele alınan parametreler olmuştur. Test sonuçları metodun tatmin edici olduğunu göstermiştir. Belirli bir yük değerinde maksimum çatlak genişliği ve maksimum kiriş eğilmesinin ikisi de açıklık uzunluğunun, derinliğinin veya boşluğun ortasında ki moment-kesme kuvveti oranının artışıyla artmaktadır. Bu programda kullanılan boşlukların küçük eksantrisite değerleri için eksantrisitenin etkisi önemsiz kalmıştır. Köşe donatısı olarak kullanılan diyagonal donatıların düşey etriyelere oranla çatlak ve eğilme kontrolünde daha etkin oldukları görülmüştür. Uygun kombinasyona göre diyagonal donatıların tam-derinlikteki düşey donatılarla birlikte köşe donatısı olarak kullanılması maksimum çatlak kalınlığının yararlılık kriterini sağlar. 2 kesme yoğunluğu oranıyla, diyagonal donatılar toplam kesme direncinin %75'ini sağlamıştır ve bu son derece tatmin edicidir. Bu sebepten tasarımda kullanılması tavsiye edilebilir. Ayrıca bu diyagonal donatıları kirişin nihai taşıma gücünü de arttırmaktadır. Çalışma kapsamında deney sonuçlarına bakılarak uygun köşe donatısı miktarı da tavsiye olarak belirtilmiştir. Boşluk sebebiyle oluşan kirişçiklerde contra-flexure (eğilme-karşıtı) noktanın oluşumunun boyuna donatının durumuna bağlı olduğu ve

simetrik düzenlemede bu noktanın kirişçiğın tam ortasında oluştuğu görölmüştür. Bu alışma kapsamında tasarlanan tasarım metodu, güvenli ve tatmin edici bulunmuştur. Bu metot kirişiklerin doğrudan yüklenmediği kirişler için geçerli olabilecek bir metottur. Ayrıca basınç kirişçiğının narinlik oranı ileri bir çalışmada kanıtlanana kadar ACI kodunda önerilen oran ile sınırlandırılmalıdır. Aksi takdirde narinlik etkisi de tasarım hesaplarına katılmalıdır [6].

Eğilme ve Burulma Bileşik Tesiri Altında Dikdörtgen Boşluklu Betonarme Kirişler

M. A. Mansur bu çalışma kapsamında eğilme ve burulma altında dikdörtgen boşluklu betonarme kirişlerin tasarımı için basit bir yöntem önermiştir. Bu yöntem, boşluk alt ve üst elemanları tarafından taşınan burulma momentinin sıfır kabul edildiği limit tasarım kabulüne göre hazırlanmıştır. 7 adet kirişin bu yöntemle göre tasarımı yapılıp, bu kirişler değişik eğilme ve burulma momenti kombinasyonlarında deney yapılmıştır. Deneylerde genellikle contra-flexure (eğilme-karşıtı) noktalar boşluğın alt ve üstünde ki elemanların ortasında oluşmuştur. Burulmanın baskın olduğu durumda ise göçme, boşluğın alt ve üstündeki kirişçiklerde, boşluğın köşelerinde 4 mafsall oluşumuyla oluşmuştur. Boşluğın uçlarına yakın kirişiklerin etriyeleri tüm dönmeyi taşıyabilecek şekilde dizayn edildiğinde köşe donatı planı için tatmin edici sonuçlar elde edilmiştir. Deney sonuçları, eğilme ve burulmanın dikdörtgen boşluklu kirişe birlikte etkidiği durumlarda, çalışma kapsamında düzenlenen tasarım yönteminin tatmin edici olduğunu göstermiştir [7].

Pozitif ve Negatif Moment Bölgelerinde Geniş Açıklıklı Betonarme Tablalı Kirişler

K.H. Tan, M.A. Mansur ve L.M. Huang bir kısmı negatif momente bir kısmı da pozitif momente maruz bırakılmış, her birinin içerisinde büyük gövde boşluğu veya boşlukları bulunan 15 adet ‘T’ kesitli sürekli kiriş üzerinde deneyler

yapılmıştır. Deney sonuçları kirişteki gövde boşluğunun (veya boşluklarının) varlığının kirişin çatlama ve göçme dayanımını azalttığını göstermektedir. Aynı boşluk açıklığı için birden fazla boşluğa sahip kirişler bir tek boşluğa sahip kirişlere göre dayanım ve kullanılabilirlik açısından daha iyi performans göstermektedir. Deney sonuçları gövde boşluğu kısmında Vierendeel panel davranışının oluştuğunu doğrulamaktadır. Araştırma çerçevesinde şu sonuçlar çıkarılmıştır.

- Genel olarak, sürekli kirişlerde gövde boşluklarının varlığı çatlama ve göçme dayanımı ile birlikte çatlama sonrası rijitliği de azaltmaktadır.
- Aynı boşluk açıklığı için birden fazla boşluğa sahip kirişler bir tek boşluğa sahip kirişlere göre dayanım ve kullanılabilirlik açısından daha iyi performans göstermektedir. Erken göçmeye neden olmamak için komşu iki boşluğun arasındaki kolonun (sütunun) kalınlığı kiriş derinliğinin bir buçuk katından daha az olmamalı ve kolonlara yeterli miktarda donatı koyulmalıdır.
- Deney sonuçları bünyesinde büyük dikdörtgen gövde boşluğu bulunduran T kesitli sürekli kirişin boşluk kısmında Vierendeel panel gibi davrandığını doğrulamaktadır. Eğilme ve kesme etkisi altındaki kiriş elemanları, yaklaşık olarak kiriş açıklığının ortasında iki farklı eğim ile eğilirler.
- Toplam kesme kuvveti, sürekli kirişin içerisindeki alt ve üst kirişler arasında, bunların eğilme rijitliklerine bağlı olarak orantılı biçimde dağıtılabilmektedir. Bu dağıtım hem servis hem de nihai yükler altında boşluğun pozitif veya negatif moment kısmında olmasına bağlı olmaksızın uygulanabilir [8].

Düzenli Üçgen, Kare veya Dairesel Boşluklara Sahip Betonarme Kirişlerin Davranış ve Dayanımı

M.C. Yılmaz ve Y. E. Eğriboz Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Mekaniği laboratuvarında

yaptıkları çalışmalarda sürekli üçgen, kare ve dairesel boşluklu kirişlerin davranış ve dayanımını incelemişlerdir. Deneysel çalışmalarda gerilmelerin tek boşluk üzerinde yığılmasının engellenmesi amacıyla çok boşluklu kirişler seçilmiştir. Çok boşluklu kirişler sayesinde gerilme yığılmaları kirişin tümüne yayılıp daha iyi bir davranış hedeflenmiştir. Deneyler kapsamında 15 adet kiriş üretilmiştir. Bunlardan 3'ü referans olması açısından boşluksuz üretilmiştir. Geriye kalan 12 kirişin 3'ü üçgen, 3'ü kare ve 6'sı dairesel boşluklu üretilmiştir. Bu kirişlerden referans kirişler iki çalışma kapsamında ortak kullanılıp M. C. Yılmaz'ın çalışmasında 3 üçgen, 3 dairesel boşluklu kiriş, Y. E. Eğriboz'un çalışmasında ise 3 kare, 3 dairesel boşluklu kiriş incelenmiştir. Deney parametreleri olarak boşluk geometrisi dışında, boyuna donatı oranı ve çelik halat (veya z donatısı) kullanımı seçilmiştir. Çok, olağan ve az isimleri altında 3 tip donatı oranı üzerine araştırma yapılmıştır. Numunelerin isimlendirilmesinde önce boşluk geometrisi belirtilmiştir. Boşluksuz elemanlar "B" harfi ile, üçgen elemanlar "T", kare elemanlar "R", dairesel elemanlar ise "C" harfiyle belirtilmiş. Bu harflerin yanına, eleman az donatılı ise "S", olağan donatılı ise "N", çok donatılı ise "B" harfleri alt sembol olarak eklenmiştir. Ayrıca çelik halat (veya z donatısı) kullanılan kirişlerin isimlendirilmesine "x" harfi eklenmiştir. Elemanların donatı içeriği EK-1, Çizelge 1.1 ve EK-2, Çizelge 2.1'de gösterilmiştir.

Deney elemanları yayılı yük davranışı altında oluşacak moment diyagramına olabildiğince yakın moment diyagramını verecek şekilde 4 noktadan yüklenmiştir.

Deney elemanları dayanım, süneklik, eğilme rijitliği ve kayma deformasyonları açısından değerlendirilmiştir. Deney elemanlarının yük-deplasman grafikleri EK-3 ve EK-4'te verilmiştir.

Y. E. Eğriboz'un çalışması daha yazım aşamasının başında olduğundan, bu çalışma içinde sadece eleman özellikleri ve yük-deplasman grafikleri verilebilmiştir. M. C. Yılmaz'ın çalışması ile ilgili ise, yazım aşamasının

sonlarında olduğu için, deney sonuçlarının incelenmesi de bu çalışma içinde verilmiştir. Bundan sonra anlatılacak deney sonuçlarının değerlendirmesi sadece M. C. Yılmaz'ın çalışmasını kapsayacaktır.

Süneklik açısından karşılaştırma sadece normal donatılı elemanlarda yapılabilmektedir ve EK-1, Çizelge 1.2.'de gösterilmiştir. Bunun sebebi az donatılı elemanlarda yüklemenin süneklik yeterli görülüp kiriş göçmesine kadar sürdürülmemesinden kaynaklanmıştır. Çok donatılı boşluklu elemanlar ise gevrek bir şekilde kırıldıkları için yine süneklik karşılaştırılması yapılamamıştır. Normal donatılı elemanların kıyaslamasında dairesel boşluklu elemanın boşluksuz ve üçgen boşluklu elemana göre daha sünek davrandığı görülmüştür. Dayanım açısından karşılaştırma ise EK-1, Çizelge 1.3.'te verilmiştir. Bir diğer karşılaştırma eğilme rijitlikleri açısından yapılmış ve EK-1, Çizelge 1.4.te verilmiştir.

Deney sonuçlarına bakıldığında az donatılı C_S ve T_S kirişleri oldukça sünek davranış göstermişler ve iyi sonuçlar vermişlerdir. T_S kirişinin işçiliği daha zor olduğu için ve C_S dayanım bakımından biraz daha iyi performans gösterdiği için C_S kirişi tercih edilmektedir.

Donatı oranı olağan olan T_N kirişi asgari ölçüde sünek davranış göstermiştir. C_N kirişi ise oldukça sünek davranış göstermiş ve T_N kirişine göre çok daha iyi sonuçlar vermiştir. Dolayısıyla C_N kirişi tercih edilmelidir. C_N kirişinin dayanımı referans kirişinin dayanımı ile aynı değeri almıştır.

Donatı oranı çok olan C_B ile T_B boşluklu kirişleri akma yüküne dahi ulaşmadan gevrek bir şekilde göçmüşlerdir. Her iki kiriş de dayanım ve süneklik açısından çok kötü sonuçlar vermiş ve başarısız olmuşlardır. Bu donatı oranında ve bu donatı detayında C_B ve T_B kirişi yapılması önerilmemektedir.

Bu çalışmalar dışında da boşluklu kiriş davranışları ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır [12-15]. Deneysel çalışmalar haricinde, teorik çalışmalarda yapılmıştır. Bu çalışmalarda çeşitli analiz metodlarına göre tasarım metodları geliştirilmiş veya mevcut çeşitli şartnamelerin boşluklu kirişlerle ilgili tasarım metodlarının doğruluğu incelenmiştir. Bu çalışmalar hem betonarme hem de çelik kirişler için yapılmıştır [10-11, 16-18].

Eğilme ve Burulma Bileşik Tesiri Altında Küçük Boşluklu Betonarme Kirişler

M. A. Mansur ve P. Paramasivam, bu çalışma kapsamında küçük enine açıklık içeren eğilme ve burulma tesirlerine maruz kalmış bir betonarme kirişin dayanımının tahminiyle ilgili bir analiz metodu sunulmuştur. Analiz benzer skew-bending model üzerine kurulmuştur. Uygun boşluk çevresinin donatılandırması kabulü ile 3 ayrı göçme modu için dayanım denklemleri çıkartılmıştır. Testi yapılan 10 dairesel boşluklu kirişin test sonuçlarının teorik tahminlerle uyumlu oldukları görülmüştür. Bunun dışında test sonuçları kendi içinde de tartışılmıştır. Kirişin burulma dayanım ve rijitliğinin boşluk boyutunun artmasıyla düştüğü görülmüştür. Ayrıca küçük miktarda eğilme momentinin kirişin burulma kapasitesini arttırdığı görülmüştür. Fakat mevcut eğilme için, eğilme momentinin artması nihai burulmayı azaltmıştır. Bu da daha önceki araştırmalarda bulunan sonuçlarla örtüşmüştür. Bu çalışmada modifiye edilen skew-bending metodu, nihai burulma, göçme modu ve eğilme-burulma etkileşim davranışları ile ilgili tahmini sonuçlar vermiştir. Boşluğun çevresinde ki diyagonal donatılar öncelikli olarak yüklemeye çatlak genişliğini kontrol altına almaktadır. Bu sebeple rasyonel bir değer elde edilene kadar, bu diyagonal donatılar oldukça fazla sayıda koyulmalıdır. Bu çalışma kapsamında geliştirilen denklem kirişçik kesitlerinin dayanım kontrolü açısından kullanışlı olacaktır. Bu çalışma kapsamında sadece dairesel boşluklar incelenmiştir; fakat sunulan analitik çözüm kare veya yaklaşık kare boşluklar içinde kullanılabilir. geniş dikdörtgen boşluklu kirişlerde ise kullanılamaz. Çünkü bu elemanların göçmeleri tamamen farklı bir modda oluşur [18].

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

4.1. Deney Programı

Deney kirişlerinin boyut ve sayıları, laboratuvar koşulları içerisinde gerçekleştirilebilecek ve olağan durumları yansıtabilecek şekilde seçilmiştir. Deney elemanları 1/2 geometrik ölçekte üretilip, tüm deney elemanları aynı uzunlukta ve kesitlerde üretilmiştir. Deney elemanı kirişler, 150 mm x 400 mm kesite sahip olup, 4 m uzunluğunda üretilmiştir. Deney kapsamında birbirinden farklı parametrelere sahip 10 adet deney numunesi üretilmiştir. Deney numuneleri hazırlanırken aşağıdaki parametreler dikkate alınmıştır.

a. Boşluk Geometrisi: Deney numunelerinin kare ve daire boşluklu durumuna göre incelenmesi kararlaştırılmıştır. Ayrıca referans olması açısından boşluksuz kirişlerde üretilmiştir.

b. Boyuna Donatı Oranı: Boyuna çekme donatısı miktarının davranış ve dayanım üzerinde ki etkilerini belirlemek üzere deneylerde 2 tip boyuna donatı oranı kullanılmıştır. Bunlar çok donatılı ve normal donatılı durumlardır. Çok donatılı kirişte donatı oranı maksimum donatı oranına yakın seçilmiştir ($0,85\rho_b = 0,0085$, $(\rho - \rho') = 0,014 - 0,008 = 0,006$). Ayrıca $\rho_{min} = 0,0022$ olduğu düşünülürse, $\rho / \rho_{min} > 6$ olduğu görülebilir. Normal donatılı kirişlerde ise ortalama bir donatı oranı kullanılmıştır ($0,85\rho_b = 0,0085$, $(\rho - \rho') = 0,008 - 0,0055 = 0,0025$). Bu tip donatılandırma da ise $\rho / \rho_{min} > 3$ olduğu görülebilir.

c. Etriye Kullanımı: Boşluklar arasında ki dikmelerde (koloncuklarda) etriye olup olmasının davranış ve dayanım üzerine etkileri araştırılmıştır.

d. X-Donatısı Kullanımı: Alt kiriş ile üst kiriş arasında, kiriş eksenine paralel yük aktarımını güçlendirmek için bazı elemanların dikmelerinde kablolardan oluşan çapraz X-donatıları kullanılmıştır. Bu kabloların uçları iki dikme arasında ki kirişçiklere kadar uzatılmıştır.

4.1.1. Boşluk geometrisi ve boşluk yerleri

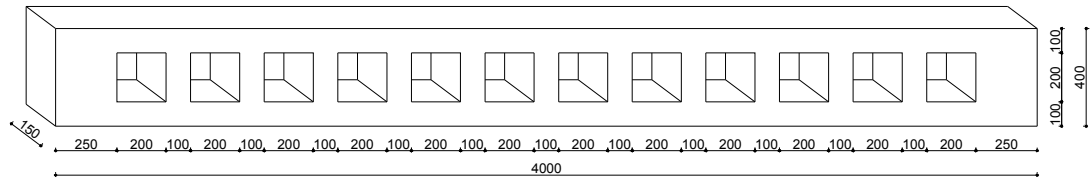
Deney numuneleri; boşluksuz, kare boşluklu, daire boşluklu olmak üzere 3 tip üretilmiştir. Tüm elemanlar 150 mm x 400 mm kesite ve 4 m uzunluğa sahiptir.

Boşluksuz (Referans) kirişler

Karşılaştırma amaçlı olan bu kirişler boşluk içermemektedir.

Kare boşluklu kirişler

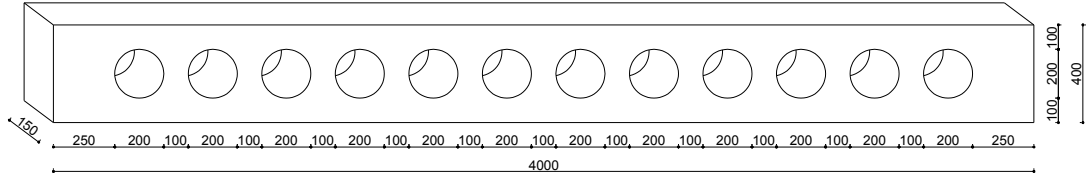
Bu tip kirişlerde kiriş yan yüzü üzerinde 200 mm x 200 mm boyutunda 12 adet eş kare boşluklar bulunmaktadır. Boşluklar kirişin yan yüzünün orta noktasına yerleştirilmiştir. Boşluklar kirişin sağ ve sol kenarından 250 mm sonra başlayıp, aralarında 100 mm mesafe kalacak şekilde yerleşmişlerdir. (Şekil 4.1.)



Şekil 4.1. Kare Boşluklu Kirişler

Daire boşluklu kirişler

Bu tip kirişlerde kiriş yan yüzü üzerinde, 200 mm çapında 12 adet eş daire boşluklar bulunmaktadır. Boşluklar kiriş yan yüzünün ortasına yerleştirilmiştir. Boşluklar kirişin sağ ve sol kenarından 250 mm sonra başlayıp, aralarında 100 mm mesafe kalacak şekilde yerleştirilmişlerdir. (Şekil 4.2.)



Şekil 4.2. Daire Boşluklu Kirişler

4.1.2. Donatı düzenlemesi

Deney numuneleri donatıları, deney programında belirtilen parametrelere göre düzenlenmiştir. Elemanlar çekme donatısı oranlarına göre normal ya da çok donatılı olarak üretilmiştir. Bazı elemanların dikmelerinde etriye kullanılırken, bazı elemanlarda da ilaveten X donatıları kullanılmıştır. Etriye ya da X donatısının kullanılmadığı veya birinin kullanıldığı elemanlarda mevcuttur. Tez kapsamında elemanların özelliklerini oluşturan “Normal donatılı” olma, “Çok donatılı” olma, “X donatılı” olma ve “Etriye” olma gibi terimlerin detaylı içeriği aşağıda açıklanmıştır.

Normal donatılı kirişler

Normal donatılı kirişlerde, basınç donatısı olarak kiriş boyunca giden 2Ø10 ve buna ilave olarak mesnet bölgelerinde (1,5 m’lik bir bölgede) 2Ø10 donatı kullanılmıştır. Gövde donatısı olarak (kiriş eksenin altında ve üstünde) kiriş boyunca giden 2Ø10 ve buna ilave olarak mesnet bölgelerinde (1,5 m’lik bir bölgede) 2Ø10 donatı kullanılmıştır. Çekme donatısı olarak ise kiriş boyunca giden 4Ø10 donatı kullanılmıştır. Ayrıca normal donatılı kirişlerde, boşluklar nedeniyle oluşan dikmelerde 4Ø10 donatı kullanılmıştır.

Çok donatılı kirişler

Çok donatılı kirişlerde, basınç donatısı olarak kiriş boyunca giden 2Ø12 ve buna ilave olarak mesnet bölgelerinde (1,5 m’lik bir bölgede) 3Ø12 donatı

kullanılmıştır. Gövde donatısı olarak (kiriş eksenin altında ve üstünde) kiriş boyunca giden 2Ø12 ve buna ilave olarak mesnet bölgelerinde (1,5 m'lik bir bölgede) 3Ø12 donatı kullanılmıştır. Çekme donatısı olarak ise kiriş boyunca giden 5Ø12 donatı kullanılmıştır. Ayrıca normal donatılı kirişlerde, boşluklar nedeniyle oluşan dikmelerde 4Ø12 donatı kullanılmıştır.

X-donatısı kullanılan kirişler

X-donatıları Ø10 çapında kablolardan oluşturulmuştur. Bu donatılar bir boşluğun alt köşesiyle öteki boşluğun üst köşesi doğrultusunda, boşlukların ortasına kadar uzanan, belirli bir ön gerilmeye maruz bırakılmamış kablolardır. Görünüş itibarıyla iki kablo “X” harfini çağrıştırdığı için tez içinde bu kablolar X-donatıları olarak ifade edilecektir. Bu kablolar, boşluklar arasında ki her dikmede, kirişin iki yüzünde de olmak şartıyla, altı üstü 2 adet “X” oluşturacak şekilde 4 adet kullanılmıştır. Dikme bölgelerinde donatıların sık olması sebebiyle kablo kullanımı donatı kullanımına tercih edilmiştir.

Etriye kullanılan kirişler

Etriye kullanılan kirişler, kirişlerde boşluklar sebebiyle oluşan dikmelerde etriye kullanılması durumunu ifade etmektedir. Bu dikmelerde 6Ø4/4 etriye kullanılmıştır.

4.1.3. Malzeme özellikleri

Deney numunelerinde kullanılacak malzemeler, beton ve donatıdan ibaret olup, beton dayanımı ve donatı türü tüm kirişlerde sabit tutulup, değişen parametrelere dahil edilmemiştir.

Bu kapsamda numunelerde kullanılan beton her eleman için 400 doz (400 kg çimento / m³) olup, su / çimento oranı 0,5 alınıp, kum / çakıl oranı 2

alınmıştır. Her dökümde alınan silindir örnekleri, tek eksenli basınç deneyine tabi tutulup, beton dayanımı elde edilmiştir. (Çizelge 4.1.)

Çizelge 4.1. Silindir numunelerin basınç dayanımları

1.Beton Dökümü	2.Beton Dökümü	3.Beton Dökümü
RRxn, RRxcn, RCxb, RCxcb	RBn, RRxb, RRxcb, RCb, RCcb	RBb
MPa	MPa	MPa
30,39	29,48	32,54
24,05	24,16	35,08
23,77	26,94	28,69
28,75	28,86	33,95
25,69	20,71	
30,84	21,45	
30,39	29,71	
21,73	25,86	
	27,78	
	30,61	

Numunelerde kullanılan donatılar Ø12, Ø10, Ø6, Ø4 donatıları olmuştur. Ø12, Ø10 donatıları S420 nervürlü donatı olup, Ø6, Ø4 donatıları düz yüzeyli donatılardır. Bu numunelerde çekme deneyine tabi tutulup dayanımları elde edilmiştir. (Çizelge 4.2.)

Çizelge 4.2. Ø12, Ø10 donatılarının çekme testi sonuçları

Donatı Çapı	Akma Dayanımı	Çekme Dayanımı
	MPa	MPa
Ø10	473	692
Ø10	471	689
Ø10	479	700
Ø10	488	704
Ø10	460	688
Ø10	485	701
Ø12	557	652
Ø12	547	644
Ø12	551	644
Ø12	548	643
Ø12	551	646
Ø12	549	647

4.1.4. Deney elemanlarının hazırlanması

Deney numuneleri Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Mekaniği laboratuvarında hazırlanmıştır. Bu tez kapsamında ki deney numunelerinin revizyon olması nedeniyle, daha önce bu konuyla ilgili yapılan çalışmada kullanılan kalıp sistemi, numunelerin hazırlanmasında kullanılmıştır. Bu kalıp sistemi çelik olup, 5 numunenin betonunun bir seferde dökülmesine yetecek kadardır. Daha önce de anlatıldığı gibi, kiriş betonları, kirişin bir yan yüzü tabana gelecek şekilde, diğer yan yüzünden dökülmüştür. Bu sayede kiriş boşlukları ve donatı montajında kolaylık sağlanıp, beton sıkıştırılırken bir sorun yaşanmamıştır.

Kalıp, taban sacı üstünde, birbirine bulonlarla monte edilmiş dört alın kalıbı ve boşluk kalıplarından oluşmaktadır. Alın kalıpları köşebentler yardımıyla taban sacına monte edilmiştir. Taban sacı ortasında bırakılan vida boşlukları yardımıyla, PVC malzemeden yapılmış daire boşluk kalıpları ve çelik malzemeden yapılmış kare boşluk kalıplarının montajı yapılmıştır. Dışarıda kesim, büküm ve montajı yapılmış kiriş donatısı, kalıp içine bir bütün halinde koyulmuştur. Sadece X kablosunun montajı, kiriş donatısı kalıp üstündeyken yapılmıştır. En son alın kalıpları kapatılıp, beton dökülmüştür. Beton karma işlemi laboratuvarında bulunan 0,12 m³'lük betoniyerde yapılmıştır. Betonun kalıp içinde sıkıştırılmasında vibratör kullanılmıştır. Beton dökümünün ertesi günü alın kalıpları sökülüp, üç gün sonra numuneler kalıp üzerinden lempo yardımıyla kaldırılıp, istiflenmişlerdir.

4.2. Deney Elemanlarının Adlandırılması

Bu tez kapsamında yapılan deneylerin, daha önceden yapılan deneylerin revizyonu olarak yapılması nedeniyle her numune adının başında "Revision" kelimesinin baş harfi "R" bulunur. Daha sonra kirişin boşluk durumuna bakılmıştır. Boşluksuz kirişlerde, yalın anlamına gelen "Bare" sözcüğünün baş harfi "B", kare boşluklu kirişlerde, "Rectangle" kelimesinin baş harfi "R", daire boşluklu kirişlerde, "Circle" kelimesinin baş harfi "C" kullanılmıştır. Bundan sonra X donatısının olup olmasına bakılıp; var olanlara "x" harfi ilave edilmiştir. Bir sonraki parametre etriye olup olmaması olmuştur. Dikmelerinde etriye bulunan kirişlere "c" harfi ilave edilmiştir. Son parametre ise kirişin normal yada çok donatılı olması olmuştur. Normal donatılı kirişlerde "n", çok donatılı kirişlerde "b" harfi kiriş adına ilave edilmiştir.

4.3 Deney Elemanları Özellikleri

Tez kapsamında 2 adet boşluksuz, 4 adet kare boşluklu, 4 adet daire boşluklu kiriş eleman hazırlanmıştır. Elemanlarda aynı beton karışımı kullanılmış, değişim gösteren parametreler Çizelge 4.1.'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. haricinde elemanlarda, değişim göstermeyen donatılarda vardır. Boşluksuz kirişlerde, boyuna donatıları saran Ø4 etriyeler kullanılmıştır. Bu donatılar kiriş sağ ve sol ucundan itibaren 800 mm (sıklaştırma bölgesi) boyunca 40 mm arayla, orta bölgede 80 mm arayla kullanılmıştır. Bunun dışında boşluksuz kirişlerde kullanılan donatılar Çizelge 4.1.'de gösterilmiştir. Boşluklu kirişlerde de, kiriş parametrelerine bakılmaksızın değişmeyen donatılar kullanılmıştır. Bunlar boşluk sebebiyle, kiriş alt ve üstünde oluşan kirişçiklerde kullanılan Ø4/4 etriyeler'dir. Bunun dışında mesnet bölgesinde 6Ø12 dikme donatısı, 6Ø4 dikme donatısı etriyesi, 2x4Ø6 ve 2x6Ø6 donatıları boşluklu kirişlerde her kirişte kullanılmıştır. Tüm elemanların kiriş donatı planı, kesitleri ve donatı pozları EK-5'te sunulmuştur.

Çizelge 4.3. Deney elemanlarının özellikleri

KİRİŞ ADI	BOŞLUK GEOMETRİSİ	BOYUNA DONATI MİKTARI	X DONATISI	ETRİYE	DONATI ÇİZİMİ
RBn	Boşluksuz	Normal	Yok	Yok	EK-5, Şekil 5.1-2
RBb	Boşluksuz	Çok	Yok	Yok	EK-5, Şekil 5.3-4
RRxn	Kare	Normal	Var	Yok	EK-5, Şekil 5.5-6
RRxcn	Kare	Normal	Var	Var	EK-5, Şekil 5.7-8
RRxb	Kare	Çok	Var	Yok	EK-5, Şekil 5.9-10
RRxcb	Kare	Çok	Var	Var	EK-5, Şekil 5.11-12
RCb	Daire	Çok	Yok	Yok	EK-5, Şekil 5.13-14
RCcb	Daire	Çok	Yok	Var	EK-5, Şekil 5.15-16
RCxb	Daire	Çok	Var	Yok	EK-5, Şekil 5.17-18
RCxcb	Daire	Çok	Var	Var	EK-5, Şekil 5.19-20

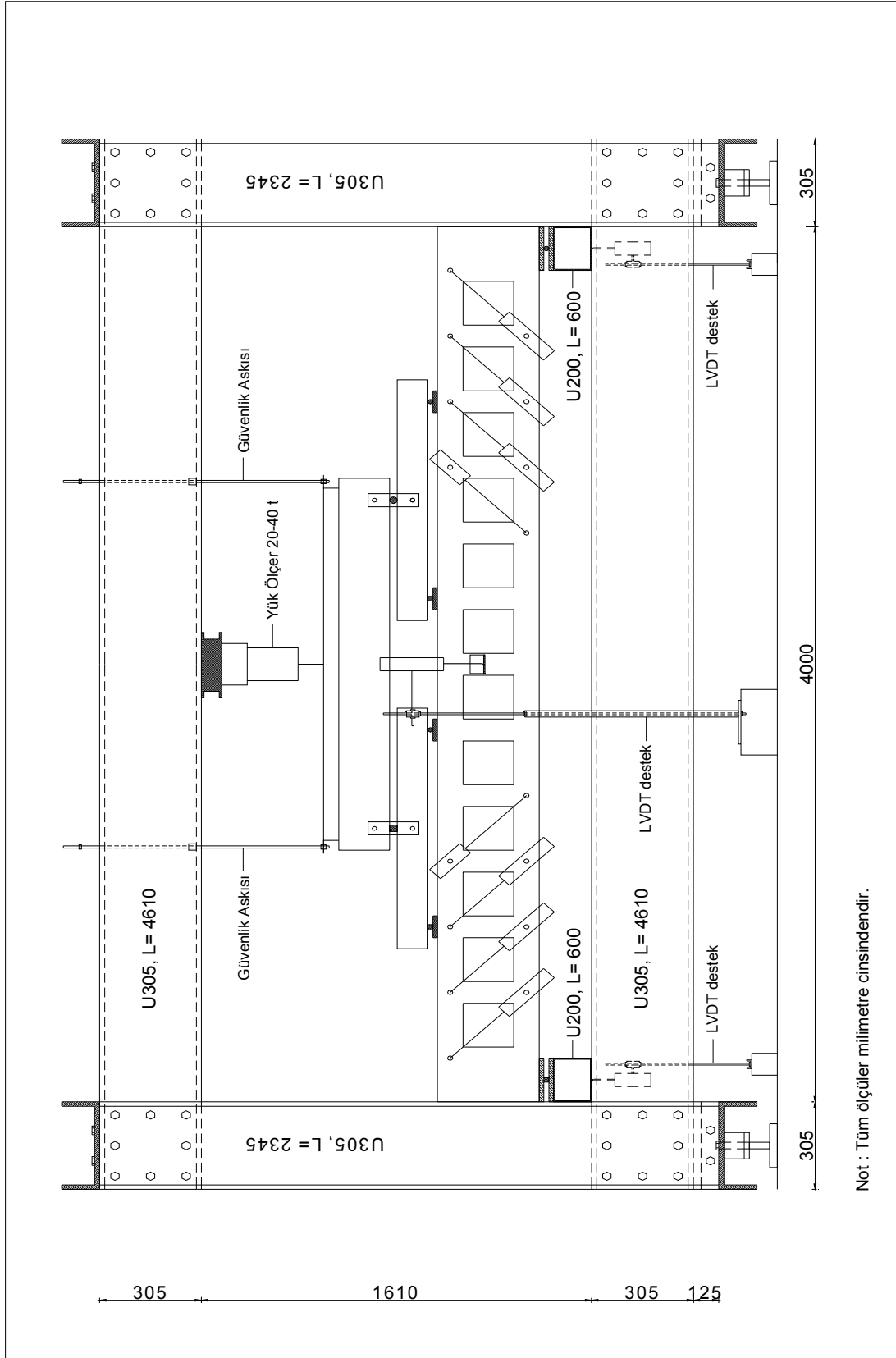
4.4 Deney Düzeneği

4.4.1. Deney çerçevesi

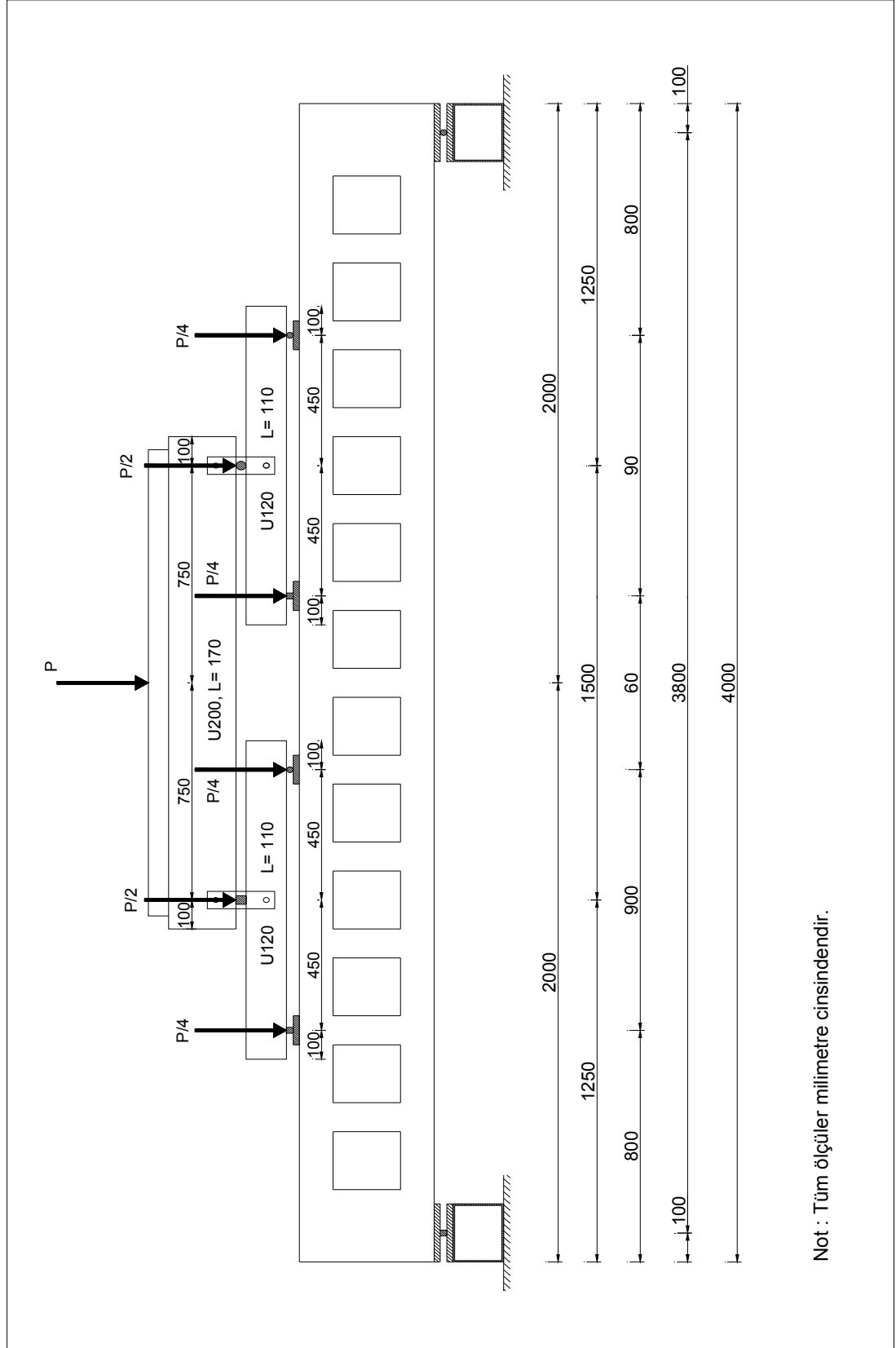
Deneyler Gazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünün Yapı Mekaniği laboratuvarında kapasitesi 200 kN olan deney çerçevesinde yapılmıştır. Deneylere başlamadan önce, özellikle çok donatılı kirişlerde, bu değerin aşılabilecek olması ihtimaline karşı çerçeve Şekil 4.3.'te görüldüğü gibi çerçeve alt ve üst kirişlerinin sehim yapmasını önlemek amacıyla güçlendirilmiştir. Yükleme hidrolik kriko yardımıyla yapılmış, yükün büyüklüğünün ölçümü ise yük hücresi (load-cell) ile ölçülmüştür. Yük hücresi çerçeve üst kirişinin tam ortasına yerleştirilmiştir.

4.4.2. Yükleme düzeni

İki ucundan basit kiriş gibi mesnetlenen deney modellerinde kesme kuvvetinin olmadığı, basit eğilme etkisindeki bir bölgenin oluşturulması amaçlanarak Şekil 4.4'de görülen yükleme sistemi tasarlanmıştır. Oluşturulan dört noktalı yükleme sisteminin yük aralıkları, düzgün yayılı yük altında oluşacak moment diyagramını yaklaşık olarak kapsayacak şekilde seçilmiştir. Yükleme, ilk olarak 1700 mm uzunlukta olan kutu profil üzerinden, kutu profil orta noktasından 750 mm kenarlarda bulunan sabit ve hareketli mesnetler yardımıyla alt kutu profillerin orta noktalarına iletilmiştir. 1100 mm uzunluğundaki bu profillerin orta noktasına gelen yük, bu profillerin orta noktasından 450 mm kenarlarda bulunan sabit ve hareketli mesnetler yardımıyla deney elemanına dört noktadan iletilmiştir. Deney elemanı mesnetler arasında 200.150.20 çelik plakalar kullanılmıştır. Deney elemanı üzerine gelen bu yükler ise yine sabit ve hareketli mesnetler yardımıyla çerçeve alt kirişine, çerçevenin mesnedine yakın bir bölgede iletilmiştir. Deney elemanı mesnetleri, deney elemanının uçlarından 100 mm içeride noktalardır. Bu bölgelerde mesnetleme, iki adet 200.200.20 çelik plaka arasına koyulan çelik mesnet çubuğu ile yapılmıştır. Alt plaka ise, çerçeve alt



Şekil 4.3. Yükleme çerçevesi ve düzeneği

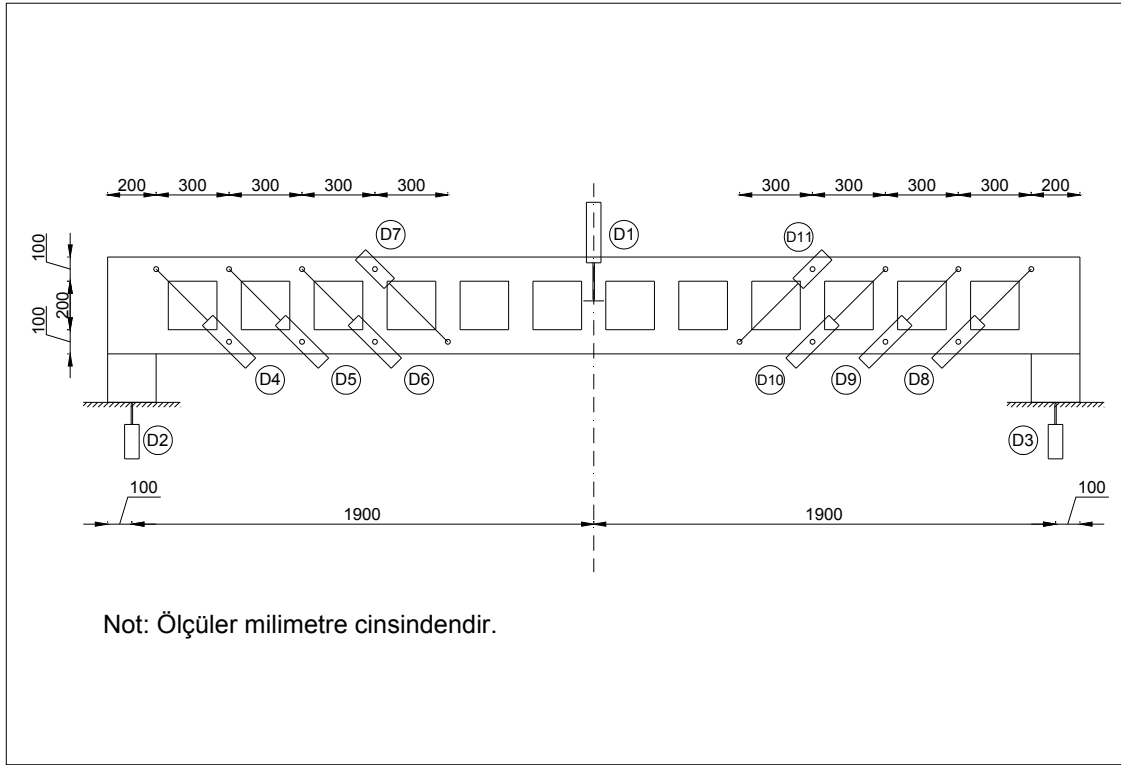


Şekil 4.4. Yükleme noktaları

kirişı üzerine oturtulmuş, kutu profillerin üzerinde gerekli akslarda olacak şekilde oturtulmuştur.

4.4.3. Ölçüm düzeni

Deneyler sırasında çeşitli yön ve doğrultuda ki deplasman ölçümleri için, 0,01 mm'ye kadar olan değişimleri ölçebilen, elektronik deplasman ölçerler (LVDT) kullanılmıştır. Bu LVDT'lere gelen bilgiler bir okuyucu tarayıcıdan geçtikten sonra bilgisayara kaydedilmiştir. Ayrıca deneyler sırasında kirişteki deplasman ile yükün değişimi bilgisayar ekranında grafik olarak izlenmiştir. Ölçüm sisteminde toplam 11 adet LVDT kullanılmış ve her LVDT ye 'D' ile başlayan ve sonunda LVDT numarası olan bir ad verilmiştir. Ölçüm sisteminde kiriş orta noktasında eğilme nedeniyle oluşacak düşey deplasmanın ölçümü için D1 LVDT'si kullanılmıştır. Mesnet çökmelerini ölçmek amacıyla D2 ve D3 LVDT'leri kullanılmıştır. D1, D2 ve D3 LVDT'lerinin montajı LVDT destek elemanlarıyla yapılmıştır. D1 LVDT'si kiriş üzerine dübelle monte edilmiş bir plaka üzerine yerleştirilip deplasman ölçümleri alınmıştır. D2 ve D3 ise mesnet olarak koyulan kutu profillerin altına yerleştirilerek deplasman ölçümleri elde edilmiştir. Kirişin sol ve sağ ucundan itibaren 4 adet boşluğun, bir üst köşesi ile öteki alt köşesi doğrultusunda üst ve alt kirişçiğin orta aksıları üzerindeki noktalar arasında ki deplasman farkının ölçülmesi için ise 8 adet LVDT kullanılmıştır (D4, D5, D6, D7, D8, D9, D10, D11). Bu LVDT'ler kiriş üzerine yerleştirilen dübeller yardımıyla monte edilip, uçları saz teli yardımıyla diğer dübele bağlamıştır. LVDT çalışma prensibi normalde LVDT ucunun cihazın içine doğru girmesi şeklinde olmasına karşın, bu 8 LVDT'de deplasman farkının görülebilmesi için ucun dışarı doğru çekilmesi istenmiştir. Bu sebeple LVDT uçlarına saz teli bağlanıp, bu saz tellerinin diğer ucu, öteki köşedeki dübele bağlanmıştır. (Şekil 4.5.)

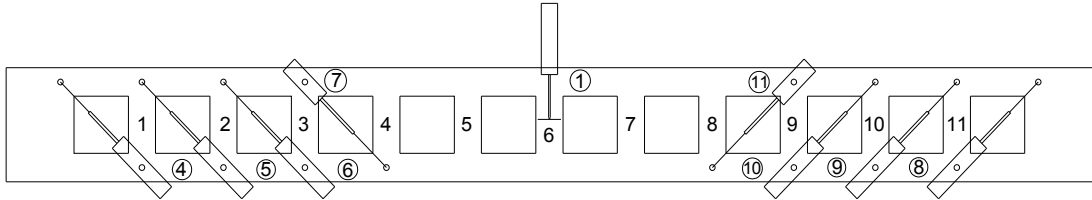


Şekil 4.5. LVDT yerleşim

4.5. Deneyler

Bölüm 4.3’de özellikleri anlatılan deney numunelerinin deney çerçevesine yerleşilmesinden sonra Şekil 4.3’de gösterilen deney düzeni, yükleme ve ölçüm aletlerinin bağlanmasıyla hazır hale getirilmiştir. Deney esnasında oluşabilecek gelişmelerin yerlerini belirtebilmek amacıyla boşluklu kirişlerde oluşan dikmeler soldan sağa doğru 1’den 11’e kadar numaralandırılıp, bu numaralar dikmelerin üzerine yazılmıştır. Ayrıca bütün numunelerde LVDT numaraları da LVDT yanına yazılmıştır. Yapacağımız yükleme altında, LVDT’lerde oluşacak deplasman değerlerinin ve yük değişim değerlerinin bilgisayar ortamına aktarımı için load-cell ve LVDT’lerin data-logger ile bağlantı kablolarının montajı yapıp, LVDT’lerle elle oynanarak, bilgisayar ortamında kalibrasyonları kontrol edilmiştir. Daha sonra bütün başlangıç değerleri sıfırlanıp sistem deneye hazır hale getirilmiştir. Elemanlara yük verilip deneyler yapılmış, deneyler esnasında yük-deplasman eğrileri o an

çizilip, deney aşamaları izlenmiştir. Deney esnasında ayrıca eleman üzerindeki çatlaklar takip edilip, bu çatlaklara hangi yük değerinde ulaşıldığı ses kayıtlarına alınmıştır. Ses kayıtları alınırken, çatlakların oluşumu, ezilmenin oluşumu gibi parametrelerin nerede oluştuklarını belirtebilmek için, daha öncede belirttiğimiz gibi dikmeler üzerinde soldan sağa doğru 1'den 11'e kadar yapılan numaralandırma ve LVDT yanlarına yazılan LVDT numaralarından yararlanılmıştır (Şekil 4.6.). Bu yazılan numaralara ilaveten her boşluk sağında ki dikme numarasıyla anılıp, en sağda ki boşluk 12 numaralı boşluk olarak anılacaktır. Deneyler esnasında karşılaşılan sorunlardan birisi, D1 LVDT'sinin fazla deplasmandan ötürü deplasman okuyamayacak hale gelmiş olmasıdır. Bu durumlarda yük boşaltılıp, cihazın daha aşağı bir noktaya montajı yapıp, yük tekrardan verilmiştir. Deney elemanları göçmeye ulaştığında ve artık yük alamayacak hale geldiklerinde deneyler sonlandırılmıştır. Deneylerin anlatımı esnasında belirtilecek deplasman değeri her zaman D1 LVDT'sinin deplasman değeridir olarak anılacaktır.

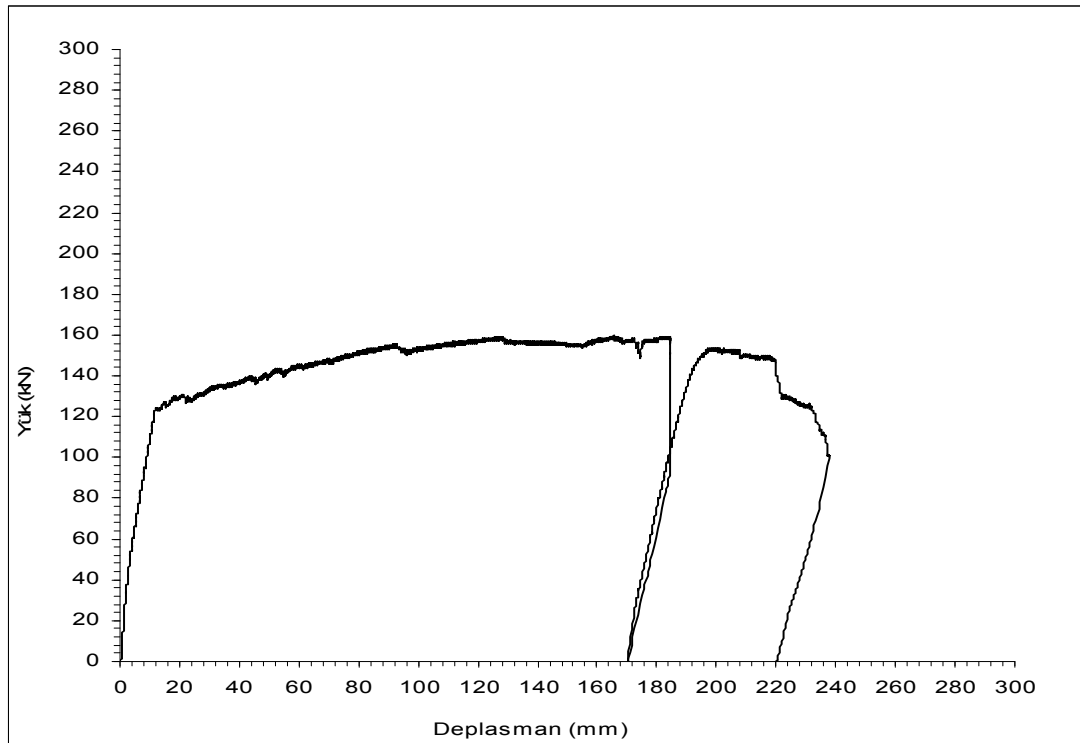


Şekil 4.6. Kiriş üstü numaralandırma

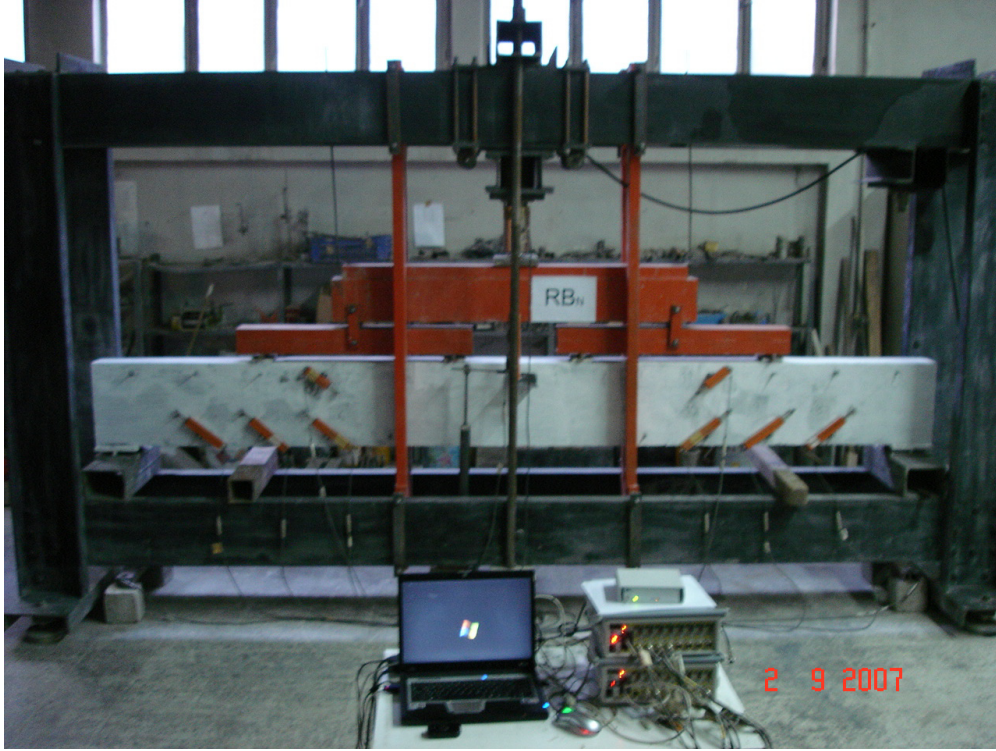
4.5.1. RBn: Normal donatılı yalın kiriş (referans kirişi)

RBn kirişi, normal donatılı, boşluksuz referans kiriştir. Eleman yüklemeye başladıktan sonra 40 kN değerinde ilk çatlaklar görülmeye başlamıştır. Bu çatlaklar kiriş ortasında ki 600 mm'lik bölgede olup çatlak açıklıkları çok küçüktür. Yüklemeye devam edildiğinde, 125 kN yük ve 12,5 mm deplasman değerinde akma başlamıştır. Bu esnada kiriş ortasında ki eğilme çatlaklarının açıklıkları yaklaşık olarak 0,8 mm olmuştur. Eleman 130 kN yük, 30 mm

deplasman değerine gelindiğinde, orta 800 mm'de 150-200 mm aralıklarla oluşmuş eğilme çatlakları genişliği 1,5 mm mertebesinde. Eleman akma gerçekleşmesine rağmen hala yük almaya devam etmiştir. 155 kN yük, 93 mm deplasman değerinde elemanın orta ekseninin 300 mm sağ tarafında yük aktaran mesnette ezilme belirtisi görülmüştür. Bunu takiben kısa bir süre sonra bu belirti eksenin sol tarafında da görülmüştür. 152 kN yük, 105 mm deplasman değerinde ezilme gerçekleşmiştir. Bu ezilme paspayı ile sınırlı olup, paspayı betonu kazınıp, basınç donatılarına bakıldığında bir burkulmaya rastlanmamıştır. 158 kN yük, 185 mm değerine gelindiğinde, D1 LVDT'si deplasman okuyamayacak hale geldiği için, yük boşaltılıp LDVT'nin montajı biraz daha aşağıya yapılmıştır. Daha sonra yüklemeye tekrar başlanmıştır. Eleman eski taşıma gücüne ulaşip deplasman yapmaya devam etmiş, fakat kısa bir süre sonra 148 kN yük, 219 mm deplasman değerinde yük değeri aniden düşmeye başlamıştır. Bu esnada ezilmenin sargı bölgesine geçtiğine şahit olunmuştur. Basınç donatıları yükleme eksenine dik



Şekil 4.7. RBn Yük – Deplasman grafiği



Resim 4.1. RBn kirişı deney öncesi görüntüsü

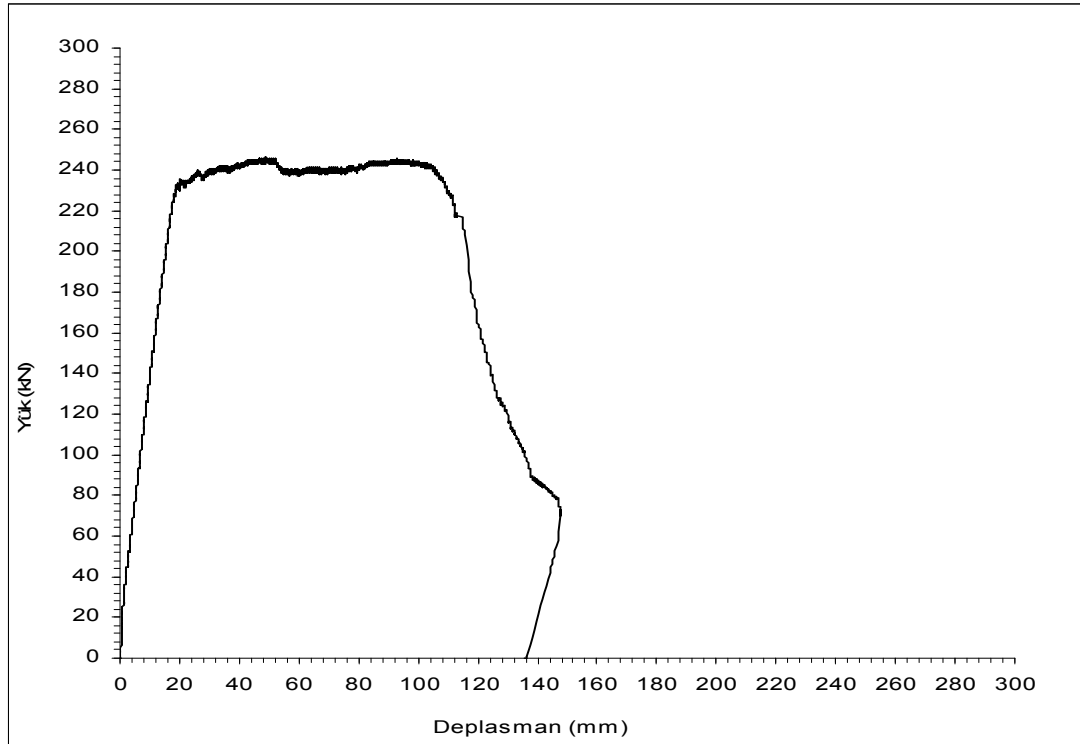


Resim 4.2. RBn kirişı deney sonrası görüntüsü

bir şekilde burkulup, eleman yük taşıyamaz hale geldiğinde deney sonlandırılmıştır.

4.5.2. RBb: Çok donatılı yalın kiriş (referans kirişi)

RBb kirişi, çok donatılı, boşluksuz referans kiriştir. Eleman yüklemeye başladıktan sonra 52 kN değerinde ilk çatlaklar görülmeye başlamıştır. Bu çatlaklar kiriş orta bölgesinde olup çatlak açıklıkları çok küçüktür. Yüklemeye devam edildiğinde, 235 kN yük ve 17,5 mm deplasman değerinde akma başlamıştır. Elemanın 240 kN yük, 30 mm deplasman değerine gelindiğinde, orta 600 mm'lik bölgesinde oluşmuş 4-5 adet eğilme çatlağının genişliği 2,5 mm mertebesinde dir. Eleman akma tamamlandıktan sonra yükte fazla bir değişiklik olmadan deplasman yapmaya devam etmiştir. 240 kN yük ve 56 mm deplasman değerinde elemanın tarafsız eksenin 300 mm sağındaki yük



Şekil 4.8. RBb Yük – Deplasman grafiği



Resim 4.3. RBb kirişı deney öncesi görüntüsü



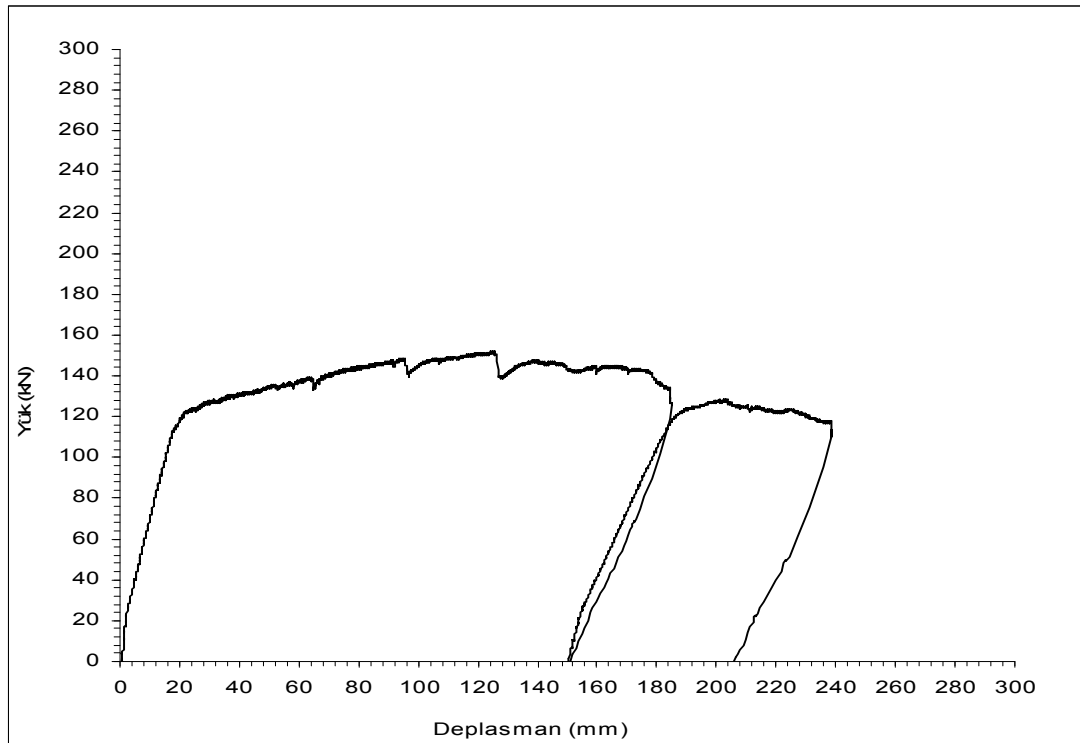
Resim 4.4. RBb kirişı deney sonrası görüntüsü

aktaran mesnet tarafında ezilme gerçekleşti. Bu ezilme paspayı ile sınırlı kalmıştır. Paspayı kazınarak basınç donatıları izlemeye alınmıştır. 240 kN yük ve 82 mm deplasman değerinde basınç donatılarında burkulma belirtisi görülmüştür. Eleman 105 mm deplasman değerine ulaştığında, ezilme bir anda sargı bölgesine geçmiş, yükte ani bir düşüş olmuştur. Elemanın üst kirişindeki altlı üstlü Ø12'lik basınç donatıları burkulmuş, eleman yük taşıyamaz hale gelmiş ve deney sonlandırılmıştır.

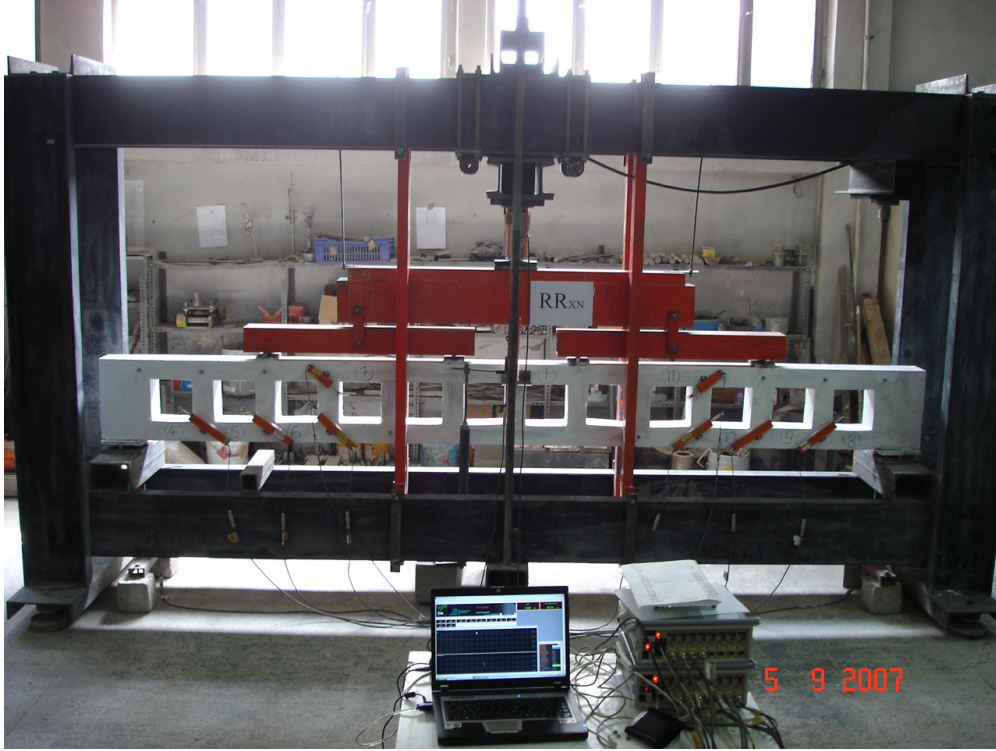
4.5.3. RRxn: Normal ve x donatılı kare boşluklu kiriş

RRxn kirişi, normal donatılı, X donatılı, kare boşluklu kiriştir. Eleman yüklemeye başladıktan sonra 50 kN değerinde orta bölgede ilk çatlaklar görülmeye başlamıştır. 70 kN yük değerinde en sağda ki alt kirişin sağ üst ucundan -45° açıyla çatlak oluşmaya başlamıştır. Bu çatlak simetrik bir şekilde sol alt kirişte de oluşmuştur. Bu çatlaklar ufak mertebelerdedir. 90 kN değerine gelindiğinde özellikle 1 dikmesinde olmak üzere, 2, 10, 11 dikmelerinde kesme çatlakları görülmeye başlanmıştır. Bu çatlaklar 1 ve 2 dikmelerinde sol alt uçtan sol üst uca, 10 ve 11 dikmelerinde ise sağ alt uçtan sol üst uca doğru oluşmuştur. Yalnız bunlardan sadece 1 dikmesinde ki çatlak belirgin olup genişliği 0,4 mm civarındadır. 122 kN yük ve 18 mm deplasman değerinde elemanda akma gerçekleşmiştir. Yüklemeye devam edildiğinde orta bölgede oluşan eğilme çatlakları alt kirişi çevrelemiş ve genişlikleri 1,5-2,0 mm mertebesine gelmiştir. Bu süreye kadar betonda ezilme belirtisine rastlanmamıştır. 130 kN yük ve 45 mm deplasman değerine gelindiğinde açıklıkta en büyük çatlak genişliği 2,5 mm olurken, 1 ve 2 dikmelerinin sol üst köşesinden, üst kirişlerin içine doğru kesme çatlakları girmeye başlamıştır. Ayrıca 10 ve 11 dikmelerinde daha önce başlayan kesme çatlakları büyümeye başlayıp 3 mm genişliğe ulaşmışlardır. Benzer çatlak 9 dikmesinde de görülmeye başlanmıştır. 145 kN yük ve 90 mm deplasman değerlerinde 9, 10, 11 dikmelerinde kesme çatlakları hızla genişlemiş, dikmeler ağır hasarlı hale gelmiştir. İlk ezilme belirtisi 7 dikmesinin üstünde görülmüştür. Bu belirti simetrik olarak 6 dikmesi üstünde

de vardır. 143 kN yük ve 135 mm deplasman değerinde 1, 2, 3 dikmelerinde kesme çatlakları aniden genişlemiştir. Bu çatlaklar sol alt uçtan sol üst uca doğrudur. Kayma deformasyonu ölçen 7 numaralı LVDT saz telinin kurtulması sonucu devre dışı kalmıştır. Yükleme devam edildiğinde, en sol üst kirişin sol alt yüzeyinde ezilme başlamıştır. Bu ezilme simetrik bir şekilde en sağ kirişte de oluşmuş fakat sol uca göre daha küçük çaplıdır. Ayrıca dikkat çeken bir başka husus ise 4 dikmesinin üstünde oluşan ezilme olmuştur. 1, 2, 3 dikmelerinin ağır hasarlı olması mafsallaşmanın bu dikme uçlarında oluşmasını engellemiş, mafsal sağlam durumda olan 4 dikmesinin sol tarafında ki kirişin sağ ucunda başlamıştır. Bu esnada yük ölçer yük yapamaz hale geldiği için yük boşaltılıp, gerekli ayarlamalar yapıldıktan sonra deneye devam edilmiştir. Eleman eski yük değerine ulaştıktan sonra, 130 kN yük ve 185 mm deplasman değerinde en sol üst kirişin sol ucundan ortasına kadar altlı üstlü beton ezilmiş ve kiriş eğilmeye başlamıştır. Bu noktada deney sonlandırılmıştır.



Şekil 4.9. RRxn Yük – Deplasman grafiği



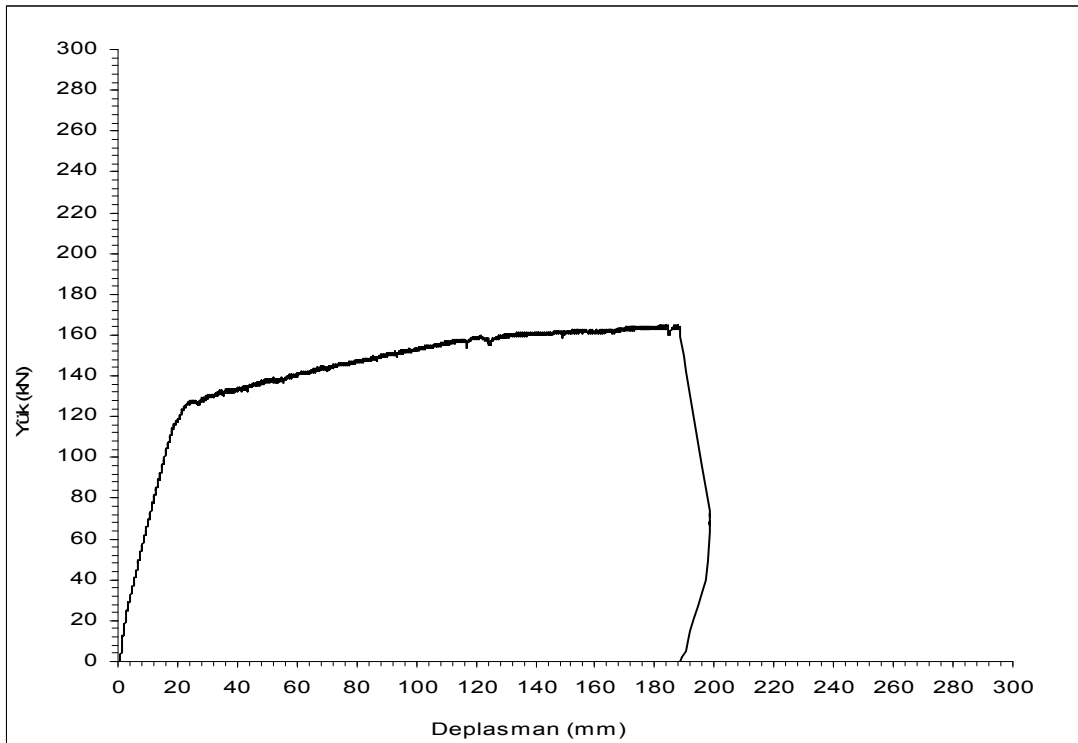
Resim 4.5. RR_{xxn} kirişi deney öncesi görüntüsü



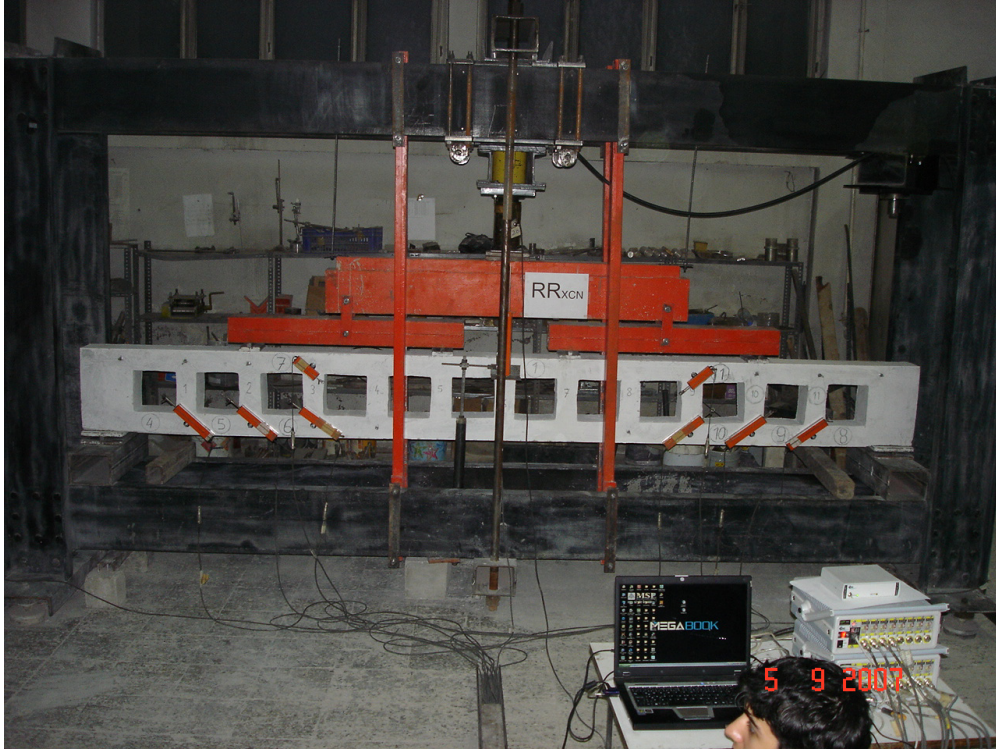
Resim 4.6. RR_{xxn} kirişi deney sonrası görüntüsü

4.5.4. RRxcn: Normal ve x donatılı, etriyeli kare boşluklu kiriş

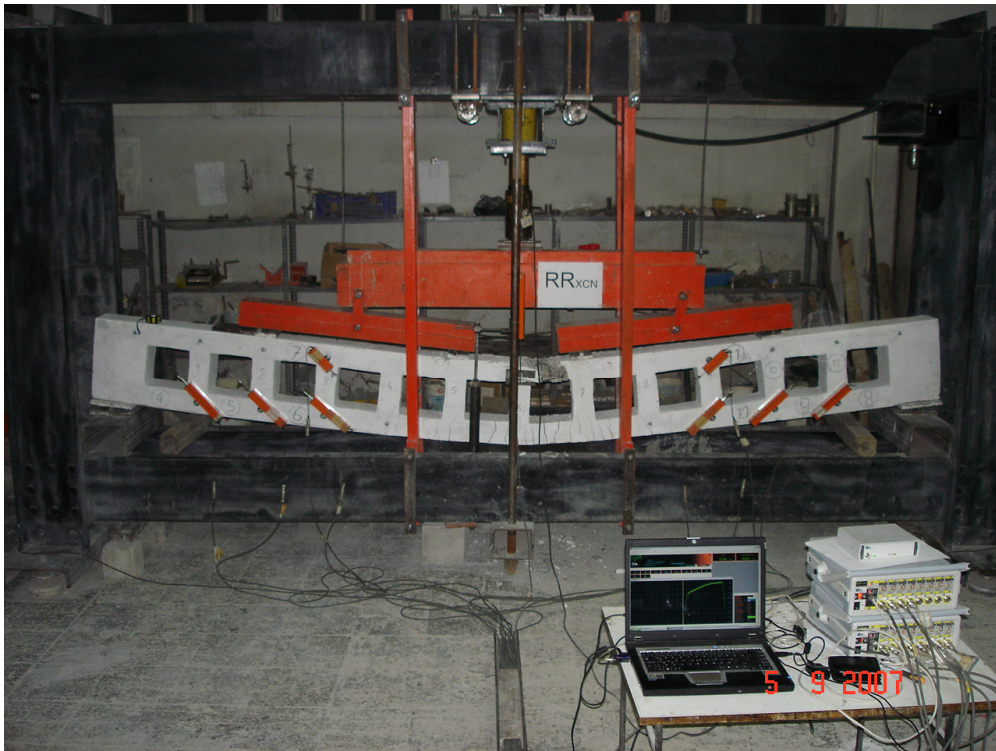
RRxcn kirişi, normal donatılı, X donatılı ve etriyeli kare boşluklu kiriştir. Eleman yüklemeye başlandıktan sonra 35 kN değerinde orta bölgede ilk çatlaklar görülmeye başlamıştır. 100 kN değerine ulaşıldığında 10 ve 11 dikmelerinin sağ üst ucundan 135° açıyla çatlaklar oluşmaya başlamıştır. 120 kN değerine gelindiğinde benzer çatlakları simetrik olarak 1, 2, 3 dikmelerinde de görülmeye başlanmıştır. 125 kN yük ve 22,5 mm deplasman değerinde akma gerçekleşmiştir. Yüklemeye devam edildikçe açıklıkta ki eğilme çatlakları artarken, dikmelerde oluşan kesme çatlakları sınırlı kalmaya başladığı görülmüştür. 135 kN yük ve 49 mm deplasman değerinde en büyük çatlakların genişliği açıklıkta 2,5 mm olup alt kirişi çevrelemektedirler. 1, 2, 3, 9, 10, 11 dikmelerinde ki kesme çatlakları ise hala çok belirgin değildir. 147 kN yük ve 87 mm deplasman değerinde 6 ve 7 dikmeleri arasında ezilme başlamış ve bu 5 ve 6 dikmeleri arasına doğru yayılmıştır. 155 kN yük ve



Şekil 4.10. RRxcn Yük – Deplasman grafiği



Resim 4.7. RRxcn kirişı deney öncesi görüntüsü



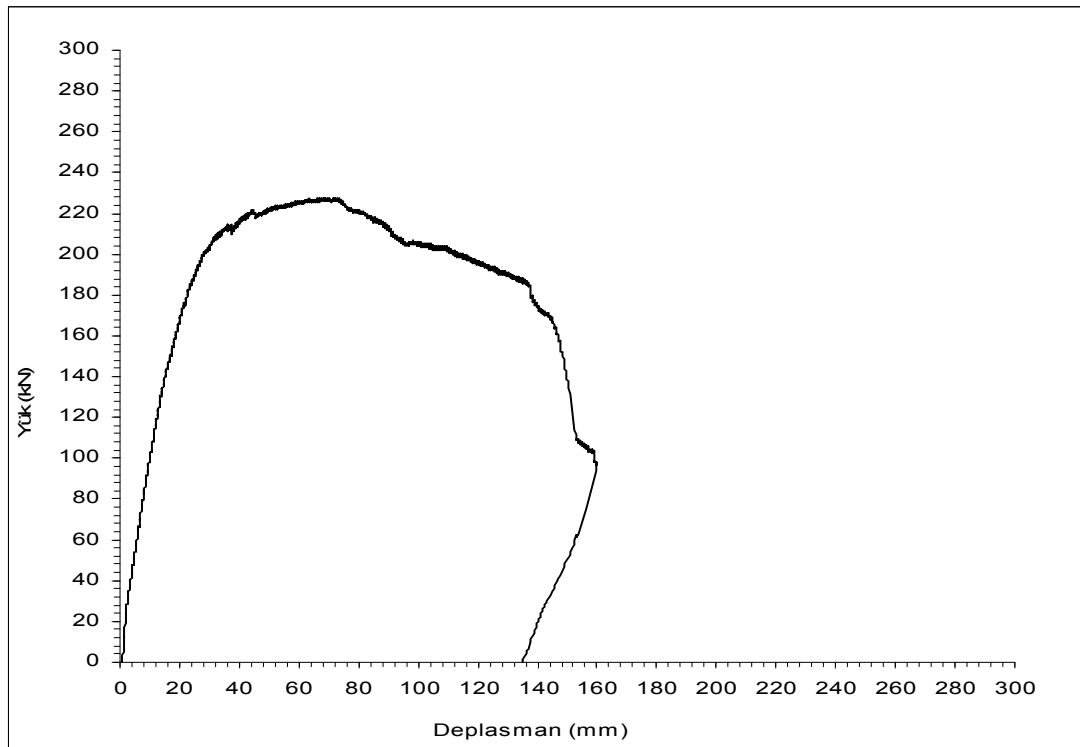
Resim 4.8. RRxcn kirişı deney sonrası görüntüsü

115 mm deplasman değerine gelindiğinde ise 6-7 dikmeleri arasında üst kirişte ezilme iyice belirginleşmiştir. Ayrıca 5 dikmesinin sol üst ucunun bulunduğu bölgede de hafif ezilme görülmeye başlamıştır. Dikmelerde bir alt köşeden öteki üst köşeye doğru giden kesme çatlakları en yüksek 0,4 mm değerini görmüştür. 164 kN yük ve 185 mm deplasman değerine gelindiğinde 6-7 dikmeleri arası üst kirişte ezilme sargı donatısına geçmiş, basınç donatıları burkulup sistem yükünü kaybetmiştir. Etriyesiz elemanın aksine eleman taşıma gücüne ortada ki betonun ezilmesiyle ulaşmıştır. Son ana kadar dikmelerde kesme nedeniyle ciddi bir hasar oluşmamıştır. Hasar sadece 0,4 mm'lik çatlaklarla sınırlı kalmıştır.

4.5.5. RRxb: Çok ve x donatılı kare boşluklu kiriş

RRxb kirişi, çok donatılı, X donatılı ve etriyesiz kare boşluklu kiriştir. Deney başlangıcında ses kayıt cihazı başlatılması unutulduğu için deney esnasında oluşan olaylar tam olarak hangi yük değerinde oluştukları söylenememektedir, fakat deney aşaması deney sonrası sırasıyla anlatılmıştır. Eleman taşıma yükünü yaklaşık olarak bulmuştur ama diğer elemanlara göre daha ilginç bir davranış göstermiştir. Diğer elemanlarda özellikle orta 600 mm'de olan oluşan hasarlar bu elemanda nerdeyse görülmemiştir. Çatlak genişliği 0,1 mm civarında kalmıştır. İlk çatlaklar sol dikmelerde oluşmaya başlamıştır ve solda ki dört dikmede sağ üst köşeden sol alt köşeye doğru zamanla büyük kesme çatlakları oluşmuştur. Bu dört kiriş deney sonunda paramparça hale gelmiştir. Benzer kesme çatlakları sağda ki dört kirişte de olmuştur fakat çatlak genişliği 3-4 mm ile sınırlı kalmıştır. Deney esnasında sol kirişler ağır hasarlı hale geldikten bir süre sonra 4-5 dikmeleri arasında üst kirişte ezilme meydana gelmiştir. Diğer deneylerde ki gibi en sol üst kirişin sol alt ucunda da ezilme olmasına karşın kirişin göçmesine sebep olan 4-5 dikmesi arasında ki kirişte ki ezilme olmuştur. Burada ezilme sargı bölgesine geçmiş, burada ki basınç donatıları yük eksenine dik bir şekilde burkulmuş ve eleman göçmüştür. Burada rastlanan göçme şekli aslında daha önce de diğer elemanlarımızda

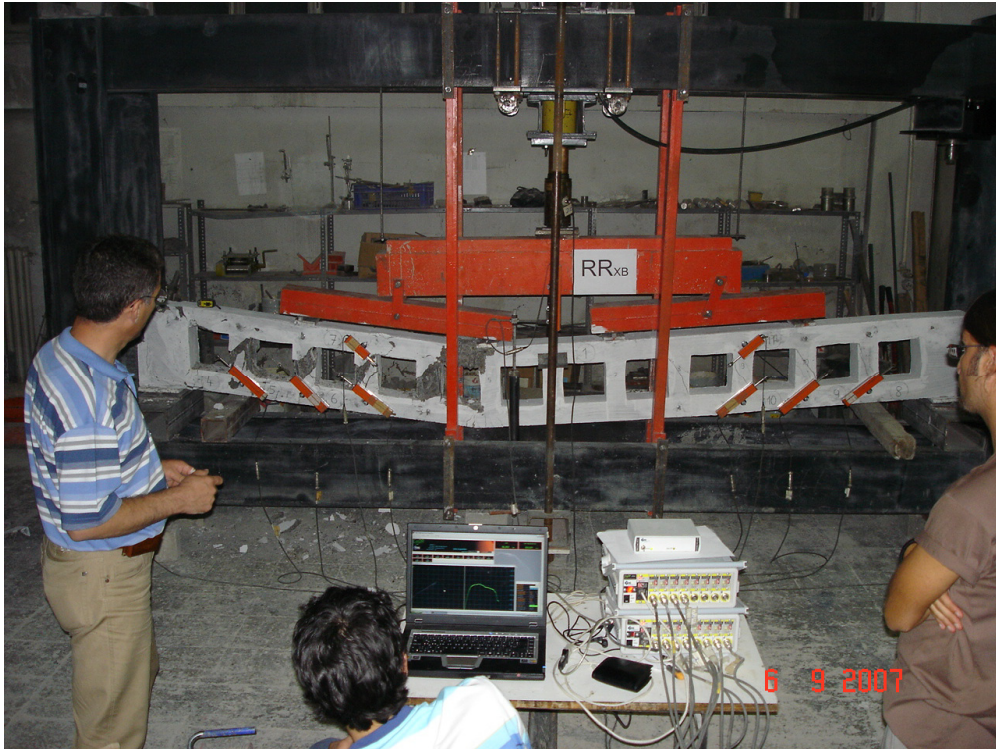
gördüğümüz türden olmuştur. İlk plastik mafsalları yine sol üst kirişin sol ucunda oluşmuş, bundan sonra diğer plastik mafsalları solda ki 4 dikmenin ağır hasar görmesi sonucu ancak 5 dikmesinin sol üst kısmında ki kirişin sağ ucunda oluşabilmiştir. Bu elemanda yine gerçekleşen ilginç bir olay ise kirişin sol ucunun üst kısmında aderans çatlakları görülmesi olmuştur. Bunun sebebi ise gönyeli basınç donatılarının çekme kuvveti etkisi altında kalıp, gönyelerinin açılmaya çalışması olduğu görülmüştür. Gönyelerin açılmaya çalışması bir süre sonra çatlakları arttırıp, kirişin sol alınının üst bölgesinde ki paspayı betonunun patlamasına yol açmıştır. Bu bölgede altta da gönyeyi takip eden aderans çatlakları oluşmuştur. Elemanımızın dikmelerinin bu kadar hasarlı hale gelmesine karşın yükünü epey bir süre koruması, dikmelere gelen kesme kuvvetlerinin kablolarca taşınması sayesinde olmuştur. Hasarlı dikmelerin paspayı betonları temizlendiğinde kabloların gergin halde oldukları görülmesi bu tezimizi kanıtlayan bir gerçek olmuştur.



Şekil 4.11. RRxb Yük – Deplasman grafiği



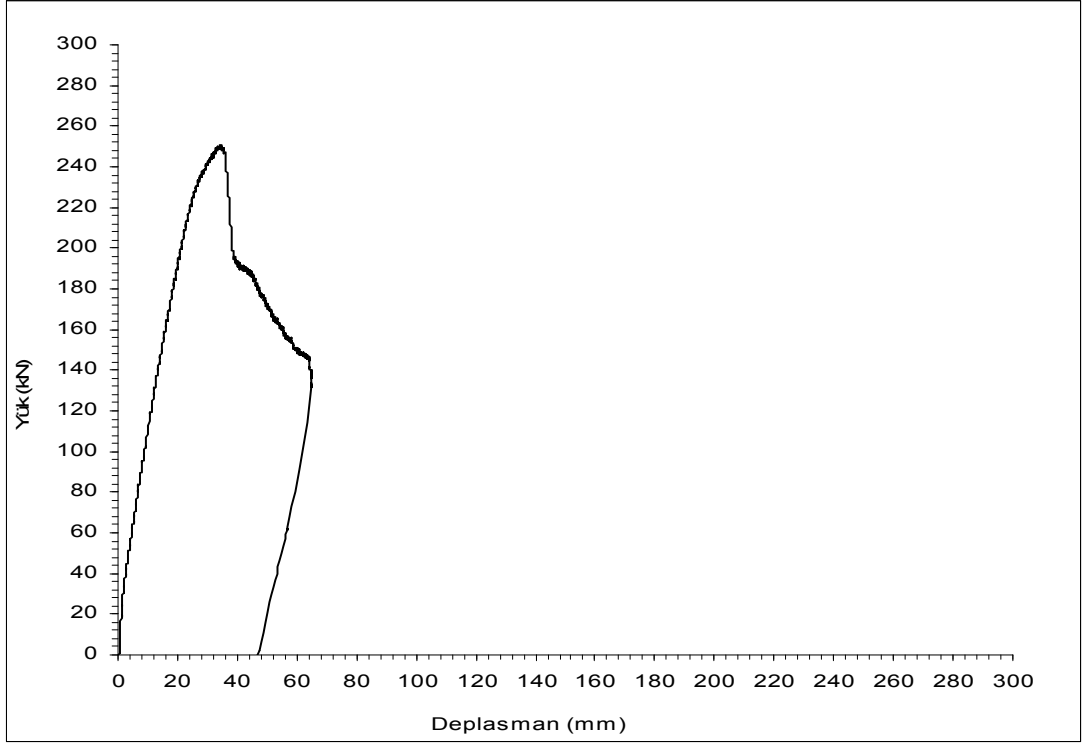
Resim 4.9. RRxb kirişı deney öncesi görüntüsü



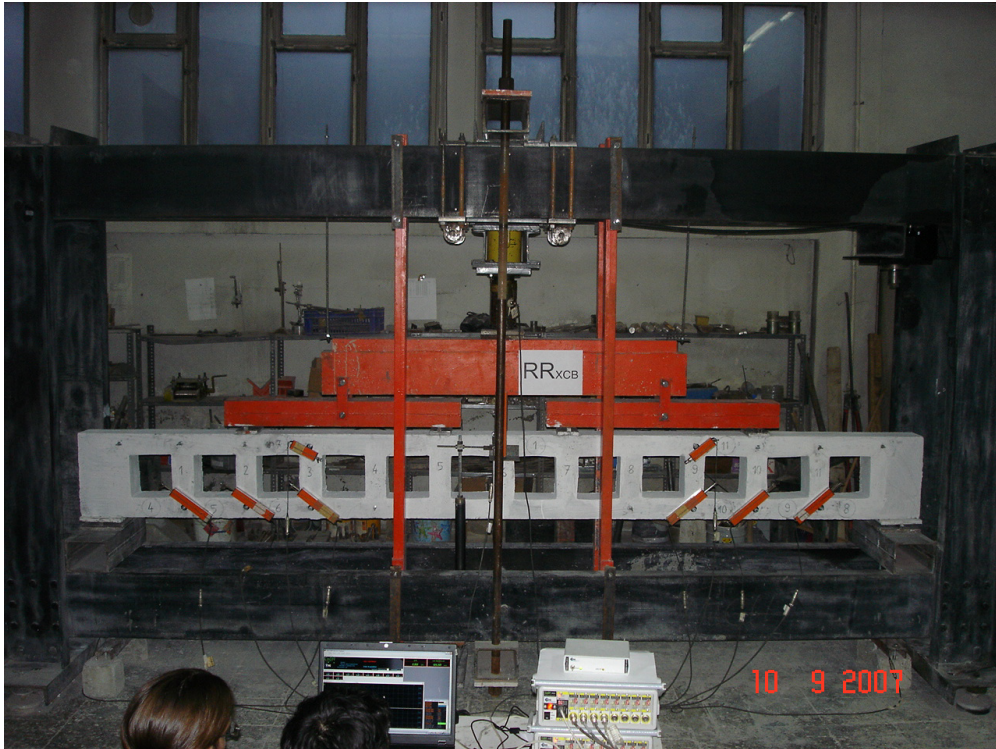
Resim 4.10. RRxb kirişı deney sonrası görüntüsü

4.5.6. RRxcb: Çok ve x donatılı, etriyeli kare boşluklu kiriş

RRxcb kirişi, çok donatılı, X donatılı ve etriyeli kare boşluklu kiriştir. İlk ciddi çatlaklar 1 ve 2 dikmelerinde oluşmaya başlamıştır. Çatlaklar sol alt uçtan sağ üst uca doğru gitmiştir. Yüklemeye devam edildiğinde 220 kN yük mertebelerinde 1 ve 2 dikmeleri arasında ki alt ve üst kirişlerde çatlaklar oluşmaya başlamıştır. Üst kirişte 1 dikmesinin sağ üst ucundan kirişin sağ üst ucuna doğru, alt kirişte 2 dikmesinin sol alt ucundan kirişin sol alt ucuna doğru giden bu çatlaklar dikmelerde oluşan kesme çatlaklarının devamı gibi bir görüntü ortaya çıkarmıştır. Sistem 250 kN yük değerine ulaştığında 1 ve 2 dikmesi arasında ki alt ve üst kirişlerde kırılma gerçekleşip sistemde yük taşıyamaz hale gelmiştir. Kırılma kirişlerin uç noktasında oluşmamış, kiriş bir bütün halinde ezilmiştir. Dikmelerde sargı donatısı kullanılması bir önceki deneye göre kırılma mekanizmasını tamamen değiştirmiştir. Sargılama kırılmayı kirişe yönlendirmiş ve eleman dikmeler fazla bir hasar görmeden kirişin kırılmasıyla göçmüştür. Dikmelerde en büyük kesme çatlağı 1,5-2,0 mm genişliğinde olmuştur. Dikmelerin fazla rijit olması kiriş sünekliliğini etkilemiş, sistem nispeten daha zayıf bulunduğu dikmelere bağlanan kirişlerde betonun ezilmesi sonucu gevrek kırılmaya uğramıştır. Deney kapsamında elemanlarımız içinde tek gevrek davranışı bu eleman göstermiştir. Diğer elemanlar eğilmeye yönelmiş veya eğilmeden yada uzun bir eğilme davranışı sonucu en sol boşlukta oluşan kesmeden göçmüştür. Bir önce ki etriyesiz RRxb elemanına göre daha sünek davranması beklenen etriyeli RRxcb elemanının davranışı şu şekilde yorumlanabilir. RRxb elmanı eğilme kapasitesine ulaşamadığı için daha sünek bir davranış göstermiştir. RRxcb elemanı ise eğilme kapasitesine ulaşmış fakat bu dayanımı uzun süre koruyamamıştır ve gevrek bir şekilde göçmüştür. Bu elemanın göçmesinin en sol boşluk yerine onun bir yanında ki 2.boşlukta oluşmasının nedeni elemanın eğilme davranışına hiç yönelmemesidir. Eleman hiç eğilmeye yönelmediği için kesme kuvvetinin ve momentin daha yüksek olduğu, yükleme noktasına daha yakın olan en soldan 2. boşlukta göçme gerçekleşmiştir.



Şekil 4.12. RRxcb Yük – Deplasman grafiği



Resim 4.11. RRxcb kirişi deney öncesi görüntüsü

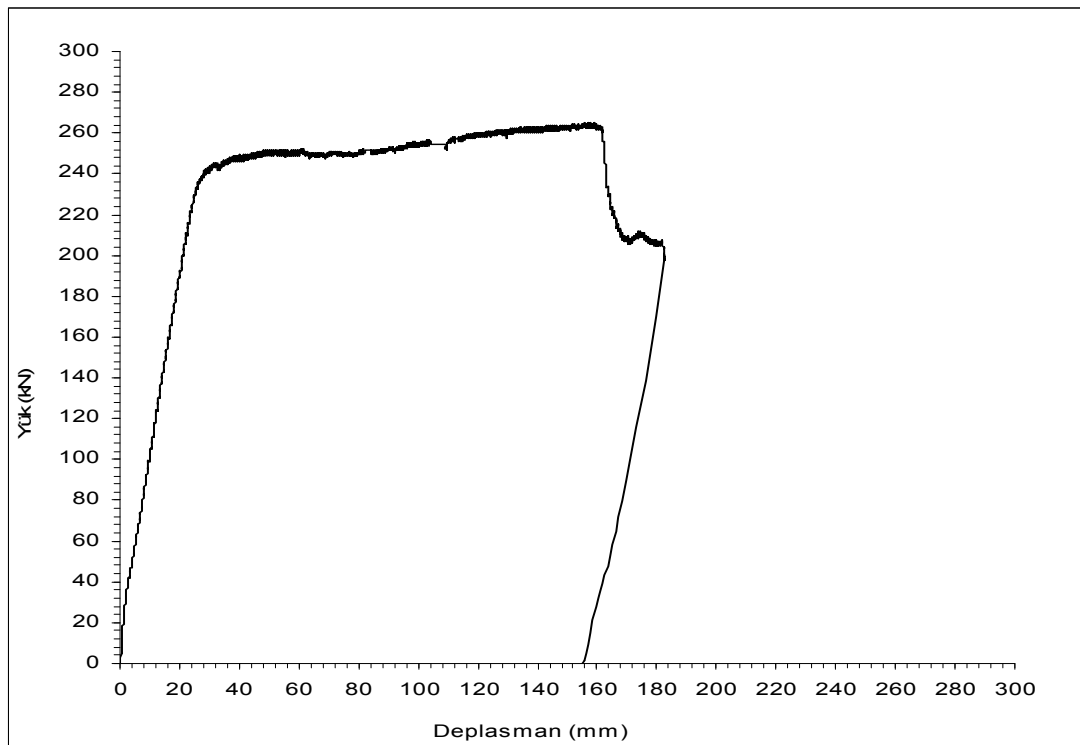


Resim 4.12. RRxcb kirişi deney sonrası görüntüsü

4.5.7. RCB: Çok donatılı daire boşluklu kiriş

RCB kirişi, çok donatılı, daire boşluklu, X donatısı ve etriyesi bulunmayan kiriştir. Yükleme başladıktan sonra görülen ilk çatlak 40 kN yük değerinde 2 boşluğunun sağ üst ucundan dikme üstüne doğru giden kesme karakterli bir çatlaktır. Burada sağ üst köşe ile ifade edilen, daire boşluğun merkezinden 45° ile çizilecek bir doğrunun yönüdür. Benzer ifadeler anlatımın devamında da kullanılacaktır. Bu ifadelerde çatlak yönü her zaman belirtilen ifadeye daire merkezinden çekilecek doğru yönünde olacaktır. Benzer çatlaklar 1 ve 3 boşluklarında da görülmüştür. 105 kN değerine gelindiğinde ortada eğilme çatlakları görülmeye başlamıştır, fakat bunlar ufak boyuttadır. 145 kN değerinde 11 ve 12 boşluklarında da aynı 1 ve 2 dikmelerinde görülen çatlaklar görülmeye başlanmıştır. Bu boşluklarda ilave olarak üst köşedeki çatlak sanki boşluk merkezinden geçip çaprazda ki alt köşede de oluşmuştur. Bir süre sonra 9 ve 10 boşluklarında da benzer

çatlaklar görülmüştür. 235 kN değerinde elemanda akma başlamış ama eleman bir miktar daha yük almaya devam etmiştir. Yükleme devam edildiğinde 1 boşluğunun sağ ucundan 2 boşluğunun üstünde ki kirişin sağ üst ucuna doğru 2 boşluğunu teğet geçen bir çatlak oluşmuştur. Bir süre sonra 1 boşluğunun üstünde ki kirişin sağ üst ucundan sol alt ucuna doğru birbirine paralel kılcal iki çatlak oluşmuştur. Bu esnada eğilme çatlakları da büyümeye başlamış, 6 ve 7 boşlukları altında 1,5 mm genişlikte çatlaklar oluşmuştur. 1 boşluğunun sağından başlayıp 2 boşluğuna teğet giden çatlaklar 11 ve 12 deliklerinde de görülmüş ama bunlar ufak boyutlardadırlar. 1 boşluğunun sağ üst köşesinde oluşan çatlağın benzeri bu boşluğun sol alt ucunda da görülmüştür. Ayrıca alt kirişte bu çatlağa paralel 1-2 kılcal çatlakta oluşmuştur. 6 ve 7 boşluklarının üst kısmında ezilme gerçekleşmiştir fakat paspayıyla sınırlı kalmıştır. Ezilmenin ilk burada gerçekleşmesinde kullanılan ek mesnet donatılarının katkısı olmuştur. Eleman bunlar sayesinde eğilmeye zorlanmış ve bu ana kadar eğilmeye yönelik davranış içinde bulunmuştur.



Şekil 4.13. RCb Yük – Deplasman grafiği



Resim 4.13. RCb kirişı deney öncesi görüntüsü



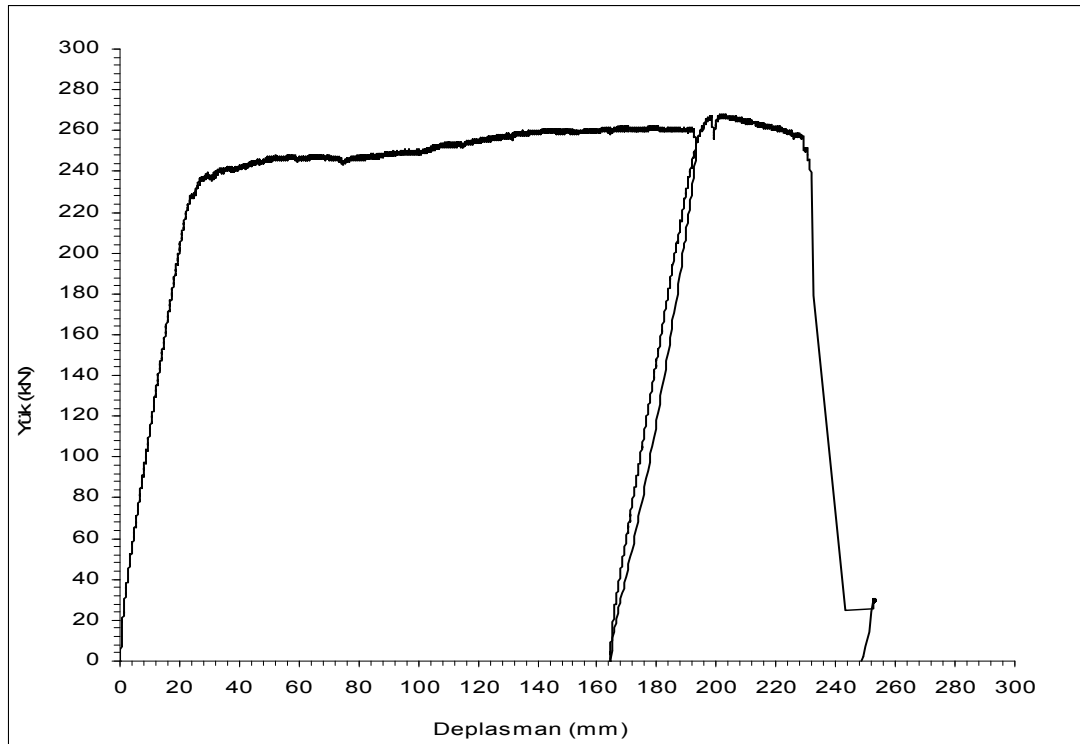
Resim 4.14. RCb kirişı deney sonrası görüntüsü

Yüklemeye devam edildiğinde 1 boşluğunun hemen üstünde ezilme gerçekleşmiştir. Bunu takiben 1 boşluğunun üstünde ki kirişin sağ üst ucundan boşluk üstüne doğru çatlaklar artmaya başlamıştır. Benzer olay boşluk altında ki kirişte de olmaya başlamıştır ve burada ki donatılar yüklemeye doğrultusunda, yani aşağı doğru, burkulmaya, eleman yük kaybetmeye başlamış ve kırılma gerçekleşmiştir. Eleman kesmeden gitmesine karşın deneyin büyük bir bölümünde eğilme davranışı içinde olmuştur. Dikmelerde etriye olmamasına karşın dikmelerde büyük sayılabilecek bir hasara rastlanmamış olması elemanın davranışını gayet tatmin edici kılmıştır.

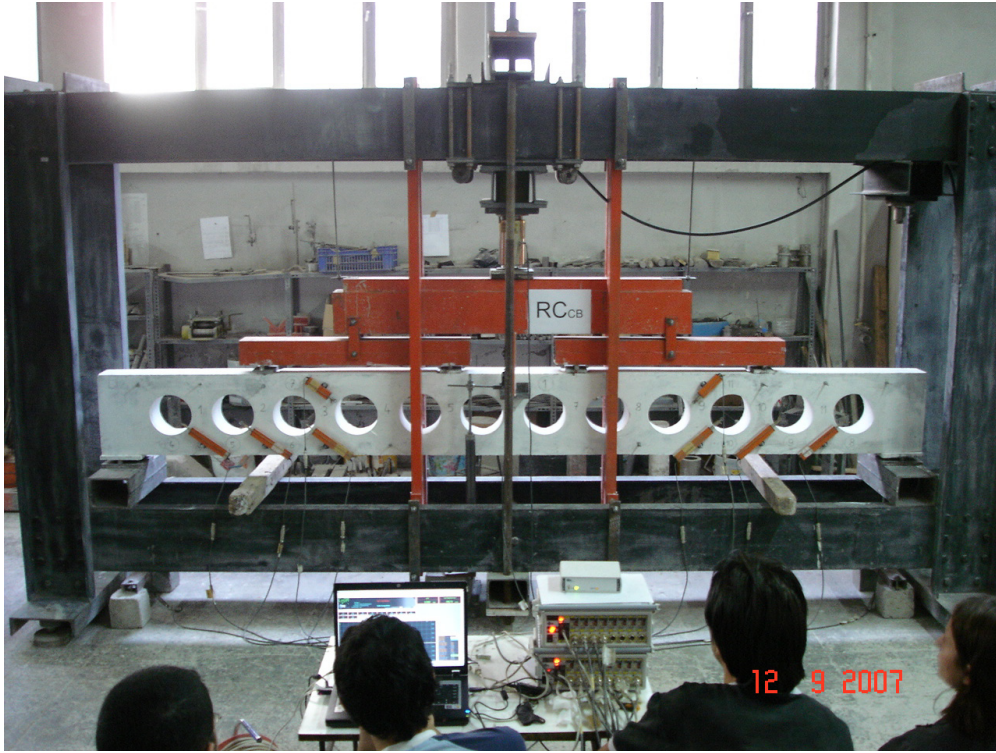
4.5.8. RCcb: Çok donatılı ve etriyeli daire boşluklu kiriş

RCcb kirişi, çok donatılı, daire boşluklu, X donatısı olmayan ama etriyesi bulunan kiriştir. Yüklemeye başladıktan sonra görülen ilk çatlaklar 70 kN yük değerinde 1, 2 ve 3 boşluklarının sağ üst ucundan dikme üstüne doğru giden kesme karakterli bir çatlaktır. 1 boşluğunun sağ ucunda ki çatlağın devamı niteliğinde sol alt uçtan mesnede doğru da çatlak oluşmuştur. 140 kN değerine gelindiğinde ilk eğilme çatlakları görülmüştür fakat genişlikleri 0,1 mm den küçük çatlaklardır. 1 ve 2 boşluklarının sağ üst köşelerinde ki çatlak gelişmeye başlamış ve 0,4 mm genişliğe ulaşmıştır. Aynı çatlak 3, 4 ve simetrik olarak kirişin sağ bölümünde 10, 11, 12 boşluklarında da vardır. 230 kN değerine gelindiğinde akma gerçekleşmiştir. 240 kN yük ve 39 mm deplasman değerine gelindiğinde 1 deliğinin sol alt köşesinde ki çatlak genişliği 1,2 mm değerine ulaşmıştır. Aynı zamanda eğilme çatlakları da gelişmeye başlamış, 6 ve 7 boşluklarının altında ki 1,5 mm genişliğinde ki çatlaklar alt kirişleri çepeçevre sarmıştır. 245 kN yük ve 46 mm deplasman değerinde 12 boşluğunun sağ alt ucunda 1,2 mm genişliğinde ki çatlağa paralel, deliğin altında ki kirişin üstünde 2 çatlak görülmüştür. Bir süre sonra 56 mm deplasman değerinde 6 deliğinin üstünde ezilme başlamıştır fakat paspayıyla sınırlıdır. 249 kN yük ve 93 mm deplasman değerinde 1 ve 2 boşluklarının üst noktasından üstlerinde ki kirişin sağ üst ucuna doğru çatlaklar görülmüştür. Ezilme simetrik bir şekilde 7 deliğinin de üstünde

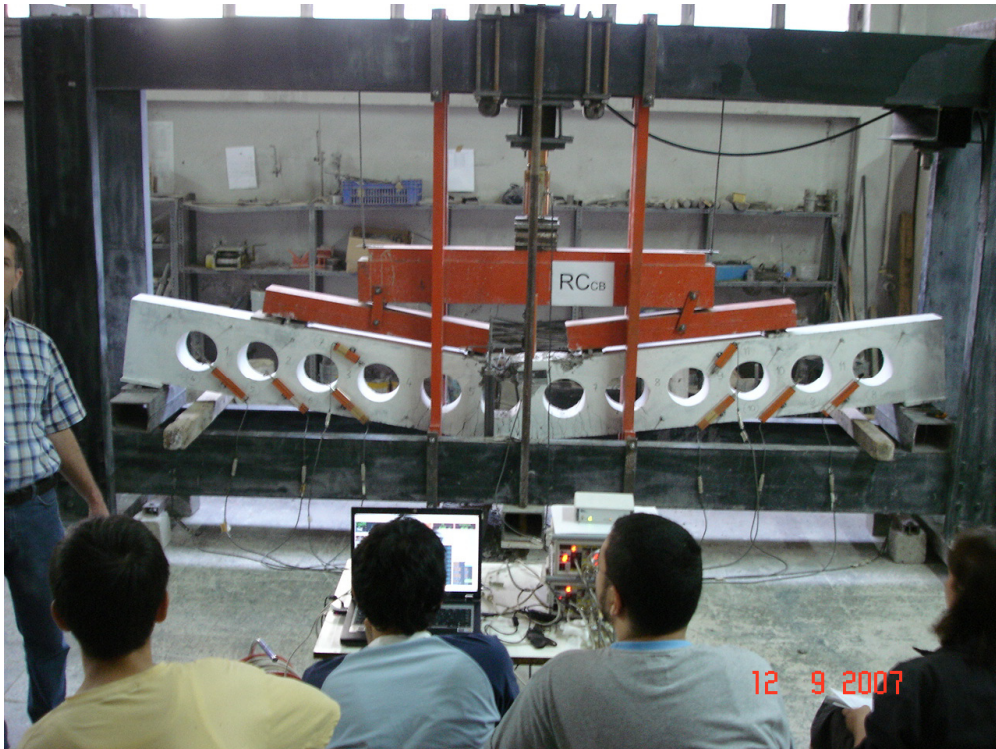
gerçekleşmiştir ve paspayıyla sınırlıdır. 260 kN yük ve 170 mm deplasman değerinde orta 1 m'lik bölümde eğilme çatlakları 30-40 mm aralıkta ve 3-4 mm genişliktedir. Bu esnada D1 LVDT'si deplasman okuyamayacak hale geldiği için yük boşaltılıp, tekrardan montajı yapılmıştır. Yüklemeye tekrar başlanıp eski yük değerine ulaşıldıktan bir süre sonra 6 boşluğunun üstünde ezilme sargı bölgesine geçerek, üst kirişte ki 4 boyuna donatının yükleme düzlemine dik burkulmasına neden olmuştur. Ezilme 6 deliğinin üstünde ki kirişin betonunun tamamen parçalanıp burada nerdeyse hiç beton kalmamasına, etriyelerin dahi açılmasına neden olmuştur. Her ne kadar kesme çatlaklarından bahsetsek, bu çatlaklar son derece sınırlı kalıp, herhangi bir ağır hasar oluşmamıştır. Eleman baştan sona eğilme davranışı içinde olmuştur. Etriyesiz elemana göre benzer taşıma gücüne ulaşp daha sünek bir davranış sergilemiştir.



Şekil 4.14. RCcb Yük – Deplasman grafiği



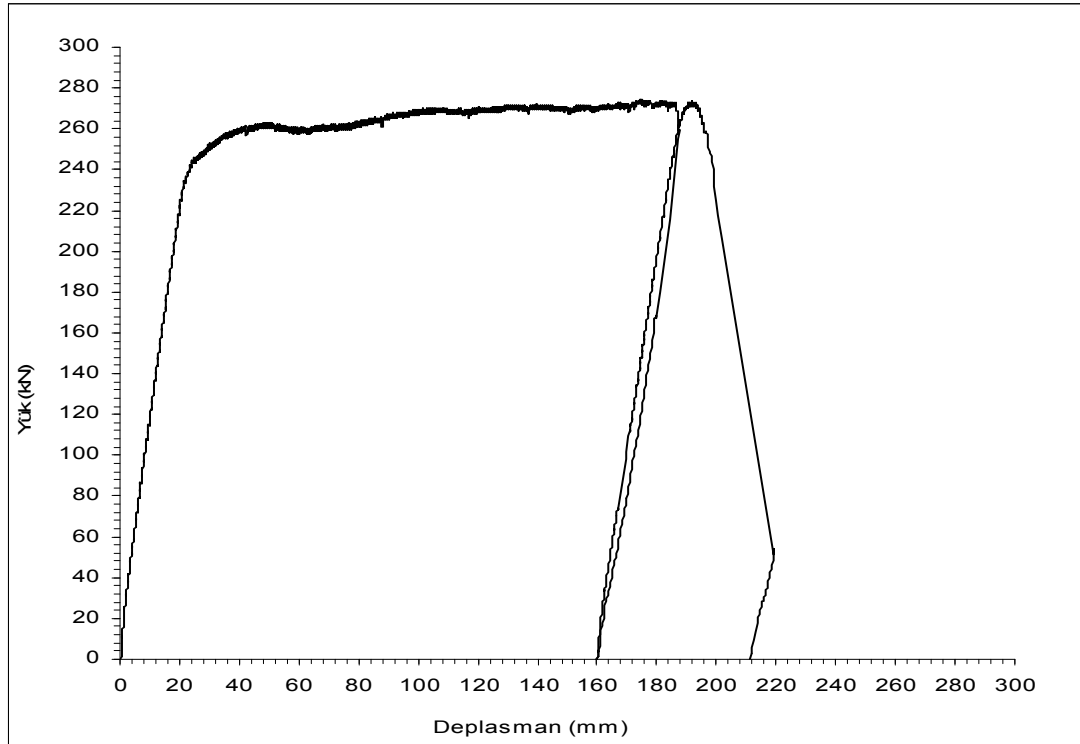
Resim 4.15. RCcb kirişı deney öncesi görüntüsü



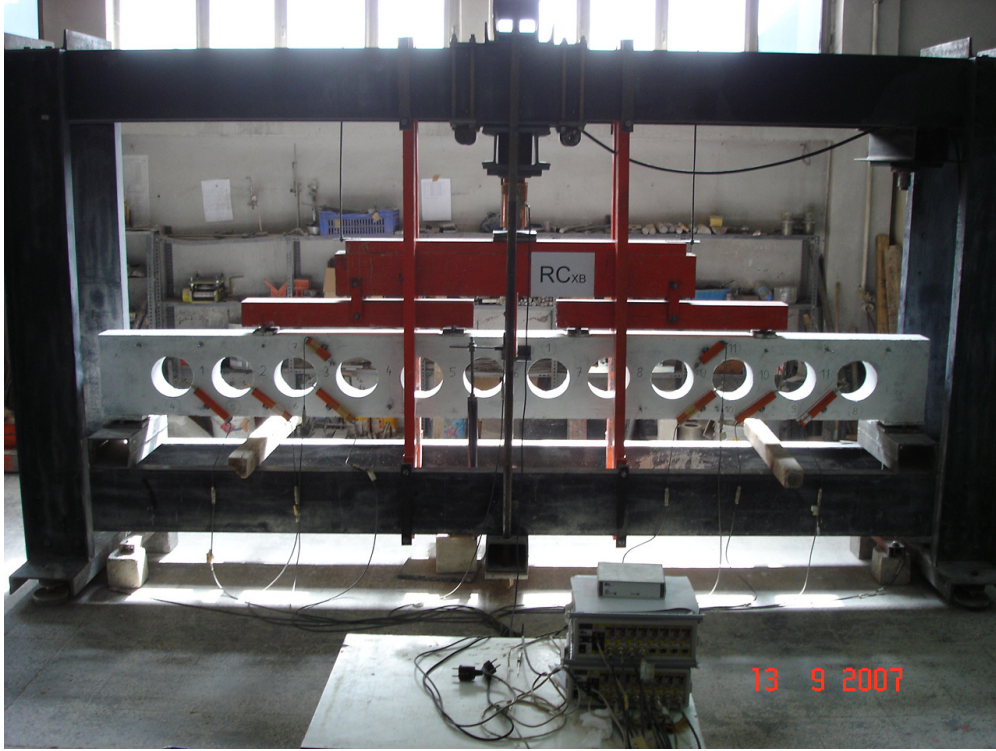
Resim 4.16. RCcb kirişı deney sonrası görüntüsü

4.5.9. RCxb: Çok ve x donatılı daire boşluklu kiriş

RCxb kirişi, çok donatılı, daire boşluklu, X donatılı fakat etriyesi bulunmayan kiriştir. Yüklemeye başlandıktan sonra görülen ilk çatlaklar 55 kN yük değerinde 1 ve 2 boşluklarının sağ üst köşelerinde gerçekleşmiştir. Diğer daire boşluklu elemanlarda ki gibi bu çatlakların devamı niteliğinde sol alt köşelerinde de benzer çatlaklar oluşmuştur. Bu esnada eğilme çatlakları da orta bölgede başlamıştır. 170 kN değerinde kirişin sağ bölümünde 11 ve 12 boşluklarında bu çatlaklar yine sağ alt köşeden sol üst köşeye gitmektedir ve 0,1 mm civarındadır. 245 kN değerinde akma gerçekleşmiştir. Bu esnada 1, 2, 3 ve 4 boşluklarının sağ köşelerinde ki çatlakların genişliği 0,4-0,5 mm civarındadır. Eğilme çatlaklarının genişliği ise 1,2 mm'dir. 260 kN yük ve 48 mm deplasman değerinde 6 ve 7 boşlukları üstünde ezilme başlamıştır ve bu ezilme paspayı ile sınırlıdır. Eleman yine eğilmeye yönelmiştir. Hasarlar



Şekil 4.15. RCxb Yük – Deplasman grafiği



Resim 4.17. RCxb kirişı deney öncesi görüntüsü



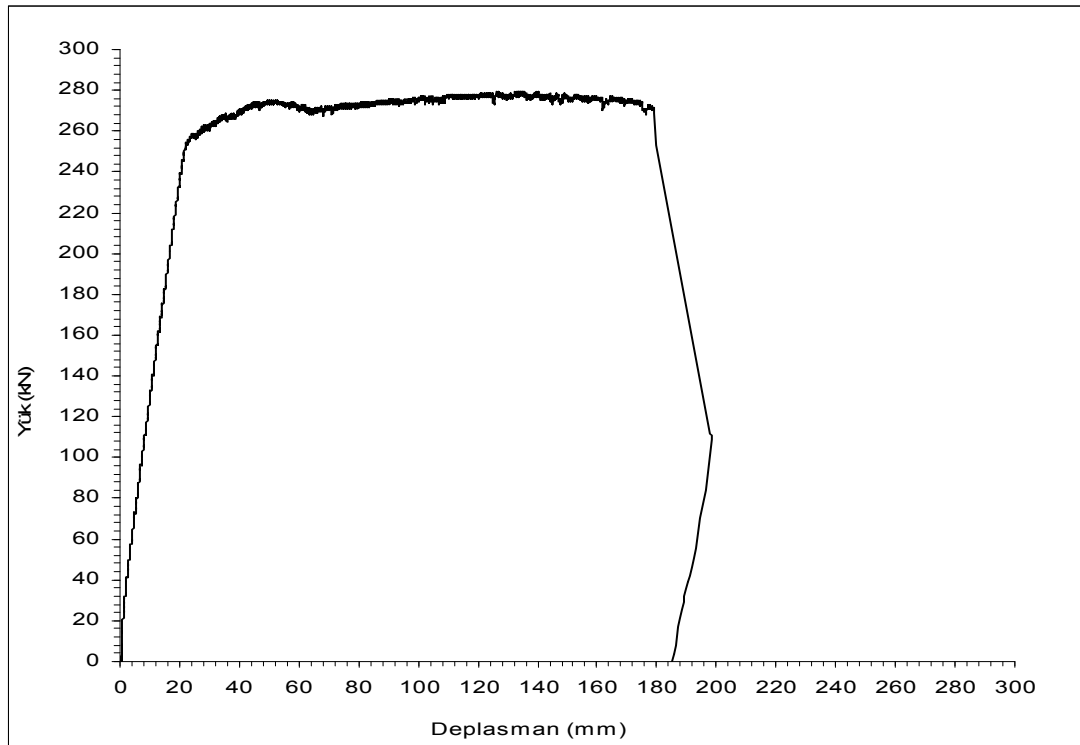
Resim 4.18. RCxb kirişı deney sonrası görüntüsü

mesnet bölgesinde sınırlı kalmıştır. 263 kN yük ve 89 mm deplasman değerine gelindiğinde 7 boşluğunun sağ alt iç kısmında betonda kabarma olmuştur. Bu bize burada ki X kablolarının çalıştığını göstermektedir. X kabloları gerilip üstünde ki beton kabuğunu patlatmıştır. Yük deplasman grafiğinde akmadan sonra yükte ki artışa X kablolarının sebep olduğu düşünülmektedir. Yüklemeye devam edildiğinde 7 deliği üstünde basınç donatılarında yükleme düzlemine dik burkulma başlamıştır. Bu esnada D1 LVDT'sinin yük okuyamayacak hale gelmesi sebebiyle yük boşaltılıp, tekrardan montajı yapılmıştır. Yüklemeye tekrar başlanıp, eski yük değerine ulaşıldığında 7 deliğinin üstünde ki 4 donatı aniden burkulmuş ve göçme gerçekleşmiştir.

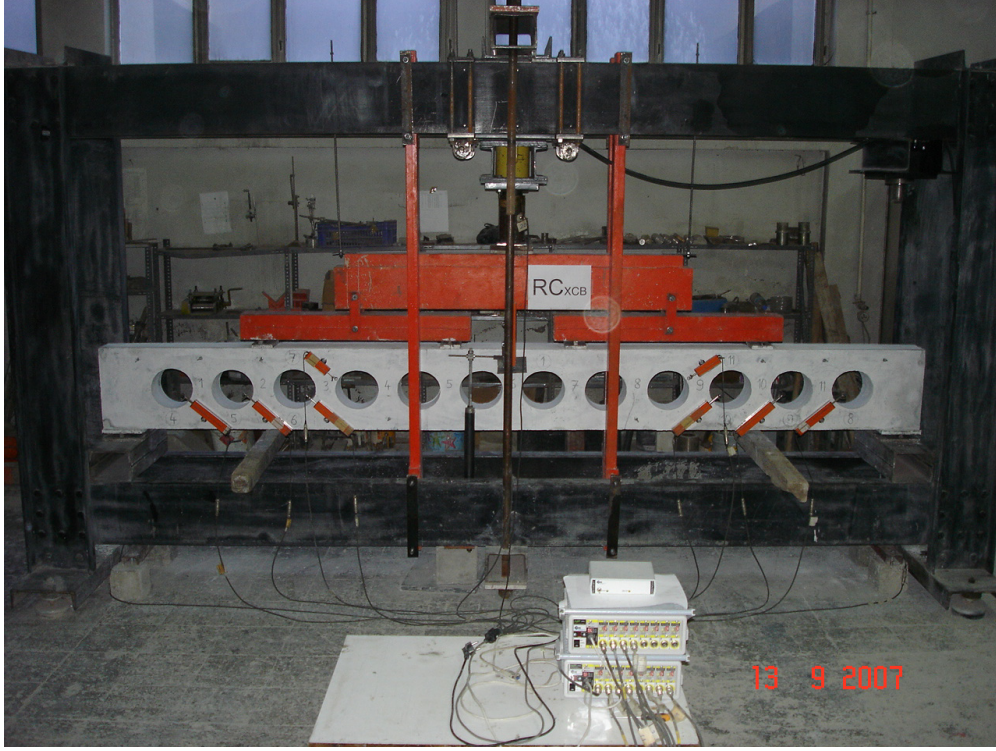
4.5.10. RCxcb: Çok ve x donatılı, etriyeli daire boşluklu kiriş

RCxcb kirişi, çok donatılı, daire boşluklu, X donatılı ve etriyeli kiriştir. İlk çatlaklar 105 kN yük değerinde orta açıklıkta görülmüştür. Bunu 1, 2 ve 3 boşluklarının sol alt köşelerinde oluşan çatlaklar izlemiştir. 130 kN yük değerinde 1, 2 boşluklarının sağ üst köşesinde ve 4, 5 boşluklarının sol alt köşesinde benzer kesme çatlakları görülmüştür. Benzer çatlaklar kirişin sağında 11 ve 12 deliklerinde de görülmüştür. 170 kN yük değerinde 1 ve 2 dikmesinde çapraz kesme çatlakları görülmüştür. 250 kN değerinde elemanda akma gerçekleşmiştir. 265 kN yük ve 24 mm deplasman değerinde açıklıktaki çatlak genişlikleri 0,8 mm'dir. 1 ve 2 dikmesinde görülen çapraz çatlaklar 11 dikmesinde de görülmüştür. Yüklemeye devam edildiğinde açıklıkta çatlak genişliği 1,4 mm'ye çıkarken dikmelerde ki çapraz çatlakların sınırlı kaldığı görülmüştür. Ama bu esnada 1 ve 2 boşluklarının üst noktasından üstlerinde ki kirişin sağ üst köşesine giden çatlaklar görülmüştür. Bunların genişliği 0,15 mm'dir. 273 kN yük ve 46 mm deplasman değerinde 6 boşluğu üstünde ezilme belirtisi görülmüştür. En büyük eğilme çatlağı 2 mm olup bu çatlaklar genelde alt kirişleri çevreleyen türde değil, 5, 6, 7 dikmelerinin içine doğru giden çatlaklardır. 6 deliğinin içinde yine betonda kabarmalar görülmeye başlanmıştır. Bunlar yine X kablolarının çalıştığını belli

etmektedir. Bu esnada 6 boşluğu altında ki kiriş ilginç bir davranış gösterip yukarı doğru hareket yapmak istemektedir. 277 kN yük ve 120 mm deplasman değerine gelindiğinde 6 boşluğu artık iyice ovalleşmiş durumdadır. Bu esnada bu delik üstünde basınç donatılarında burkulma başlamıştır. Bir süre sonra ezilme sargı bölgesine geçmiş ve bu bölgede 4 boyuna donatı burkulup sistemin göçmesine neden olmuştur.



Şekil 4.16. RCxcb Yük – Deplasman grafiği



Resim 4.19. RCxcb kirişı deney öncesi görüntüsü



Resim 4.20. RCxcb kirişı deney sonrası görüntüsü

5. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

5.1. Genel

Bu bölümde, 4. bölümde anlatılan sistem ve yöntemlerle gerçekleştirilen deneyler neticesinde elde edilen bulguların; taşıma güçlerine, kesme kuvveti altında ki davranışlarına, süneklik oranlarına ve eğilme rijitliklerine göre değerlendirilmesi yapılmıştır. Değerlendirmede proje kapsamında çeşitli parametrelere göre üretilen deney elemanları, bu parametreler çerçevesinde oluşturulan çeşitli kombinasyonlara göre karşılaştırılmış ve çizelgeler halinde sunulmuştur.

5.2. Taşıma Gücü

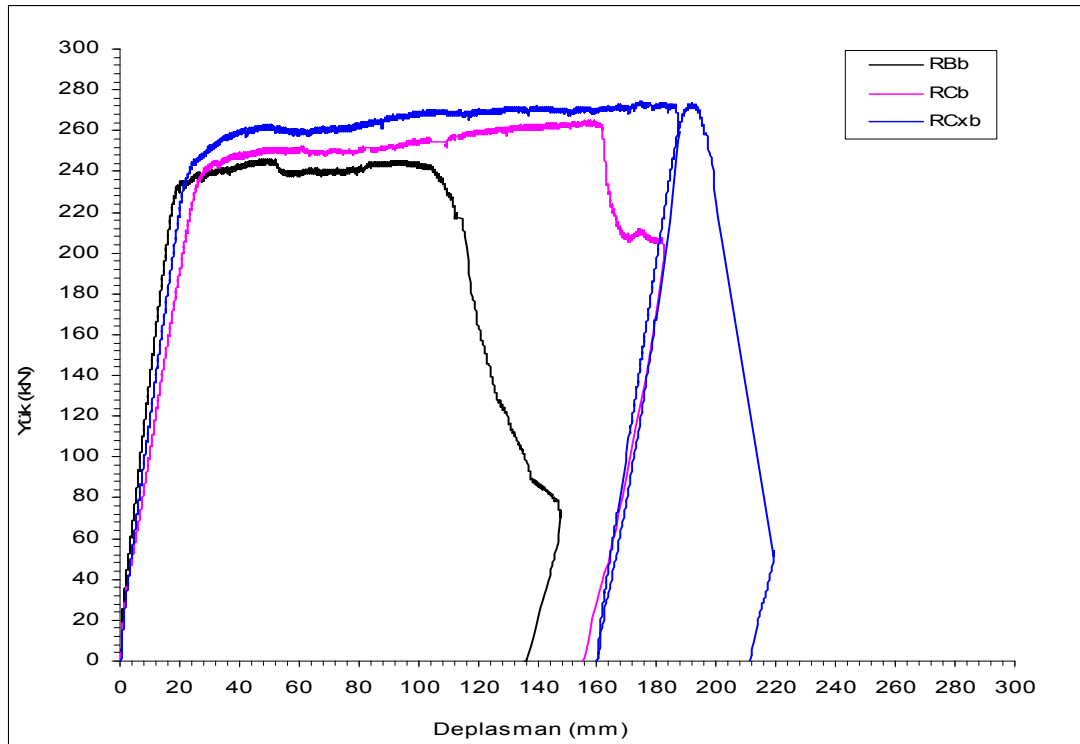
Bölüm 4.6.'da, deney kapsamında farklı parametrelerle üretilmiş deney numunelerinin, deney esnasında davranışları anlatılmış ve bu davranışları temsilen deney numunesinin taşıma gücü grafikleri de verilmiştir. Bu bölümde, bu grafikler karşılaştırılarak, değişen parametrelerin deney elemanlarının taşıma gücüne olumlu yada olumsuz etkileri incelenmiştir. Karşılaştırma 3 başlık altında incelenmiştir. Bu başlıklarda, tez kapsamında incelenen parametrelerdir. Bunlar, X-donatısının kullanımının etkisi, Etriye kullanımının etkisi ve boşluk geometrisinin davranış üzerine etkileridir.

5.2.1. X-Donatısı kullanımı

R_{Bb} – R_{Cb} – R_{Cxb} kıyaslama

Çok donatılı daire boşluklu kirişlerde X-donatısının kullanımı durumunda taşıma gücünde ki değişim Şekil 5.1.'de gösterilmiştir. Karşılaştırmada referans olması açısından çok donatılı yalın kirişte kıyaslamaya koyulmuştur. Şekil 5.1.'de de görüleceği gibi çok donatılı deney elemanlarının üçü de taşıma gücü ve rijitlik açısından birbirlerine yakın değerlere sahiptir. Ancak X-

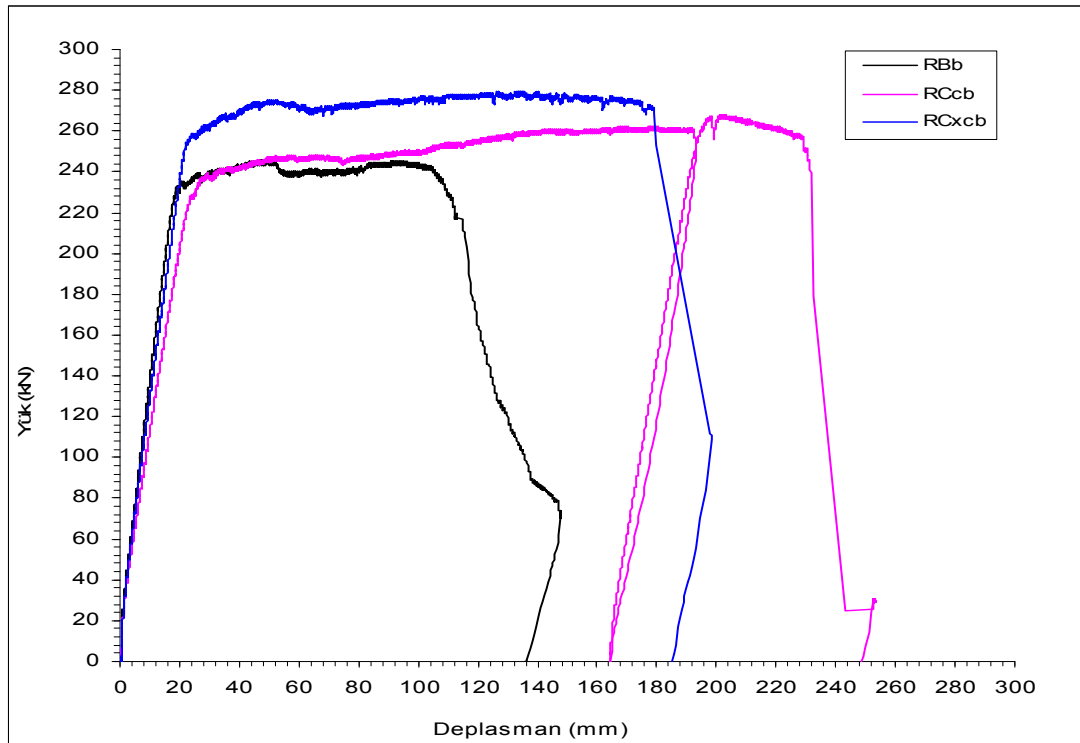
kablolarının dayanımı azda olsa arttırdığı görülmüştür. Referans eleman 240 kN, X donatısız eleman 260 kN, X donatılı eleman ise 270kN yük taşıma kapasitesine ulaşmıştır. Bu karşılaştırmada boyuna donatıların sabit tutulduğu göz önüne alınırsa, böyle bir sonuç normal karşılanabilir. Burada fark yaratan, kirişlerin davranışlarında ki süneklik farkı olmuştur. Üç elemanında yaklaşık olarak 20 mm deplasman değerindeyken aktıkları görülmüştür. Bu elemanlardan referans eleman en erken göçen eleman olarak göze çarpmaktadır. Daire boşluklu çok donatılı kirişlerimiz ise referans kirişe oranla daha sünek davranıp, 260-270 kN yük altında deplasman yapmaya devam etmişlerdir. X donatısız kirişte 160 mm civarında başlayan göçme, X donatılı kirişte 200 mm civarına çekilmiştir. Yani X donatısı daire boşluklu çok donatılı kirişlerde sünekliği yaklaşık olarak %20 oranında arttırmıştır. Ayrıca sönmölenen enerjide X donatısı olan kirişte artmıştır.



Şekil 5.1. RBb- RCb- RCxb yük – deplasman karşılaştırma grafiği

RBb – RCcb – RCxcb kıyaslama

Çok donatılı daire boşluklu, dikmelerinde etriye bulunan kirişlerde, X donatısı kullanımının taşıma gücünde yarattığı değişim Şekil 5.2.'de gösterilmiştir. Karşılaştırmada referans olması açısından çok donatılı yalın kirişte kıyaslamaya koyulmuştur. Şekil 5.2.'de de görüleceği gibi çok donatılı deney elemanlarından referans elemanı ve X donatısız eleman 230 kN değerinde akmaya başlarken, bu rakam X donatılı kirişte 250 kN olmuştur. Devam eden yükleme sonrası daire boşluklu elemanlar bir miktar daha yük alıp, X donatısız eleman 260 kN, X donatılı eleman ise 275 kN değerlerine ulaşmıştır. İlk göçmeye ulaşan yine referans elemanımız olmuştur. X-donatılı eleman diğer elemanlara göre %10'dan fazla yük taşımıştır. Etriyeli daire boşluklu elemanlarımız da etriyesiz olanların tersine X donatılarının kullanımı elemanın daha erken göçmesine, yani diğer elemana göre daha gevrek davranmasına sebep olmuştur. X-donatısız elemana göre daha az sünek



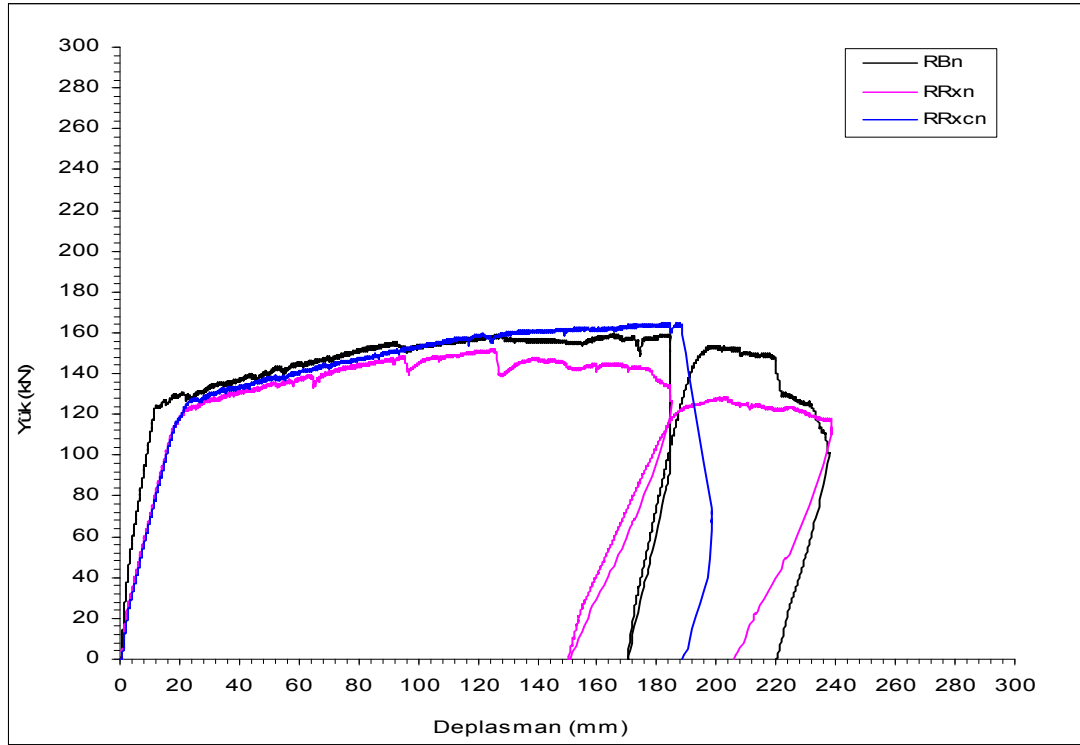
Şekil 5.2. RBb- RCcb- RCxcb yük – deplasman karşılaştırma grafiği

davranmış olan X-donatılı elemanda ki bu değişime dayanımda ki %10'luk artışın neden olduğu düşünülmektedir. Buna rağmen ulaşılan süneklik değeri referans kirişin yaklaşık iki katı olup yeterlidir.

5.2.2. Etriye kullanımı

RBn – RRxn – RRxcn kıyaslama

Normal donatılı, kare boşluklu, X donatısı bulunan kirişlerde, dikmelerde etriye kullanımının taşıma gücünde yarattığı değişim Şekil 5.3.'te gösterilmiştir. Karşılaştırmada referans olması açısından normal donatılı yalın kirişte kıyaslamaya koyulmuştur. Şekil 5.3.'te de görüldüğü gibi referans eleman boşluklu elemanlara göre daha rijit davranmıştır. Referans eleman boşluklu kirişlere nazaran benzer yük değerinde fakat daha düşük bir deplasman değerinde akmaya başlamıştır. Üç elemanda yaklaşık olarak 125 kN yük değerinde akmaya başlamıştır. Üç elemanda akmadan sonra devam eden yükleme esnasında yük almaya devam etmişlerdir fakat 120 mm deplasman değerine geldiklerinde, etriyesiz elemanda yavaş yavaş yük düşmeye başlamıştır. İlk göçme etriyeli elemanda olmuştur. Etriye eleman etriyesiz elemana göre daha fazla taşıma gücüne sahip olmasına karşın, daha gevrek davranmıştır. Etriye eleman en yüksek 165 kN yük değerini görmüşken bu değer etriyesiz elemanda 150 kN'dir. Referans elemanda 160 kN değerine etriye elemanın göçtüğü 190 mm deplasman değerinde ulaşmıştır ama onun da etriyesiz eleman gibi bu andan sonra yük değerleri düşmeye başlamıştır. Referans eleman bu kıyaslamada en ideal eleman görüntüsü çizmiştir. Etriye eleman kadar taşıma gücü, etriyesiz eleman kadar süneklik göstermiştir. Doğal olarak ta en fazla enerjiyi referans eleman sönmüştür. Yinede bu üç eleman arasında ki farklar çok abartılı değildir.

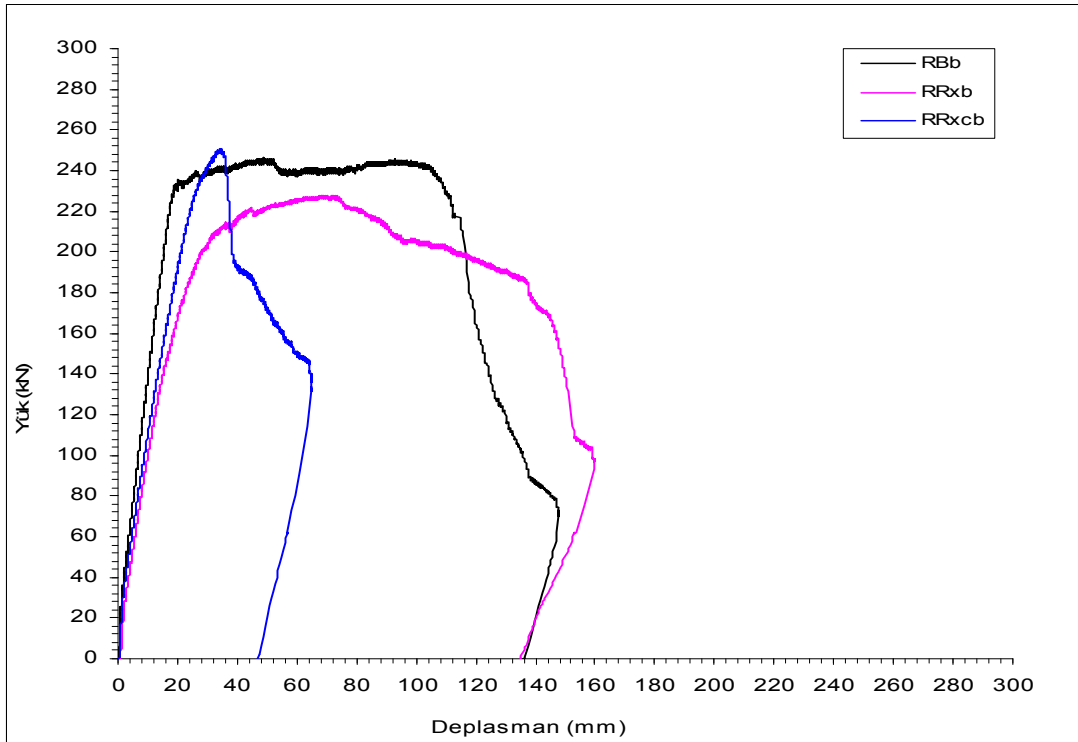


Şekil 5.3. RBn- RRxn- RRxcn yük – deplasman karşılaştırma grafiği

RBb – RRxb – RRxcb kıyaslama

Çok donatılı, kare boşluklu, X donatısı bulunan kirişlerde, dikmelerde etriye kullanımının taşıma gücünde yarattığı değişim Şekil 5.4.'te gösterilmiştir. Karşılaştırmada referans olması açısından çok donatılı yalın kiriş te kıyaslamaya koyulmuştur. Şekil 5.4.'te de görüldüğü gibi referans eleman boşluklu elemanlara göre daha rijit davranmıştır. Etriye kullanımı rijitliği olumlu yönde etkilemiştir. Sırayla referans, etriyesiz ve etriyeli elemanlar akmıştır. Referans eleman 230 kN yük, 17,5 mm deplasman değerinde akmaya başlarken, bu değere etriyeli elemanda bu 250 kN yük ve 33 mm'dir. Etriyesiz elemanda ise akma 202 kN yük, 22 mm deplasmanda başlayıp süresi biraz daha uzun sürmüştür. Yükleme devam edildiğinde, etriyeli eleman hiçbir süneklik göstermeyip çekme donatıları aktıktan sonra bir anda gevrek bir şekilde göçmüştür. Etriyesiz elemanda ise bir süre daha yük aldıktan sonra, yavaş yavaş aldığı yük düşmeye başlamıştır ve 135 mm

deplasman değeriinde oluşan ani yük düşmesinden de görüleceği gibi göçme oluşmuştur. Etriyesiz eleman etriyeli eleman kadar taşıma gücüne sahip olamamıştır. Yükleme boyunca ulaştığı en yüksek yük değeri 225 kN olmuştur. Ama kesinlikle daha sünek bir davranış göstermiş ve daha fazla enerji sönümlenmiştir. Bunun nedeni etriyeli elemanın hedeflenen dayanıma ulaşması ve etriyesiz elemana göre daha gevrek davranmasıdır. Etriyesiz eleman hedeflenen dayanıma ulaşamadığı için kısmen daha sünek davranmıştır. Bu kıyaslamada aslında referans elemanın iki boşluklu eleman arasında bir davranış gösterdiği görülmektedir. Taşıma gücü açısından etriyesiz elemandan daha fazla yük taşımış, süneklik açısından da etriyeli elemana göre daha sünek davranmıştır. Etriyesiz eleman kadar sünek olmamasına rağmen, yaklaşık olarak onun kadar enerji sönümlenmiştir.

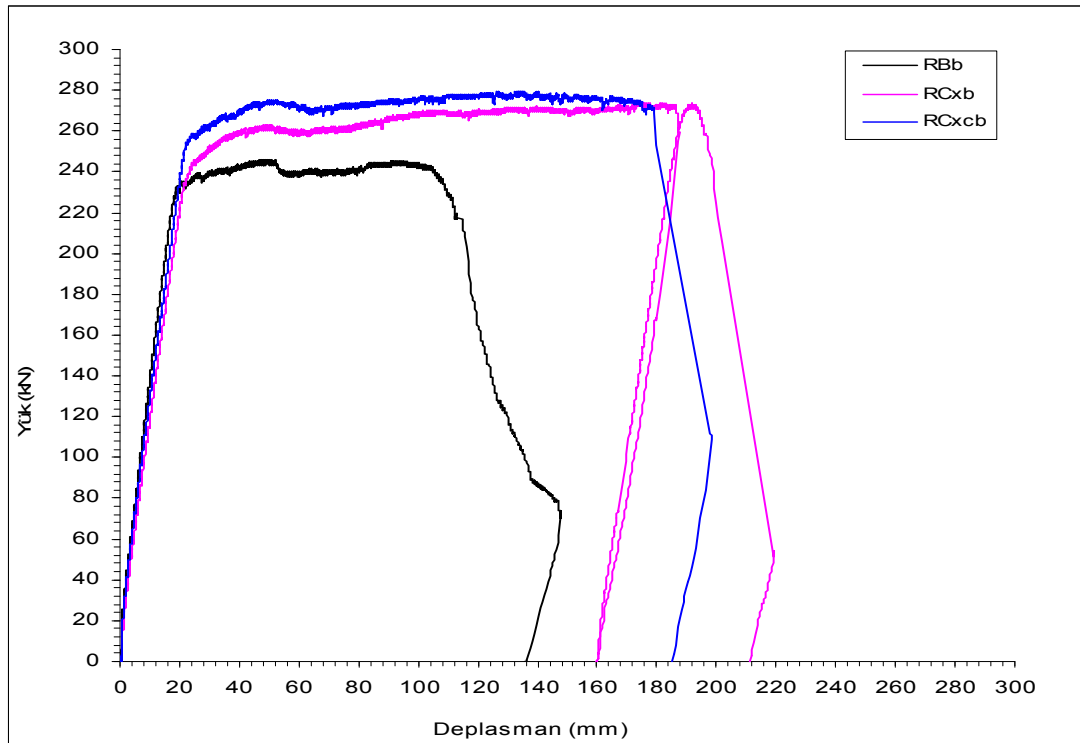


Şekil 5.4. RBb- RRxb- RRxcb yük – deplasman karşılaştırma grafiği

başlamıştır. Yani etriye kullanımı elemanın sünekliğini %40 tan fazla bir oranda arttırmıştır. Referans elemanımız daha rijit davranış göstermiştir fakat ne taşıma gücü ne de süneklik açısından boşluklu elemanlara yetişememiştir. 245 kN yük değerine ulaşan referans elemanda 110 mm deplasman değerinde yükte düşmeler başlayıp göçme gerçekleşmiştir.

RBb – RCxb – RCxcb kıyaslama

Çok donatılı, daire boşluklu, X donatısı bulunan kirişlerde, dikmelerde etriye kullanımının taşıma gücünde yarattığı değişim Şekil 5.6.'da gösterilmiştir. Karşılaştırmada referans olması açısından çok donatılı yalın kirişte kıyaslamaya koyulmuştur. Şekil 5.6.'da de görüldüğü gibi X donatılı boşluklu kirişler referans eleman kadar rijit davranmıştır. Ama taşıma güçlerinde ki farklılık, akmanın olduğu yük ve deplasman değerlerinin farklı olmasına sebep olmuştur. Sırayla referans, etriyeli ve etriyesiz elemanlar akmıştır.



Şekil 5.6. RBb- RCxb- RCxcb yük – deplasman karşılaştırma grafiği

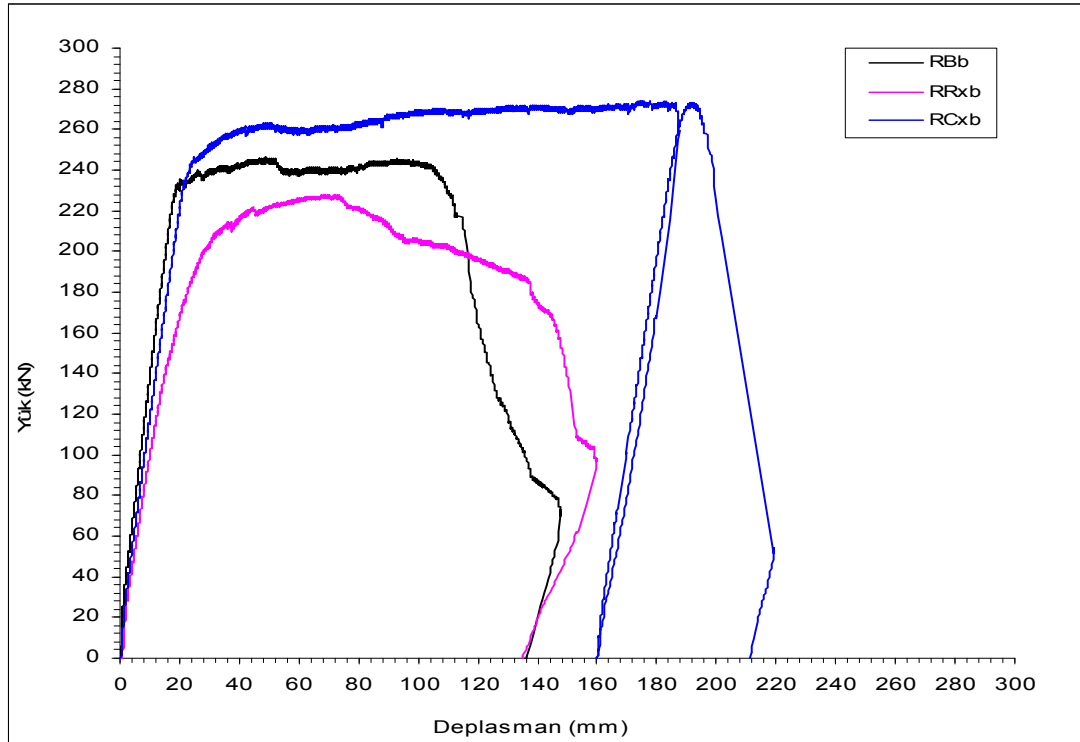
Yinede akma deplasmanları arasındaki deplasman farkları 5 mm gibi ihmal edilebilecek bir düzeydedir. Ama akma esnasında ki yükler referans elemanda 230 kN, etriyesiz elemanda 240 kN, etriyeli elemanda 250 kN civarındadır. Devam eden yükleme sonucu iki boşluklu elemanda bir miktar daha yük almaya devam etmişlerdir. İki boşluklu elemanda yaklaşık olarak 270 kN yük değerlerine ulaşmıştır. Etriyenin taşıma gücünü az miktarda arttırdığı görülse de, gerek süneklik gerek enerji sönümlleme açısından etriyesiz elemanın az oranda da olsa gerisinde kalmıştır. Referans elemanımız yine taşıma gücü ve süneklik açısından boşluklu elemanlara ulaşamamıştır. 245 kN yük değerine ulaşan referans elemanda 110 mm deplasman değerinde yükte düşmeler başlayıp göçme gerçekleşmiştir.

5.2.3. Boşluk geometrisi

Rb – RRxb – RCxb kıyaslama

Çok donatılı, X donatısı bulunan fakat etriyesi bulunmayan kirişlerde, boşluk geometrisinin taşıma gücünde yarattığı değişim Şekil 5.7.'de gösterilmiştir. Karşılaştırmada referans olması açısından çok donatılı yalın kiriş te kıyaslamaya koyulmuştur. Şekil 5.7.'de de görüleceği gibi daire boşluklu eleman ve referans eleman, kare boşluklu elemana göre daha rijit bir davranış göstermişlerdir. Üç elemanda yakın aralıklarla akmalarına karşın, aktıkları yük değerleri arasında farklar vardır. Daire boşluklu eleman 240 kN, referans eleman 230 kN, kare boşluklu eleman ise 200 kN yaklaşık değerlerinde akmaya başlamışlardır. Kare boşluklu elemanın akma süreci diğer iki elemana göre daha uzun sürmüştür. Yüklemeye devam edildiğinde daire boşluklu kiriş 270 kN, referans kiriş 245 kN yük değerlerine ulaşırken, kare boşluklu kirişte 225 kN değerine ulaşıldığında yükte düşmeler başlamıştır. İlk göçme referans elemanda olmuştur. Daha sonra kare boşluklu eleman göçmüştür. Kare boşluklu eleman referans elemana göre daha sünek bir davranış göstermiş olsa da, onun taşıma gücüne ulaşamamış ve bu iki elemanda yaklaşık olarak aynı miktarda enerji sönümlenmiştir. Bu

kıyaslamada daire boşluklu eleman kare boşluklu elemana göre dayanım, süneklik, enerji tüketimi açısından büyük fark yaratmıştır. Sadece boşluk geometrisinde ki değişim davranışta büyük farklılıklar yaratmıştır. Daire boşluklu eleman, kare boşluklu elemana göre kesinlikle tercih sebebi olduğunu bu karşılaştırmada göstermiştir.

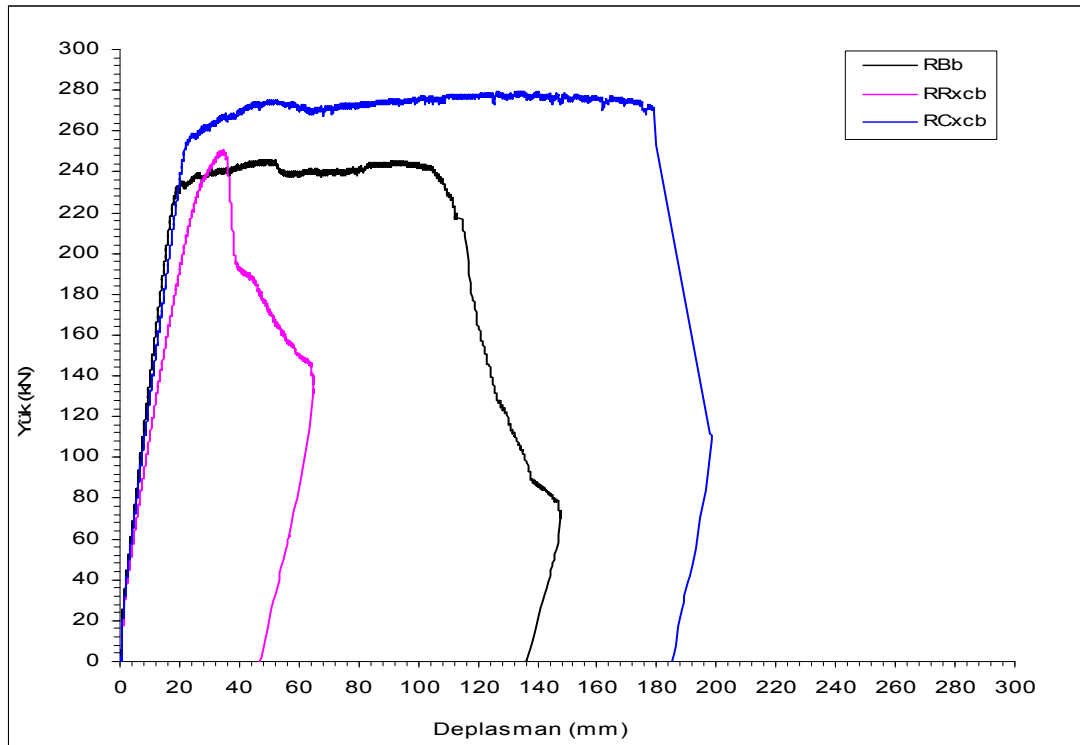


Şekil 5.7. RBb- RRxb- RCxb yük – deplasman karşılaştırma grafiği

RBb – RRxcb – RCxcb kıyaslama

Çok donatılı, X donatısı ve etriyesi bulunan kirişlerde, boşluk geometrisinin taşıma gücünde yarattığı değişim Şekil 5.7.'de gösterilmiştir. Karşılaştırmada referans olması açısından çok donatılı yalın kirişte kıyaslamaya koyulmuştur. Şekil 5.7.'de de görüleceği gibi daire boşluklu eleman ve referans eleman, kare boşluklu elemana göre daha rijit bir davranış göstermişlerdir. Daire boşluklu eleman ve referans eleman yakın aralıklarla akmalara karşın, aktıkları yük değerleri arasında ki fark 20 kN'dır. Kare boşluklu eleman bu iki

elemandan sonra akmıştır ve akmasıyla birlikte ani bir şekilde gevrek göçmeye uğramıştır. Kare boşluklu eleman taşıma gücü açısından da daire boşluklu elemana da yaklaşamamıştır. Diğer iki elemanda yüklemeye devam edildiğinde yükte ilk düşmeler referans elemanda 105 mm’de görülmüştür ve eleman göçmüştür. Daire boşluklu eleman referans elemandan da daha sünek davranmıştır. Ayrıca taşıma gücü açısından da daire boşluklu eleman referans ve kare boşluklu elemana göre daha iyi sonuç vermiştir. 275 kN yüke kadar çıkan daire elemana karşın referans eleman ancak 245 kN değerini görebilmiştir. Bu durumda daire boşluklu elemanın sönümlendiği enerji de referans elemana göre daha fazla olmuştur Bu kıyaslama bize çok açık bir şekilde bir önceki kıyaslamada ki gibi daire boşluklu elemanın kare boşluklu elemana göre her açıdan daha iyi davrandığını göstermektedir. RCxcb elemanın RRxcb elemanı ile aynı donatılara sahip olmasına karşın yüksek dayanımı ve aşırı sünek davranışı boşluk geometrisinin bu elemanda ne kadar önemli bir parametre olduğunu göstermiştir.



Şekil 5.8. RBb- RRxcb- RCxcb yük – deplasman karşılaştırma grafiği

5.3.Kayma Deformasyonlarının Hesabı ve Dağılımı

Ölçüm düzeni bölümünde boşlukların bir alt köşesi ile öteki üst köşesi doğrultusunda üst ve alt kirişin düşey doğrultuda tam orta eksenlerine denk gelen noktalar arasında deplasman farkı okuyan 8 adet LVDT'den bahsetmiştik. Eleman yüklemeye başladıktan sonra deplasman yapmaya başladığında LVDT'ler bağlandıkları iki noktanın yaptığı deplasman farkına göre okuma yapar. Bu okuma değerine “ δ_l ” dersek;

$$\delta_l = \delta_f - \delta_i \quad (5.1)$$

Burada δ_l değeri iki nokta arası mesafe olan 424,26 mm değerine karşı gelmektedir. Bu değer Eş. 5.1'de yerine koyulup, δ_f değeri bu denklemden çekilirse;

$$\delta_f = 424,26 + \delta_l \quad (5.2)$$

Şekil 5.9.'da da görüleceği gibi üçgende pisagor teoremi kullanılarak şu bağıntı elde edilebilir;

$$\delta_s + 300 = \sqrt{\delta_f^2 - 300^2} \quad (5.3)$$

Buradan δ_s değerini çekersek;

$$\delta_s = \sqrt{\delta_f^2 - 300^2} - 300 \quad (5.4)$$

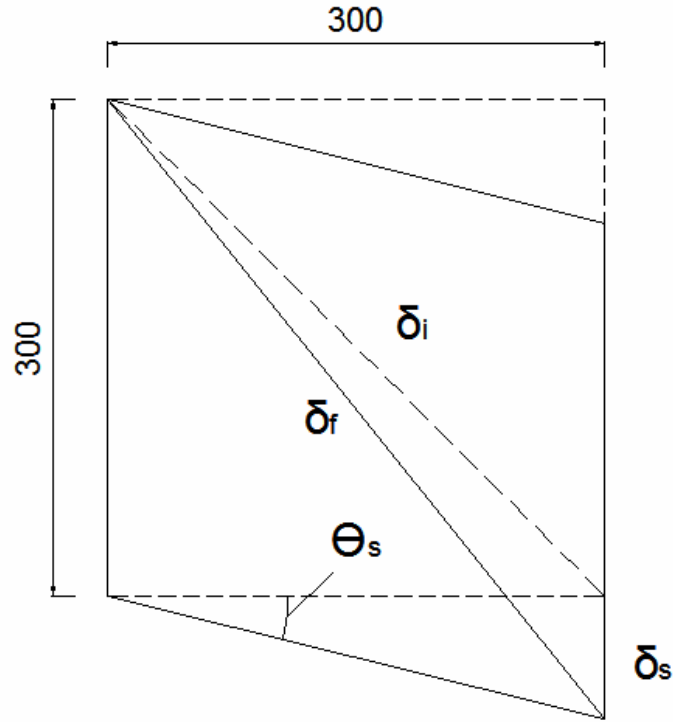
Yine Şekil 5.9.'da görebileceğimiz gibi θ_s , kesme kuvveti sebebiyle oluşan kayma açısı, bir dik kenarı δ_s , diğer dik kenarı 300 mm olan üçgende;

$$\theta_s = \frac{\delta_s}{300} \quad (5.5)$$

Şeklinde elde edilmektedir. 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

Elde edilen boşluk bölgelerinde ki kayma açıları ve bu boşlukların bulundukları bölge üzerlerine etkiyen kesme kuvvetine göre her elemanın 8 boşluğu için kesme kuvveti-kayma açısı grafikleri çizilmiştir (EK-6). Dört noktadan yüklenen deney elemanımızda, soldan ve sağdan ilk iki delik uygulanan yük değerinin yarısı oranında kesme kuvvetine maruz kalırken bu deliklerin yanlarında ki ikişer delik ise uygulanan yükün 1/4'ü oranında kesme kuvvetine maruz kalmıştır. Her elemanın soldan ve sağdan 4'er boşluğu için çizilen bu grafikler, elemanın göçme sistemi ile ilgili bize bilgi vermektedir. Bu grafiklerde belirtilen boşluk numaraları soldan sağa doğru boşluklara 1'den 12'ye kadar verilen numaralardır. Boşluksuz elemanların anlatımında kullanılan boşluk sözcüğü, boşluklu elemanlarda bulunan boşlukların boşluksuz elemanlarda geldiği yerleri temsil etmektedir. Deney esnasında özellikle 9 numaralı boşluğun LVDT'sinin nedeni bilinmeyen bir sebepten hatalı sonuçlar ortaya çıkarması gibi sorunlarla karşılaşmıştır. Bu sebeple anlatımlarda deney fotoğrafları ve deney anlatımlarından da yararlanılmıştır.



Şekil 5.9. Kesme kuvveti altında boşluk davranışı

5.3.1. RBn kirişi

EK-6'da RBn kirişinin kesme kuvveti – kayma açısı grafikleri verilmiştir (Bkz. EK-6, Şekil 6.1-2). Bu şekillere baktığımızda kayma açılarının diğer elemanlara göre çok sınırlı kaldığı ve özellikle mesnet bölgelerinin kesme kuvvetinden nerdeyse hiç etkilenmedikleri görülmektedir. Boşluksuz yapısı nedeniyle son derece rijit olan eleman, sadece hareketli mesneden bulunduğu sağ uçta 12 numaralı delik bir miktar kesme kuvvetinden etkilenmiştir. Grafiklerde ortaya en yakın delikler olan 4 ve 9 deliklerinde en büyük deplasman değerleri görülmüştür. Bu da bu elemanın eğilmeden göçtüğünün göstergesidir. 4 deliğinde ki deplasmanın daha fazla olması eğilmeden göçmenin eleman ekseninin bir miktar solunda ezilme ile oluştuğunu göstermektedir.

5.3.2. RBb kirişi

EK-6'da RBb kirişinin kesme kuvveti – kayma açısı grafikleri verilmiştir (Bkz. EK-6, Şekil 6.3-4). Bu elemanda yine son derece rijit olması sebebiyle RBn elemanı gibi kesme kuvvetinden fazla etkilenmemiştir. Mesnet bölgelerinde ki kayma açıları diğer elemanlara göre çok sınırlı kalmıştır (Bkz. EK-6, Şekil 6.3-4). 9 numaralı boşluğun LVDT'si şekilde de görüleceği gibi hatalı sonuçlar vermiştir. Elemanın göçme resimlerine bakıldığında, elemanın eğilme nedeniyle göçtüğü ve eğilmenin orta eksenin sağında üst bölgede betonun ezilip donatıların burkulmasıyla oluştuğu düşünülürse, 4 numaralı delikte görülen bir miktar kayma deformasyonunda ki artışın, 9 numaralı deliğin grafiğinde daha belirgin olacağı düşünülebilir.

5.3.3 RRxn kirişi

EK-6'da RRxn kirişinin kesme kuvveti – kayma açısı grafikleri verilmiştir (Bkz. EK-6, Şekil 6.5-6). Etriyesiz elemanda yüklemenin başlamasıyla birlikte dikmelerde çatlaklar görülmeye başlamıştır. Bu durum şekillerde belirgin bir şekilde kayma açılarının görülmesinin sebebidir. Bu şekillerde dikkat çeken diğer bir husus ise göçmenin oluşma yeridir. EK-6, Şekil 6.5'te elemanda göçmenin belirgin bir şekilde 3 boşluğunda oluştuğunu göstermektedir. Fakat deney resimlerine bakıldığında göçmenin 1 deliği üstünde basınç donatılarının burkulmasıyla oluştuğu görülmektedir. Olanla deney sonuçlarında bir çelişki gözükmemektedir. Buna ölçüm sistemindeki bir yanlışlığın (1 ve 3 numaralı deliklerde ki LVDT'lerin kablolarının ters takılması gibi) neden olduğu tahmin edilmektedir.

5.3.4 RRxcn kirişi

EK-6'da RRxcn kirişinin kesme kuvveti – kayma açısı grafikleri verilmiştir (Bkz. EK-6, Şekil 6.7-8). Bir önceki etriyesiz elemanın aksine şekillerde görüldüğü gibi büyük kayma deformasyonları oluşmamıştır. En büyük kayma

deformasyonları orta bölgelere yakın LVDT'lerde görülmüştür. Bu da elemanın eğilmeden dolayı göçtüğünün bir göstergesidir. Şekillerde görüldüğü gibi 4 boşluğunda en büyük kayma açısı oluşmuştur. 9 boşluğu LVDT'si oluşan hata nedeniyle sağlıklı sonuç vermemiştir. Deney resimlerine bakıldığında, elemanın orta ekseninin hafif sağında üst bölgede basınç donatısının burkulmasından göçtüğü görülmektedir. Bu sebeple 9 boşluğu LVDT'si okumasının 4'e oranla bir miktar daha büyük olduğu tahmin edilebilir.

5.3.5 RRxb kirişi

EK-6'da RRxb kirişinin kesme kuvveti – kayma açısı grafikleri verilmiştir (Bkz. EK-6, Şekil 6.9-10). Şekillerde de görüleceği gibi eleman özellikle orta ekseninin solunda büyük kayma deformasyonları yapmıştır. Bu da zaten deney resimlerine bakıldığında, sol bölgede ki dikmelerin betonlarının paramparça olmasından da belli olan bir durumdur. Şekillerde sol bölgede ki 3, 4 boşluklarında ki kayma deformasyonları, mesnede yakın 1, 2 boşluklarına oranla daha fazladır. Bunun göstergesi zaten elemanın 9 boşluğunun üst kirişinde donatıların burkulması sonucu göçmüş olmasıdır.

5.3.6 RRxcb kirişi

EK-6'da RRxcb kirişinin kesme kuvveti – kayma açısı grafikleri verilmiştir (Bkz. EK-6, Şekil 6.11-12). Bu şekillere baktığımızda elemanın 2 numaralı deliği haricinde kayma deformasyonlarının sınırlı kaldığını görebiliriz. Eleman 4.Bölüm'de anlatıldığı gibi son derece gevrek bir davranış sergilemiştir ve akmaya ulaştıktan sonra 2 deliğinin üstünde basınç donatılarının düşey düzlemde burkulmasıyla göçmüştür. Zaten EK-6, Şekil 6.11'de 2 deliğinde çok belli bir şekilde bu durum görülebilmektedir. Fakat bu erken göçme nedeniyle diğer boşlukların kayma açılarının diğer elemanlarda ki boşluklarla kıyaslanması yanlış olur.

5.3.7 RCb kirişi

EK-6'da RCb kirişinin kesme kuvveti – kayma açısı grafikleri verilmiştir (Bkz. EK-6, şekil 6.13-14). Bu şekillerde kayma deformasyonlarının son derece sınırlı kaldığı görölmektedir. 9 boşluğu LVDT'si yine hatalı sonuçlar vermiştir. Bunun haricinde 1 boşluğu hariç en büyük kayma deformasyonları 4 boşluğunda görölmüştür. Göçmenin 1 boşluğunda olduğu zaten şekilde ki büyük kayma deformasyonundan bellidir. Bunun haricinde en büyük kayma deformasyonunun ortaya yakın delikte olması, elemanın yüklemenin büyük bölümünde eğilme davranışı gösterip, bir anda 1 boşluğunda kesme etkisiyle göçmenin oluştuğunu göstermektedir.

5.3.8 RCcb kirişi

EK-6'da RCcb kirişinin kesme kuvveti – kayma açısı grafikleri verilmiştir (Bkz. EK-6, şekil 6.15-16). Bu şekillerde kayma deformasyonlarının son derece sınırlı kaldığı görölmektedir. Buda elemanın eğilme davranışında olduğunun bir göstergesidir. 9 boşluğu LVDT'si yine hatalı sonuçlar vermiştir. Bunun dışında en büyük kayma deformasyonu 4 boşluğunda elde edilmiştir. Zaten deney resimlerine bakıldığında da göçmenin orta eksenin solunda ki üst kirişte oluştuğu görölmektedir.

5.3.9 RCxb kirişi

EK-6'da RCxb kirişinin kesme kuvveti – kayma açısı grafikleri verilmiştir (Bkz. EK-6, şekil 6.17-18). Bu şekillerde kayma deformasyonlarının son derece sınırlı kaldığı görölmektedir. Buda elemanın eğilme davranışında olduğunun bir göstergesidir. Mesnet bölgelerinden ortaya doğru gidildikçe kayma deformasyonlarında artış görölmüştür. En büyük kayma deformasyonu 4 ve 9 boşluklarında elde edilmiştir. 9 boşluğunun kayma deformasyonu 4 boşluğuna oranla daha fazladır. Zaten deney resimlerine bakıldığında da göçmenin orta eksenin sağında ki üst kirişte oluştuğu görölmektedir.

5.3.10 RCxcb kirişı

EK-6'da RCxcb kirişinin kesme kuvveti – kayma açısı grafikleri verilmiştir (Bkz. EK-6, Şekil 6.19-20). Bu şekillerde kayma deformasyonlarının son derece sınırlı kaldığı görülmektedir. Buda elemanın eğilme davranışında olduğunun bir göstergesidir. Orta eksenin solunda 3, 4 ve sağında 9 boşluklarında en büyük deplasmanlar görülmüştür. Deney elemanı orta eksenin solundan eğilme davranışıyla göçmüştür.

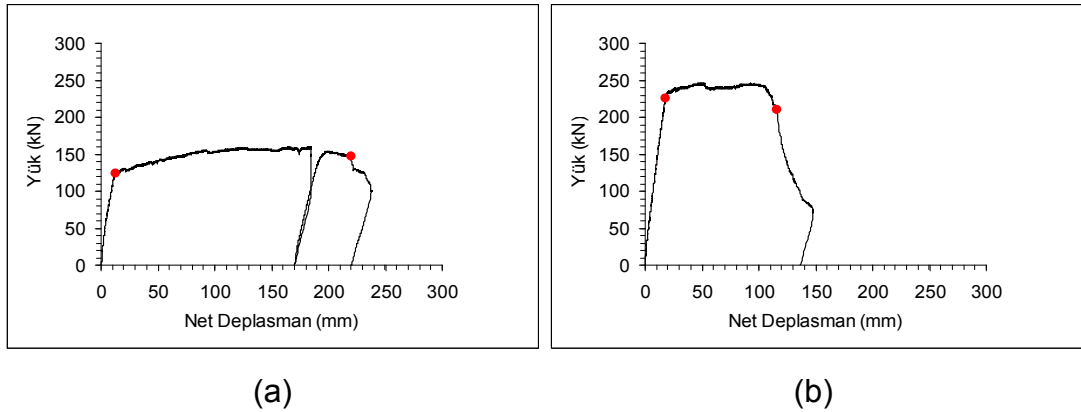
5.4. Süneklik

Süneklik, dayanımda önemli bir kayıp olmaksızın deformasyon yapabilme yeteneğidir. Bu deneysel çalışmada da hedeflenen, boşluklu elemanların boşluksuz kirişler kadar dayanım göstermesi yanında, bu dayanımı uzun bir süre koruyabilmesidir. Süneklik oranı ulaşılan dayanımın ne kadar korunduğunun iyi bir göstergesidir. Süneklik oranı elemanın ulaştığı en yüksek yük değerinin %85'ine denk gelen deplasman değerinin (δ_u), akma anında ki deplasman değerine (δ_y) bölünmesiyle elde edilir. En yüksek yük değerinde %15'lik bir yük kaybı, elemanın zaten yavaş yavaş göçmek üzere olduğunun bir göstergesi alınıp, bu andan sonra elemanın yaptığı deplasman süneklik açısından bir anlam ifade etmemektedir. Eğer elemanda bu değerinden önce yükte ani bir düşme görülürse, yükte ani düşmenin olduğu pik değer hesaba katılmıştır. Şekil 5.10-14'te elemanların süneklik oranlarının hesabında kullanılan deplasman değerleri gösterilmiştir. Ayrıca Çizelge 5.1.'de elemanların süneklik oranları ve P_u , P_y , δ_u ve δ_y değerleri verilmiştir. Elemanlarda akmanın, oluşabilecek bir çatlak nedeniyle daha önceden oluşabilecek olması, süneklik oranın bizi yanıltmasına sebep olabilmektedir. Bu yüzden elemanların sünekliklerinin karşılaştırılmasında, süneklik oranları haricinde %15 dayanım kaybına karşılık gelen δ_u değerleri de göz önüne alınmıştır. Ayrıca elemanların sünekliklerinin birbirleriyle karşılaştırılmaları açısından da en düşük sünekliğe sahip RRxb kirişinin sünekliği "1" kabul edilip diğer elemanların süneklikleri de bu elemana göre göreceli süneklik

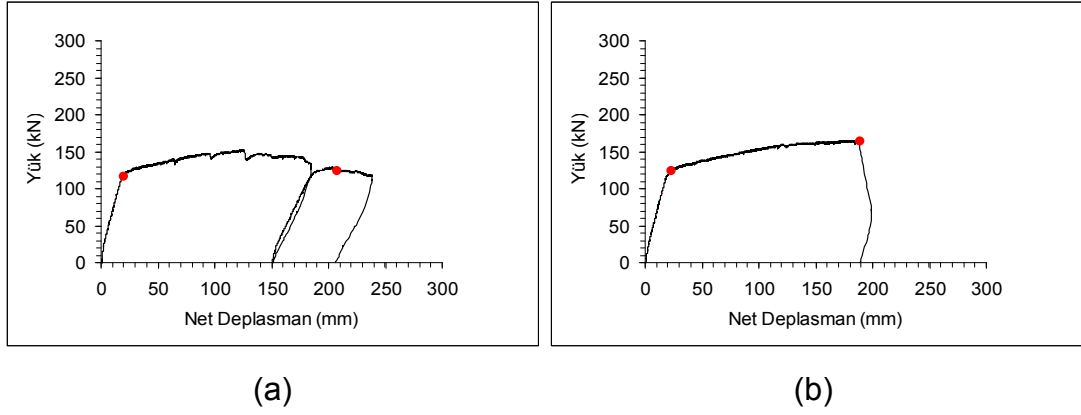
oranı olarak yine Çizelge 5.1.'de gösterilmiştir. RRxcb elemanı ise akma değerine ulaştıktan sonra gevrek bir şekilde kırıldığı için sadece sadece süneklik değeri “1” olarak verilip, göreceli süneklik karşılaştırmasına katılmamıştır.

Çizelge 5.1. Süneklik oranları

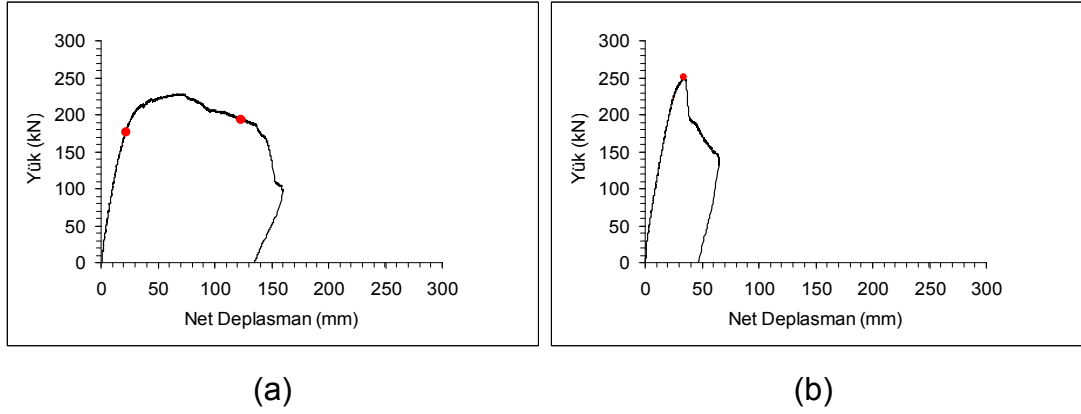
	P_y (mm)	P_u (mm)	δ_y (mm)	δ_u (mm)	Süneklik Oranı (δ_u / δ_y)	Göreceli Süneklik
RBn	124,5	148,1	12,3	219,5	17,8	3,2
RBb	225,9	210,7	18,0	115,4	6,4	1,1
RRxn	116,2	$\geq 124,4$	19,4	$\geq 207,6$	$\geq 10,7$	$\geq 1,9$
RRxcn	124,6	164,0	22,5	188,3	8,4	1,5
RRxb	176,3	193,4	22,0	123,7	5,6	1,0
RRxcb	250,0	33,0	250,0	33,0	1,0	-
RCb	235,2	263,8	26,3	160,9	6,1	1,1
RCcb	228,0	257,4	24,1	228,9	9,5	1,7
RCxb	245,0	273,5	24,7	191,7	7,8	1,4
RCxcb	252,8	270,7	22,1	179,0	8,1	1,4



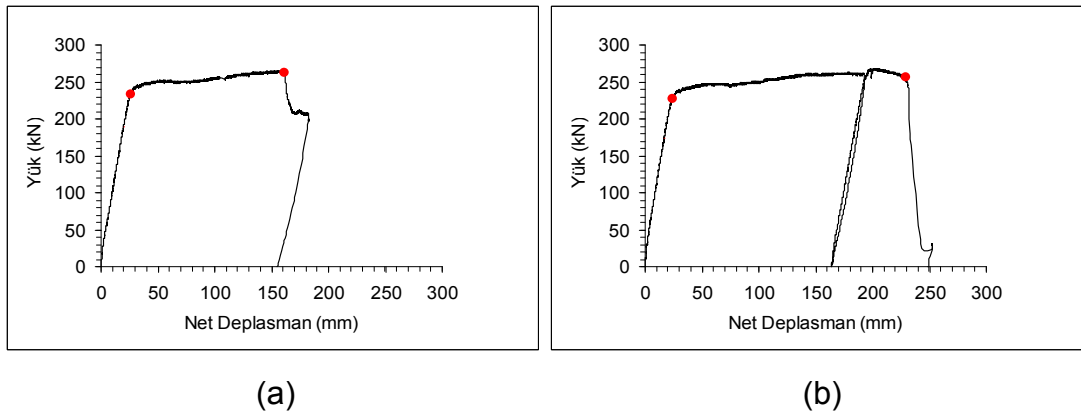
Şekil 5.10 (a) RBn akma ve taşıma gücünü kaybetme deplasmanları
(b) RBb akma ve taşıma gücünü kaybetme deplasmanları



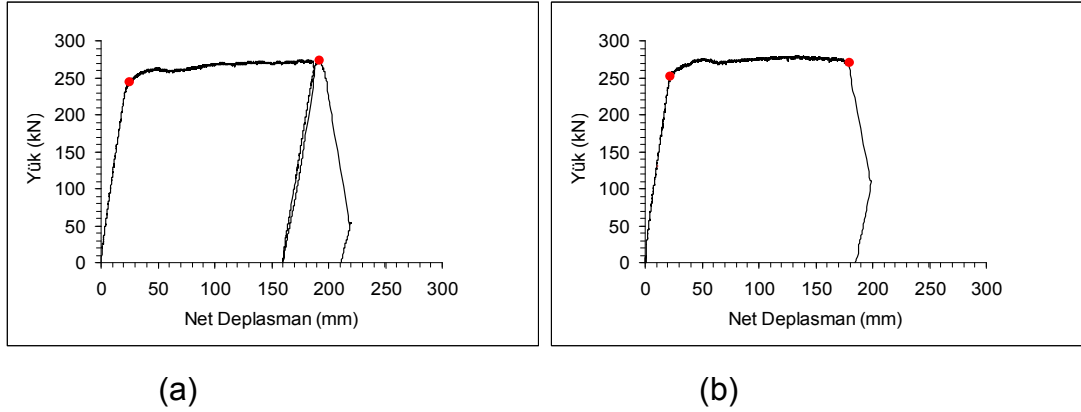
Şekil 5.11 (a) RRxn akma ve taşıma gücünü kaybetme deplasmanları
(b) RRxcn akma ve taşıma gücünü kaybetme deplasmanları



Şekil 5.12 (a) RRxb akma ve taşıma gücünü kaybetme deplasmanları
(b) RRxcb akma ve taşıma gücünü kaybetme deplasmanları



Şekil 5.13 (a) RCb akma ve taşıma gücünü kaybetme deplasmanları
(b) RCcb akma ve taşıma gücünü kaybetme deplasmanları



Şekil 5.14 (a) RCxb akma ve taşıma gücünü kaybetme deplasmanları
(b) RCxcb akma ve taşıma gücünü kaybetme deplasmanları

Her ne kadar göreceli süneklik oranıyla elemanlar arasında karşılaştırma yapılmak istense de δ_y değeri birçok parametreye bağlı olduğu için elemanlar arasında kıyaslanabilir bir bağ oluşturamamaktadır. Karşılaştırma içine δ_y değerlerinin girmesi karşılaştırmayı sağlıklı kılmaz. Bu sebeple elemanların

Çizelge 5.2. Süneklik oranlarının karşılaştırması

Boşluk Donatı	R/B	C/B	C/R
X donatısız ve Etriyesiz Elemanlar			
n	-	-	-
b	-	1,39	-
X donatılı ve Etriyesiz Elemanlar			
n	$\geq 0,95$	-	-
b	1,07	1,66	1,55
X donatısız ve Etriyeli Elemanlar			
n	-	-	-
b	-	1,98	-
X donatılı ve Etriyeli Elemanlar			
n	0,86	-	-
b	0,29	1,55	5,42

donatı oranları ve boşluk geometrileri baz alınıp öü değerlerine göre Çizelge 5.2.'de süneklik açısından kıyaslanmıştır.

Benzer karşılaştırma, elemanların dayanımı içinde yapılmıştır. Yine bu karşılaştırma Pu değerleri arasında yapılmış Çizelge 5.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 5.3. Dayanımların karşılaştırması

Donatı \ Boşluk	R/B	C/B	C/R
X donatısız ve Etriyesiz Elemanlar			
n	-	-	-
b	-	1,25	-
X donatılı ve Etriyesiz Elemanlar			
n	$\geq 0,84$	-	-
b	0,92	1,30	1,41
X donatısız ve Etriyeli Elemanlar			
n	-	-	-
b	-	1,22	-
X donatılı ve Etriyeli Elemanlar			
n	1,11	-	-
b	1,19	1,29	1,08

5.5. Rijitlik

Eğilme rijitliği, moment eğrilik ilişkisinin eğimine eşittir. Değeri moment-eğrilik ilişkisi grafiğinin çıkış kolunun eğiminden hesaplanmalıdır. Ancak deneysel olarak moment-eğrilik ilişkisinin doğru olarak belirlenmesi pek mümkün değildir. Bilindiği gibi deneysel olarak k (eğrilik) belirlenirken belirli bir bölgeden ölçüm alınır. Bu bölgenin uzunluğuna doğru olarak karar vermek neredeyse olanaksızdır. Çünkü o bölgedeki eğrilik, o bölgede oluşan çatlak sayısı ile ilişkilidir. Bu nedenle rijitlik hesaplarında moment eğrilik ilişkileri

kullanılmamıştır. Bunun yerine eğilme rijitliğinin bir ölçüsü olarak hesaplarda daha gerçekçi olan yük-deplasman grafiklerinin eğimleri kullanılmıştır. Eğrilik

Çizelge 5.4. Rijitlik oranları

	Rijitlik Ölçüsü (kN/mm)	Göreceli Rijitlik (kN/mm)
RBn	10,12	1,00
RBb	12,05	1,00
RRxn	5,77	0,57
RRxcn	5,87	0,58
RRxb	8,86	0,74
RRxcb	8,62	0,72
RCb	8,87	0,74
RCcb	9,32	0,77
RCxb	10,80	0,90
RCxcb	11,03	0,92

ile momentin, yük ve deplasmanın birer fonksiyonu olduğu ve elemanlar arası bir karşılaştırma yapılacağı düşünüldüğünde yapılan kabul bir sakınca yaratmayacaktır.

Rijitlik değerleri elemanların yük-deplasman grafiklerinde çıkış kolunun yük değerinde oluşan farkın deplasman değerinde oluşan farka oranı (yük deplasman grafiğinin lineer kısmının eğimi)'dir. Grafiklerden belirlenen rijitlik değerleri, çok ve normal donatılı yalın kiriş rijitliği 1 alınarak, diğer elemanlar için normal ve çok donatılılar kendi aralarında olacak şekilde oranlanıp olarak Çizelge 5.4'te sunulmuştur.

Deneyisel elemanlarda yalın kirişler boşluksuz kirişlere oranla daha rijit davranmaları son derece normaldir. Yalın kirişlerde donatının artırılması rijitliği %15 mertebesinde arttırmıştır. Daire boşluklu çok donatılı kirişlerde X kablosu kullanımı rijitliğe olumlu yönde etkide bulunmuştur. Çok donatılı yalın

elemana oranla %10 rijitlik kaybı oluşmuştur bu elemanlarda. Diğer çok donatılı boşluklu elemanlarda ise bu rijitlik kaybı %25'e ulaşmıştır. Normal donatılı boşluklu elemanlarda ise bu oran %50'ye çıkmıştır. Parametrelerin değişimine göre kıyaslamalar daha detaylı olarak Çizelge 5.5.'te verilmiştir.

Çizelge 5.5. Rijitlik Karşılaştırması

Boşluk Donatı	R/B	C/B	C/R
X donatısız ve Etriyesiz Elemanlar			
n	-	-	-
b	-	1,25	-
X donatılı ve Etriyesiz Elemanlar			
n	0,84	-	-
b	0,92	1,30	1,41
X donatısız ve Etriyeli Elemanlar			
n	-	-	-
b	-	1,22	-
X donatılı ve Etriyeli Elemanlar			
n	1,11	-	-
b	1,19	1,29	1,08

6. SONUÇLAR

Yapılarda tesisat geçişi veya benzeri nedenlerle kirişlerde zaman zaman boşluk(lar) oluşturulması gerekmektedir. Fakat bu boşlukların kiriş içinde gelişigüzel ve çoğu zaman sadece bir bölgede oluşturulması kiriş dayanımını önemli ölçüde azaltabilmektedir. Bu tip kirişlerde delik civarında oluşan gerilme yığılmaları sonucu kırılma yükünü genellikle delik civarındaki kesitin dayanımı belirlemektedir. Geçmişte yapılan çalışmalarda birçok durumda kırılmanın gevrek olarak gerçekleştiği görülmüştür.

Bu çalışmada bireysel boşlukların kirişler üzerinde yarattığı olumsuz tesirleri ortadan kaldırmak ve delik civarında oluşan gerilmeleri kiriş boyuna yaymak için kiriş üzerinde bir çok düzenli boşluk oluşturulmuştur.

Bu çalışma bir dizi deneysel araştırmanın son kısmını oluşturmaktadır. Daha önceki deneylerde görülen yetersizliklere karşı önlemler alınmış ve bu tezin kapsamında tekrar incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar boşluksuz referans elemanlarıyla ve daha önceki çalışmalarla kıyaslanmış ve yenilenmiş elemanların birçok durumda hem dayanım, hem süneklik, hem de rijitlik açısından oldukça iyi davrandığı görülmüştür. Deneysel çalışma sonunda elde edilen başlıca sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

1) Deney elemanları oldukça iyi davranış sergilemiştir. Çok donatılı kare boşluklu kirişlerden biri hariç tüm elemanlarda referans kiriş dayanımına ulaşılmıştır. Hata bazı elemanlarda hedeflenen dayanımlar az da olsa aşılmıştır. Sadece çok donatılı ve dikmeleri etriyesiz olan kare boşluklu elemanda referans kiriş dayanımının %90 'ına ulaşılabilmiştir.

2) Çok donatılı kare boşluklu kirişlerden biri hariç, tüm elemanlar oldukça sünek davranmıştır. Alınan önlemler ile birçok durumda referans kirişinden elde edilen süneklik değerlerinin 1.5-2 katına ulaşılmıştır. Sadece çok donatılı ve dikmeleri etriyeli olan kare boşluklu eleman, referans kiriş dayanımına

ulaştıktan hemen sonra gevrek bir biçimde kırılmıştır. Kare boşluklu, çok donatılı ve dikmeleri etriyesiz olan kirişte ise dikmeler sigorta vazifesi görmüş ve dikmelerde oluşan hasarlar olası gevrek kırılmaları önlemiştir. Ancak bu durumda dayanımda yaklaşık %10 luk kayıplar olabileceği unutulmamalıdır.

3) Kiriş üzerindeki bir noktada gerilme yığılmalarının oluşumunu engellemek amacıyla kiriş üzerinde birçok düzenli boşluk oluşturulması fikri işe yaramış ve kırılma türünün birçok elemanda kesme yerine eğilme olduğu görülmüştür. Bazı elemanlar ise eğilme dayanımına ulaştıktan ve yeterince süneklik gösterdikten çok sonra kesmeden gitmiştir.

4) Daire boşluklu elemanların, kare boşluklu elemanlara göre hem dayanım, hem süneklik hem de rijitlik bakımından çok daha iyi davrandığı görülmüştür.

5) Kare elemanların dikmelerinde etriye kullanılmaması durumunda, dikmelerde büyük kesme çatlakları oluştuğu görülmüştür. Ancak yukarıda da belirtildiği gibi bu çatlakların oluşumunun olası gevrek kırılmaları engelleyebileceği görülmüştür. Buna rağmen çok donatılı kare boşluklu kirişlerde dayanım veya süneklikten ödün verilmesi gerekeceğinden bu gibi durumlarda daire boşluklu kirişlerin yapılması önerilmemektedir.

6) Etriyeleli veya etriyesiz daire boşluklu elemanların dikmelerinde, kare boşluklu kirişlerdeki gibi ağır düzeyde hasar oluşmamıştır. Bu elemanların dikmelerinde etriye kullanımının süneklik kapasitesi üzerinde olumsuz bir etkisinin olmadığı da görülmüştür.

7) Kirişlerde X-donatısı kullanımının süneklik, rijitlik ve dayanım üzerinde olumlu etkilerinin olduğu görülmüştür. İleri deformasyon aşamalarında X-donatılarının gerildiği ve başlıklar arasındaki yük aktarımını başarıyla sağladığı görülmüştür.

KAYNAKLAR

1. Mansur M. A., Lee Y. F., Tan K. H. And Lee S. L., "Tests on R/C continuous beams with openings", ***Journal of Structural Engineering***, 117 (6): 1593-1606 (1991)
2. Ashour A. F. And Rishi G., "Tests of reinforced concrete continuous deep beams with web openings", ***ACI Structural Journal***, 97 (3): 418-426 (2000)
3. Tan K. H., Mansur M. A. And Wei W., "Design of reinforced concrete beams with circular openings", ***ACI Structural Journal***, 98 (3): 407-415 (2001)
4. Yang K. H., Eun H. C. And Chung H. S., "The influence of web openings on the structural behavior of reinforced high-strength concrete deep beams", ***Engineering Structures***, 28 (13): 1825-1834 (2006)
5. Mansur M. A., Tan K. H. And Wei W., "Effects of Creating an Opening in Existing Beams", ***ACI Structural Journal***, 96 (6): 899-905 (1999)
6. Mansur M. A., Tan K. H. And Lee S. L., "Design Method for Reinforced Concrete Beams with Large Openings", ***American Concrete Institute. Journal***, 82 (4): 517-524 (1985)
7. Mansur M. A., "Combined Bending and Torsion in reinforced Concrete Beams With Rectangular Openings", ***Concrete Intenational***, 5 (11): 51-58 (1983)
8. Tan K. H., Mansur M. A. And Huang L. M., "Reinforced concrete T-beams with large web openings in positive and negative moment regions", ***ACI Structural Journal***, 93 (3): 277-289 (1996)
9. Chung K. F., Liu T. C. H. And Ko A. C. H., " Investigation on Vierendeel mechanism in steel beams with circular openings", ***Journal of Constructional Steel Research***, 57 (5): 467-490 (2001)
10. Liu T. C. H. And Chung K. F., "Steel beams with large web openings of various shapes and sizes: finite element investigation", ***Journal of Constructional Steel Research***, 59 (9): 1159-1176 (2003)
11. Chung K. F., Liu T. C. H. And Ko A. C. H., "Steel beams with large web openings of various shapes and sizes: an empirical design method using a generalised moment-shear interaction curve", ***Journal of Constructional Steel Research***, 59 (4): 1177-1200 (2003)

12. Mansur M. A., "Effect of openings on the behaviour and strength of R/C beams in shear", **Cement and Concrete Compozites**, 20 (6): 477-486 (1998)
13. Mansur M. A., Huang L. M, Tan K. H. And Lee S. L., "Deflections of Reinforced Concrete Beams with Web Openinigs" **ACI Structural Journal**, 89 (4): 391-397 (1992)
14. Eun H. C., Lee Y. H., Chung H. S. And Yang K. H., "On the shear strength of reinforced concrete deep beam with web opening" **The Structural Design of Tall and Special Buildings**, 15 (4): 445-466 (2006)
15. Varghese P. C., Ganesan T. P. And Achyutha H., "Strength and behaviour of reinforced concrete vierendeel girders" **Building Science**, 7 (3): 183-195 (1972)
16. Tan K. H. And Mansur M. A., "Design Procedure for Reinforced Concrete Beams with Large Web Openings", **ACI Structural Journal**, 93 (4): 404-411 (1996)
17. Mansur M. A., "Design of Reinforced Concrete Beams with Small Openings under Combined Loading", **ACI Structural Journal**, 96 (5): 675-683 (1999)
18. Mansur M. A. And Paramasivam P., "Reinforced Concrete Beams with Small Opening in Bending and Torsion", **American Concrete Institude. Journal**, 81 (2): 180-185 (1984)

EKLER

EK-1 M. C. Yılmaz'ın çalışmasında deney elemanlarının özellikleri ve elemanların dayanım, süneklik ve eğilme rijitliği karşılaştırmaları

Çizelge 1.1. Deney elamanlarının özellikleri

Eleman No	Deney Adı	Boşluk Geometrisi	Çekme Donatısı	Basınç donatısı	Donatı oranı
1	Bs	Boşluksuz	2Ø10, 2Ø8	4Ø8	0.0043
2	B _N	Boşluksuz	4Ø10, 2Ø8	4Ø8	0.0069
3	B _B	Boşluksuz	7Ø10, 2Ø8	4Ø8	0.0108
4	Ts	Üçgen	2Ø10, 2Ø8	4Ø8	0.0043
5	T _N	Üçgen	4Ø10, 2Ø8	4Ø8	0.0069
6	T _B	Üçgen	7Ø10, 2Ø8	4Ø8	0.0108
7	C _S	Daire	2Ø10 , 2Ø8	4Ø8	0.0043
8	C _N	Daire	4Ø10, 2Ø8	4Ø8	0.0069
9	C _B	Daire	7Ø10, 2Ø8	4Ø8	0.0108

Çizelge 1.2. Süneklik oranları

Karşılaştırılan elemanlar→	C/B	T/B	C/T
S (az donatılı)	-	-	-
N (olağan donatılı)	1.63	0.58	2.81
B (çok donatılı)	-	-	-

EK-1 (Devam) M. C. Yılmaz'ın çalışmasında deney elemanlarının özellikleri ve elemanların dayanım, süneklik ve eğilme rijitliği karşılaştırmaları

Çizelge 1.3. Dayanımların karşılaştırılması

Karşılaştırılan elemanlar→	C/B	T/B	C/T
S (az donatılı)	0.96	0.84	1.14
N (olağan donatılı)	1.00	0.94	1.07
B (çok donatılı)	0.84	0.80	1.05

Çizelge 1.4. Eğilme rijitliklerinin karşılaştırılması

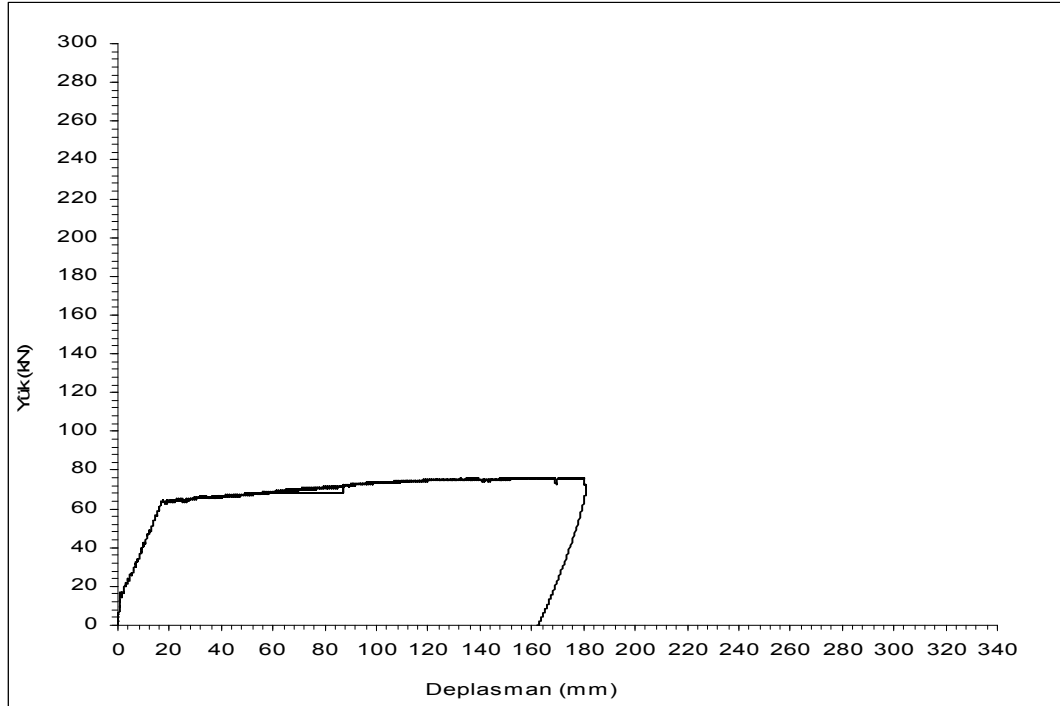
Karşılaştırılan elemanlar→	C/B	T/B	C/T
S (az donatılı)	0.86	0.91	0.95
N (olağan donatılı)	0.68	0.88	0.77
B (çok donatılı)	0.71	0.89	0.80

EK-2 Y. E. Eğriboz'un çalışmasında deney elemanlarının özellikleri

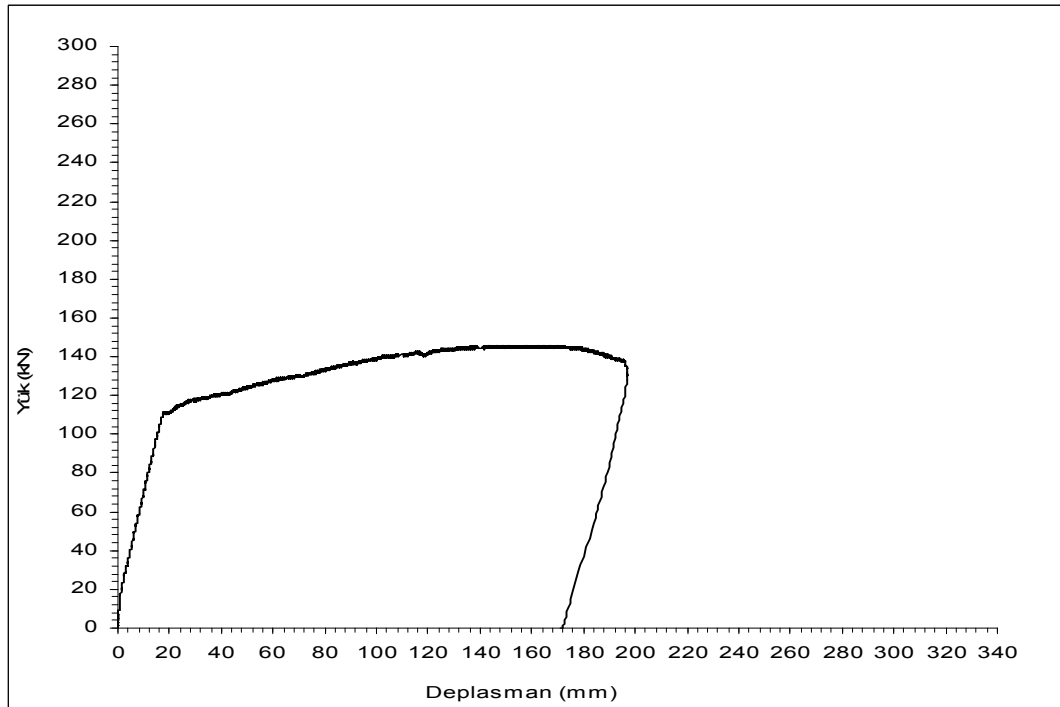
Çizelge 2.1. Deney elemanlarının özellikleri

Eleman No	Deney Adı	Boşluk Geometrisi	Çekme Donatısı	Basınç donatısı	Donatı oranı
1	Rs	Kare	2Ø10 , 2Ø8	4Ø8	0.0043
2	R _N	Kare	4Ø10, 2Ø8	4Ø8	0.0069
3	R _B	Kare	7Ø10, 2Ø8	4Ø8	0.0108
4	C _{sx}	Daire	2Ø10 , 2Ø8	4Ø8	0.0043
5	C _{Nx}	Daire	4Ø10, 2Ø8	4Ø8	0.0069
6	C _{Bx}	Daire	7Ø10, 2Ø8	4Ø8	0.0108

EK-3 M. C. Yılmaz'ın çalışmasında kiriş yük – deplasman grafikleri

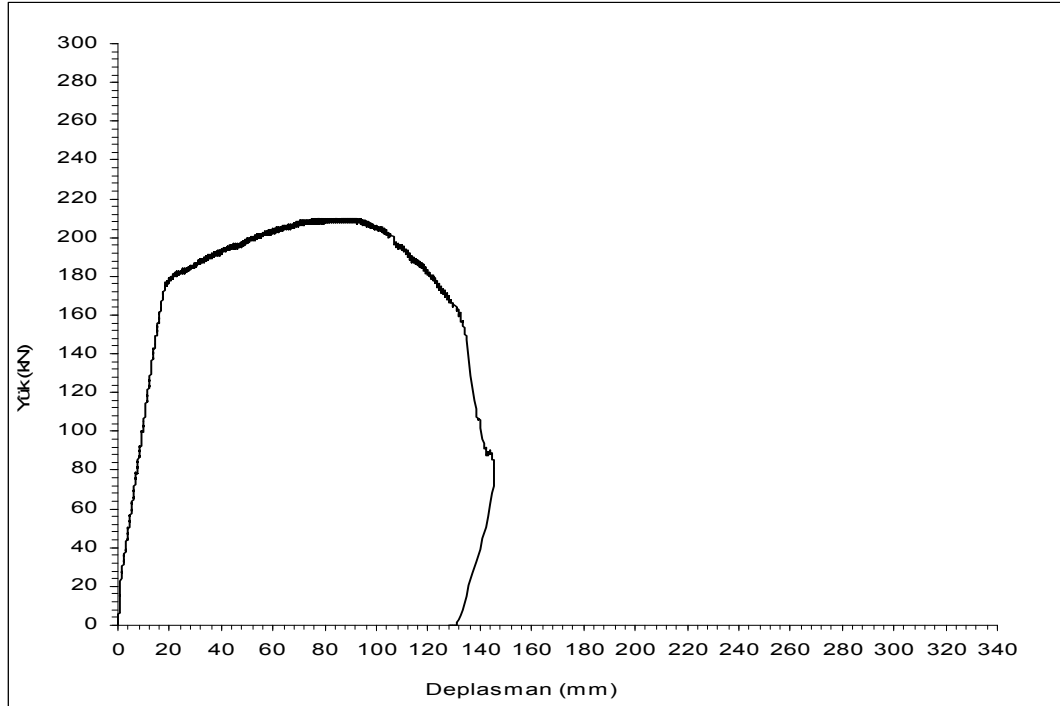


Şekil 3.1. B_S kirişi yük-deplasman grafiği

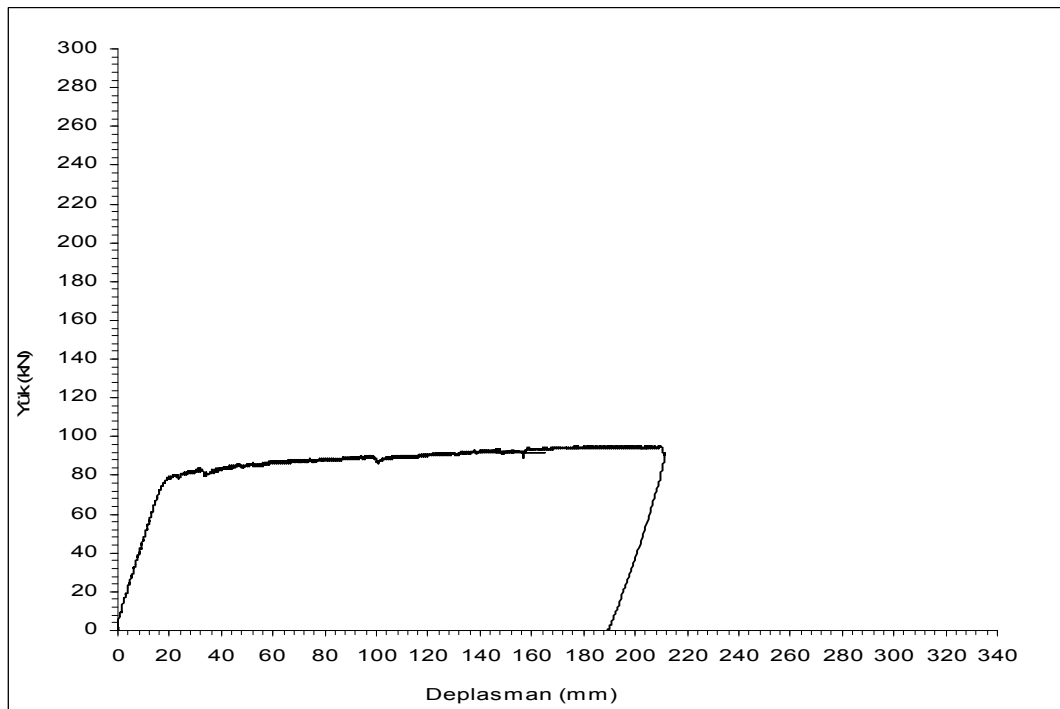


Şekil 3.2. B_N kirişi yük-deplasman grafiği

EK-3 (Devam) M. C. Yılmaz'ın çalışmasında kiriş yük – deplasman grafikleri

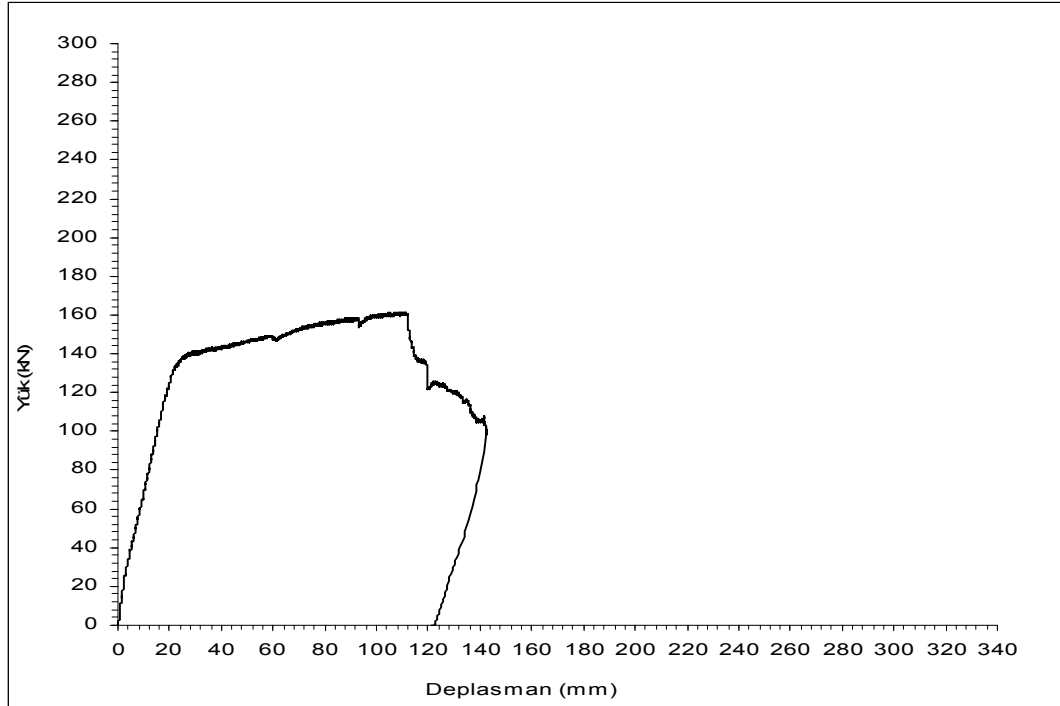


Şekil 3.3. B_B kirişi yük-deplasman grafiği

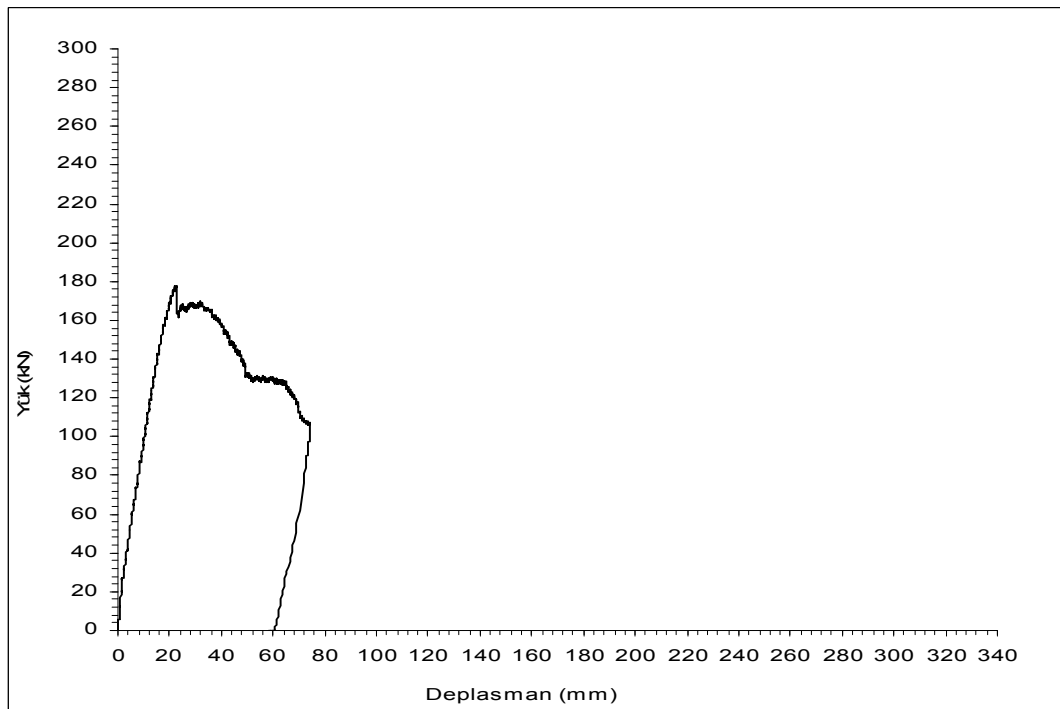


Şekil 3.4. T_S kirişi yük-deplasman grafiği

EK-3 (Devam) M. C. Yılmaz'ın çalışmasında kiriş yük – deplasman grafikleri

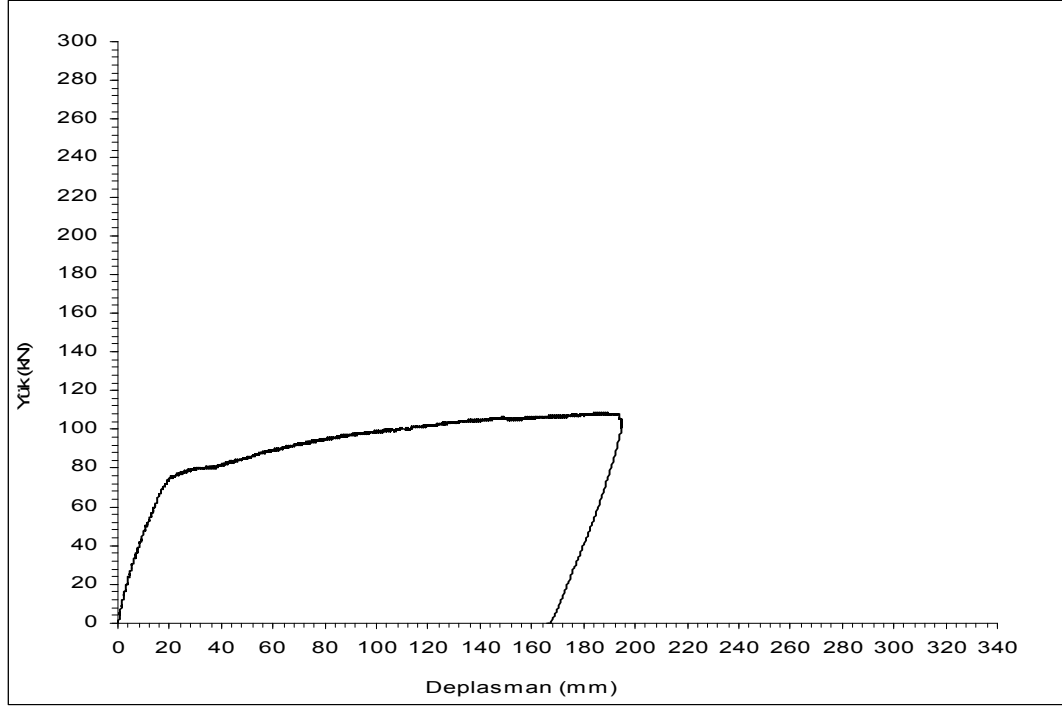


Şekil 3.5. T_N kirişi yük-deplasman grafiği

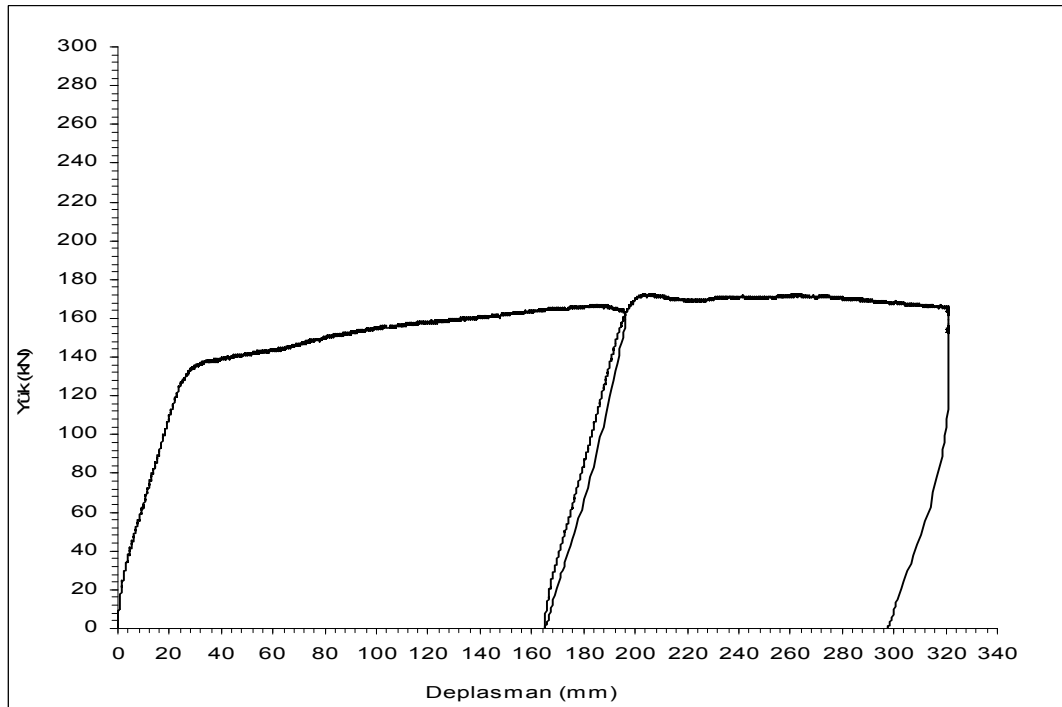


Şekil 3.6. T_B kirişi yük-deplasman grafiği

EK-3 (Devam) M. C. Yılmaz'ın çalışmasında kiriş yük – deplasman grafikleri

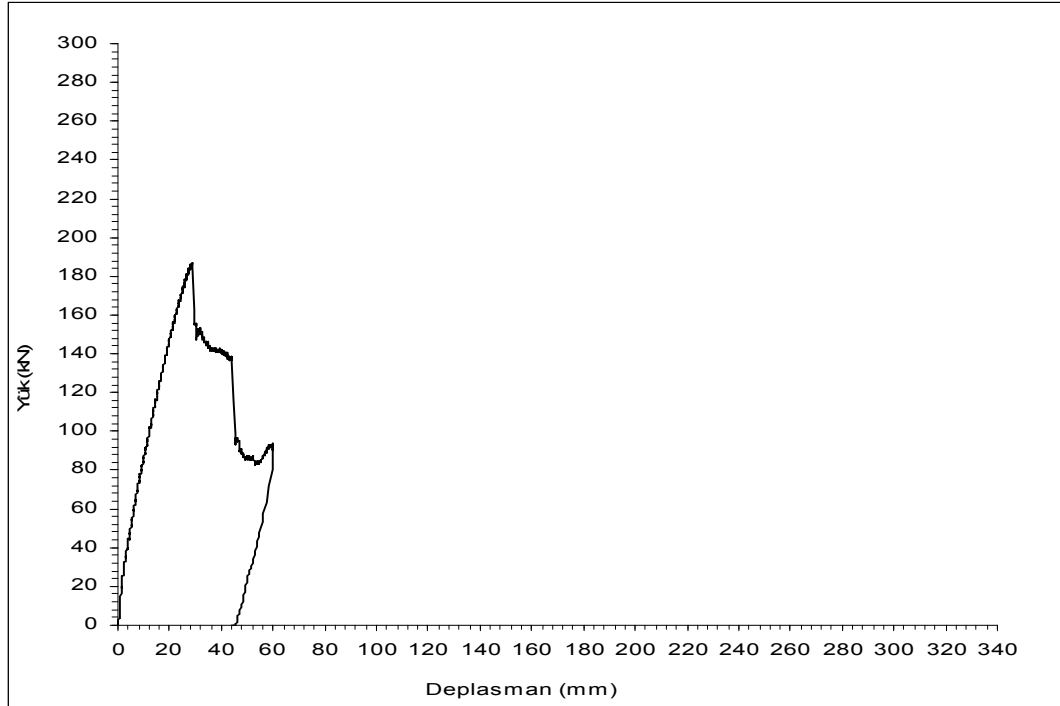


Şekil 3.7. C_S kirişi yük-deplasman grafiği



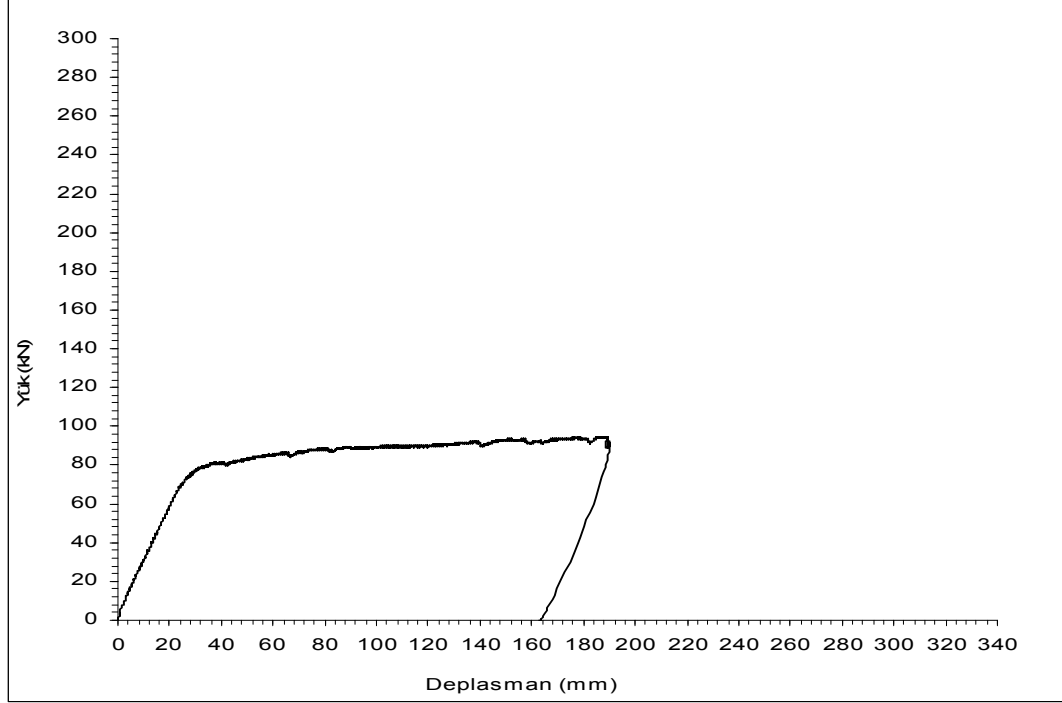
Şekil 3.8. C_N kirişi yük-deplasman grafiği

EK-3 (Devam) M. C. Yılmaz'ın çalışmasında kiriş yük – deplasman grafikleri

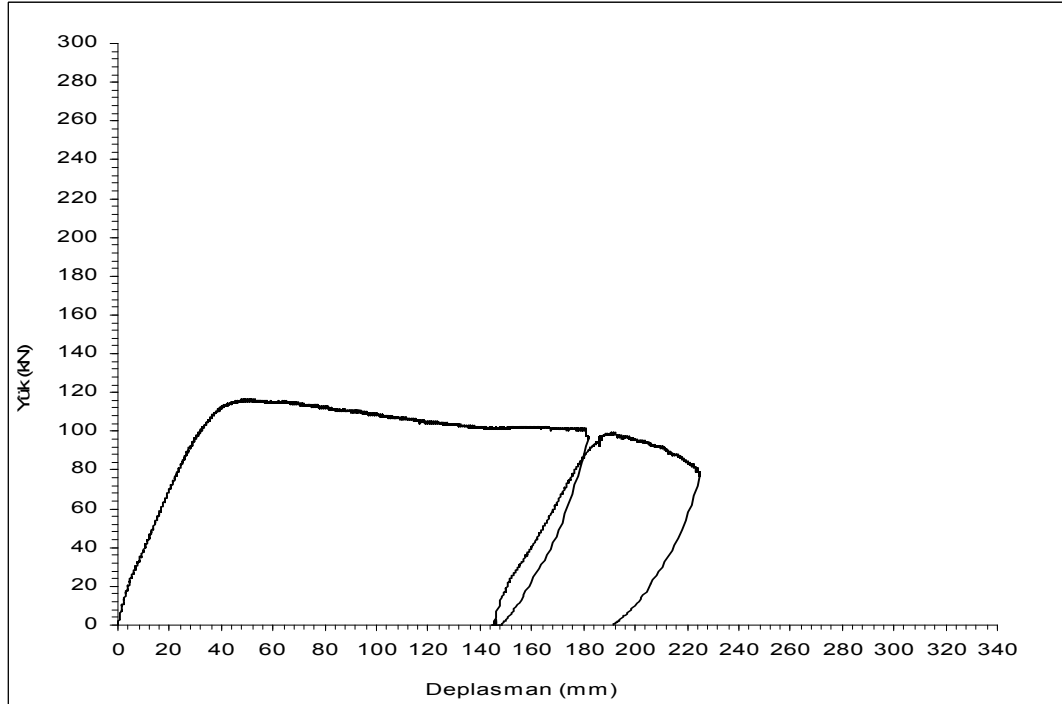


Şekil 3.9. C_B kirişi yük-deplasman grafiği

EK-4 Y. E. Eğriboz'un çalışmasında kiriş yük – deplasman grafikleri

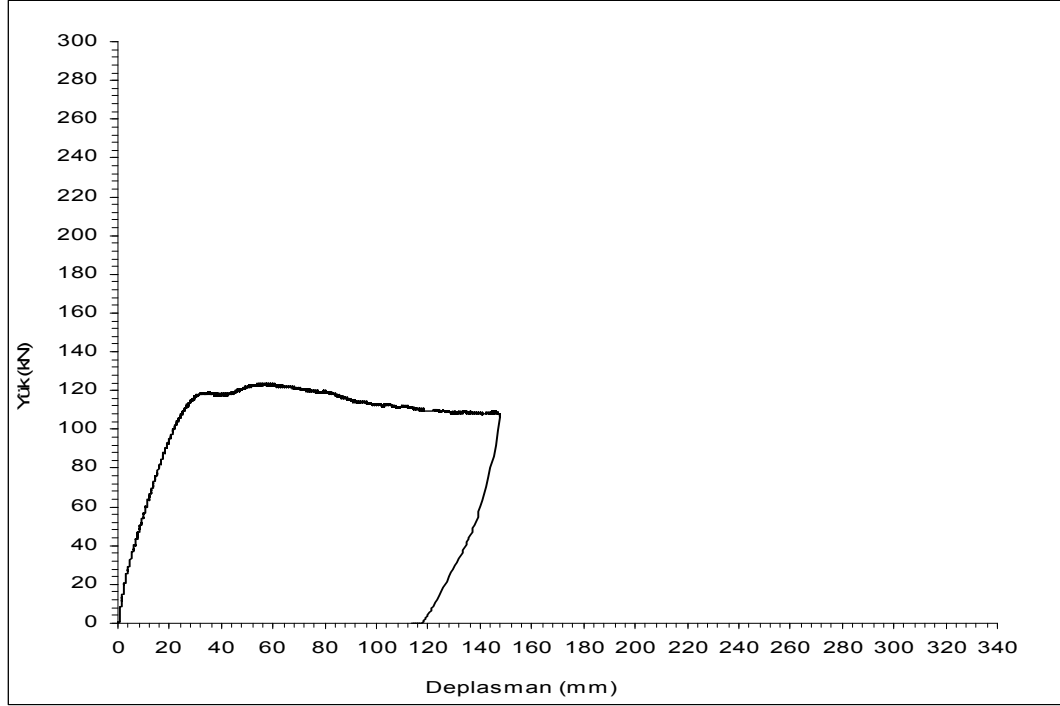


Şekil 4.1. R_S kirişi yük-deplasman grafiği

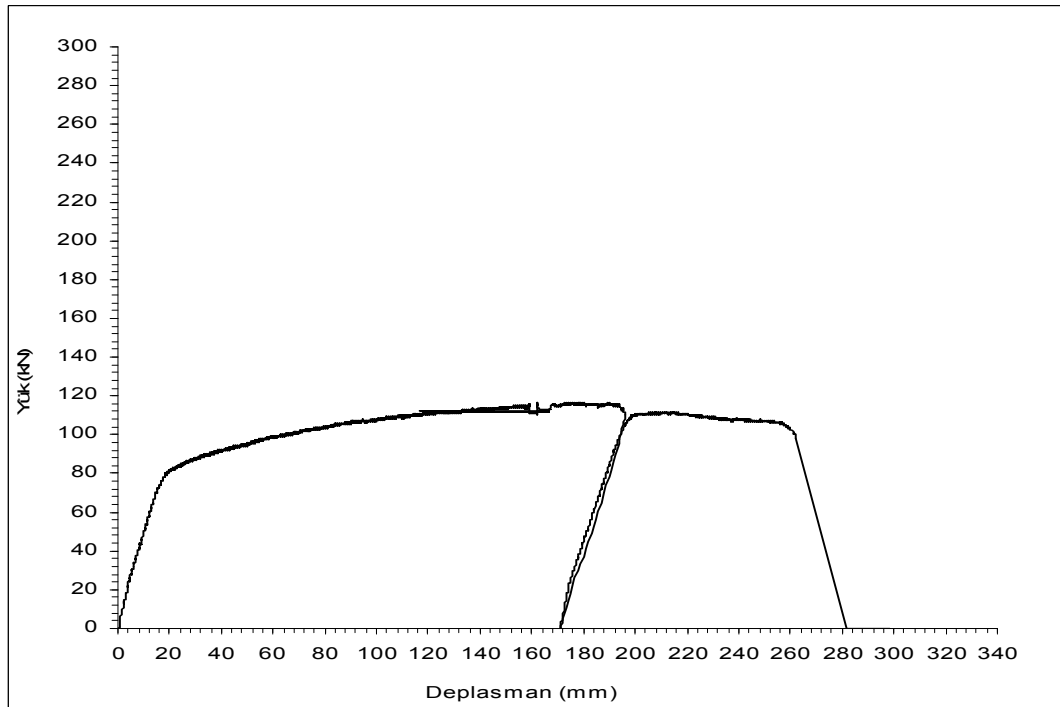


Şekil 4.2. R_N kirişi yük-deplasman grafiği

EK-4 (Devam) Y. E. Eğriboz'un çalışmasında kiriş yük – deplasman grafikleri

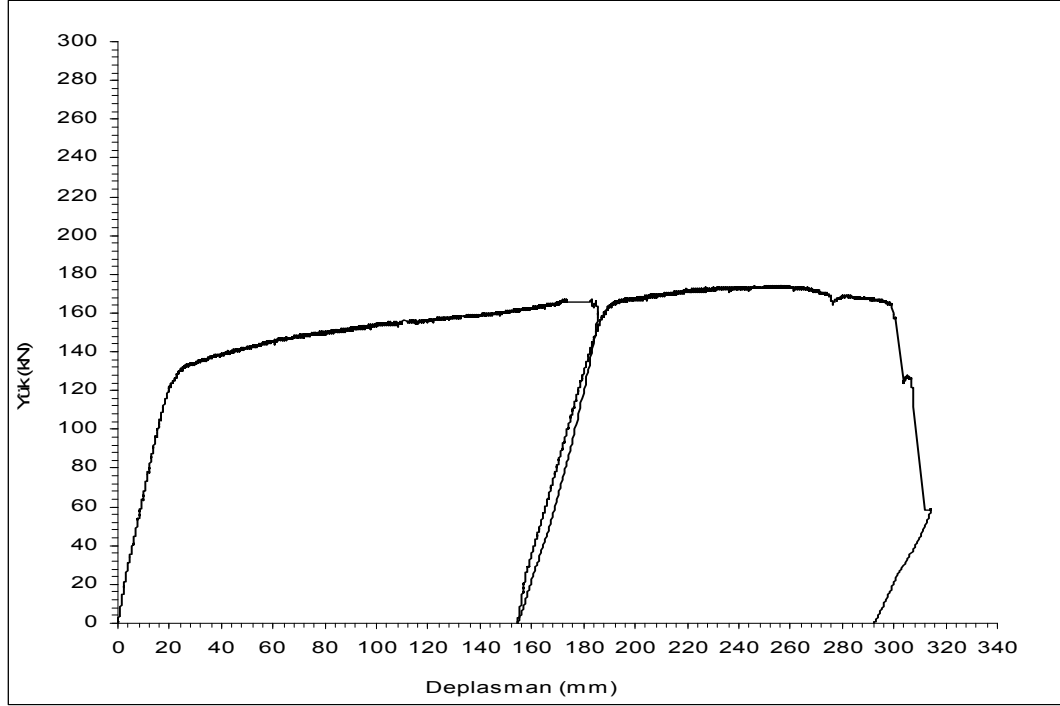


Şekil 4.3. R_B kirişi yük-deplasman grafiği

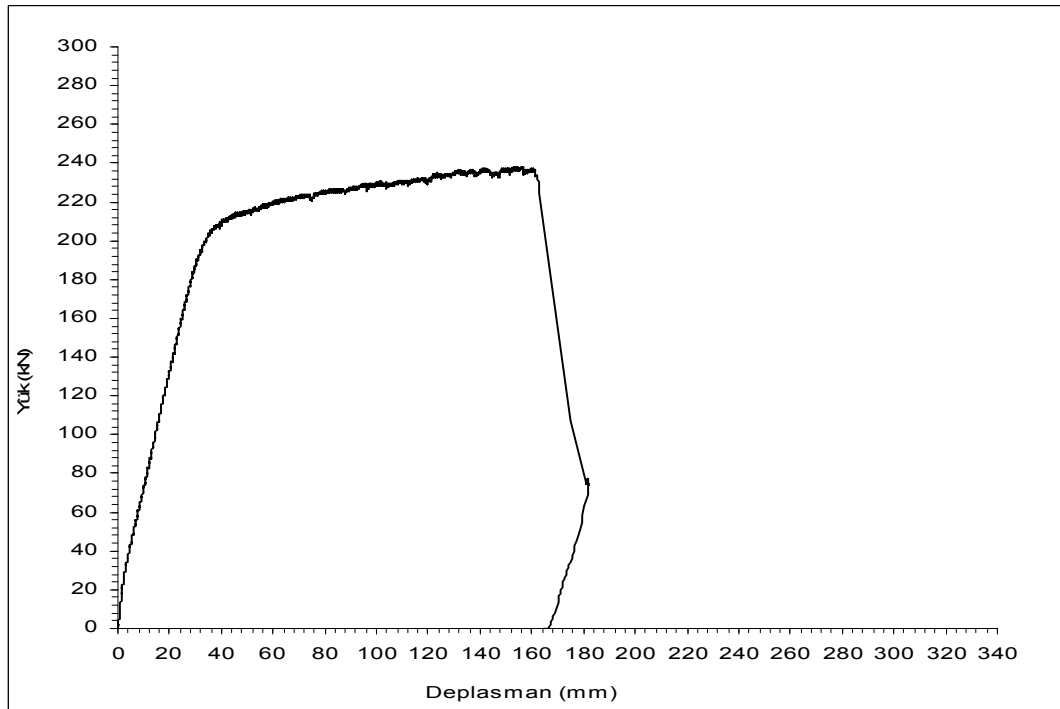


Şekil 4.4. C_{SX} kirişi yük-deplasman grafiği

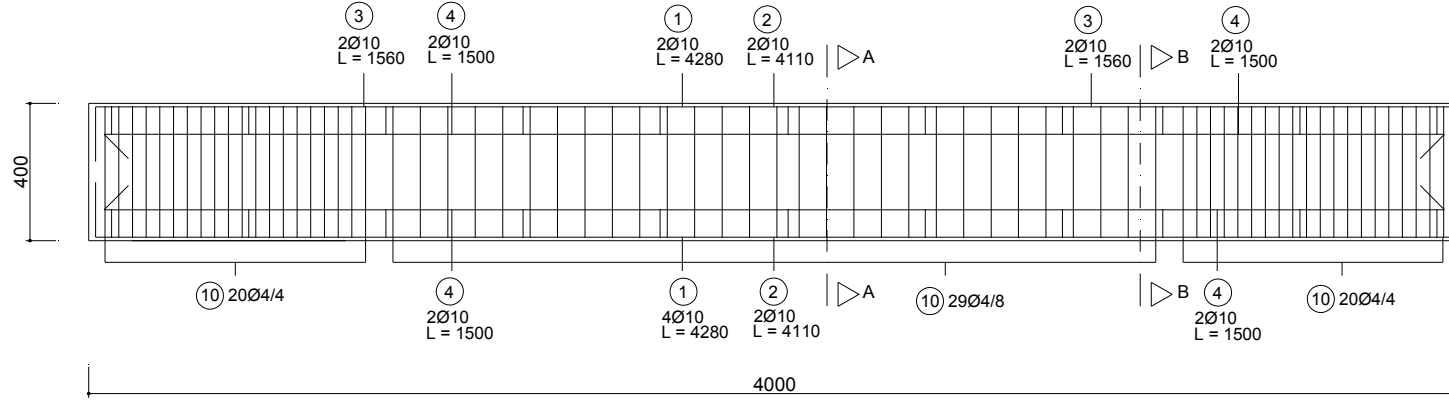
EK-4 (Devam) Y. E. Eğriboz'un çalışmasında kiriş yük – deplasman grafikleri



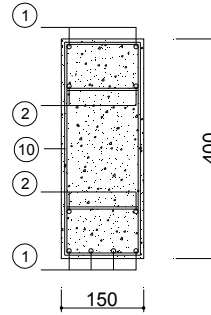
Şekil 4.5. C_{NX} kirişi yük-deplasman grafiği



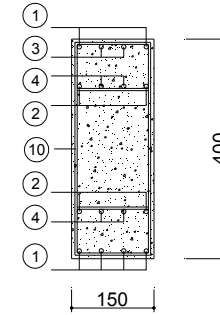
Şekil 4.6. C_{BX} kirişi yük-deplasman grafiği



Not : Tüm ölçüler
milimetre cinsindendir.

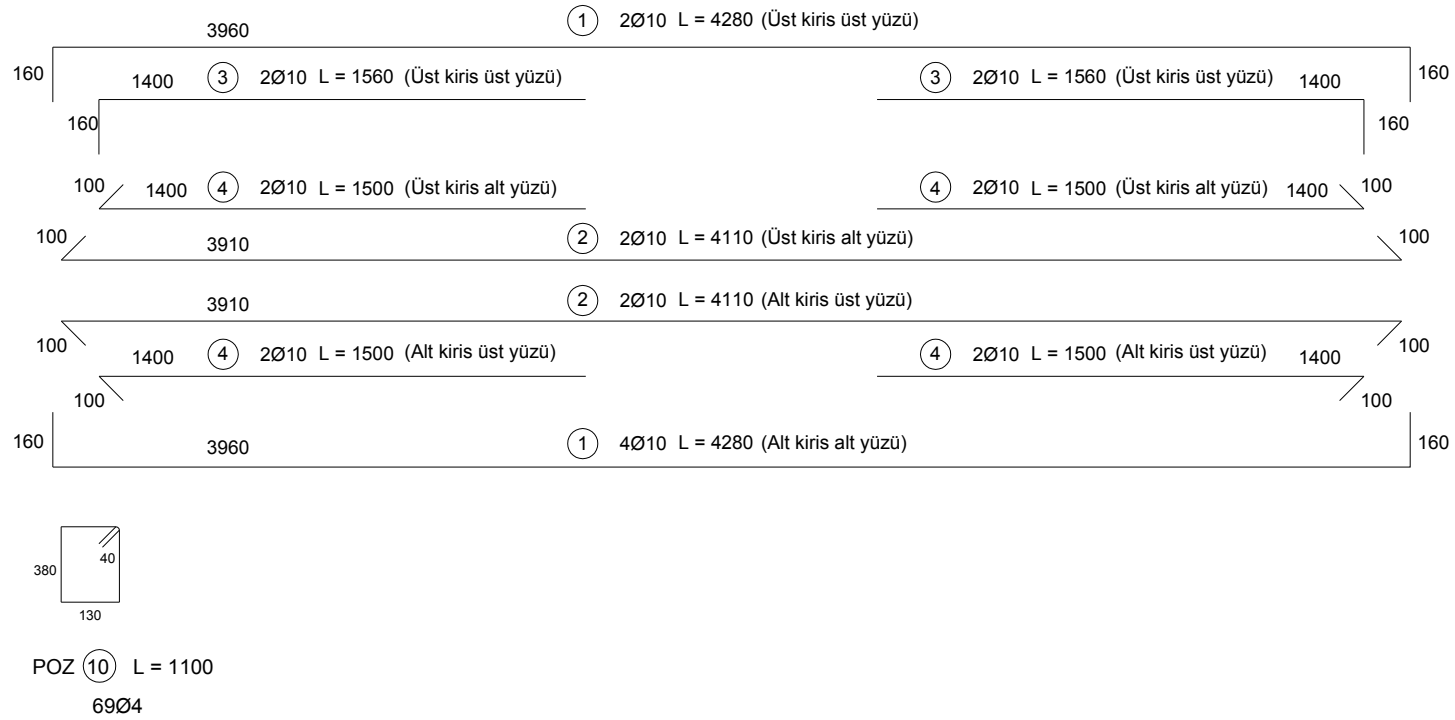


A - A KESİTİ



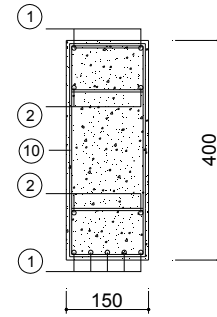
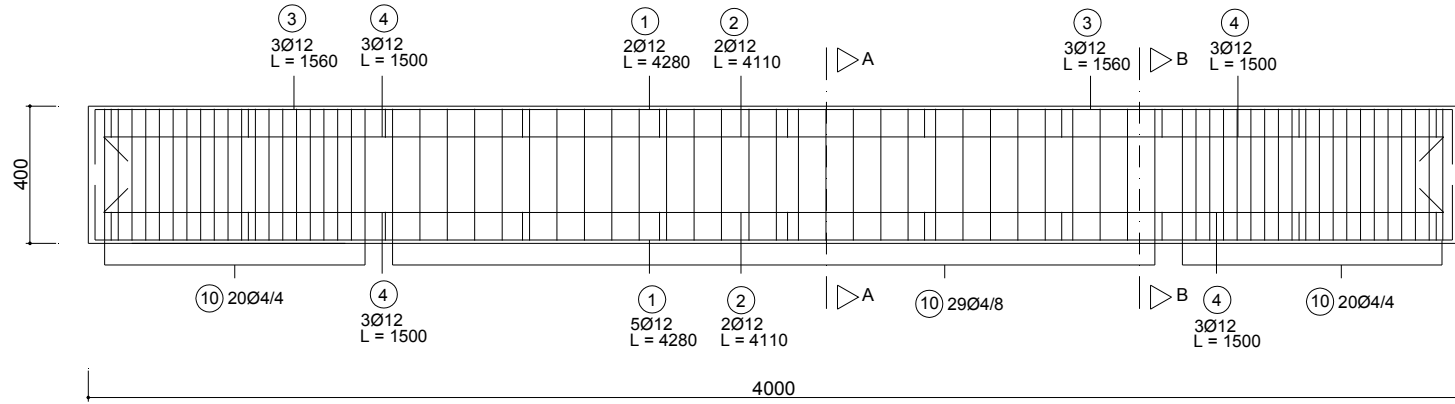
B - B KESİTİ

Şekil 5.1. RBn kirişi donatı planı ve kesitleri

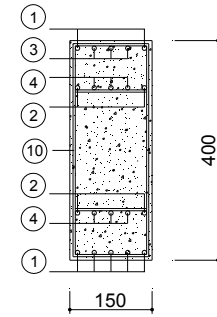


Not : Tüm ölçüler milimetre cinsindendir.

Şekil 5.2. RBn kirişi donatıları



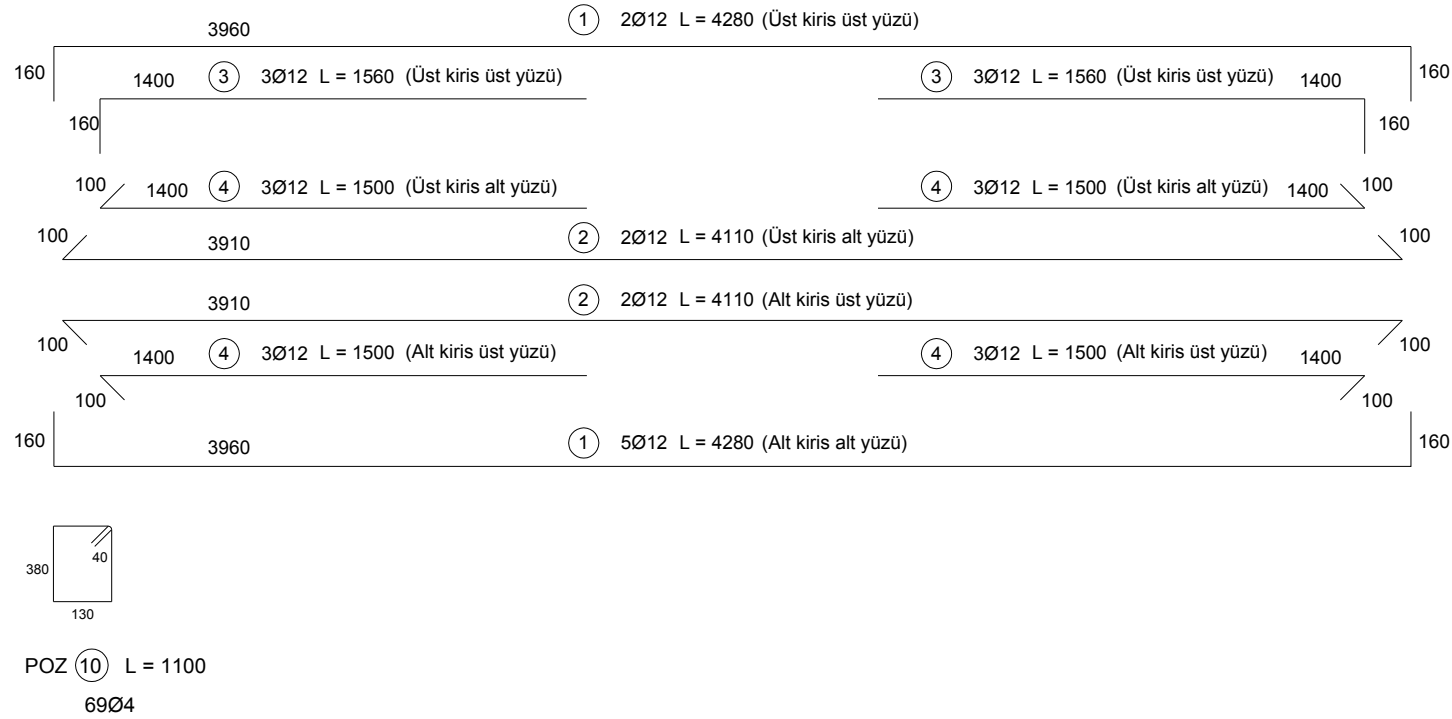
A - A KESİTİ



B - B KESİTİ

Not : Tüm ölçüler
milimetre cinsindendir.

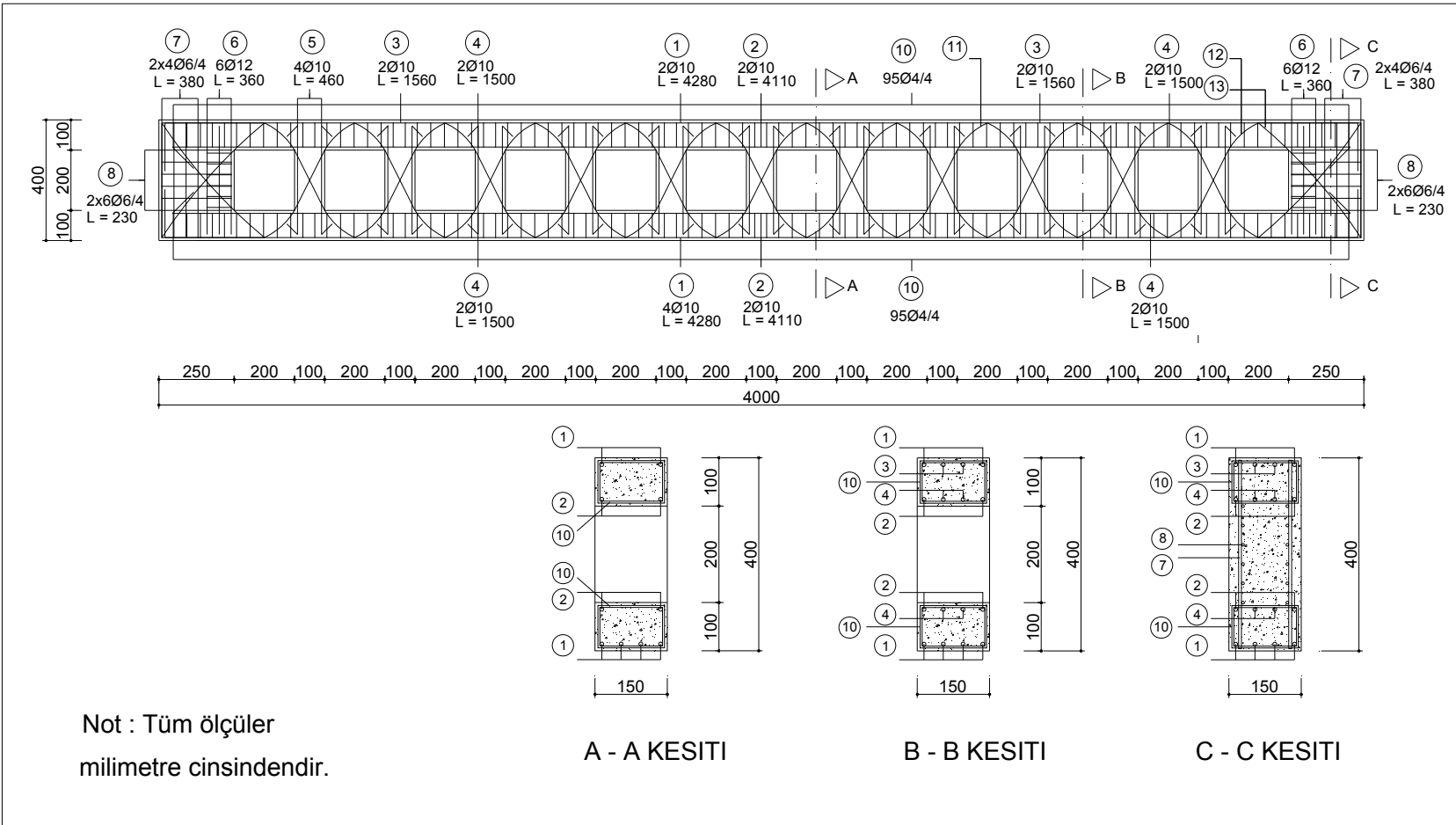
Şekil 5.3. RBb kirişi donatı planı ve kesitleri



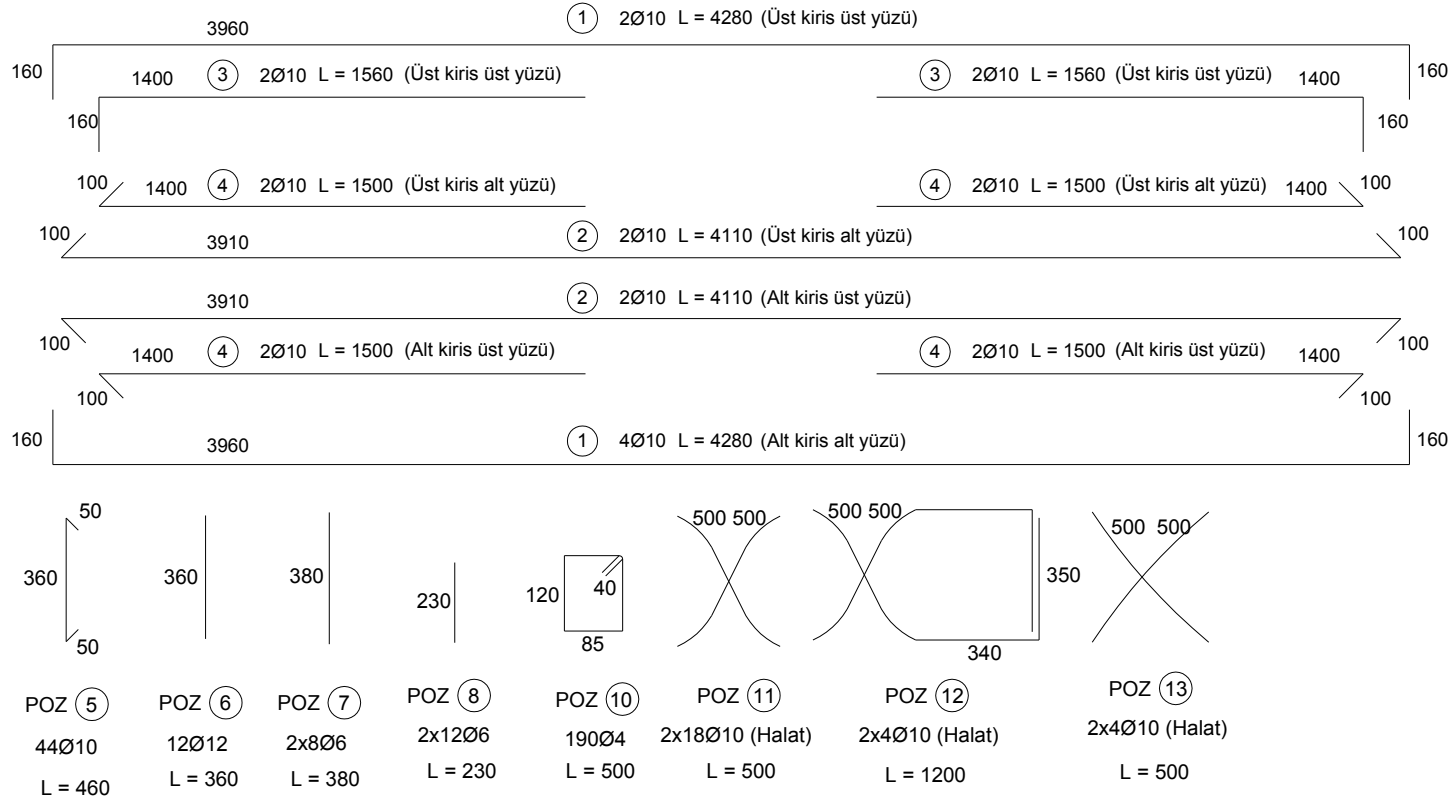
Not : Tüm ölçüler milimetre cinsindendir.

Şekil 5.4. RBb kirişi donatıları

EK-5 (Devam) Kiriş donatı planı, kesitleri ve donatı pozları

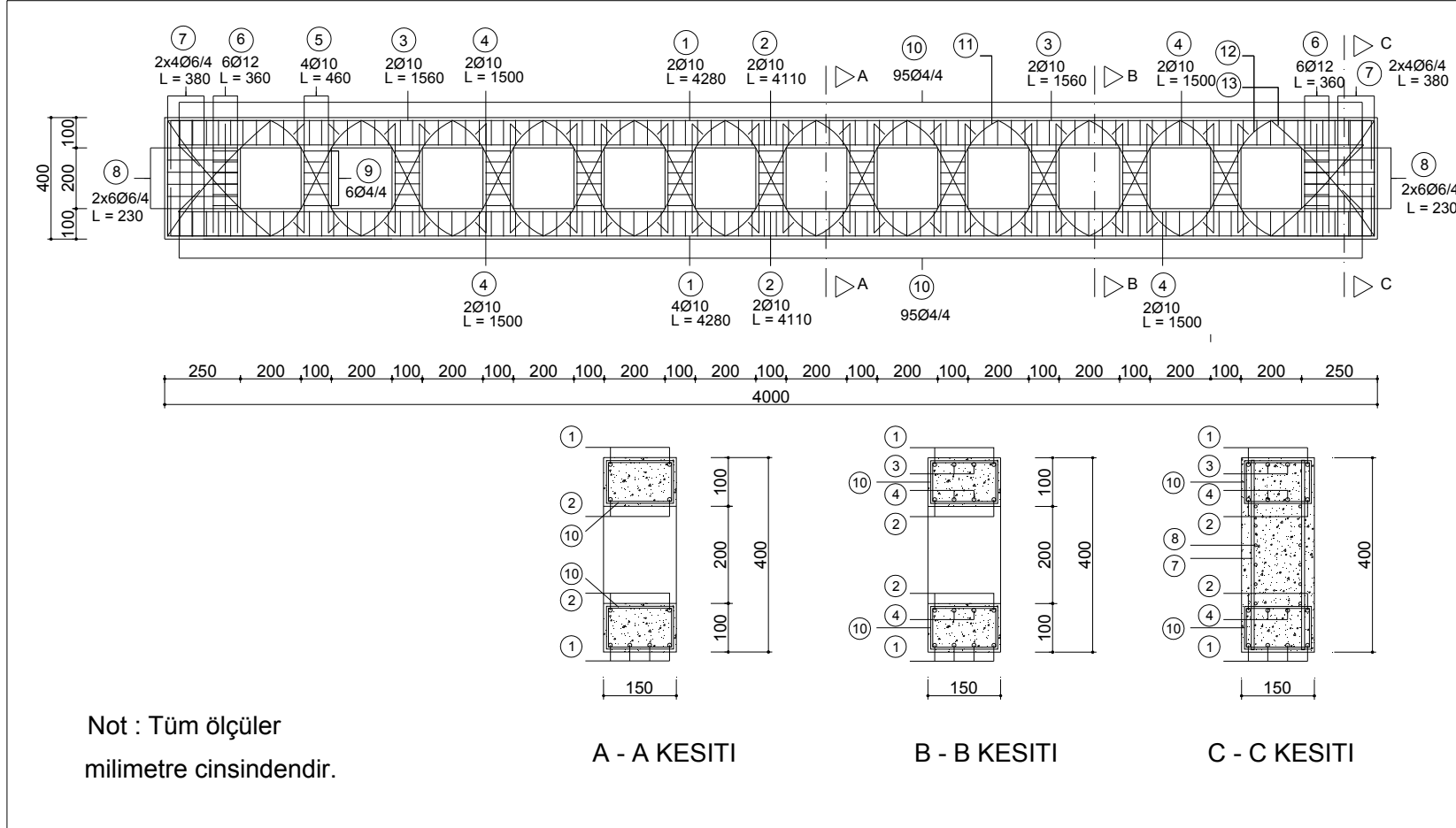


Şekil 5.5. RRxn kirişi donatı planı ve kesitleri



Not : Tüm ölçüler milimetre cinsindendir.

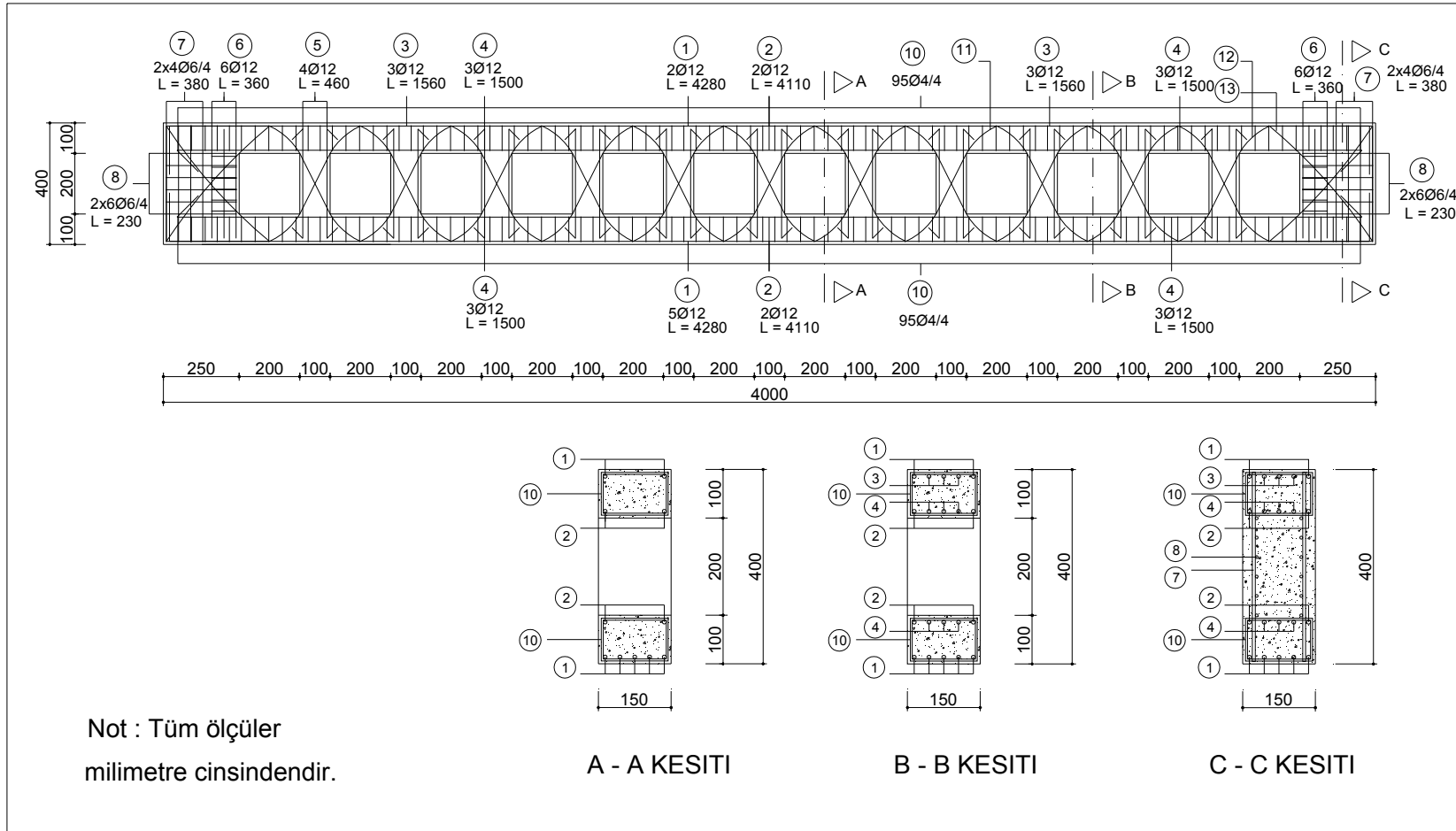
Şekil 5.6. RRxn kirişi donatıları



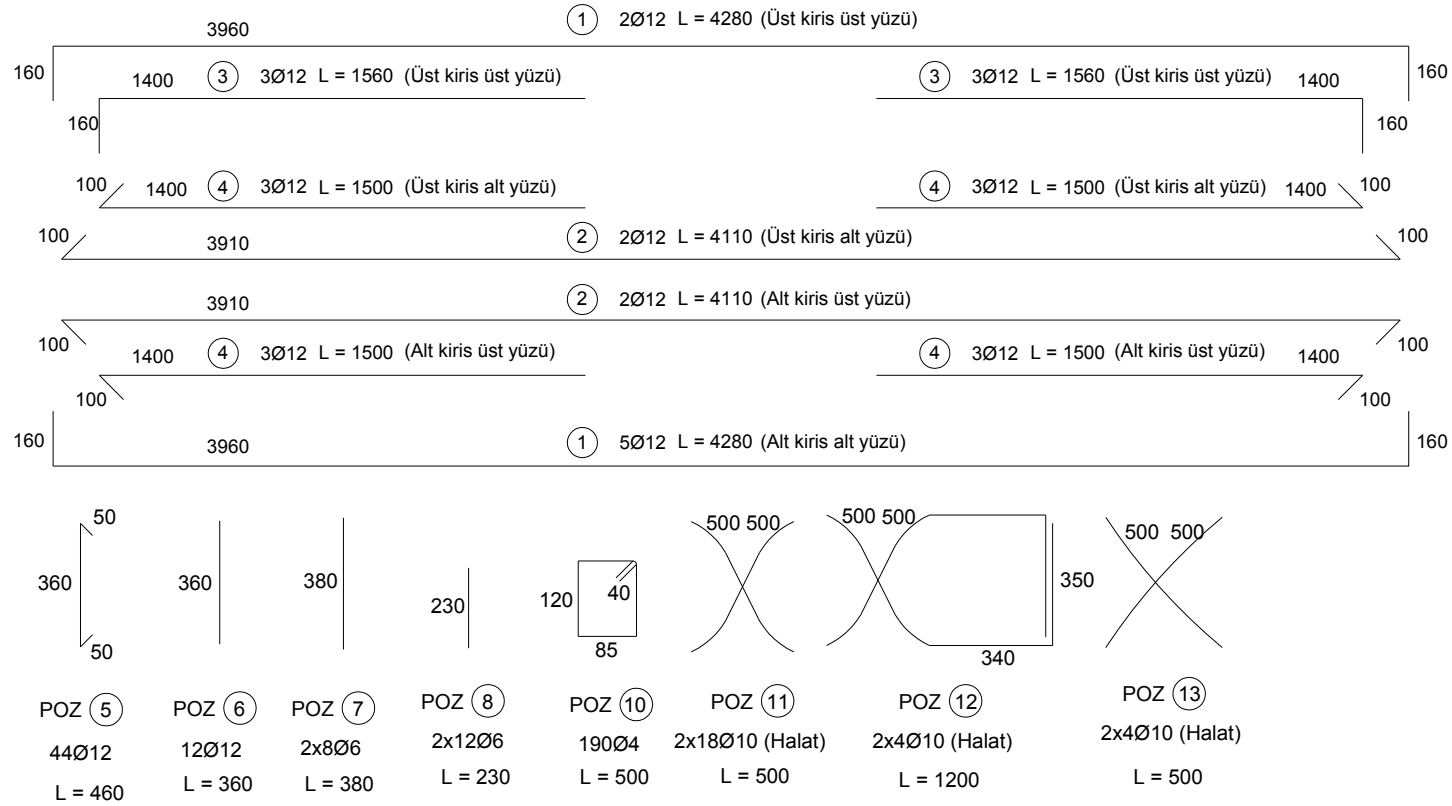
Şekil 5.7. RRxcn kiriş donatı planı ve kesitleri



Şekil 5.8. RRxcn kırışi donatıları



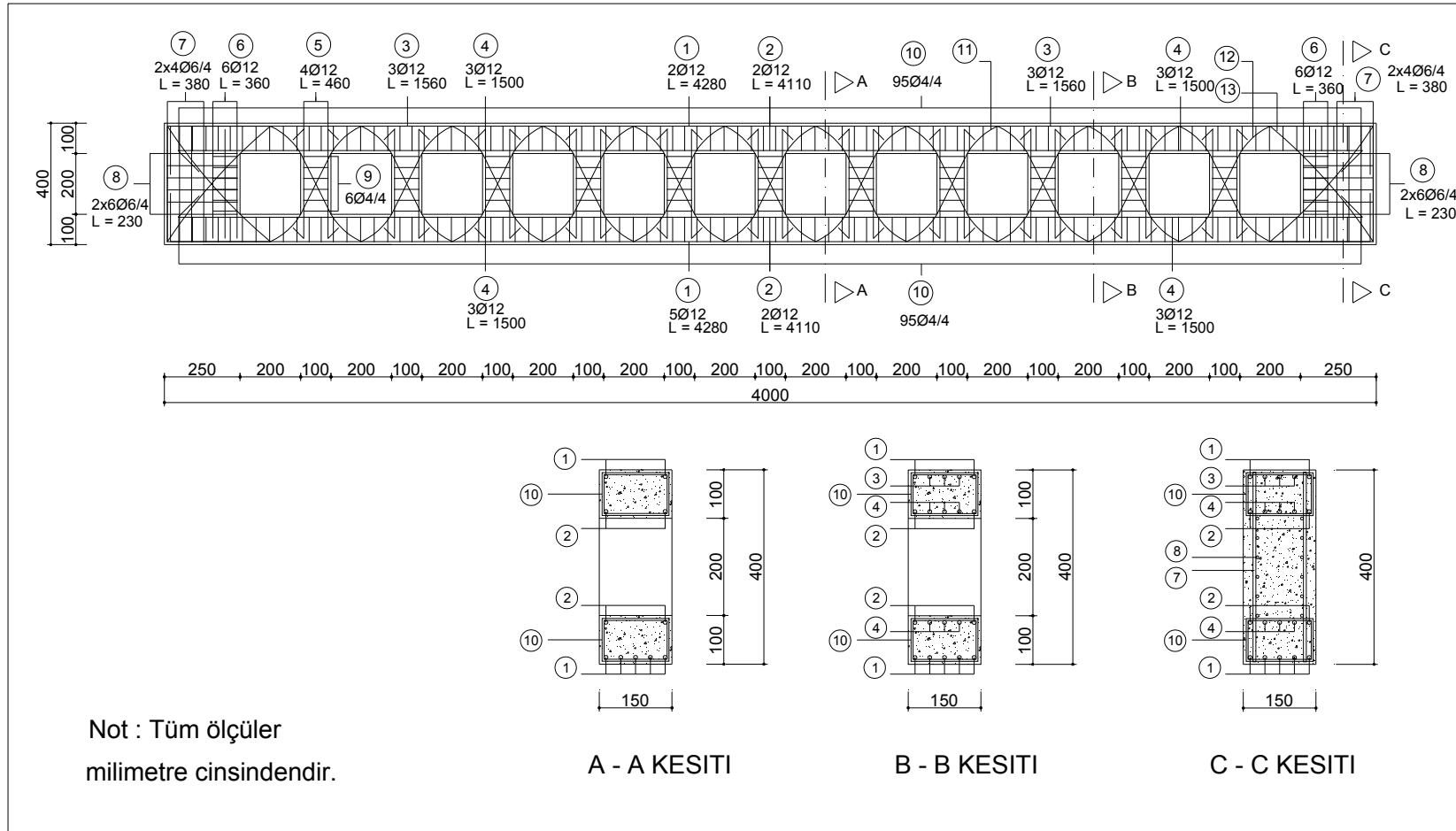
Şekil 5.9. RRxb kirişi donatı planı ve kesitleri



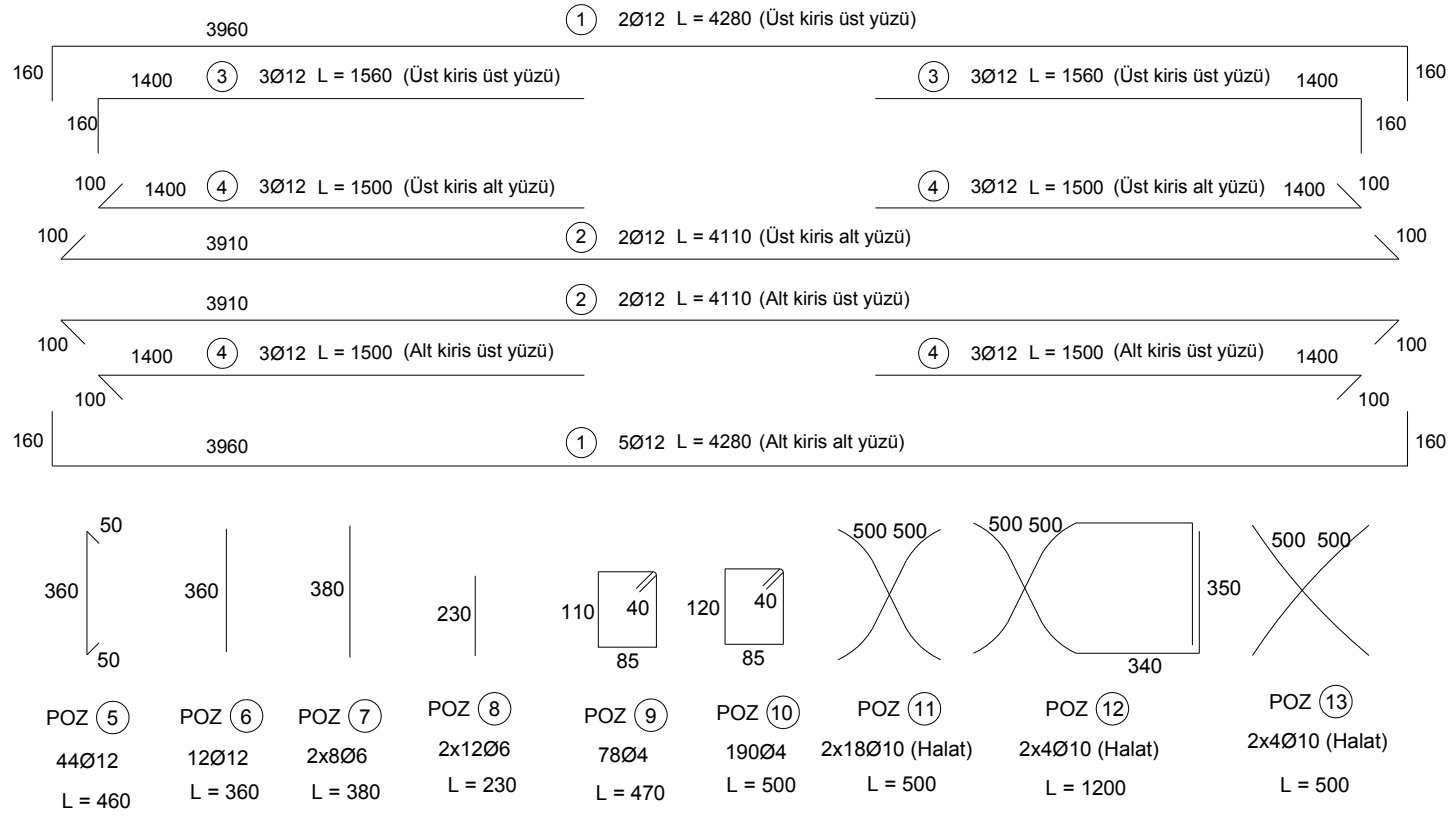
Not : Tüm ölçüler milimetre cinsindendir.

Şekil 5.10. RRxb kirişi donatıları

EK-5 (Devam) Kiriş donatı planı, kesitleri ve donatı pozları

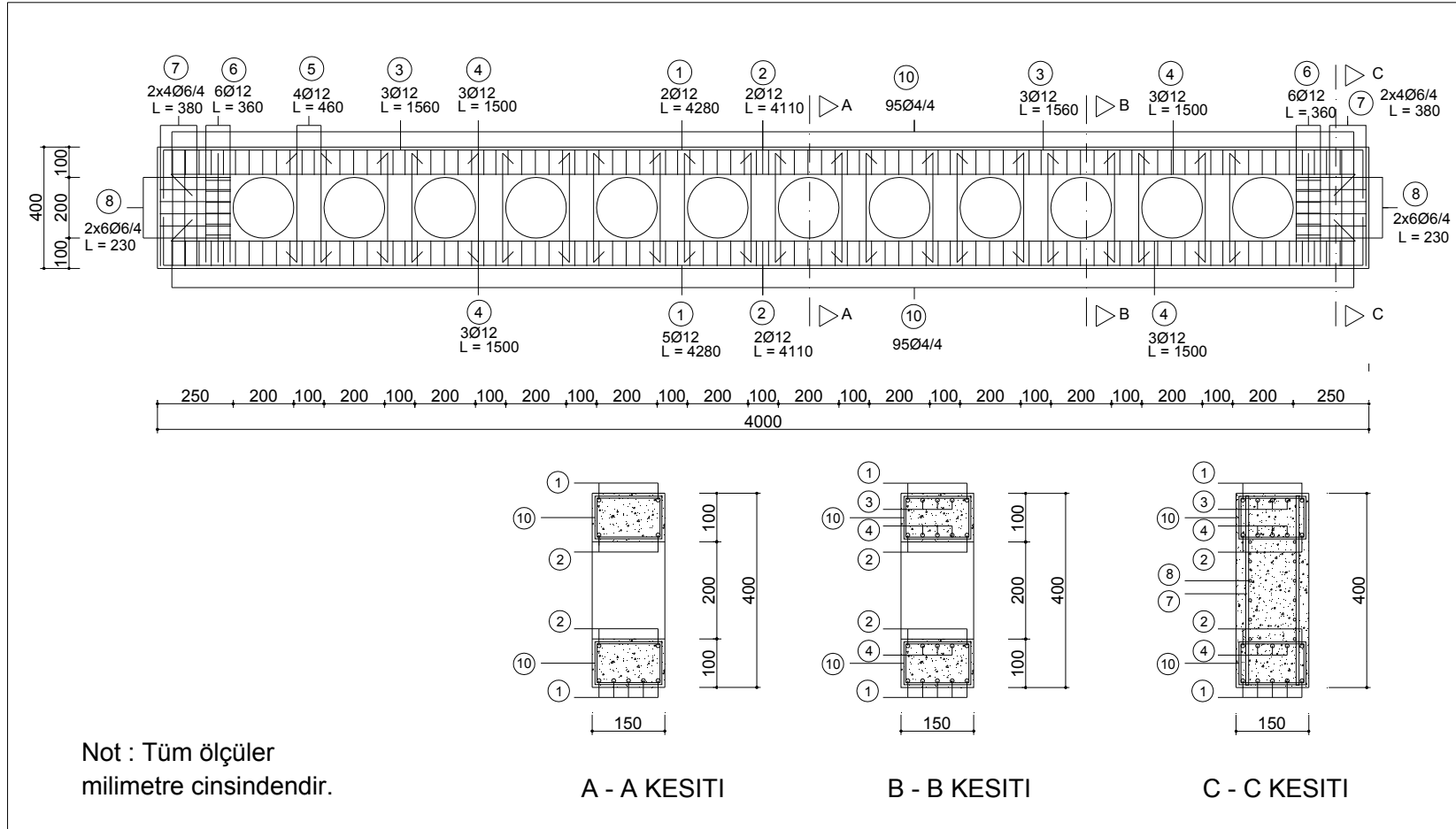


Şekil 5.11. RRxcb kiriş donatı planı ve kesitleri

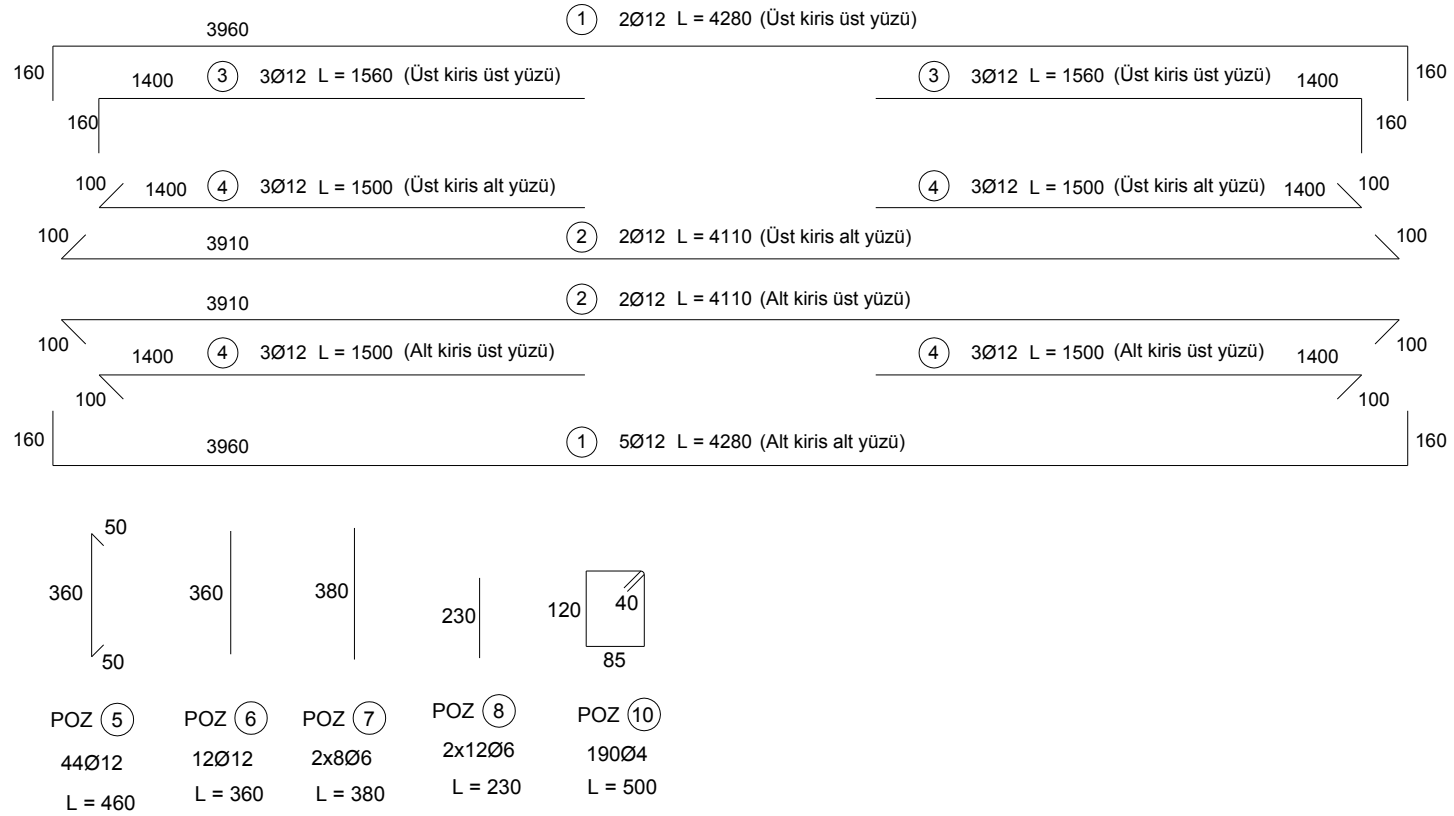


Not : Tüm ölçüler milimetre cinsindendir.

Şekil 5.12. RRxcb kiriş donatıları

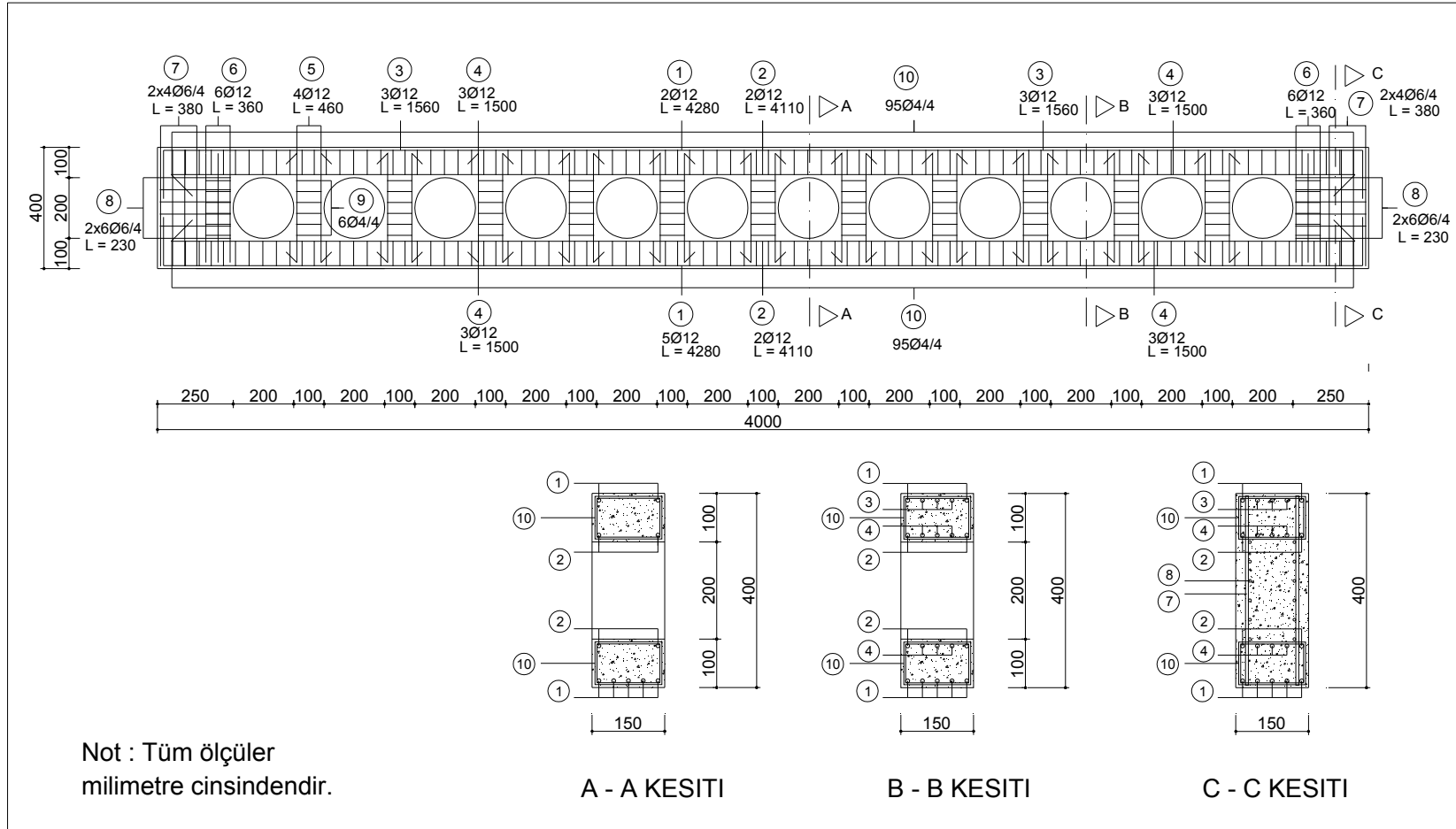


Şekil 5.13. RCb kiriş donatı planı ve kesitleri

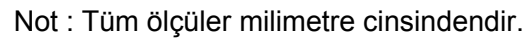


Not : Tüm ölçüler milimetre cinsindendir.

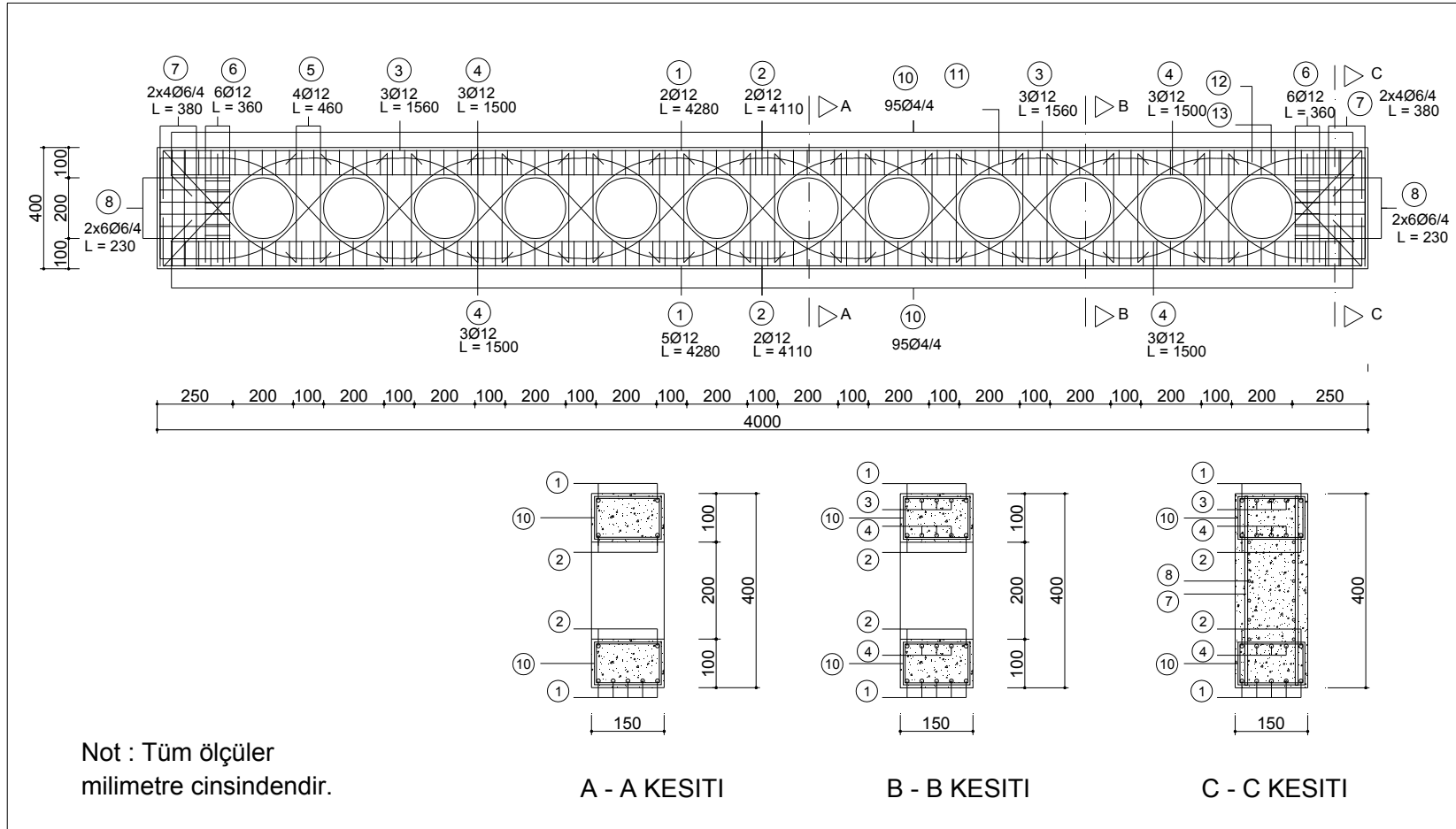
Şekil 5.14. RCB kiriş donatıları



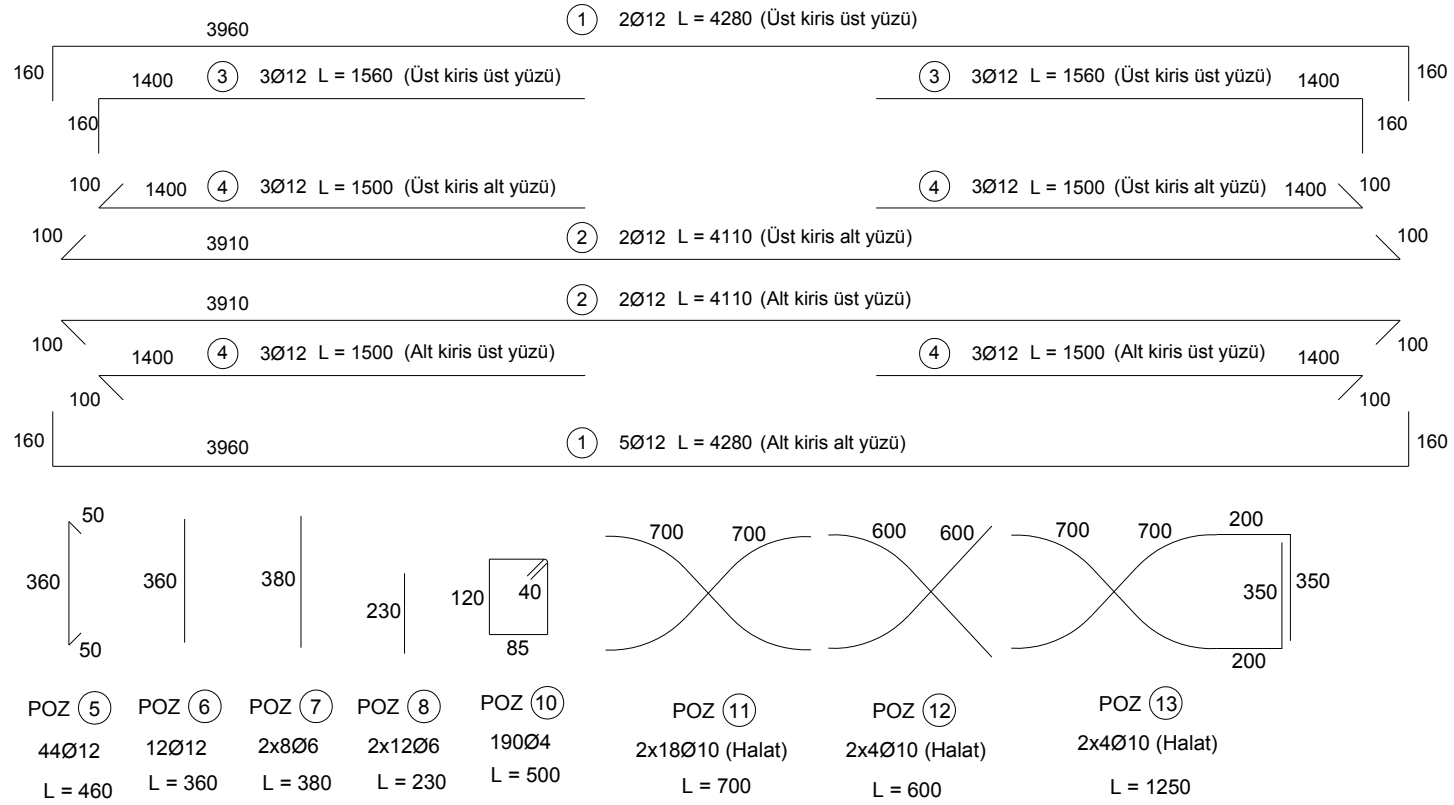
Şekil 5.15. RCcb kiriş donatı planı ve kesitleri



Şekil 5.16. RCcb kirişi donatıları

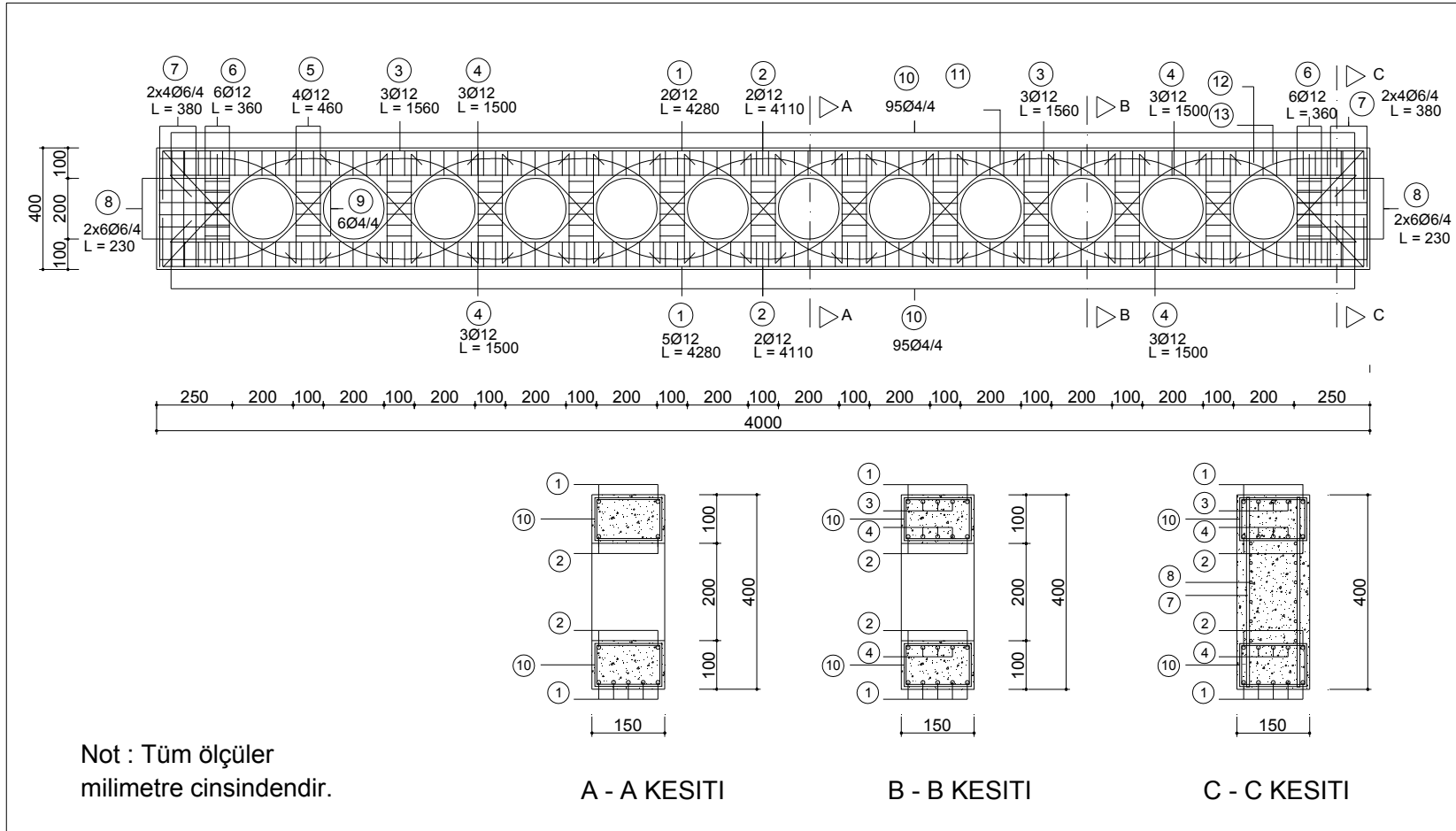


Şekil 5.17. RCxb kiriş donatı planı ve kesitleri

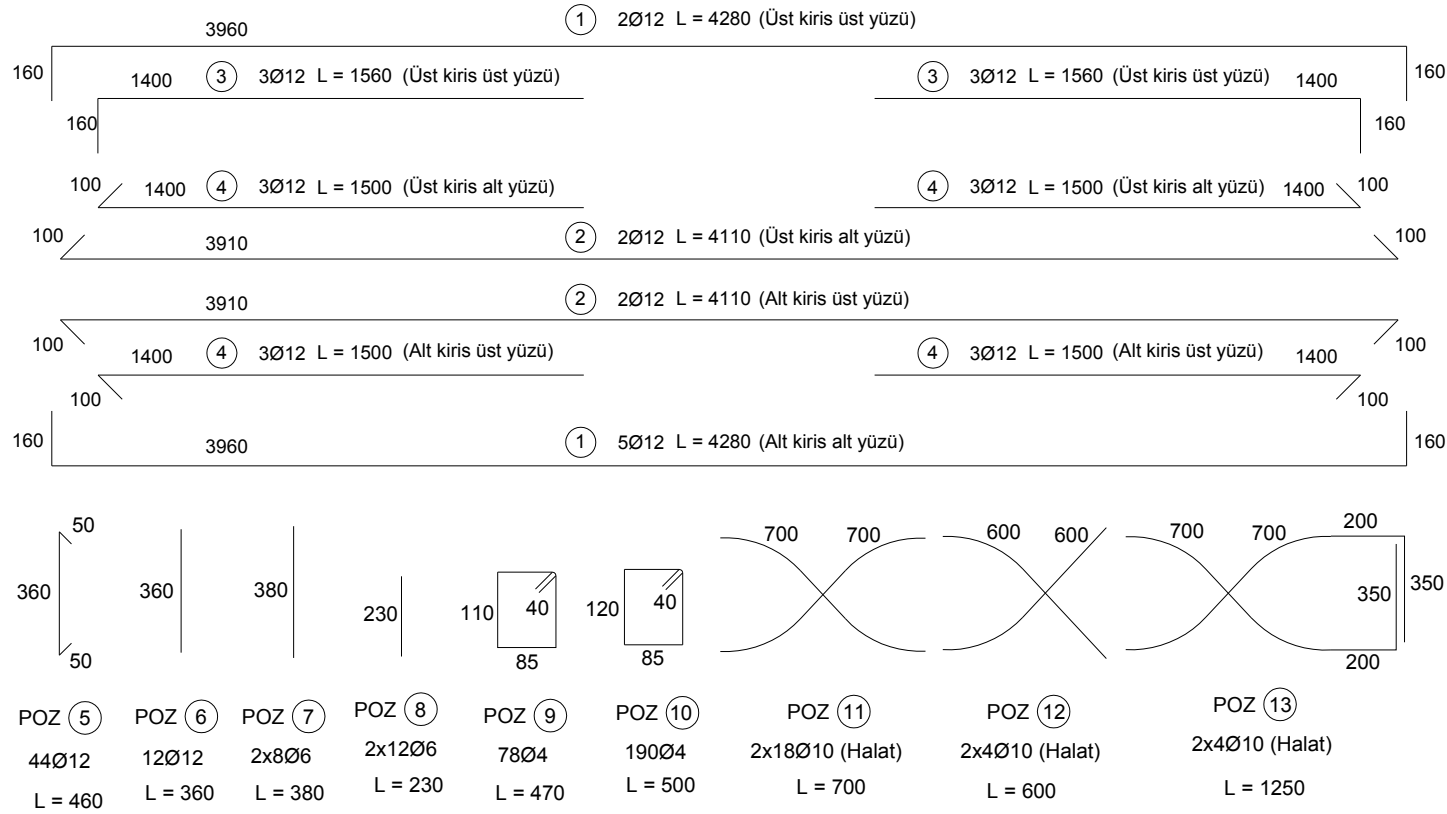


Not : Tüm ölçüler milimetre cinsindendir.

Şekil 5.18. RCxb kiriş donatıları

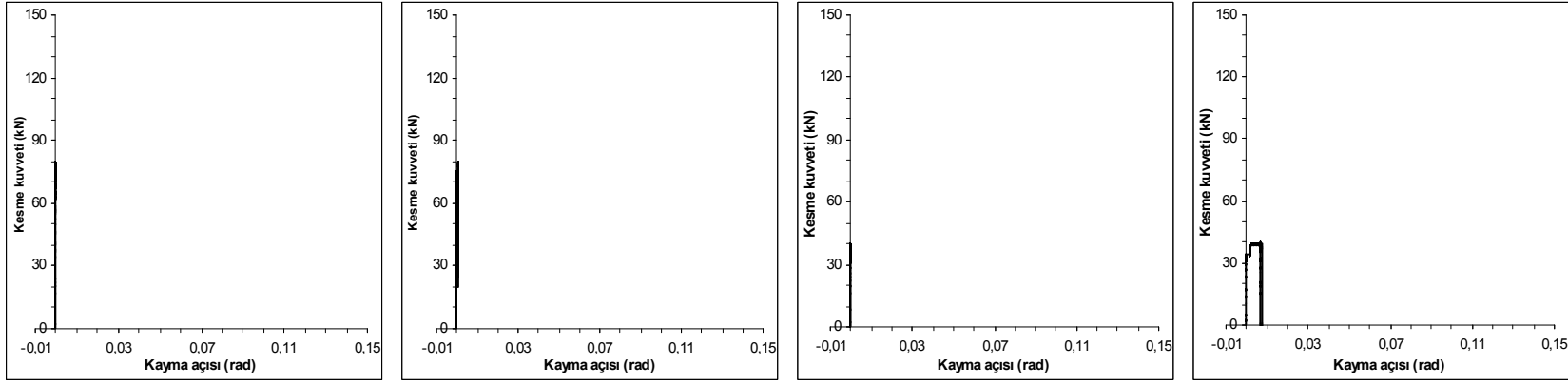


Şekil 5.19. RCxcb kiriş donatı planı ve kesitleri

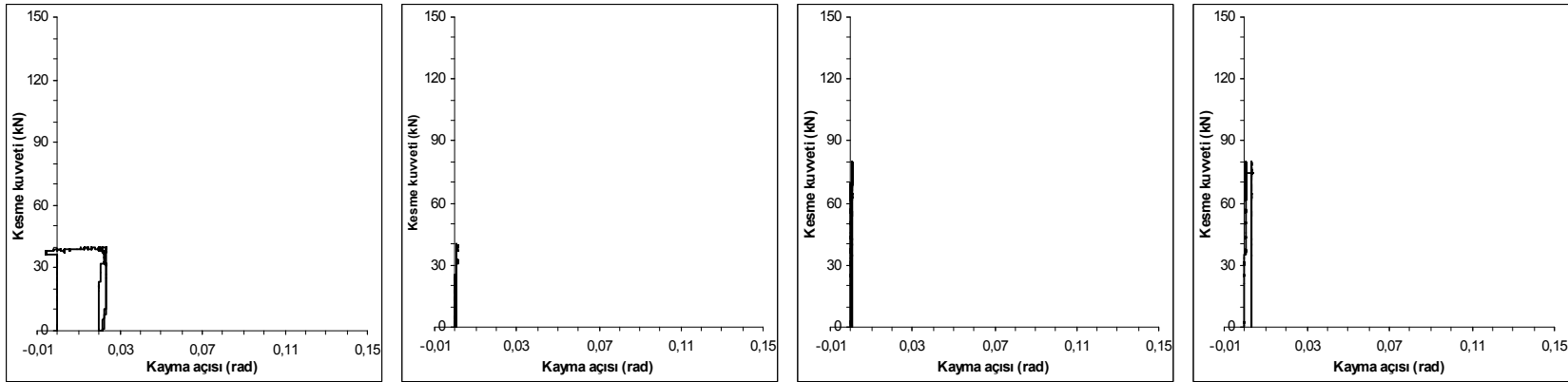


Not : Tüm ölçüler milimetre cinsindendir.

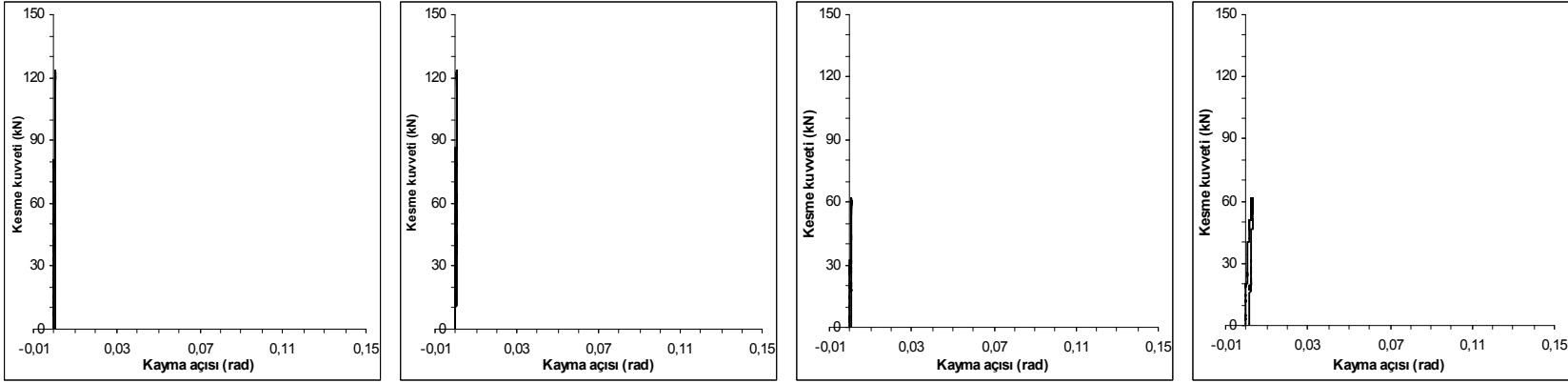
Şekil 5.20. RCxcb kirişi donatıları



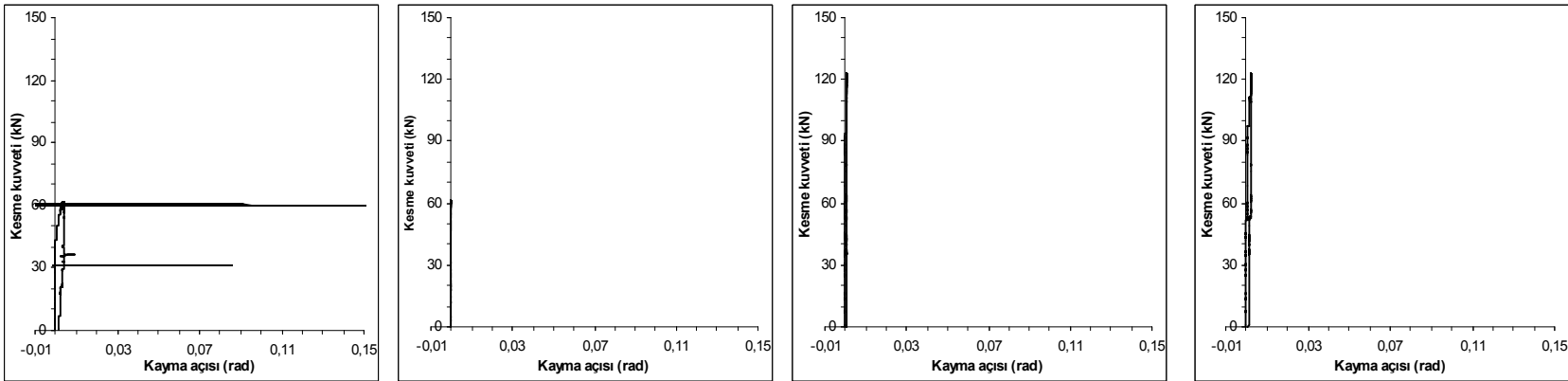
Şekil 6.1 RBN kirişi sol bölge 1, 2, 3, 4 (soldan sağa) boşluklarının kesme kuvveti / kayma açısı grafikleri



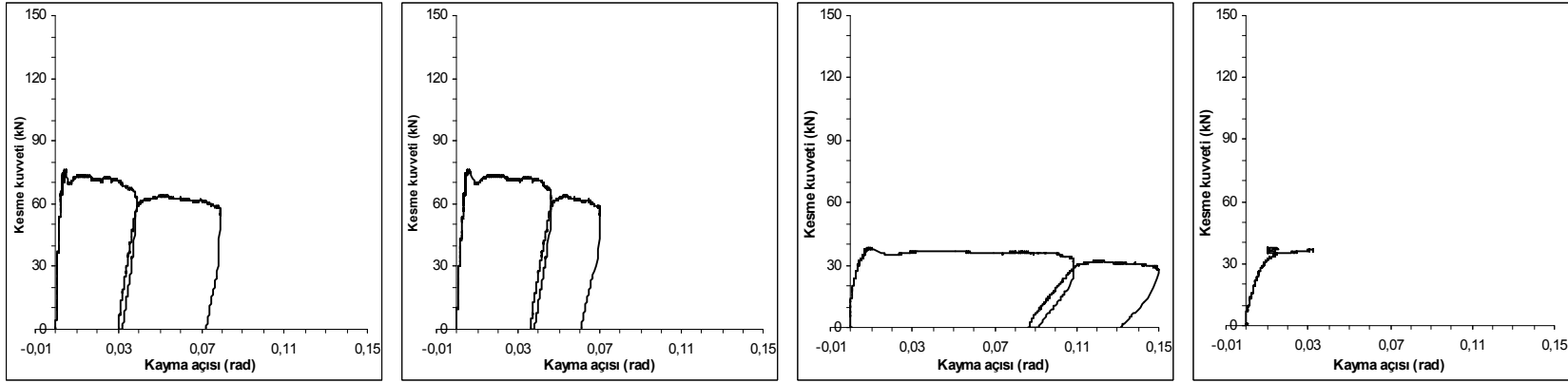
Şekil 6.2 RBN kirişi sağ bölge 9, 10, 11, 12 (soldan sağa) boşluklarının kesme kuvveti / kayma açısı grafikleri



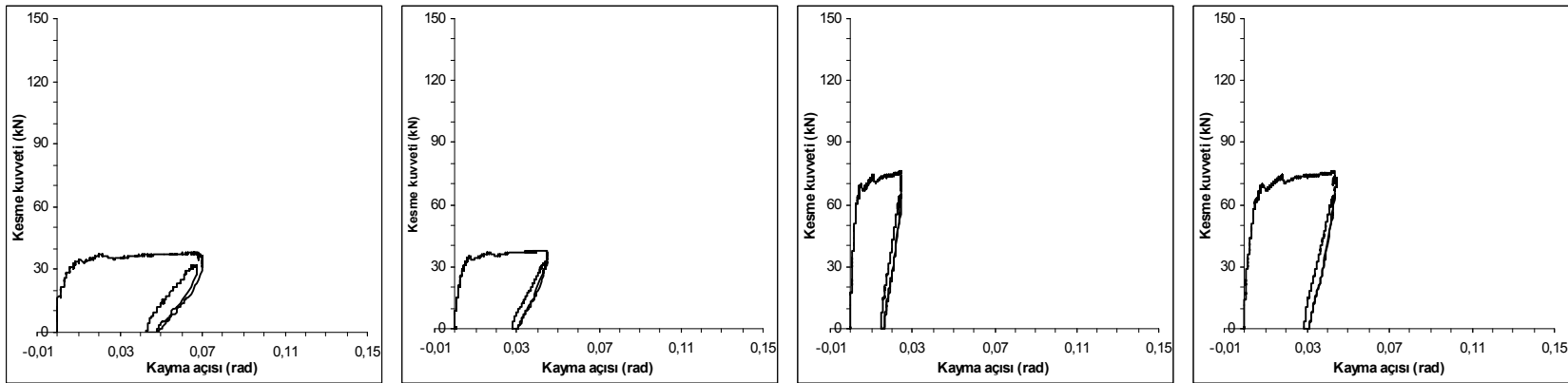
Şekil 6.3 RBb kirişi sol bölge 1, 2, 3, 4 (soldan sağa) boşluklarının kesme kuvveti / kayma açısı grafikleri



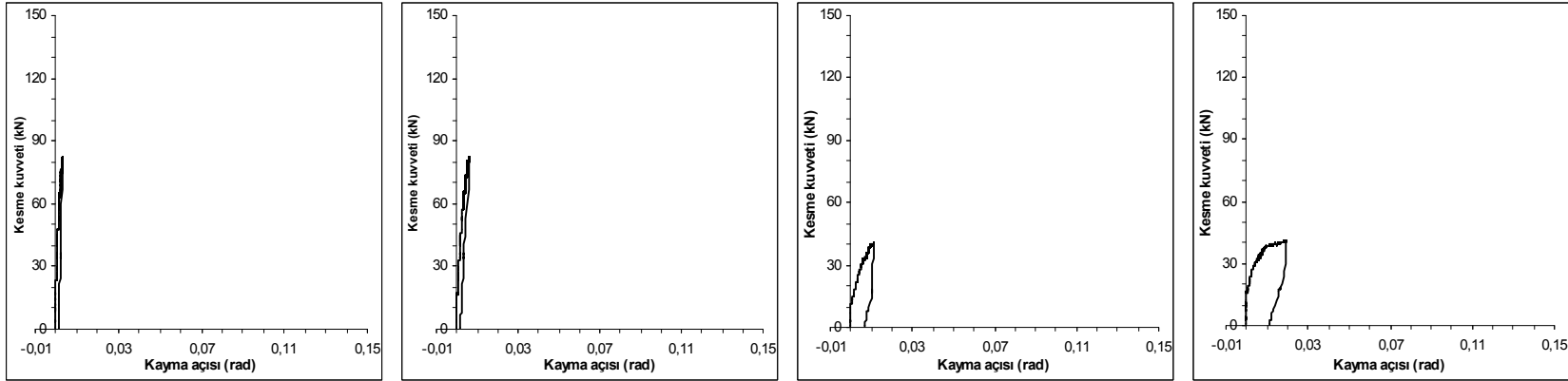
Şekil 6.4 RBb kirişi sağ bölge 9, 10, 11, 12 (soldan sağa) boşluklarının kesme kuvveti / kayma açısı grafikleri



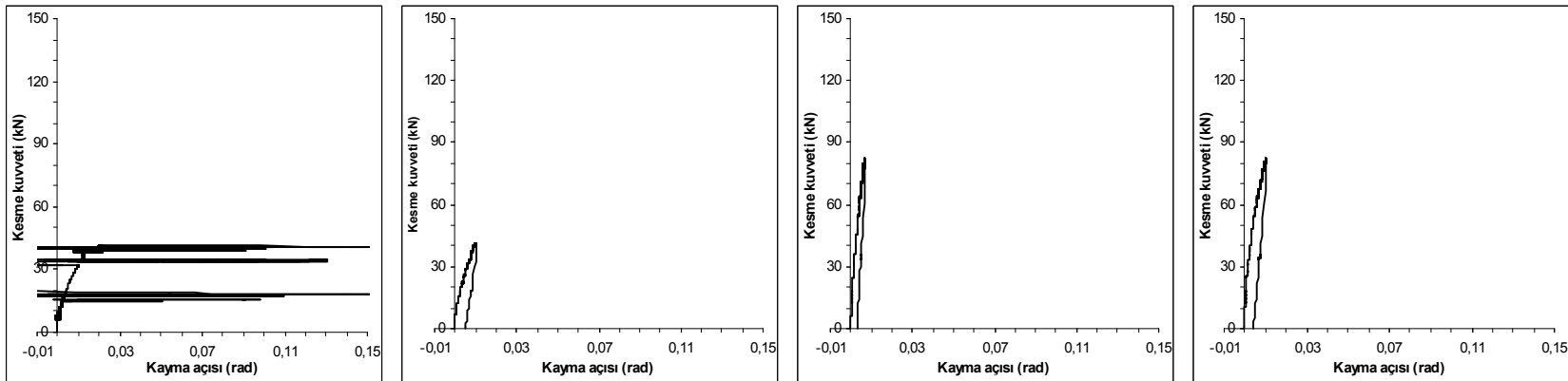
Şekil 6.5 RRxn kirişi sol bölge 1, 2, 3, 4 (soldan sağa) boşluklarının kesme kuvveti / kayma açısı grafikleri



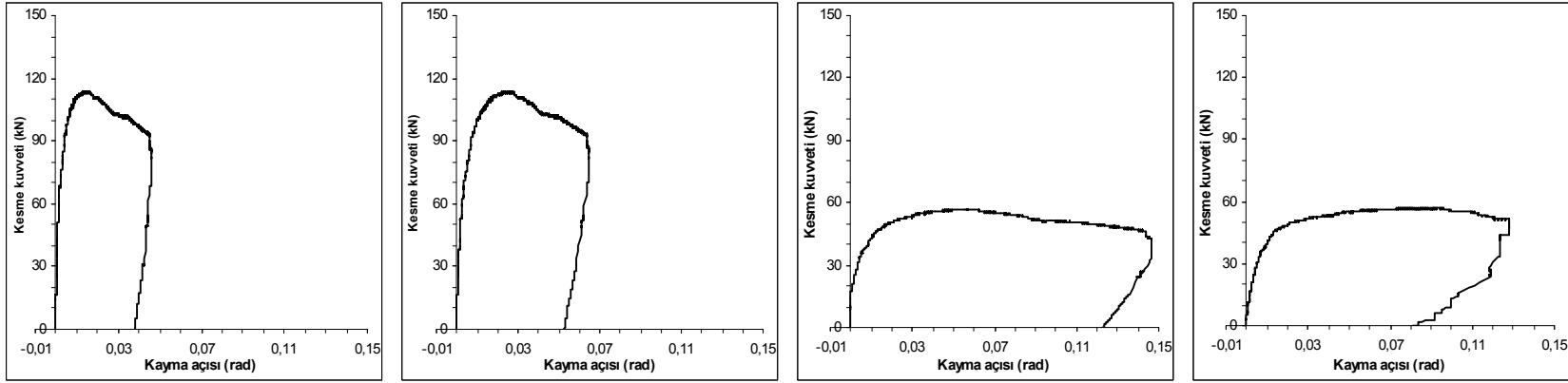
Şekil 6.6 RRxn kirişi sağ bölge 9, 10, 11, 12 (soldan sağa) boşluklarının kesme kuvveti / kayma açısı grafikleri



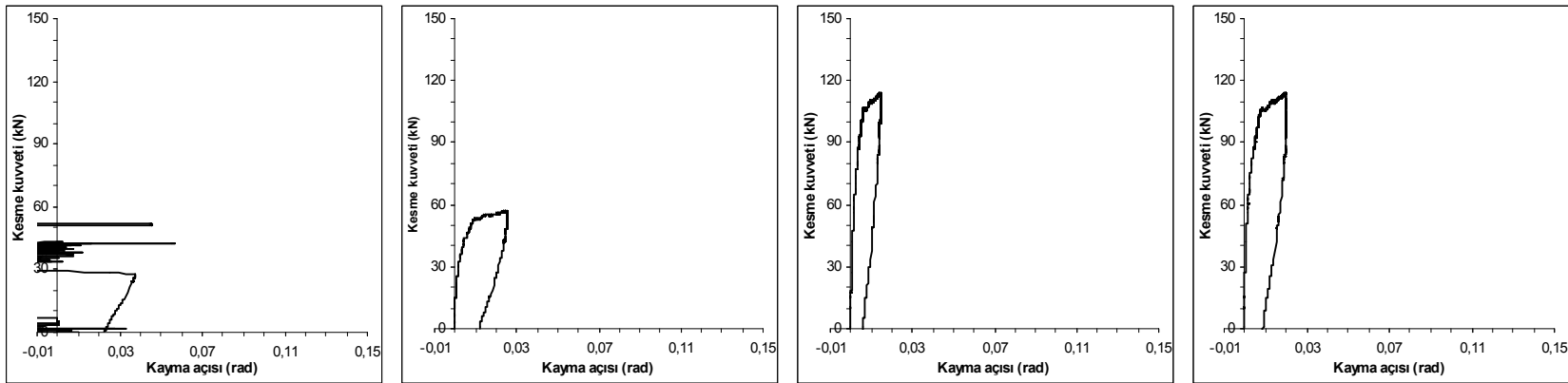
Şekil 6.7 RRxcn kirişi sol bölge 1, 2, 3, 4 (soldan sağa) boşluklarının kesme kuvveti / kayma açısı grafikleri



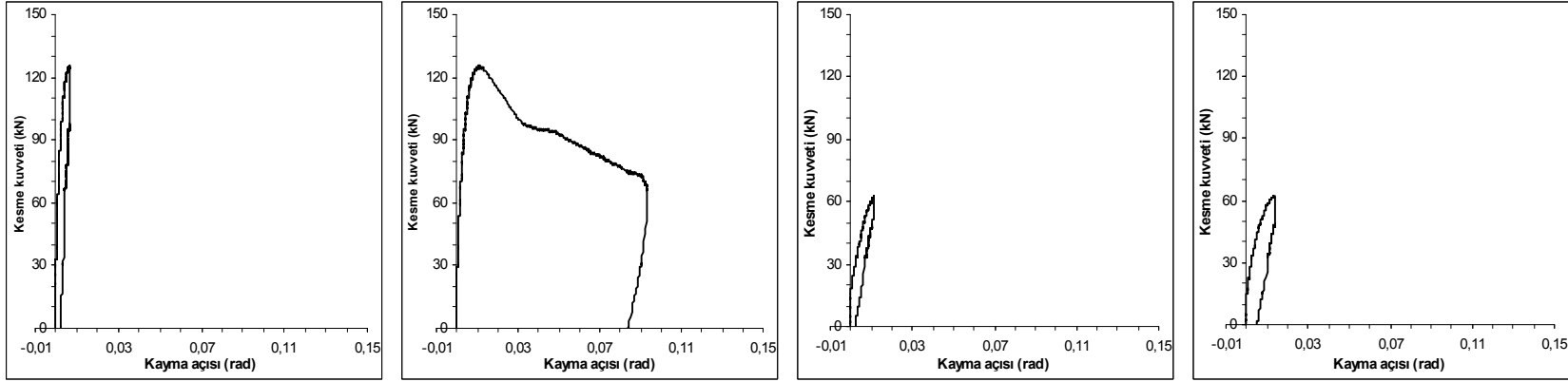
Şekil 6.8 RRxcn kirişi sağ bölge 9, 10, 11, 12 (soldan sağa) boşluklarının kesme kuvveti / kayma açısı grafikleri



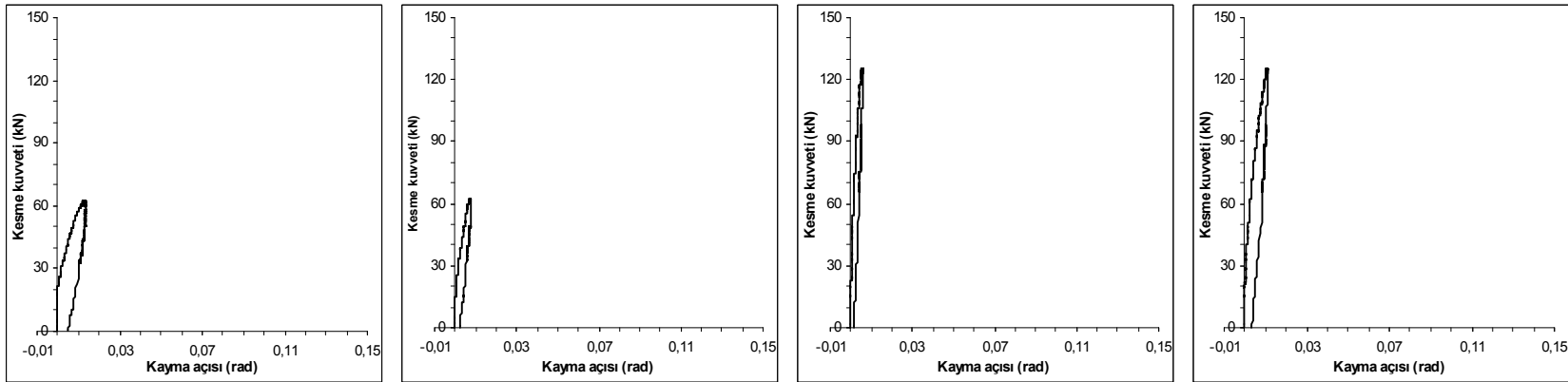
Şekil 6.9 RRxb kirişi sol bölge 1, 2, 3, 4 (soldan sağa) boşluklarının kesme kuvveti / kayma açısı grafikleri



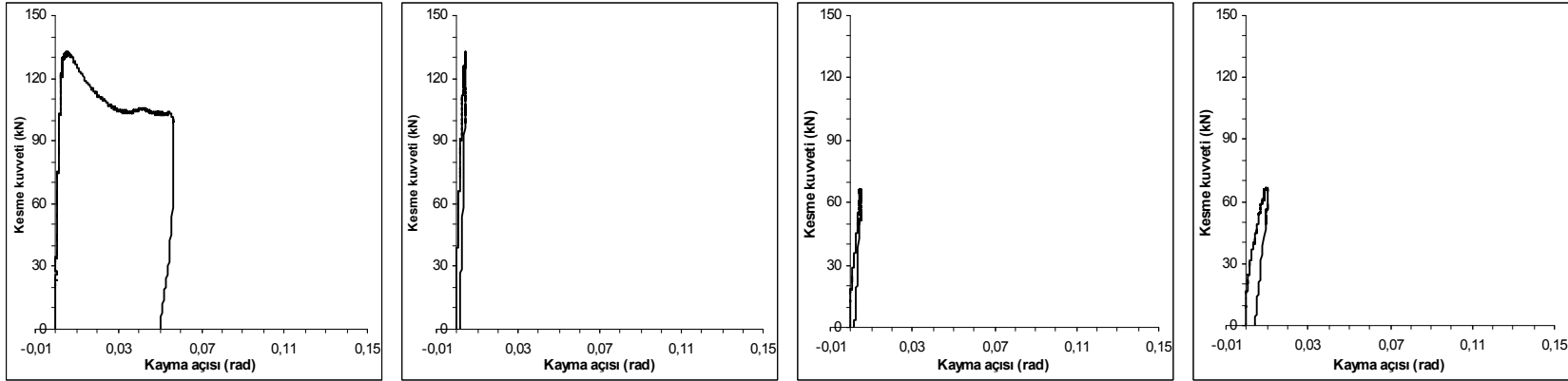
Şekil 6.10 RRxb kirişi sağ bölge 9, 10, 11, 12 (soldan sağa) boşluklarının kesme kuvveti / kayma açısı grafikleri



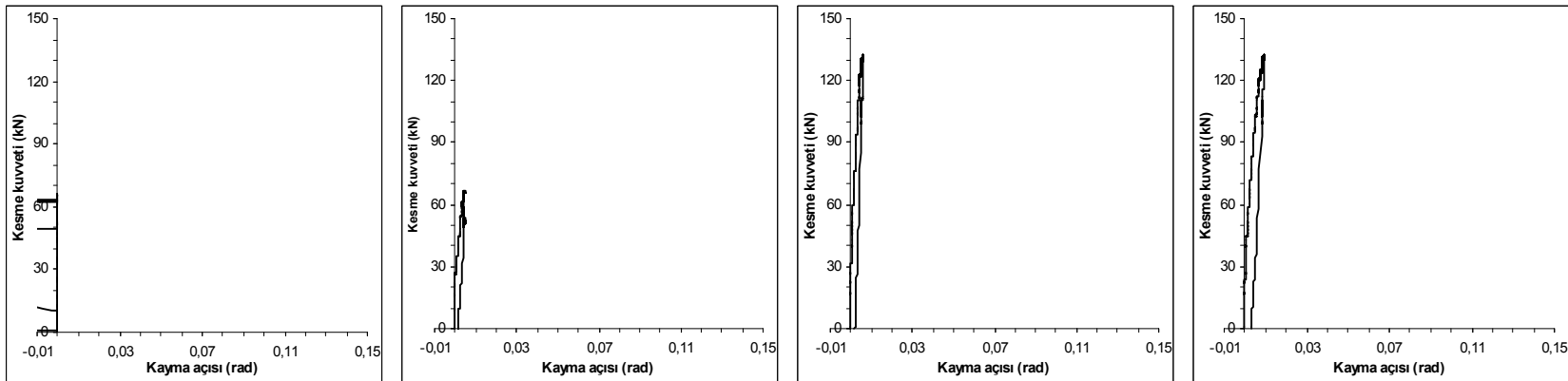
Şekil 6.11 RRxcb kirişi sol bölge 1, 2, 3, 4 (soldan sağa) boşluklarının kesme kuvveti / kayma açısı grafikleri



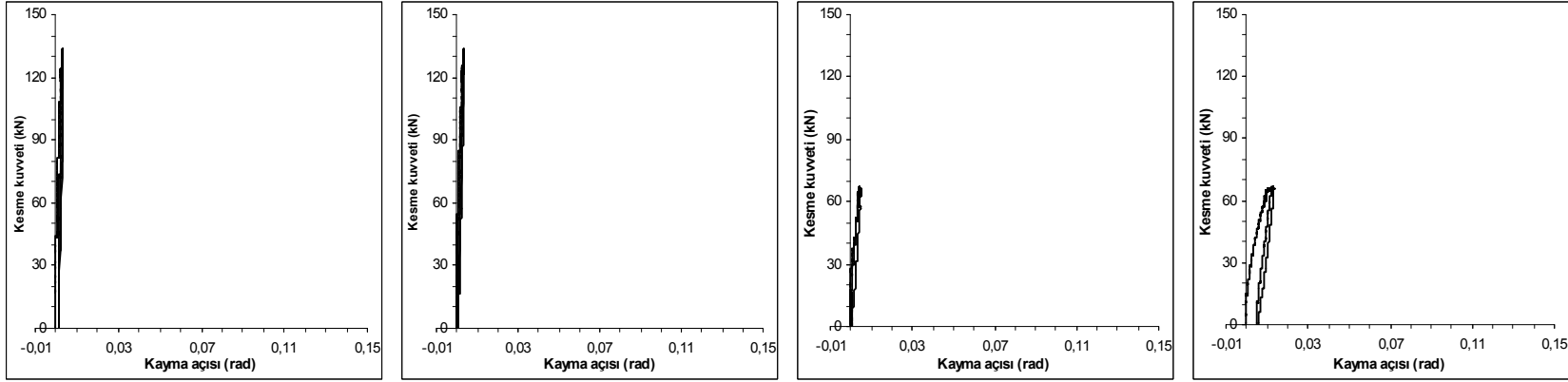
Şekil 6.12 RRxcb kirişi sağ bölge 9, 10, 11, 12 (soldan sağa) boşluklarının kesme kuvveti / kayma açısı grafikleri



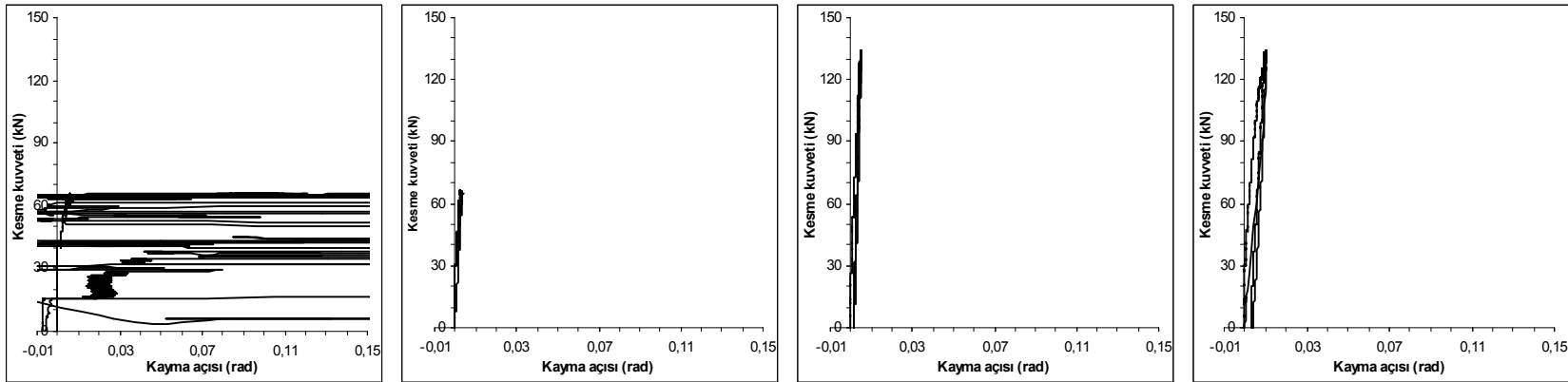
Şekil 6.13 RCb kirişi sol bölge 1, 2, 3, 4 (soldan sağa) boşluklarının kesme kuvveti / kayma açısı grafikleri



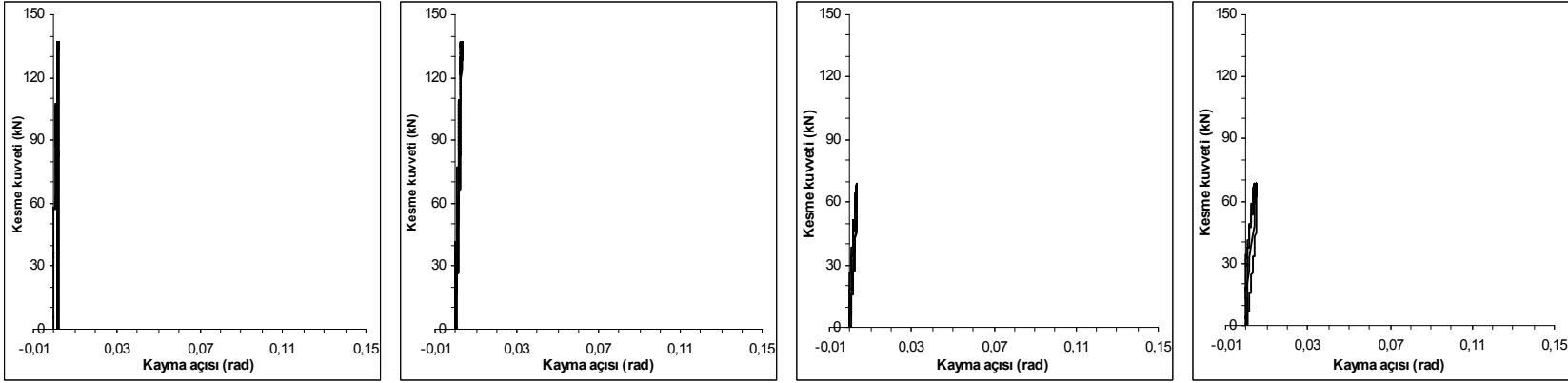
Şekil 6.14 RCb kirişi sağ bölge 9, 10, 11, 12 (soldan sağa) boşluklarının kesme kuvveti / kayma açısı grafikleri



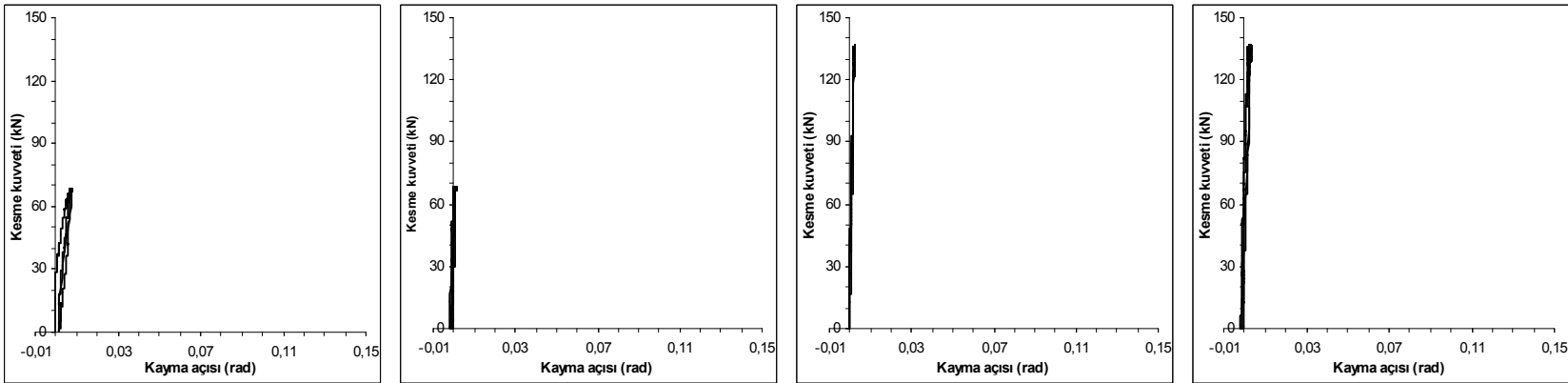
Şekil 6.15 RCcb kirişi sol bölge 1, 2, 3, 4 (soldan sağa) boşluklarının kesme kuvveti / kayma açısı grafikleri



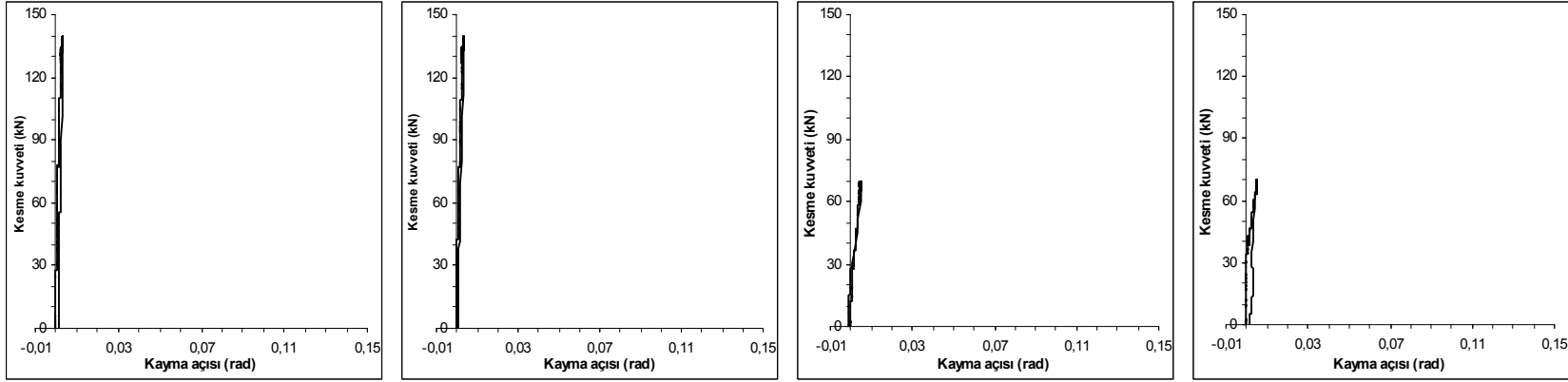
Şekil 6.16 RCcb kirişi sağ bölge 9, 10, 11, 12 (soldan sağa) boşluklarının kesme kuvveti / kayma açısı grafikleri



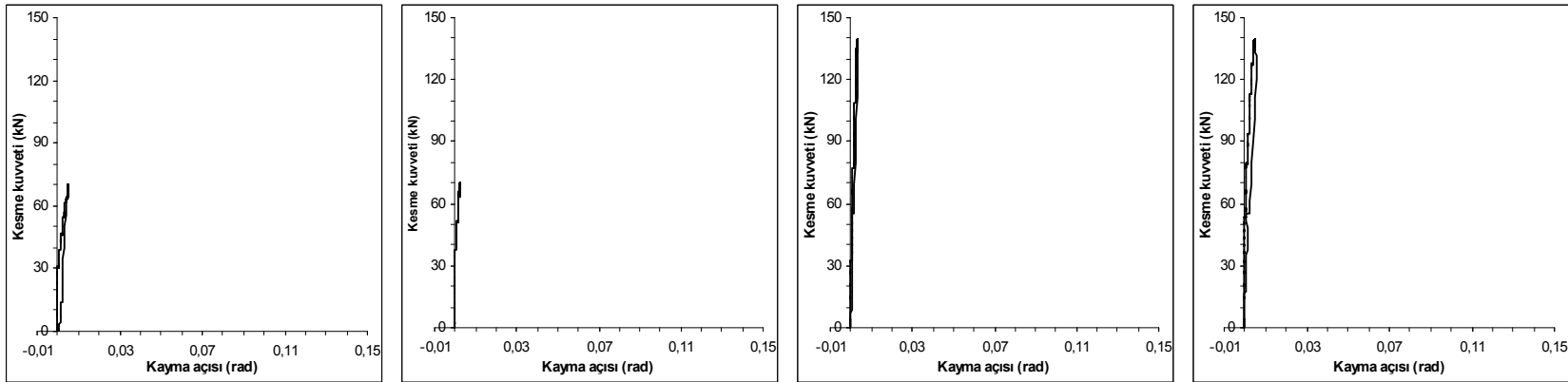
Şekil 6.17 RCxb kirişi sol bölge 1, 2, 3, 4 (soldan sağa) boşluklarının kesme kuvveti / kayma açısı grafikleri



Şekil 6.18 RCxb kirişi sağ bölge 9, 10, 11, 12 (soldan sağa) boşluklarının kesme kuvveti / kayma açısı grafikleri



Şekil 6.19 RCxcb kirişi sol bölge 1, 2, 3, 4 (soldan sağa) boşluklarının kesme kuvveti / kayma açısı grafikleri



Şekil 6.20 RCxcb kirişi sağ bölge 9, 10, 11, 12 (soldan sağa) boşluklarının kesme kuvveti / kayma açısı grafikleri

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : DÜNDAR, Berk
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 15.06.1982; İzmir
 Medeni hali : Bekar
 Telefon : 0 (312) 222 44 42
 Faks :
 e-mail : berkdundar82@hotmail.com

Eğitim Derece

Eğitim Birimi

Mezuniyet Tarihi

Lisans	Dokuz Eylül Üniversitesi/ İnşaat Mühendislik Bölümü	2005
Lise	T.E.D. Ankara Koleji	2000

İş Deneyimi Yıl

Yer

Görev

2005-2008	AYDINER İnşaat A.Ş.	İnşaat Mühendisi
-----------	------------------------	------------------

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Müzik, Spor