

T.C.
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

BETONARME KİRİŞLERİN
DÜBELLENMİŞ ÇELİK PLAKALARLA GÜÇLENDİRİLMESİ

SONER ALTUNÖZ

TEMMUZ 2009

Fen Bilimleri Enstitü Müdürünün Onayı.

16/07/2009

Doç. Dr. Burak BİRGÖREN

Müdür

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak İnşaat Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Osman YILDIZ

Anabilim Dalı Başkanı

Bu tezi okuduğumuzu ve Yüksek Lisans tezi olarak bütün gerekliliklerini yerine getirdiğini onaylarız.

Yrd. Doç. Dr. Orhan DOĞAN

Danışman

Jüri Üyeleri

Yrd. Doç. Dr. Orhan DOĞAN

Yrd. Doç. Dr. İlhami DEMİR

Yrd. Doç. Dr. Mehmet BARAN

TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca, bu araőtırmayı planlayıp yöneten, değerli katkılarıyla bana yol gösteren, deneysel çalıőmalarımınla bizzat kendisi ilgilenen danıőmanım, değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Orhan DOĞAN'a, deneysel çalıőmamı yapmam için gerekli imkanları sağlayan Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakóltesi öğretim üyeleri Yrd. Doç. Dr. Hanifi TOKGÖZ ve Dr. Ömer CAN'a, bütün öğretim hayatım boyunca bana her türlü maddi ve manevi desteğini gösteren, deneysel çalıőmalarımınla bizzat ilgilenen aynı zamanda meslektaőım olan babam İnő. Müh. Zafer ALTUNÖZ'e teőekkürü bir borç bilirim.

ÖZET

BETONARME KİRİŞLERİN DÜBELLENMİŞ ÇELİK PLAKALARLA GÜÇLENDİRİLMESİ

ALTUNÖZ, Soner

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Orhan Doğan

Temmuz 2009, 101 Sayfa

Son yıllarda büyük can ve mal kayıplarına sebep olan depremlerin ardından, yıkılması ekonomik olmayan betonarme yapıların onarılarak veya güçlendirilerek kullanıma açılması da büyük önem kazanmıştır.

Günümüzde betonarme yapı elamanlarının güçlendirilmesinde kesitin büyütülmesi, epoksi ile yapıştırılmış karbon fiber ile sarılması ve dübelli çelik plakaların eklenmesi gibi yöntemler kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, C14 ve C20 gibi iki farklı beton dayanımındaki betonarme kirişlere plaka eklenirken, dübel konnektör diziliminin kiriş performansına katkısı araştırılmıştır. Bu amaçla her beton grubu için üçer adet şahit plakasız kiriş ve üçer adet olmak üzere üç farklı konnektör dizilimi için toplam yirmidört adet 15x15x100 cm zayıf etriyeli kiriş dökülmüştür.

Farklı konnektör dizilimleri için kirişlerin taşıma kapasitesi artışına ek olarak, sünekliği ve enerji yutma kapasitelerine ilişkin de değerlendirilmeler yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler : Kiriş Güçlendirilmesi, Onarılması, Epoksi, Çelik Levha,
Dübel Konnektör

ABSTRACT

STRENGTHENING OF REINFORCED BEAMS WITH ANCHORAGED STEEL PLATES

ALTUNÖZ, Soner

Kırıkkale University

Graduate School Of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering, M. Sc. Thesis

Supervisor : Assist. Prof. Dr. Orhan Doğan

July 2009, 101 Pages

In the recent years, after the earthquakes caused big damage in structures and loss of lives, repairment or strengthening of structures to reuse became very important.

Nowadays in strengthening of reinforced structural elements there are different methods like connecting additional reinforced concrete, covering with stuck carbon fiber textile and adding anchored steel plates with steel bolts.

In this study, for two groups of concrete like C14 and C20 an increment in performance of anchored connector spacings while connecting steel plates investigated. That is why for each groups of concrete strength, three reference beams without steel plates and three beams with steel plates for three different spaced connectors are prepared. Totally twenty-four reinforced beams in section of 15x15x100 cm are casted and strengthened with steel plates in the same section.

As an addition to the increase of ultimate capacity of the beams, ductility and energy absorbing capacity of the beams are also investigated.

Keywords: Strengthening, Repairement, Epoxy, Steel Plate,
Connector Spacings

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER	vi
ÇİZELGELER DİZİNİix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
SİMGELER DİZİNİ	xv
1. GİRİŞ	1
1.1. Kaynak Özeti	2
1.2. Çalışmanın Amacı	5
2. MATERYAL VE YÖNTEM	7
2.1. Genel	7
2.2. Deney Programı	7
2.3. Deney Elemanları	12
2.4. Deney Elemanlarının Hazırlanması	14
2.5. Yapıştırma Tekniği	17
2.6. Malzeme Özellikleri ve Dayanımları	19
2.7. Deney Düzeneği	20
3. ARAŞTIRMA BULGULARI	21
3.1. C14 Beton Sınıfı Deney Elemanları	21
3.1.1. R-1 Yalın Kiriş (Referans Kiriş)	21
3.1.2. R-2 Yalın Kiriş (Referans Kiriş)	24

3.1.3. R-3 Yalın Kiriş (Referans Kiriş)	26
3.1.4. A-1 Güçlendirilmiş Kiriş	28
3.1.5. A-2 Güçlendirilmiş Kiriş	31
3.1.6. A-3 Güçlendirilmiş Kiriş	35
3.1.7. B-1 Güçlendirilmiş Kiriş	38
3.1.8. B-2 Güçlendirilmiş Kiriş	41
3.1.9. B-3 Güçlendirilmiş Kiriş	44
3.1.10. C-1 Güçlendirilmiş Kiriş	48
3.1.11. C-2 Güçlendirilmiş Kiriş	51
3.1.12. C-3 Güçlendirilmiş Kiriş	55
3.2. C20 Beton Sınıfı Deney Elemanları	58
3.2.1. 1-A Yalın Kiriş (Referans Kiriş)	58
3.2.2. 1-A1 Yalın Kiriş (Referans Kiriş)	60
3.2.3. 1-A2 Yalın Kiriş (Referans Kiriş)	61
3.2.4. 3-C Güçlendirilmiş Kiriş	63
3.2.5. 3-C1 Güçlendirilmiş Kiriş	66
3.2.6. 3-C2 Güçlendirilmiş Kiriş	69
3.2.7. 4-C Güçlendirilmiş Kiriş	72
3.2.8. 4-C1 Güçlendirilmiş Kiriş	75
3.2.9. 4-C2 Güçlendirilmiş Kiriş	78
3.2.10. 5-C Güçlendirilmiş Kiriş	81
3.2.11. 5-C1 Güçlendirilmiş Kiriş	84
3.2.12. 5-C2 Güçlendirilmiş Kiriş	86
4. TARTIŞMA VE SONUÇ	88
4.1. Öneriler	99

KAYNAKLAR	101
-----------------	-----

ÇİZELGELER DİZİNİ

ÇİZELGE

2.1. C14 Beton Sınıfı Deney Elemanlarının Özellikleri	8
2.2. C20 Beton Sınıfı Deney Elemanlarının Özellikleri	10
4.1. C14 Beton Dayanımı Referans Numuneleri Deney Sonuçları	89
4.2. C14 Beton Dayanımı A Grubu Numuneleri Deney Sonuçları	90
4.3. C14 Beton Dayanımı B Grubu Numuneleri Deney Sonuçları	91
4.4. C14 Beton Dayanımı C Grubu Numuneleri Deney Sonuçları	92
4.5. C20 Beton Dayanımı 1-A Grubu Numuneleri Deney Sonuçları	94
4.6. C20 Beton Dayanımı 3-C Grubu Numuneleri Deney Sonuçları	95
4.7. C20 Beton Dayanımı 4-C Grubu Numuneleri Deney Sonuçları	96
4.8. C20 Beton Dayanımı 5-C Grubu Numuneleri Deney Sonuçları	97

ŞEKİLLER DİZİNİ

ŞEKİL

2.1. A Grubu Numuneler	9
2.2. B Grubu Numuneler	9
2.3. C Grubu Numuneler	10
2.4. 3-C Grubu Numuneler	11
2.5. 4-C Grubu Numuneler	11
2.6. 5-C Grubu Numuneler	12
2.7. Deney Numunesi Donatı Planı	13
2.8. Donatıların Kalıplara Yerleştirilmesi	15
2.9. Donatıların Kalıplara Yerleştirilmesi	15
2.10. Kalıplara Betonun Dökülmesi	16
2.11. Betonun Şişlenmesi	16
2.12. Beton Numunelerin Şişlenmesi	17
2.13. Epoksi Uygulanırken	18
2.13. Epoksi Uygulanırken	18
2.14. Epoksi Uygulanırken	19
3.1. R-1 Deney Numunesi	21
3.2. R-1 Deney Numunesi	22
3.3. R-1 Deney Numunesi	23
3.4. R-1 Numunesi Yük- Deplasman Grafiği	23
3.5. R-2 Deney Numunesi	24
3.6. R-2 Deney Numunesi	25
3.7. R-2 Numunesi Yük- Deplasman Grafiği	25

3.8. R-3 Deney Numunesi	26
3.9. R-3 Deney Numunesi	27
3.10. R-3 Numunesi Yük- Deplasman Grafiği	27
3.11. A-1 Deney Numunesi	28
3.12. A-1 Deney Numunesi	29
3.13. A-1 Deney Numunesi	30
3.14. A-1 Deney Numunesi	30
3.15. A-1 Numunesi Yük- Deplasman Grafiği	31
3.16. A-2 Deney Numunesi	32
3.17. A-2 Deney Numunesi	33
3.18. A-2 Deney Numunesi	33
3.19. A-2 Deney Numunesi	34
3.20. A-2 Numunesi Yük- Deplasman Grafiği	34
3.21. A-3 Deney Numunesi	35
3.22. A-3 Deney Numunesi	36
3.23. A-3 Deney Numunesi	37
3.24. A-3 Deney Numunesi	37
3.25. A-3 Numunesi Yük- Deplasman Grafiği	38
3.26. B-1 Deney Numunesi	39
3.27. B-1 Deney Numunesi	39
3.28. B-1 Deney Numunesi	40
3.29. B-1 Deney Numunesi	40
3.30. B-1 Numunesi Yük- Deplasman Grafiği	41
3.31. B-2 Deney Numunesi	42
3.32. B-2 Deney Numunesi	42

3.33. B-2 Deney Numunesi	43
3.34. B-2 Deney Numunesi	43
3.35. B-2 Numunesi Yük- Deplasman Grafiği	44
3.36. B-3 Deney Numunesi	45
3.37. B-3 Deney Numunesi	45
3.38. B-3 Deney Numunesi	46
3.39. B-3 Deney Numunesi	47
3.40. B-3 Numunesi Yük- Deplasman Grafiği	47
3.41. C-1 Deney Numunesi	48
3.42. C-1 Deney Numunesi	49
3.43. C-1 Deney Numunesi	50
3.44. C-1 Deney Numunesi	50
3.45. C-1 Numunesi Yük- Deplasman Grafiği	51
3.46. C-2 Deney Numunesi	52
3.47. C-2 Deney Numunesi	52
3.48. C-2 Deney Numunesi	53
3.49. C-2 Deney Numunesi	54
3.50. C-2 Numunesi Yük- Deplasman Grafiği	54
3.51. C-3 Deney Numunesi	55
3.52. C-3 Deney Numunesi	56
3.53. C-3 Deney Numunesi	57
3.54. C-3 Deney Numunesi	57
3.55. C-3 Numunesi Yük- Deplasman Grafiği	58
3.56. 1-A Deney Numunesi	59

3.57. 1-A Numunesi Yük- Deplasman Grafiği	59
3.58. 1-A1 Deney Numunesi	60
3.59. 1-A1 Numunesi Yük- Deplasman Grafiği	61
3.60. 1-A2 Deney Numunesi	62
3.61. 1-A2 Numunesi Yük- Deplasman Grafiği	62
3.62. 3-C Deney Numunesi	63
3.63. 3-C Deney Numunesi	64
3.64. 3-C Deney Numunesi	65
3.65. 3-C Deney Numunesi	65
3.66. 3-C Numunesi Yük- Deplasman Grafiği	66
3.67. 1-C1 Deney Numunesi	67
3.68. 1-C1 Deney Numunesi	67
3.69. 1-C1 Deney Numunesi	68
3.70. 3-C1 Numunesi Yük- Deplasman Grafiği	68
3.71. 1-C2 Deney Numunesi	70
3.72. 1-C2 Deney Numunesi	70
3.73. 1-C2 Deney Numunesi	71
3.74. 3-C2 Numunesi Yük- Deplasman Grafiği	71
3.75. 4-C Deney Numunesi	72
3.76. 4-C Deney Numunesi	73
3.77. 4-C Deney Numunesi	74
3.78. 4-C Deney Numunesi	74
3.79. 4-C Numunesi Yük- Deplasman Grafiği	75
3.80. 4-C1 Deney Numunesi	76
3.81. 4-C1 Deney Numunesi	77

3.82. 4-C1 Deney Numunesi	77
3.83. 4-C1 Numunesi Yük- Deplasman Grafiği	78
3.84. 4-C2 Deney Numunesi	79
3.85. 4-C2 Deney Numunesi	80
3.86. 4-C2 Deney Numunesi	80
3.87. 4-C2 Numunesi Yük- Deplasman Grafiği	81
3.88. 5-C Deney Numunesi	82
3.89. 5-C Deney Numunesi	82
3.90. 5-C Deney Numunesi	83
3.91. 5-C Numunesi Yük- Deplasman Grafiği	84
3.92. 5-C Deney Numunesi	85
3.93. 5-C1 Deney Numunesi	85
3.94. 5-C1 Numunesi Yük- Deplasman Grafiği	86
3.95. 5-C2 Deney Numunesi	87
3.96. 5-C2 Numunesi Yük- Deplasman Grafiği	87
4.1. C14 Deney Beton Sınıfı Numuneleri Yük- Deplasman Grafiği	88
4.2. C14 Beton Sınıfı A Grubu Numuneleri Yük- Deplasman Grafiği	89
4.3. C14 Beton Sınıfı B Grubu Numuneleri Yük- Deplasman Grafiği	90
4.4. C14 Beton Sınıfı C Grubu Numuneleri Yük- Deplasman Grafiği	91
4.5. C14 Deney Grubu Numuneleri Yük- Deplasman Grafiği	92
4.6. C20 Beton Sınıfı 1-A Grubu Numuneleri Yük- Deplasman Grafiği	94
4.7. C20 Beton Sınıfı 3-C Grubu Numuneleri Yük- Deplasman Grafiği	95
4.8. C20 Beton Sınıfı 4-C Grubu Numuneleri Yük- Deplasman Grafiği	96
4.9. C20 Beton Sınıfı 5-C Grubu Numuneleri Yük- Deplasman Grafiği	97
4.10. C20 Deney Grubu Numuneleri Yük- Deplasman Grafiği	98

SİMGELER DİZİNİ

ρ	Çekme bölgesi donatı oranı
ρ'	Basınç bölgesi donatı oranı
ρ_b	Dengeli donatı oranı
bw	Kiriş genişliği
d	Kiriş faydalı yüksekliği

1.GİRİŞ

Ülkemiz nüfusunun büyük bir çoğunluğu deprem riski yüksek olan yerlerde yaşamaktadır. Ülkemizde meydana gelen depremler göstermiştir ki; mevcut betonarme yapıların birçoğunun teknik eksiklikler ve uygulama hatalarına ek olarak aşırı korozyon etkisinde ekonomik ömrünü tamamlamış olması nedeniyle güçlendirilmesi veya yıkılıp yeniden yapılması gerekmektedir. Bunun doğrultusunda ülkemizdeki betonarme yapıların güçlendirilme çalışmaları gün geçtikçe artmaktadır.

Betonarme kirişlerin eğilme dayanımının artırılması için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden biri betonarme kirişin alt ve üst kısmına betonarme katman ekleyerek kesit büyütülmekte ve mevcut donatılara ilave boyuna donatılar eklemek suretiyle yapılmaktadır. Teorik olarak başarılı olmakla beraber yeni betonun sıkıştırılması gibi bazı işçilik problemleri nedeniyle uygulamada sorunlar ortaya çıkartmaktadır.

Kirişlerin eğilme dayanımının artırılmasında kullanılan bir diğer yöntemde kiriş yüzeylerine karbon lif kumaşlar epoksi ile yapıştırılmasıdır. Bu uygulama sayesinde dayanımda önemli artışlar olmasına rağmen aynı oranlarda süneklik düzeyinde artış görülmemiştir.

Bir diğer yöntemde kiriş alt yüzlerine çelik lama, köşebent ve plakaların epoksi veya lamalarla eklenmesidir. Epoksili yöntemde dayanımda önemli artışlar olmasına rağmen levhalar kiriş yüzeyinden sıyrılmaktadır. Bu nedenle, çelik plakaların beton yüzeyinden sıyrılmaması ve daha iyi bir

dayanım için daha sünek davranış gösteren dubellerin kullanımı önem kazanmıştır.

Bu çalışma kapsamında zayıf etriyeli, kesiti 15x15 cm olan 1 m boyunda betonarme kirişler hazırlanmış, epoksi ve dübel konnektör kullanılarak çelik plakalarla güçlendirilmiştir. Malzeme olarak S420 nervürlü çelik donatı kullanılmış, zayıf (C14) ve normal (C20) mukavemette betonlar için iki ayrı grup çalışma yapılmıştır. C14 ve C20 betonları için üçer adet referans ve dokuzar adet plakalarla güçlendirilmek üzere toplam yirmidört adet deney numunesi hazırlanmıştır. Kiriş numunelerin güçlendirilmesinde aynı kalınlıkta çelik plakalar kullanılmış, numuneler orta noktadan statik yükleme deneyine tabi tutulmuştur. Bu çalışmada farklı aralıklardaki dubel dizilimleri için, kirişlerin taşıma kapasitesi, enerji yutma kapasitesi ve sünekliğine ilişkin performansındaki artışları, ideal dubel dizilimi ve aralıkları araştırılmıştır.

1.1. Kaynak Özetleri

Çetinkaya, Kaplan, Şenel, 2003 yılında yaptıkları çalışmalarda betonarme kirişlerin lifli polimer (FRP) malzemeler kullanılarak onarım ve güçlendirilmesi yapılmıştır. Deney kirişleri $b= 15$ cm, $h= 25$ cm ve $L= 270$ cm boyutlarındadır. Deneysel çalışma üç bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde deney kirişlerinden iki tanesi herhangi bir onarım veya güçlendirilme yapılmadan statik yüklemeye tabi tutulmuş. İkinci bölümde önceden yüklemeye tabi tutularak taşıma gücüne ulaşan ve hasar gören deney kirişlerinin onarımı yapılmış ve iki değişik güçlendirme yöntemi yapılmıştır.

Üçüncü bölümde ise hasar görmeden, doğrudan güçlendirilen deney kirişleri yüklemeye tabi tutulmuştur ve taşıma gücünün sonuna kadar yük deplasman eğrileri elde edilmiştir. Çalışma göstermiştir ki; FRP malzemeler betonarme elemanların onarım ve güçlendirilmesinde kullanılabilir. Uygun şekilde kullanıldığında elemanların yük taşıma kapasitesini ve daha da önemlisi sünekliğini çok büyük ölçüde arttırmaktadır. Bu durumda elemanlar daha fazla deplasman yaparak daha fazla deprem enerjisi sönümleyebilmektedir⁽¹⁾.

Köse ve Özgen' nin, 2003 yılında yaptıkları çalışmalarında betonarme elemanların çelik lamalar kullanılarak güçlendirilmesi üzerinde durulmuştur. Yapılan deney sonuçları göre, birleşim elemanı olarak kullanılan çelik lamaların epoksi ile yapıştırılmasıyla oluşturulan modellerin, yük altında yüksek oranda kompozit davranış gösterdiği tespit edilmiştir. Eğilme ve çekme mukavemetlerinde belirgin oranda artış elde edilmiştir⁽²⁾.

Tekin ve Alsancak, tarafından yapılan deneylerde betonarme kirişlerin ve kolonların prefabrik levhalarla güçlendirilmesi üzerinde durulmuş ve dört adet deney yapılmıştır. Birinci deneyde 150*150 mm kesitinde mesnetler arası uzaklığı 1200 mm olan ve içerisinde 4Ø12 boyuna donatı, Ø8/100 mm etriyesi olan eleman kullanılmıştır. İkinci deneyde 80*150 mm kesitinde güçlendirilme plakaları (BS30, S420) kirişin alt yüzüne yapıştırılmıştır. Üçüncü deneyde güçlendirme plakaları kirişin alt ve üst yüzüne yapıştırılmıştır. Dördüncü deneyde kiriş açıklığı 1000 mm ve 40 mm kalınlıklı güçlendirme plağı alt yüzüne yapıştırılmıştır. Birinci deneyde takviyesiz kiriş 52.7 kN' da kırılmıştır. İkinci deneyde 80 mm kalınlıklı prefabrik betonarme levha kirişe alttan yapıştırılmasıyla kirişin taşıdığı yük kapasitesinde %32' lik

bir artış olmuştur. Üçüncü deneyde 80 mm kalınlıklı prefabrik betonarme levha kirişin alt ve üst yüzeyine yapıştırılmasıyla kirişin yük taşıma kapasitesinde %70' lik bir artış olmuştur. Dördüncü deneyde kiriş alt yüzeyine 40 mm kalınlıklı prefabrik betonarme levha yapıştırılmıştır ve taşıma kapasitesinde önemli bir artış gözlemlenmiştir⁽³⁾.

Özcan, Şahin, Bayraktar, Türker ve Haktanır, yaptıkları çalışmalarında çelik lif katkılı ve katkısız C20 betonu ile S420 çeliği kullanılarak imal edilmiş 2 m açıklıklı, 25*35 cm en kesitli betonarme kirişlerin statik yükler altındaki davranışı deneysel ve sonlu elemanlar yöntemiyle incelenmiştir. Deneysel çalışmada katkısız eleman 180.25 kN kırılma yükü ve 40 mm deplasman yapmıştır. Çelik lif katkılı eleman 227.10 kN ve 67 mm deplasman yapmıştır. Sonlu elemanlar yöntemiyle yapılan çalışmada deneysel çalışmayla örtüşmektedir. Çalışma sonucunda güçlendirilmiş eleman taşıma kapasitesinde %25' lik bir artış olduğu görülmektedir⁽⁴⁾.

Doğan ve Çağlar, yaptıkları çalışmada çelik plakalar ile güçlendirilmiş betonarme kirişlerin sonlu elemanlar metodu ile analizi yapılmıştır. Bu çalışma kapsamında epoksi tabakasının ve çelik plakanın kalınlıklarının değişimine bağlı olarak plaka uçlarında meydana gelen kayma normal ve kayma gerilmelerinin değişimi incelenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda, kayma gerilmelerinin plaka uçlarına yakın bölgede aniden artış gösterdiği gözlemlenmiştir. Bu durum önlemleri alınmadığı zaman plakanın sıyrılarak kirişin aniden göçmesine sebebiyet vermektedir. Çelik plaka ve epoksi kalınlıklarının artırılması nedeniyle normal gerilmelerde %2 ile %24.6 arasında artma, kayma gerilmelerinde ise %1.9 ile %8.9 arasında azalma

gözlenmiştir. En kritik zorlanma beton ile epoksi arasında olduğu, meydana gelen gerilmelerin betonun çekme mukavemetini aşması ile bölgenin sıyrıldığı, beton- epoksi arasındaki yapışma mukavemetinin aşılması halinde de plakanın ayrıldığı gözlenmiştir⁽⁵⁾.

Ali Uysal, 2006 yılında yaptığı çalışmada, betonarme kirişleri delikli çelik levhalar kullanarak ve epoksiyle yapıştırarak güçlendirmiştir. Yapılan bu çalışmada farklı levha kalınlıkları denenmiştir ve kirişin sadece altına değil yanlarında çelik plaka ile güçlendirilmiştir. Ayrıca epoksiye ek olarak bulonlarla bağlantı yapılmıştır. Deney numuneleri gerçeğe yakın olması için 200x500 mm ebatlarında ve 4,5 m uzunluğunda seçilmiştir. Kullanılan levha kalınlıkları $t=3$ ve $t=6$ mm' dir. Tüm kirişlerde nervürlü 3Ø14 St III çekme donatısı kullanılmıştır. Her hangi bir kesme problemiyle karşılaşmamak için Ø8/100 mm etriye aralıkları kullanılmıştır. Çalışmada görülmüştür ki; delikli çelik levha kullanıldığı takdirde delikler yük altında ovalleşerek süneklik kapasiteleri artmaktadır. Ayrıca delik çevresine epoksi daha iyi bir şekilde tutunduğu içinde dayanımda artış gözlenmiştir. Kalın levhalı deney numunelerinde daha fazla rijitlik gözlenmiştir. Yan yüzlerinde levhalarla desteklenmesi ile süneklik kapasitesinde artışlar görülmüştür⁽⁶⁾.

1.2. Çalışmanın Amacı

Bu çalışma kapsamında zayıf etriyeli, kesiti 15x15 cm olan 1 m boyunda betonarme kirişler hazırlanmış, epoksi ve dübel konnektör kullanılarak çelik plakalarla güçlendirilmiştir. Malzeme olarak S420 nervürlü çelik donatı kullanılmış, zayıf (C14) ve normal (C20) mukavemette betonlar

için iki ayrı grup çalışma yapılmıştır. C14 ve C20 betonları için üçer adet referans ve dokuzar adet plakalarla güçlendirilmek üzere toplam yirmidört adet deney numunesi hazırlanmıştır. Kiriş numunelerin güçlendirilmesinde aynı kalınlıkta çelik plakalar kullanılmış, numuneler orta noktadan statik yükleme deneyine tabi tutulmuştur. Bu çalışmada farklı aralıklardaki dubel dizilimleri ve aralıkları için, kirişlerin taşıma kapasitesi, enerji yutma kapasitesi ve sünekliğine ilişkin performansındaki artışları araştırılmıştır. Düşük dayanımlı beton kullanılmasındaki amaç mevcut betonarme binalardaki beton dayanımına yakın bir dayanımla güçlendirmenin ne tür sonuçlar verdiğini araştırmaktır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Genel

Bu çalışmada, sadece deneysel yöntem kullanılmış olup, beton basınç dayanımının tespitinde 500 tn'luk kiriş kırma düzeneği kullanılmıştır. Deney numuneleri hazırlanırken standartlara dikkat edilmiştir.

2.2. Deney Programı

Deney numunelerinin boyut ve sayıları, laboratuvardan kaynaklanan sıkıntılardan ötürü kolayca taşınabilmesi için gerçek kiriş boyutlarından daha küçük seçilmiştir. Dubeller ile tutturulan çelik plakalarla güçlendirilmiş deney elemanlarının davranış ve dayanımlarının belirlenmesi için ilk grup deney elemanları zayıf mukavemette beton (C14) olmak üzere, üçü referans (yalın kiriş) olmak üzere toplam oniki adet deney elemanı kullanılmıştır. Çizelge 2.1' de topluca verilen modellerin tasarımında değişken dubel aralıklarının dayanım ve davranış üzerindeki etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmada beton sınıfı, donatı çapı ve çelik levha kalınlığı sabit tutulmuştur. Çelik dübel uzunluğu 7.5 cm ve çapı 8 mm' dir. İkinci grup deney elemanları normal mukavemette beton (C20) olmak üzere, üçü referans (yalın kiriş) toplam oniki adet deney elemanı kullanılmıştır. Bu grup elemanlarda, donatı çapları ve çelik plaka kalınlığı sabit tutularak farklı dubel aralıklarının dayanıma etkisi araştırılmıştır. Çelik dübel olarak uzunluğu 5 cm ve çapı 8

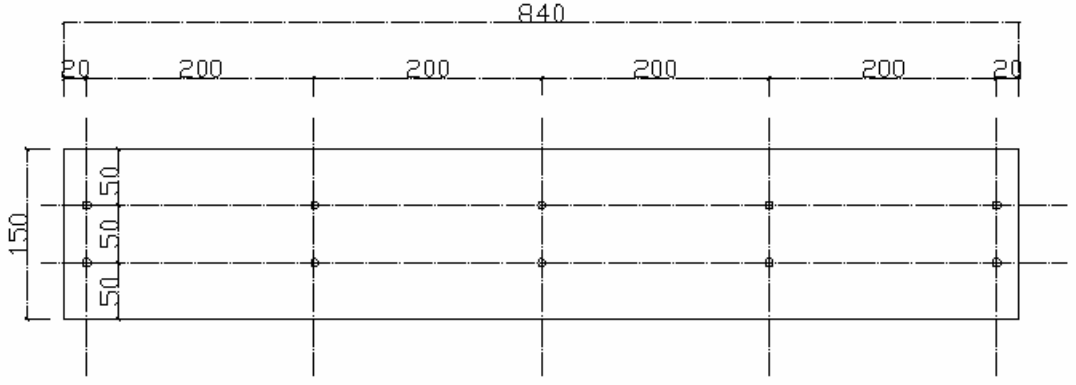
mm olan elik dübeller kullanılmıştır. Çizelge 2.2' de deney elemanları topluca verilmiştir.

Çizelge 2.1. C14 Beton Sınıfı Deney Elemanlarının zelikleri

Kiriş Adı	İşlem türü	Levha kalınlığı(mm)	Dbelle bağlantı (Uzunluğu 5 cm)
R-1,R-2,R-3	Yalın	-	-
A1	Güçlendirme	3	Var
A2	Güçlendirme	3	Var
A3	Güçlendirme	3	Var
B1	Güçlendirme	3	Var
B2	Güçlendirme	3	Var
B3	Güçlendirme	3	Var
C1	Güçlendirme	3	Var
C2	Güçlendirme	3	Var
C3	Güçlendirme	3	Var

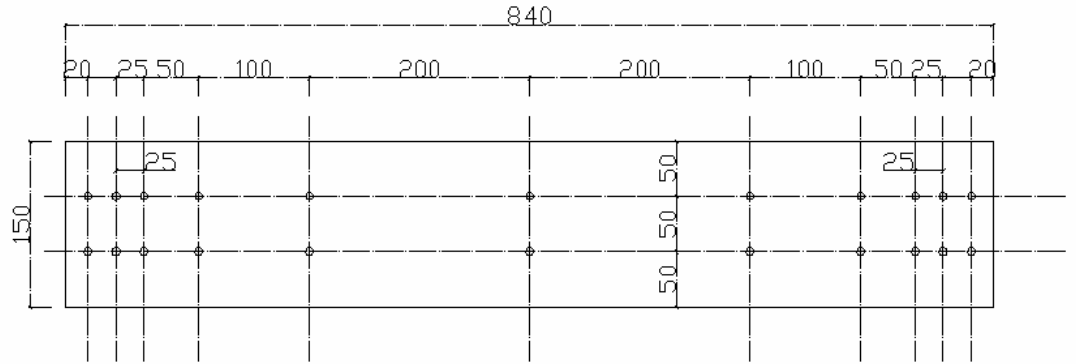
Birinci grup deney elemanları;

- a) R; Referans olarak kullanılacak kiriştir. (Yalın Kiriş) (3 adet)
- b) A; Dübel aralıkları 20'şer cm eşit olacak şekilde hazırlanmış numune grubu (3 adet) (şekil 2.1)



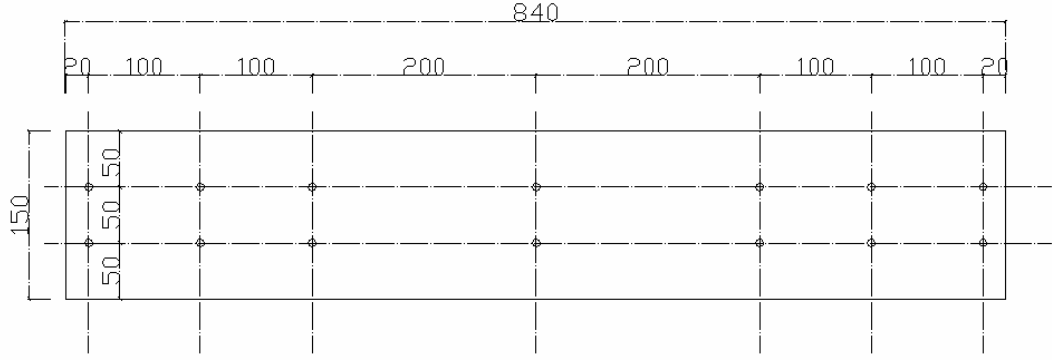
Şekil 2.1. A Grubu Numuneler

- c) B; Dubel aralıkları 2.5 cm' den başlayıp 20 cm' e kadar doğrusal olarak artış gösteren deney grubu (3 adet) (Şekil 2.2)



Şekil 2.2. B Grubu Numuneler

- d) C; Dubel aralıkları 10'ar cm başlayıp ortada 20 cm olan deney grubu (3 adet) (Şekil 2.3)



Şekil 2.3. C Grubu Numuneler

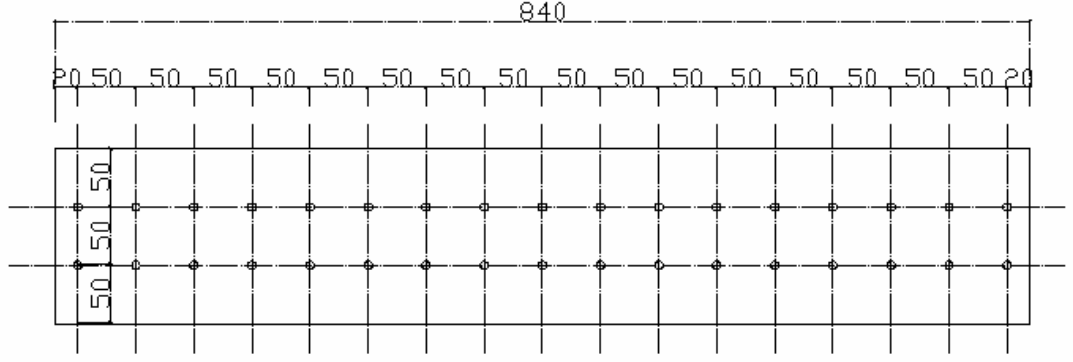
Çizelge 2.2. C20 Beton Sınıfı Deney Elemanlarının Özellikleri

Kiriş Adı	İşlem Türü	Levha Kalınlığı (3 mm)	Dübelle Bağlantı (Uzunluğu 7.5 cm)
1-A, 1-A1, 1-A2	Referans	Yok	Yok
3-C, 3-C1, 3-C2	Güçlendirme	Var	Var
4-C, 4-C1, 4-C2	Güçlendirme	Var	Var
5-C, 5-C1, 5-C2	Güçlendirme	Var	Var

İkinci grup deney elemanları;

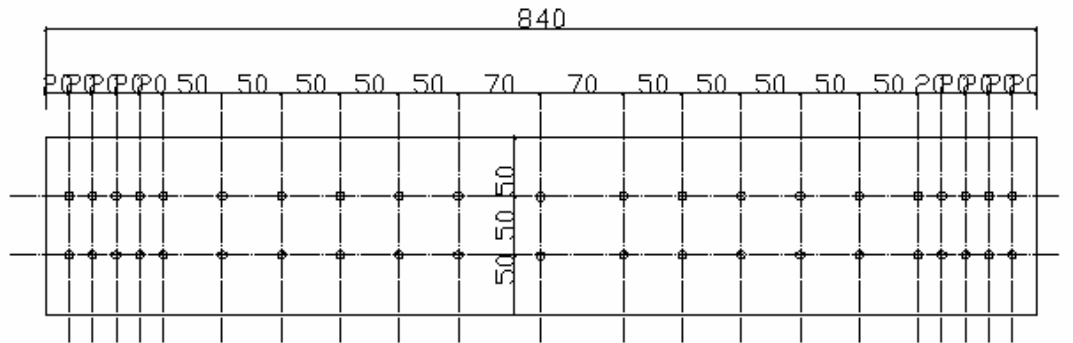
- a) 1-A; Referans numenesi (yalın) (3 adet)
- b) 3-C; Dübel aralıkları 5 cm eşit olarak hazırlanmış deney grubu (3 adet)

(Şekil 2.4)



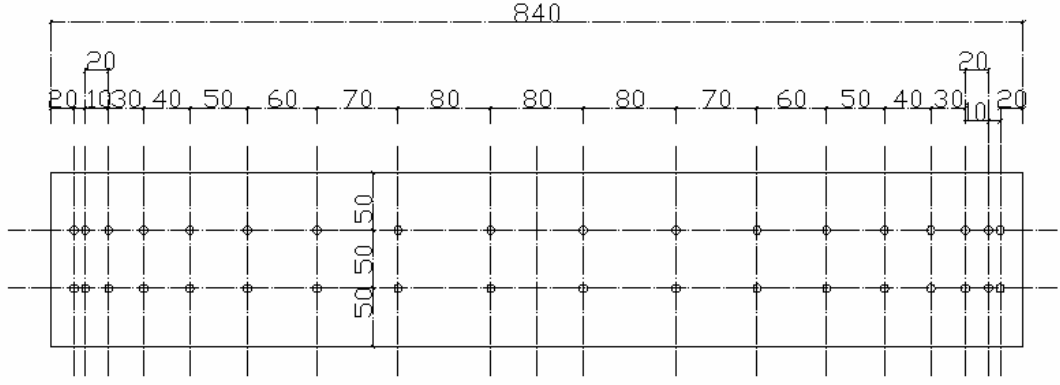
Şekil 2.4. 3-C Grubu Numuneler

- c) 4-C; Dübel aralıkları mesnet bölgelerinde sıklaştırmalı orta bölgede 5 cm eşit aralıklı devam eden deney grubu (3 adet) (Şekil 2.5)



Şekil 2.5. 4-C Grubu Numuneler

- d) 5-C; Dübel aralıkları mesnet bölgelerinde parabolik olarak artan deney grubu (3 adet) (Şekil 2.6)



Şekil 2.6. 5-C Grubu Numuneler

2.3. Deney Elemanları

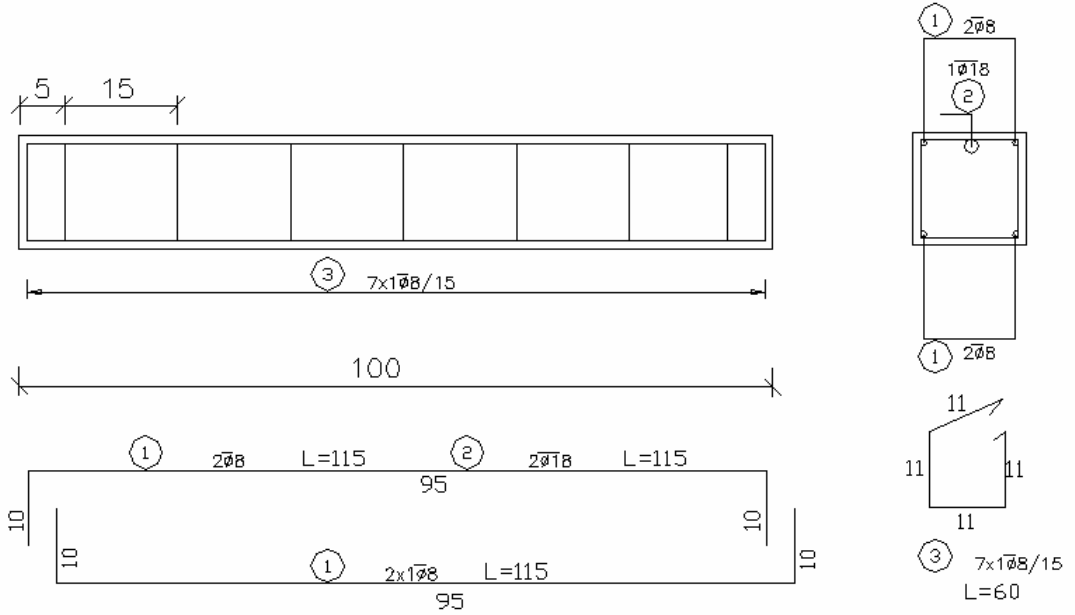
Deney numuneleri kesiti 15x15 cm ve uzunluğu 1 m olarak seçilmiştir. Deney sırasında çelik levhanın yırtılmaması için kalınlığı 3 mm olarak seçilmiştir.

Tüm kirişlerde nervürlü 2Ø8 (BÇ- IIIa kalitesinde) çekme donatısı ve 2Ø8+1Ø18 (BÇ-IIIa kalitesinde) basınç donatısı kullanılmıştır. Basınç bölgesinde Ø18 kullanılmasındaki amaç kiriş alt yüzeyine konulan çelik levha alanı kadar donatı alanının basınç bölgesinde de oluşturulması ve deney elemanlarında istenmeyen denge altı kırılmasının önüne geçilmek istenmesidir (Şekil 2.7).

Beton sınıfının düşük tutulmasının sebebi, gerçek bir uygulamada düşük dayanımlı bir betonun çelik plaka ile güçlendirildiğinde nasıl bir davranış izleyeceğini araştırmaktır. Bu yüzden beton sınıfı C14 olarak seçilmiştir ve hazır beton kullanılmıştır. Etriye aralığı olarak yönetmeliklerin

izin verdiği maksimum aralık seçilmiştir. Bu da kiriş yüksekliği kadardır ($\varnothing 8/15$ cm). Kullanılan dübel uzunluğu 7.5 cm' dir.

Beton dayanımı C20 olan deney grubunda ise dübel uzunluğu 5 cm olarak seçilmiştir.



Şekil 2.7. Deney Numunesi Donatı Planı

Kiriş alt yüzlerine yapıştırılmak üzere kalınlığı 3 mm çelik levhalar kullanılmıştır. Çelik plaka çekme donatısına ek olarak 4.5 cm^2 lik bir donatı alanı oluşturmaktadır.

Basınç bölgesi donatı alanı A_s' ; $2\varnothing 8 + 1\varnothing 18 = 3.54 \text{ cm}^2$

Çekme bölgesi donatı alanı A_s ; $2\varnothing 8 + 0.3 \times 15 = 5.5 \text{ cm}^2$

$$\rho = \frac{A_s}{b_w \times d} = \frac{5.5}{15 \times 15} = 0.024$$

$$\rho = \frac{As'}{bw \times d} = \frac{3.54}{15 \times 15} = 0.016$$

S420 ve C14 için ; $\rho_b = 0.0123$

$$\rho - \rho' = 0.008 < \rho_b = 0.0123$$

S420 ve C20 için ; $\rho_b = 0.0160$

$$\rho - \rho' = 0.008 < \rho_b = 0.0160$$

Sonuç olarak kiriş denge altı kırılma gösterecektir.

2.4. Deney Elemanlarının Hazırlanması

Deney elemanları playwood kalıplar içerisine hazır beton kullanılarak hazırlanmıştır. Hazır beton kalıplara döküldükten sonra gerektiği kadar şişlenmiş ve serin bir yerde tutulmuştur. Beton numuneler her gün sulanarak kür şartları sağlanmıştır (Şekil 2.8, Şekil 2.9, Şekil 2.10, Şekil 2.11, Şekil 2.12).



Şekil 2.8. Donatıların Kalıplara Yerleştirilmesi



Şekil 2.9. Donatıların Kalıplara Yerleştirilmesi



Şekil 2.10. Kalıplara Betonun Dökülmesi



Şekil 2.11. Betonun Şişlenmesi



Şekil 2.12. Beton Numunelerin K rlenmesi

2.5. Yapıştırma Tekniği

Epoksi işlemi uygulanmadan yapıştırılacak yüzeyler pastan, kirden ve nemden arındırılmıştır.  elik plaka üzerindeki yağ, kir ve pas iyice temizlenip zımparalanmıştır. Beton eleman yüzeyi ise sprial taşıyla alt kısımdaki zayıf  imento şerbetinden arındırılarak sağlam beton yüzeyi elde edilmiş ve tozdan temizlenmiştir. Yapıştırmak için kullanılan malzeme Eurolan marka çift bileşenli epoksidir. İki bileşen iyice karıştırıldıktan sonra fırça yardımıyla beton ve  elik plaka yüzeylerine sürülüp elemanlar birbirine yapıştırılmıştır (Şekil 2.13, Şekil 2.14, Şekil 2.15).



Şekil 2.13. Epoksi Uygulanırken



Şekil 2.14. Epoksi Uygulanırken



Şekil 2.15. Epoksi Uygulanırken

2.6. Malzeme Özellikleri ve Dayanımları

Deney sonucunda elde edilen verileri doğru bir şekilde karşılaştırabilmek ve sağlıklı sonuçlar elde edebilmek için, kirişlerin yapımında kullanılan beton, donatılar, çelik plakalar ve çelik dübellerin aynı özellikte olması önemlidir. Tüm deney numunelerinde aynı partiden temin edilen inşaat demiri kullanılmıştır. Deneyde kullanılan beton ise C14 ve C20 hazır beton santralinden temin edilmiştir. Kullanılan çelik plakalar ise aynı tabakadan kesilerek elde edilmiştir.

2.7. Deney Düzeneği

Deneyler Gazi Üniversitesi, Eğitim Fakültesi Yapı Öğretmenliği Bölümü Yapı Mekaniği Laboratuvarında kapasitesi 500 t olan deney çerçevesinde yapılmıştır. Deney elemanlarına tek noktalı yükleme yapılmıştır.

Deneyler sırasında kirişteki deplasmanları ölçmek için kirişin maksimum deplasman yaptığı yer olan orta kısmına 0.01 mm' ye kadar olan değişimleri ölçebilen elektronik deplasman ölçer (LVDT) kullanılmıştır. Bu LVDT' den gelen bilgiler dataloger cihazından geçirildikten sonra bilgisayara kaydedilmiştir. Ölçüm sırasında bir adet LVDT kullanılmıştır.

3.ARAŞTIRMA BULGULARI

3.1. C14 Beton Sınıfı Deney Elemanları

3.1.1. R-1 Yalın Kiriş (Referans Kirişi)

R-1, g¼c¼lendirme yapılmayan deney elemanıdır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. R-1 Deney Numunesi

Y¼kleme başladıktan sonra 5600 kg y¼k değerine ulaştıktan sonra bir s¼re s¼nek davranış g¼sterip bundan sonra betonda meydana gelen çatlamadan dolayı dayanımı 4900 kg değerine d¼Őm¼Őt¼r. Bu değerden sonra taşıma g¼c¼ 5420 kg y¼k taşıma kapasitesinde bir s¼re devam ettikten

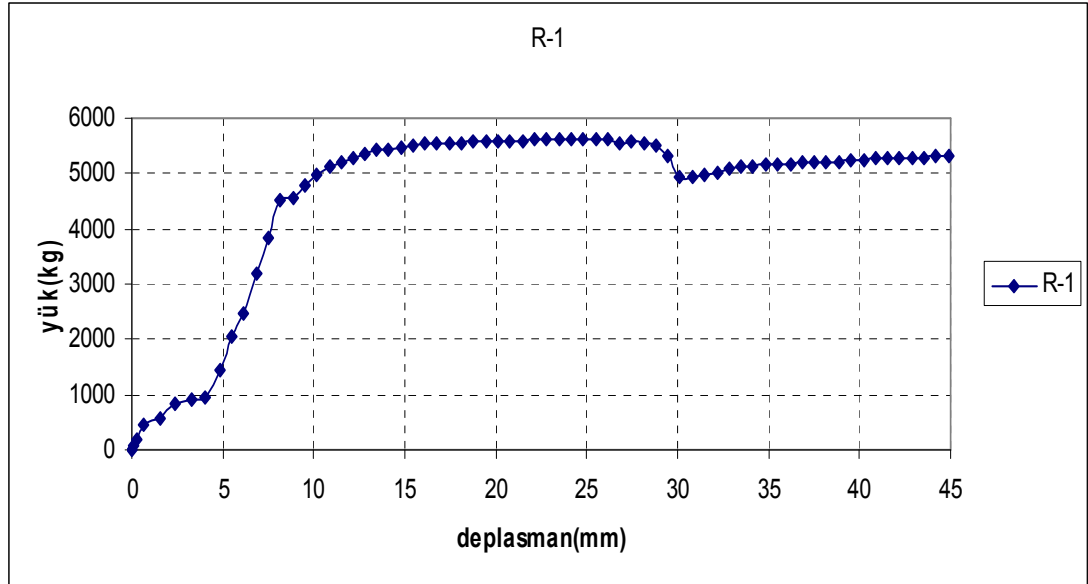
sonra dayanımı giderek azalmıştır. Maksimum yük değeri olan 5600 kg yük değeri altındaki deplasmanıda 25.5 mm' dir. Yükün verildiği basınç bölgesindeki betonda ezilmeler meydana gelmiştir. (Şekil 3.2, Şekil 3.3) Kiriş açıklığının tam ortasında betonun parçalanmasına taşıma kapasitesini yitirmiştir. Donatı oranı fazla olduğundan dolayı öngördüğümüz şekilde sünek bir davranış göstermiştir.



Şekil 3.2. R-1 Deney Numunesi



Şekil 3.3. R-1 Deney Numunesi



Şekil 3.4. R-1 Numunesi Yük- Deplasman Grafiği

3.1.2. R-2 Yalın Kiriş (Referans Kirişi)

R-2, güçlendirme yapılmayan deney elemanıdır (Şekil 3.5).



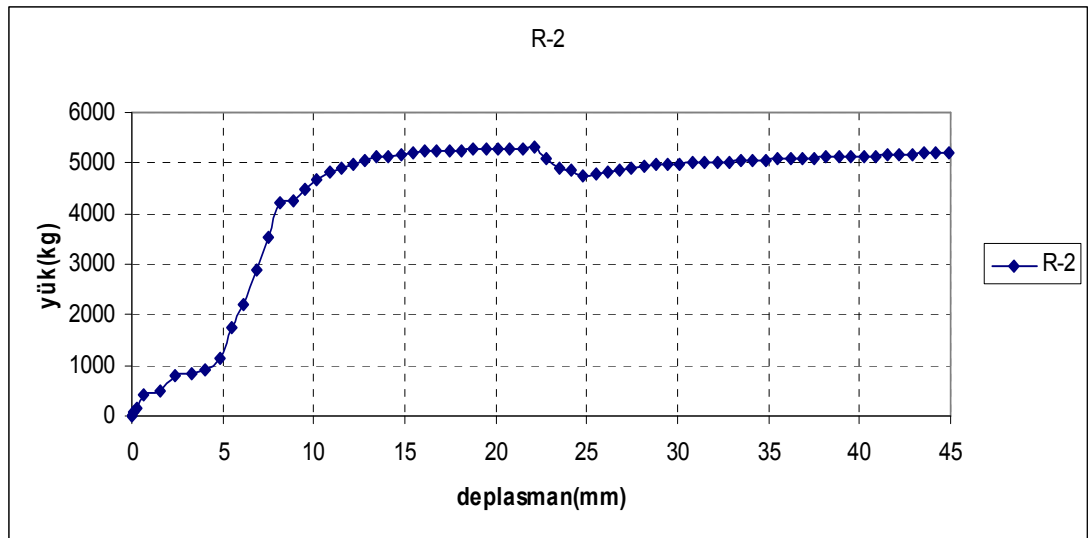
Şekil 3.5. R-2 Deney Numunesi

Yükleme başladıktan sonra 5300 kg yük değerine ulaşıldıktan sonra bir süre sünek davranış gösterip bundan sonra betonda meydana gelen çatlama dolaylı dayanımı 4800 kg değerine düşmüştür. Bu değerden sonra taşıma gücü 5200 kg yük taşıma kapasitesinde bir süre devam ettikten sonra dayanımı giderek azalmıştır. Maksimum yük değeri olan 5300 kg yük değeri altındaki deplasmanıda 22.1 mm'dir. Yükün verildiği basınç bölgesindeki betonda ezilmeler meydana gelmiştir (Şekil 3.6). Kiriş açıklığın tam ortasında betonun parçalanmasına taşıma kapasitesini yitirmiştir. Donatı

oranı fazla olduğundan dolayı öngördüğümüz şekilde sünek bir davranış göstermiştir.



Şekil 3.6. R-2 Deney Numunesi



Şekil 3.7. R-2 Numunesi Yük- Deplasman Grafiği

3.1.3. R-3 Yalın Kiriş (Referans Kirişi)

R-3, güçlendirme yapılmayan deney elemanıdır (Şekil 3.8).

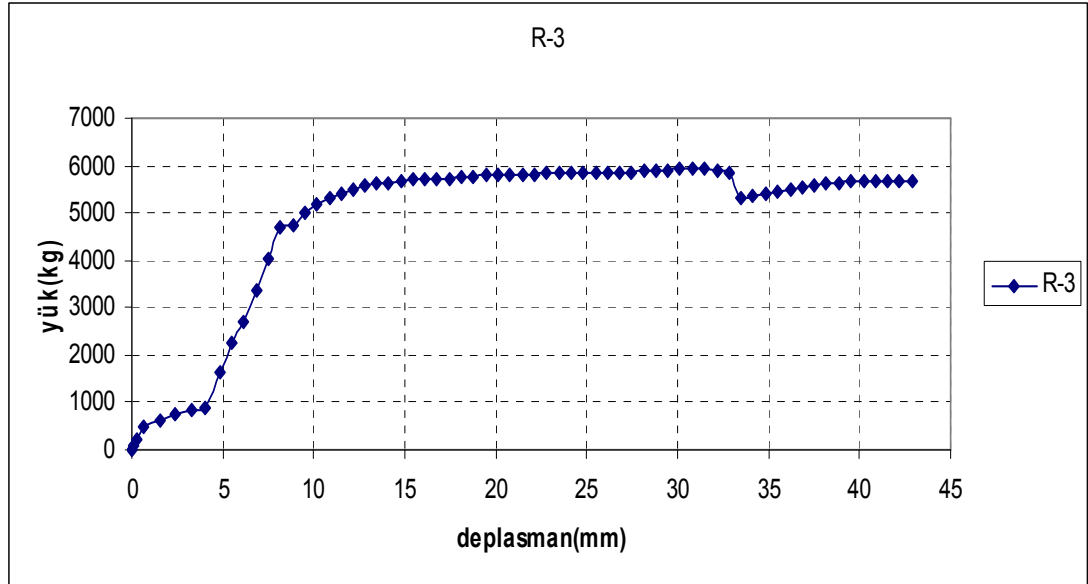


Şekil 3.8. R-3 Deney Numunesi

Yükleme başladıktan sonra 5944 kg yük değerinde bir süre sünek davranış gösterdikten sonra taşıma gücü 5300 kg değerine düşmüştür. Burdan da 5900 kg yük taşıma kapasitesinde bir süre devam ettikten sonra dayanımı giderek azalmıştır. Maksimum yük değeri olan 5944 kg yük değeri altındaki deplasmanıda 31.48 mm' dir. Yükün verildiği basınç bölgesindeki betonda ezilmeler meydana gelmiştir (Şekil 3.9). Kiriş açıklığının tam ortasında betonun parçalanmasına taşıma kapasitesini yitirmiştir.



Şekil 3.9. R-3 Deney Numunesi



Şekil 3.10. R-3 Numunesi Yük- Deplasman Grafiği

3.1.4. A1 Güçlendirilmiş Kiriş

A1, referans kirişin alt yüzüne 3 mm kalınlığındaki çelik plakanın 20'şer cm eşit aralıklarla çelik dübeller vasıtasıyla yapıştırılmasıyla güçlendirilmiş deney elemanıdır (Şekil 3.11).



Şekil 3.11. A1 Deney Numunesi

Yükleme başladıktan sonra 6740 kg yük değerine ulaştığında epoksinin ayrılmasıyla taşıma kapasitesi ani bir şekilde 5320 kg değerine düşmüştür. 5320 kg değerinden sonra taşıma kapasitesinde tekrar bir artış gözlenerek maksimum değer olan 6848 kg taşıma kapasitesine erişmiştir. Bu yük değeri altında bir süre sünek bir şekilde davandıktan sonra mesnete en

yakın bölgedeki dübellerin kesilmesiyle dayanımı 4400 kg değerine düşmüştür. Maksimum yük altındaki deplasmanı da 17.2 mm' dir. Yükün verildiği basınç bölgesindeki betonda ezilmeler meydana gelmiştir (Şekil 3.12). Çelik dübellerin kesilmesiyle çelik plaka kirişten beton parçası kopararak ayrılmıştır (Şekil 3.13, Şekil 3.14).



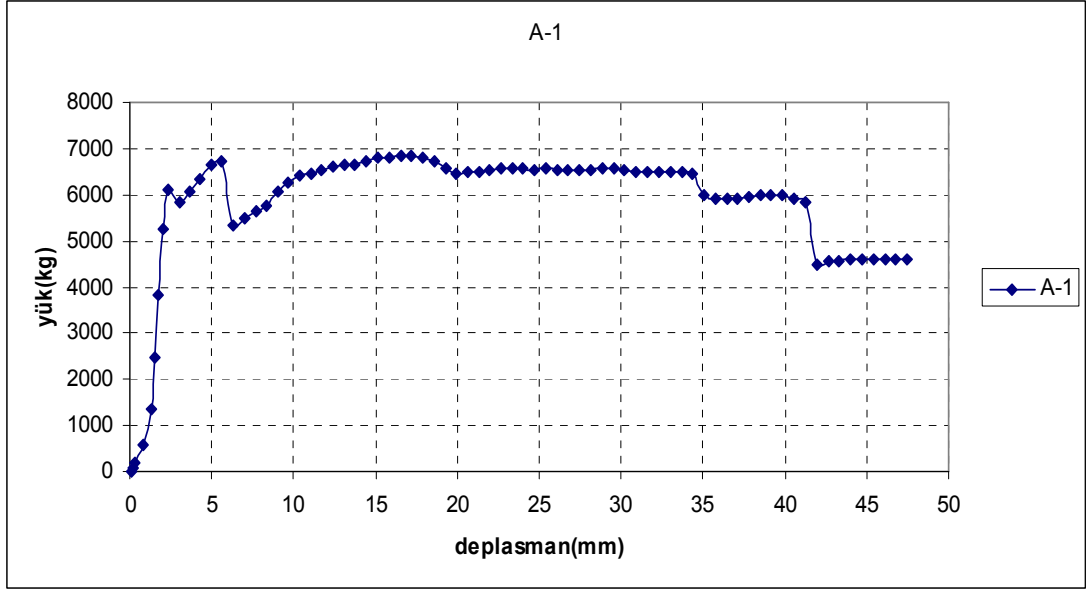
Şekil 3.12. A1 Deney Numunesi



Şekil 3.13. A1 Deney Numunesi



Şekil 3.14. A1 Deney Numunesi



Şekil 3.15. A1 Numunesi Yük- Deplasman Grafiği

3.1.5. A2 Güçlendirilmiş Kiriş

A2, referans kirişin alt yüzüne 3 mm kalınlığındaki çelik plakanın 20 cm eşit aralıklarla çelik dübeller vasıtasıyla yapıştırılmasıyla güçlendirilmiş deney elemanıdır (Şekil 3.16).



Şekil 3.16. A2 Deney Numunesi

Yükleme başladıktan sonra 7490 kg yük değerine ulaştığında epoksinin ayrılmasıyla taşıma kapasitesi ani bir şekilde 6100 kg değerine düşmüştür. 6100 kg değerinden sonra taşıma kapasitesinde tekrar bir artış gözlenerek 6700 kg taşıma kapasitesine erişmiştir. Bu yük değeri altında betonda meydana gelen çatlaklar nedeniyle dayanımı ani azalış ve artışlar göstermiştir. En son olarak mesnete yakın bölgelerdeki dübellerin kesilmesiyle dayanımı düşmüştür ve yük taşımaya beton değil içindeki donatılar karşılamaya çalıştığı için sünek bir davranış göstermiştir. Maksimum yük altındaki deplasmanı da 16.1 mm' dir. Yükün verildiği basınç bölgesindeki betonda ezilmeler meydana gelmiştir (Şekil 3.17). Çelik dübellerin kesilmesiyle çelik plaka kirişten beton parçası kopararak ayrılmıştır (Şekil 3.18, Şekil 3.19).



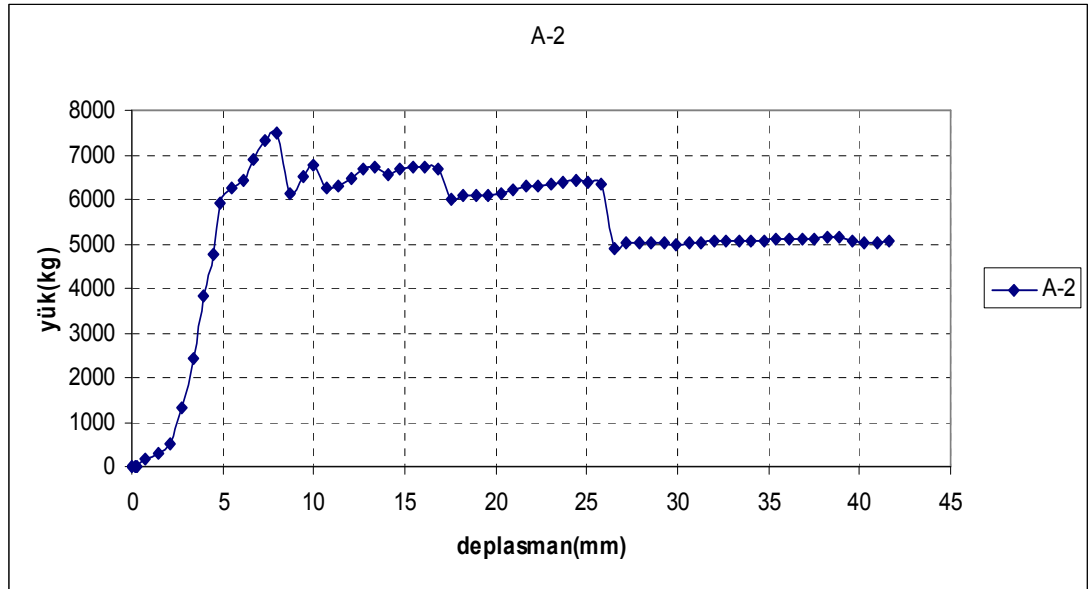
Şekil 3.17. A2 Deney Numunesi



Şekil 3.18. A2 Deney Numunesi



Şekil 3.19. A2 Deney Numunesi



Şekil 3.20. A2 Numunesi Yük- Deplasman Grafiği

3.1.6. A3 Güçlendirilmiş Kiriş

A3, referans kirişin alt yüzüne 3 mm kalınlığındaki çelik plakanın 20'şer cm eşit aralıklarla çelik dübelleri vasıtasıyla yapıştırılmasıyla güçlendirilmiş deney elemanıdır (Şekil 3.21).



Şekil 3.21. A3 Deney Numunesi

Yüklemeye başladıktan sonra 7000 kg yük değerine ulaştığında epoksinin ayrılmasıyla taşıma kapasitesi ani bir şekilde 4200 kg değerine düşmüştür. 4200 kg değerinden sonra taşıma kapasitesinde tekrar bir artış gözlenerek 7080 kg taşıma kapasitesine erişmiştir. Bu yük değeri altında sünek bir davranış gösterdikten sonra mesnete yakın bölgelerdeki dübellerin kesilmesiyle dayanımı düşmüştür ve yük taşımayı beton değil içindeki

donatılar karşılamaya çalıştığı için sünek bir davranış göstermiştir. Maksimum yük altındaki deplasmanı da 16.81 mm' dir. Yükün verildiği basınç bölgesindeki betonda ezilmeler meydana gelmiştir (şekil 3.22). elik dübellerin kesilmesiyle elik plaka kirişten beton parçası kopararak ayrılmıştır (şekil 3.23, şekil 3.24).



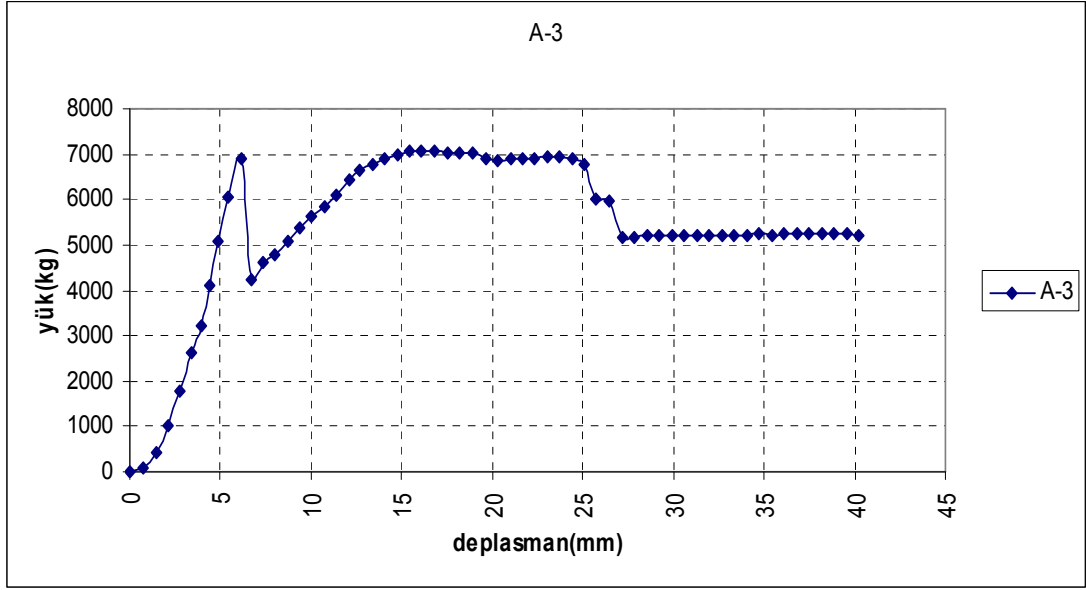
şekil 3.22. A3 Deney Numunesi



Şekil 3.23. A3 Deney Numunesi



Şekil 3.24. A3 Deney Numunesi



Şekil 3.25. A3 Numunesi Yük- Deplasman Grafiği

3.1.7. B1 Güçlendirilmiş Kiriş

B1, referans kirişin alt yüzüne 3 mm kalınlığındaki çelik plakanın çelik dübeller vasıtasıyla yapıştırılmasıyla güçlendirilmiş deney elemanıdır (Şekil 3.26).

Yükleme başladıktan sonra maksimum 7990 kg yük değerine ulaşıldıktan sonra taşıma kapasitesi betonda meydana gelen çatlamalardan dolayı azalma göstermiştir. Bu yük altındaki deplasmanıda 12.98 mm' dir (Şekil 3.27).

Mesnet bölgesinde kesme çatlakları meydana gelerek beton parçalanmış ve deney numunesi dayanımı azalmıştır. Çelik dübellerde ve çelik plakada herhangi bir deformasyon gözlenmemiştir (Şekil 3.28, Şekil 3.29).



Şekil 3.26. B1 Deney Numunesi



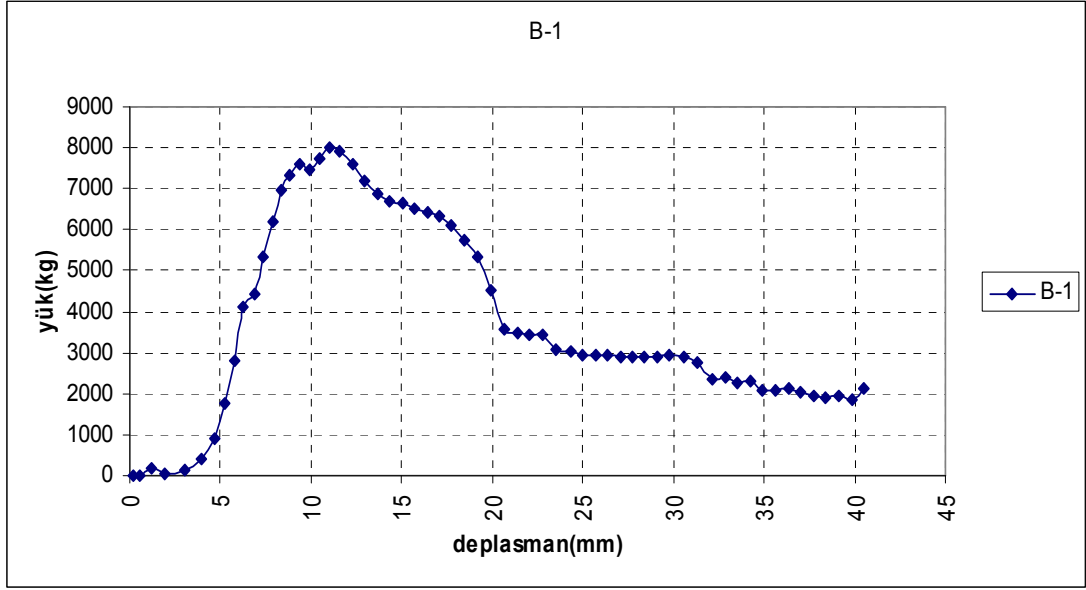
Şekil 3.27. B1 Deney Numunesi



Şekil 3.28. B1 Deney Numunesi



Şekil 3.29. B1 Deney Numunesi



Şekil 3.30. B1 Numunesi Yük- Deplasman Grafiği

3.1.8. B2 Güçlendirilmiş Kiriş

B2, referans kirişin alt yüzüne 3 mm kalınlığındaki çelik plakanın çelik dübeller vasıtasıyla yapıştırılmasıyla güçlendirilmiş deney elemanıdır (Şekil 3.31).

Yükleme başladıktan sonra maksimum 7040 kg yük değerine ulaştığında taşıma kapasitesi bir süre bu değerde devam etmiştir. Betonda meydana gelen deformasyonlar nedeniyle taşıma kapasitesi azalmıştır. Bu yük altındaki deplasmanıda 14.00 mm' dir (Şekil 3.32).

Mesnet bölgesinde kesme çatlakları meydana gelerek beton parçalanmış ve deney numunesi dayanımı azalmıştır. Beton parçalandığı için çelik dübeller boşa çıkmıştır. Çelik dübellerde ve çelik plakada herhangi bir deformasyon gözlenmemiştir (Şekil 3.33, Şekil 3.34).



Şekil 3.31. B2 Deney Numunesi



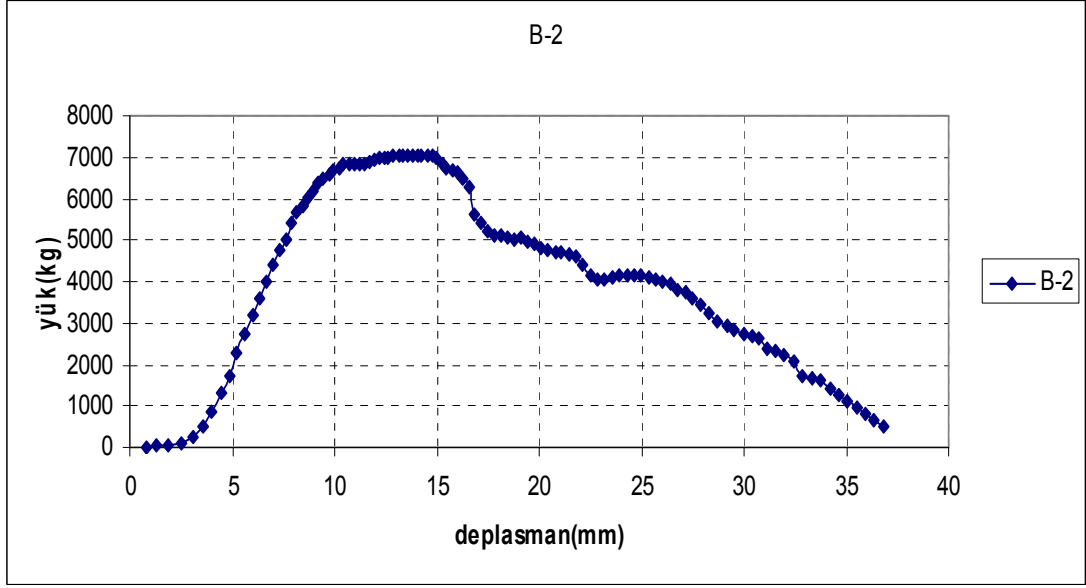
Şekil 3.32. B2 Deney Numunesi



Şekil 3.33. B2 Deney Numunesi



Şekil 3.34. B2 Deney Numunesi



Şekil 3.35. B2 Numunesi Yük- Deplasman Grafiği

3.1.9. B3 Güçlendirilmiş Kiriş

B3, referans kirişin alt yüzüne 3 mm kalınlığındaki çelik plakanın çelik dübeller vasıtasıyla yapıştırılmasıyla güçlendirilmiş deney elemanıdır (Şekil 3.36).

Yükleme başladıktan sonra 7010 kg yük değerine ulaştıktan sonra betonda meydana gelen çatlama ile taşıma kapasitesi ani bir azalma ile 6300 kg değerine düşmüştür. Bu ani azalmadan sonra tekrar taşıma kapasitesi artarak maksimum değer olan 7300 kg değerine ulaşmıştır. Maksimum taşıma kapasitesine ulaştıktan sonra betonda meydana gelen deformasyonlar nedeniyle taşıma kapasitesi giderek azalmıştır. Bu yük altındaki deplasmanıda 15.18 mm' dir (Şekil 3.37).



Şekil 3.36. B3 Deney Numunesi



Şekil 3.37. B3 Deney Numunesi

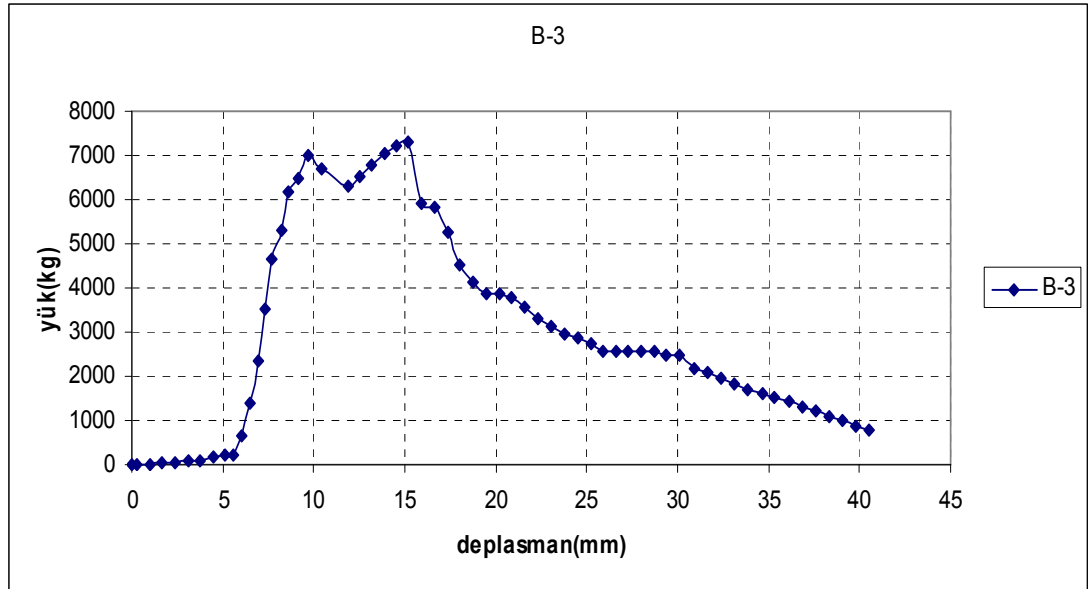
Mesnet bölgesinde kesme çatlağı meydana gelerek beton parçalanmış ve deney numunesi dayanımı azalmıştır. Beton parçalandığı için çelik dubeller boşa çıkmıştır. Çelik dübellerde ve çelik plakada herhangi bir deformasyon gözlenmemiştir (Şekil 3.38, Şekil 3.39).



Şekil 3.38. B3 Deney Numunesi



Şekil 3.39. B3 Deney Numunesi



Şekil 3.40. B3 Numunesi Yük- Deplasman Grafiği

3.1.10. C1 Güçlendirilmiş Kiriş

C1, referans kirişin alt yüzüne 3 mm kalınlığındaki çelik plakanın mesnet bölgesinde 10 cm arayla başlayıp orta bölgede 20 cm olan çelik dübeller vasıtasıyla yapıştırılmasıyla güçlendirilmiş deney elemanıdır (Şekil 3.41).

Yükleme başladıktan sonra 8300 kg yük değerine ulaştığında ilk olarak epoksinin ayrılmasıyla taşıma kapasitesi ani bir azalma ile 6795 kg değerine düşmüştür. Bu ani azalmadan sonra tekrar taşıma kapasitesi artarak maksimum değer olan 8070 kg değerine ulaşmıştır. Maksimum taşıma kapasitesinden sonra betonda meydana gelen deformasyonların etkisiyle taşıma kapasitesi giderek azalmıştır. Bu yük altındaki deplasmanıda 12.2 mm' dir (Şekil 3.42).



Şekil 3.41. C1 Deney Numunesi



Şekil 3.42. C1 Deney Numunesi

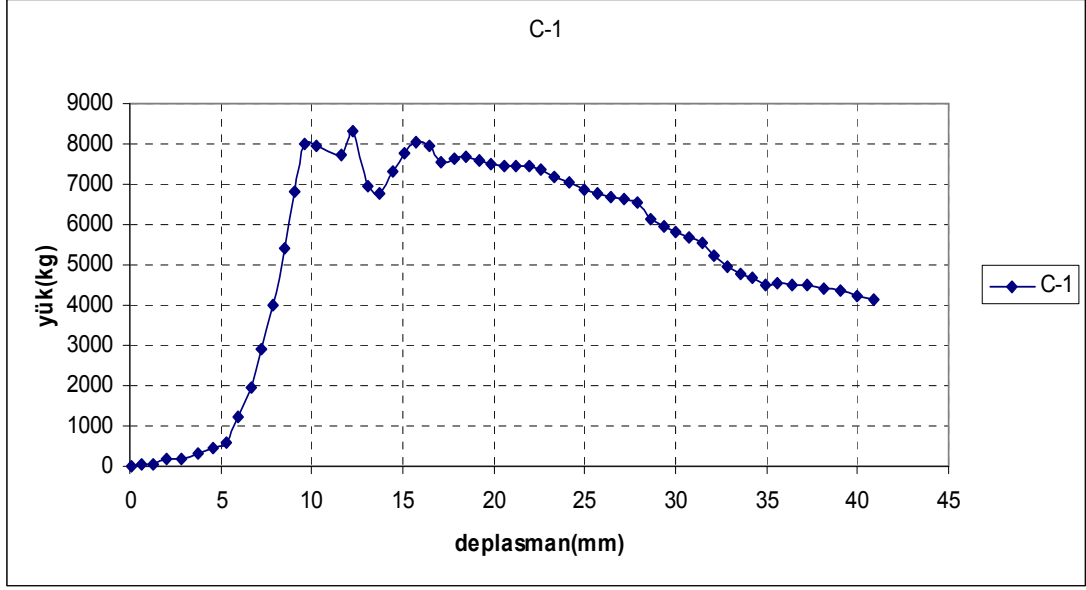
Mesnet bölgesinde kesme çatlakları meydana gelerek beton parçalanmış ve deney numunesi dayanımı azalmıştır. Beton parçalandığı için çelik dubeller boşa çıkmıştır. Çelik dübellerde ve çelik plakada herhangi bir deformasyon gözlenmemiştir (Şekil 3.43, Şekil 3.44).



Şekil 3.43. C1 Deney Numunesi



Şekil 3.44. C1 Deney Numunesi



Şekil 3.45. C1 Numunesi Yük- Deplasman Grafiği

3.1.11. C2 Güçlendirilmiş Kiriş

C2, referans kirişin alt yüzüne 3 mm kalınlığındaki çelik plakanın mesnet bölgesinde 10 cm arayla başlayıp orta bölgede 20 cm olan çelik dübeller vasıtasıyla yapıştırılmasıyla güçlendirilmiş deney elemanıdır (Şekil 3.46).

Yükleme başladıktan sonra 6750 kg yük değerine ulaştıktan sonra epoksinin ayrılmasıyla taşıma kapasitesi ani bir azalma ile 6240 kg değerine düşmüştür. Bu ani azalmadan sonra tekrar taşıma kapasitesi artarak maksimum değer olan 8200 kg değerine ulaşmıştır. Bu değerden tekrar düşerek 6410 kg değerine ulaşmış ve sonrada 8150 kg taşıma kapasitesine ulaştıktan sonra dayanım giderek azalmıştır. Bu yük altındaki deplasmanıda 14.59 mm' dir (Şekil 3.47).



Şekil 3.46. C2 Deney Numunesi



Şekil 3.47. C2 Deney Numunesi

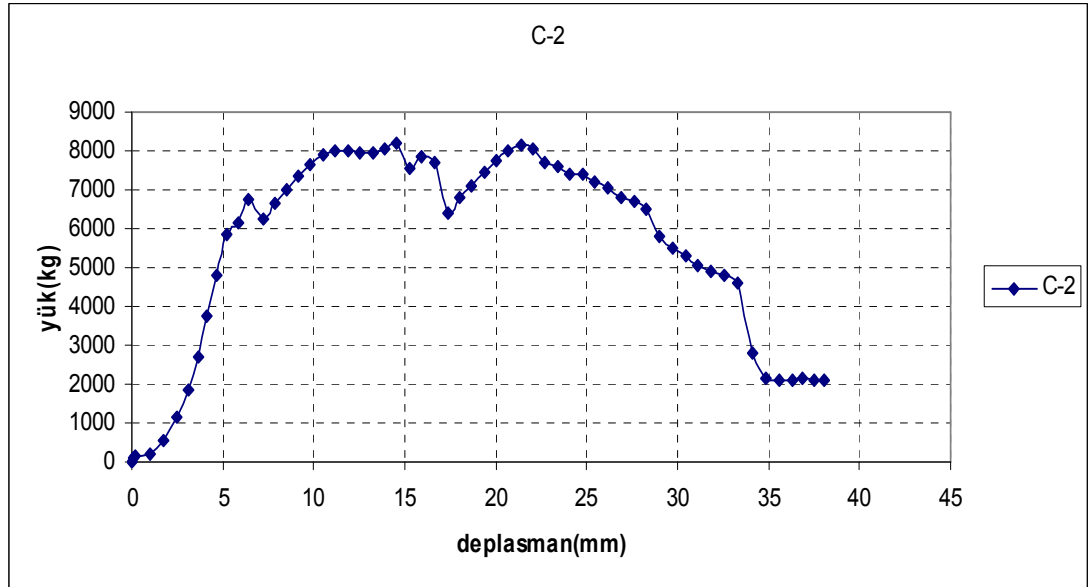
Mesnet bölgesinde kesme çatlağı meydana gelerek basınç bölgesinde beton parçalanmış ve deney numunesi dayanımı azalmıştır. Beton parçalandığı için çelik dubeller boşa çıkmıştır. Çelik dübellerde ve çelik plakada herhangi bir deformasyon gözlenmemiştir (Şekil 3.48, Şekil 3.49).



Şekil 3.48. C2 Deney Numunesi



Şekil 3.49. C2 Deney Numunesi



Şekil 3.50. C2 Numunesi Yük- Deplasman Grafiği

3.1.12. C3 Güçlendirilmiş Kiriş

C3, referans kirişin alt yüzüne 3 mm kalınlığındaki çelik plakanın mesnet bölgesinde 10 cm arayla başlayıp orta bölgede 20 cm olan çelik dübeller ile tutturularak güçlendirilmiş deney elemanıdır (Şekil 3.51).

Yükleme başladıktan sonra maksimum değer olan 8110 kg yük değerine ulaşıldıktan sonra epoksinin ayrılmasıyla taşıma kapasitesi ani bir azalma ile 6180 kg değerine düşmüştür. Bu ani azalmadan sonra tekrar taşıma kapasitesi artarak 7300 kg değerine ulaşmış ve bu değerde bir süre sünek bir davranış gösterdikten sonra betonun parçalanması ile dayanımı git gide azalmıştır. Bu yük altındaki deplasmanıda 13.47 mm' dir (Şekil 3.52).



Şekil 3.51. C3 Deney Numunesi



Şekil 3.52. C3 Deney Numunesi

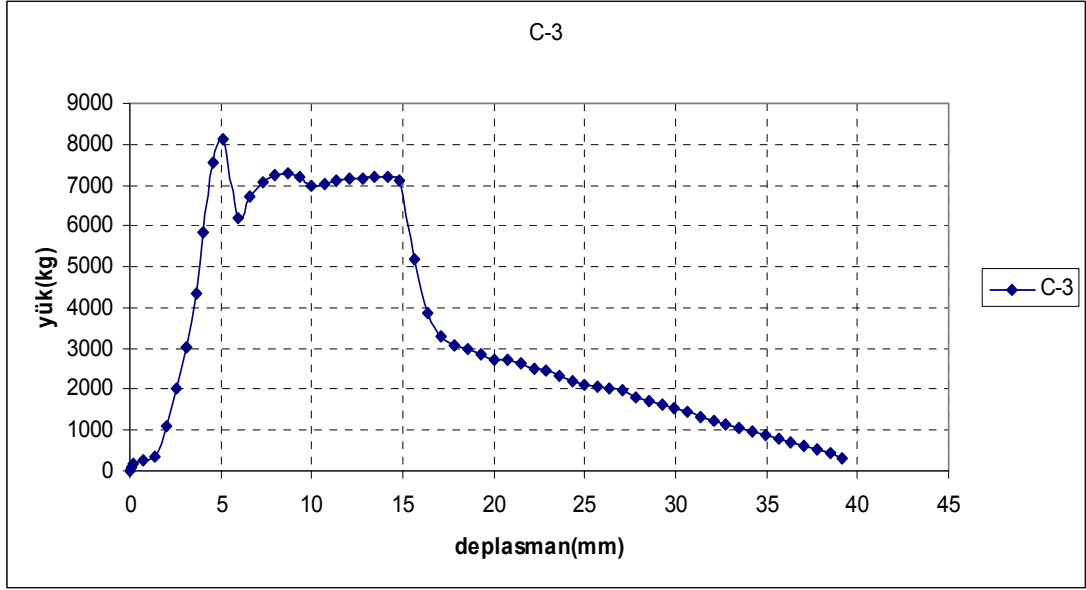
Mesnet bölgesinde kesme çatlağı meydana gelerek basınç bölgesinde beton parçalanmış ve deney numunesi dayanımı azalmıştır. Beton parçalandığı için çelik dubeller boşa çıkmıştır. Çelik dübellerde ve çelik plakada herhangi bir deformasyon gözlenmemiştir (Şekil 3.53, Şekil 3.54).



Şekil 3.53. C3 Deney Numunesi



Şekil 3.54. C3 Deney Numunesi



Şekil 3.55. C3 Numunesi Yük- Deplasman Grafiği

3.2. C20 Beton Sınıfı Deney Elemanları

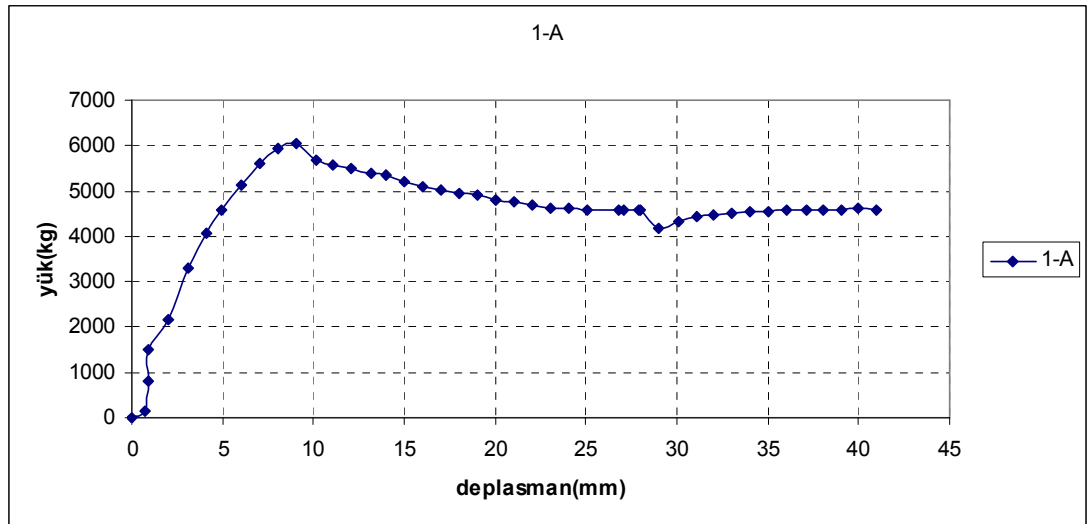
3.2.1. 1-A Yalın Kiriş (Referans Kirişi)

1-A, güçlendirme yapılmayan deney elemanıdır. Yükleme başladıktan sonra maksimum değer olan 6030 kg yük değerine ulaştıktan sonra betonda meydana gelen deformasyondan dolayı taşıma kapasitesi 4190 kg değerine düşmektedir. Bu değerde bir süre sünek bir davranış gösterdikten sonra dayanımını kaybetmiştir. Bu yük altındaki deplasmanıda 9.04 mm' dir (Şekil 3.56).

Kiriş açıklığının orta bölgesinde betonda ezilmeler meydana gelmiştir. Kiriş orta bölgesinin çekme bölgesinde betonda meydana gelen çatlaklar nedeniyle kirişin taşıma kapasitesi azalmıştır.



Şekil 3.56. 1-A Deney Numunesi



Şekil 3.57. 1-A Numunesi Yük- Deplasman Grafiği

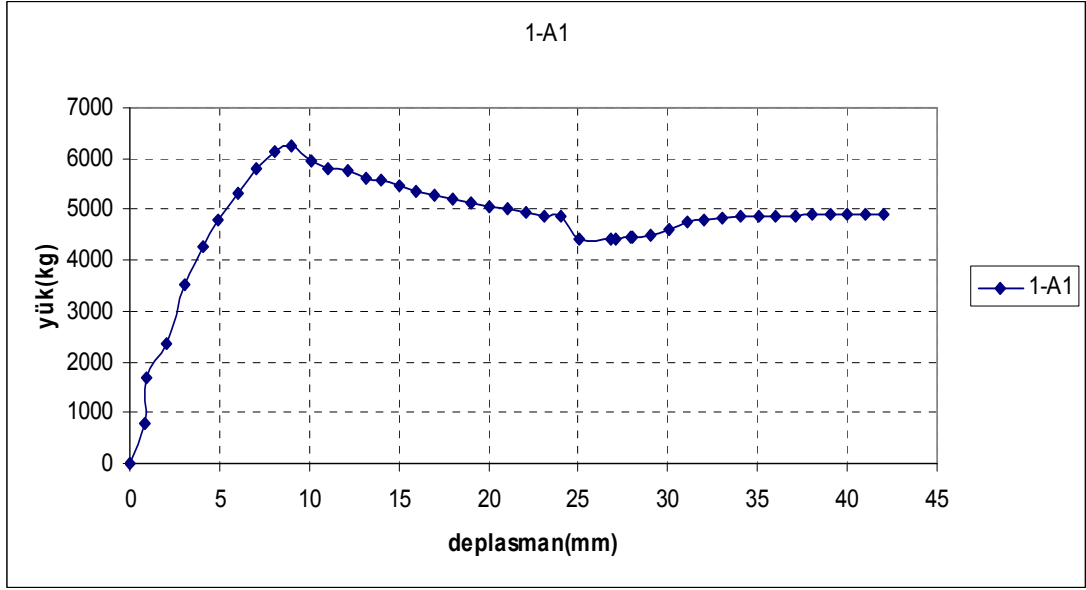
3.2.2. 1-A1 Yalın Kiriş (Referans Kirişi)

1-A1, güçlendirme yapılmayan deney elemanıdır. Yükleme başladıktan sonra maksimum değer olan 6240 kg yük değerine ulaştıktan sonra taşıma kapasitesi 4440 kg değerine düşmektedir. Bu değerde bir süre sünek bir davranış gösterdikten sonra dayanımını kaybetmiştir. Bu yük altındaki deplasmanıda 9.5 mm' dir (Şekil 3.58).



Şekil 3.58. 1-A1 Deney Numunesi

Kiriş açıklığının orta bölgesinde betonda ezilmeler meydana gelmiştir. Kiriş orta bölgesinin çekme bölgesinde başlayıp basınç bölgesine doğru uzayan çatlaklar nedeniyle kirişin taşıma kapasitesi azalmıştır.



Şekil 3.59. 1-A1 Numunesi Yük- Deplasman Grafiği

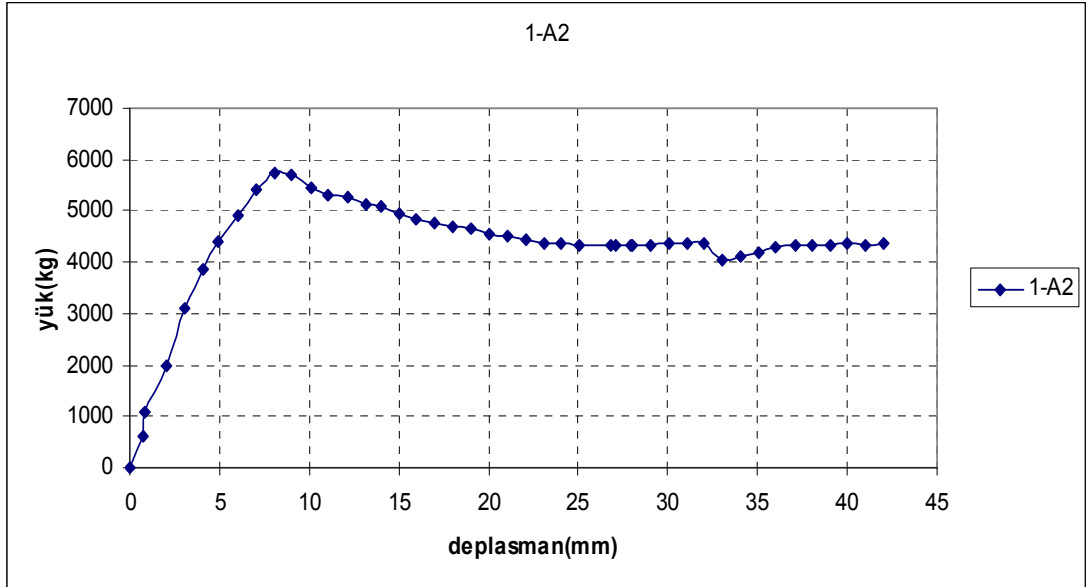
3.2.3. 1-A2 Yalın Kiriş (Referans Kirişi)

1-A2, güçlendirme yapılmayan deney elemanıdır. Yükleme başladıktan sonra maksimum değer olan 5750 kg yük değerine ulaştıktan sonra taşıma kapasitesi 4000 kg değerine düşmektedir. Bu değerde bir süre sünek bir davranış gösterdikten sonra dayanımını kaybetmiştir. Bu yük altındaki deplasmanıda 8.54 mm' dir (Şekil 3.60).

Kiriş açıklığının orta bölgesinde betonda ezilmeler meydana gelmiştir. Kiriş orta bölgesinin çekme bölgesinde başlayıp basınç bölgesine doğru uzayan çatlaklar nedeniyle kirişin taşıma kapasitesi azalmıştır.



Şekil 3.60. 1-A2 Deney Numunesi



Şekil 3.61. 1-A2 Numunesi Yük- Deplasman Grafiği

3.2.4. 3-C Güçlendirilmiş Kiriş

3-C, referans kirişin alt yüzüne 3 mm kalınlığındaki çelik plakanın eşit 5 cm arayla çelik dübeller vasıtasıyla yapıştırılmasıyla güçlendirilmiş deney elemanıdır (Şekil 3.62).

Yükleme başladıktan sonra taşıma kapasitesi 4900 kg yük değerine ulaştığında epoksinin ayrılmasıyla taşıma kapasitesi 3510 kg değerine düşmektedir. Taşıma kapasitesi tekrar artarak maksimum değer olan 7242 kg değerine ulaşmıştır. Bu değerden sonra taşıma kapasitesi betonda meydana gelen deformasyonlardan dolayı kademeli olarak düşmektedir. Bu yük altındaki deplasmanıda 8.01 mm' dir (Şekil 3.63).



Şekil 3.62. 3-C Deney Numunesi

Mesnet bölgesinde betonun parçalanmasıyla çelik dübeller boşa çıkmıştır ve dayanım azalmıştır. Çelik dübellerde ve çelik plakada herhangi bir deformasyon gözlenmemiştir (Şekil 3.64, Şekil 3.65).



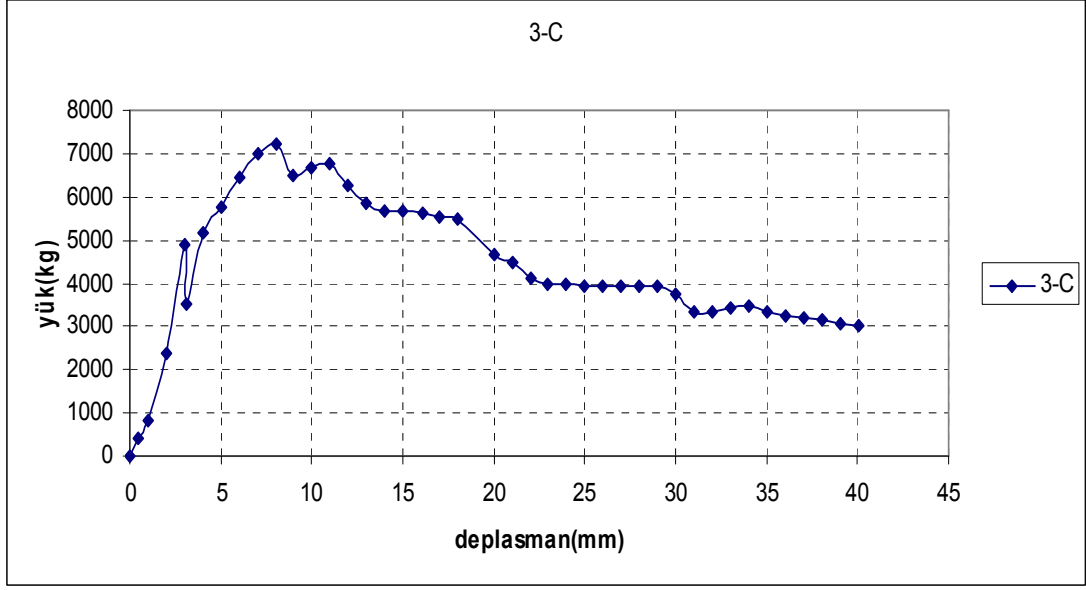
Şekil 3.63. 3-C Deney Numunesi



Şekil 3.64. 3-C Deney Numunesi



Şekil 3.65. 3-C Deney Numunesi



Şekil 3.66. 3-C Numunesi Yük- Deplasman Grafiği

3.2.5. 3-C1 Güçlendirilmiş Kiriş

3-C1, referans kirişin alt yüzüne 3 mm kalınlığındaki çelik plakanın eşit 5 cm arayla çelik dübeller vasıtasıyla yapıştırılmasıyla güçlendirilmiş deney elemanıdır (Şekil 3.67).

Yükleme başladıktan sonra taşıma kapasitesi 4860 kg yük değerine ulaştığında epoksinin ayrılmasıyla taşıma kapasitesi 3900 kg değerine düşmektedir. Taşıma kapasitesi tekrar artarak maksimum değer olan 6700 kg değerine ulaşmıştır. Bu değerden sonra taşıma kapasitesi betonda meydana gelen deformasyonlardan dolayı kademeli olarak düşmektedir. Bu yük altındaki deplasmanıda 8.5 mm' dir.

Mesnet bölgesinde betonun parçalanmasıyla çelik dübeller boşa çıkmıştır ve dayanım azalmıştır. Çelik dübellerde ve çelik plakada herhangi bir deformasyon gözlenmemiştir (Şekil 3.68, Şekil 3.69).



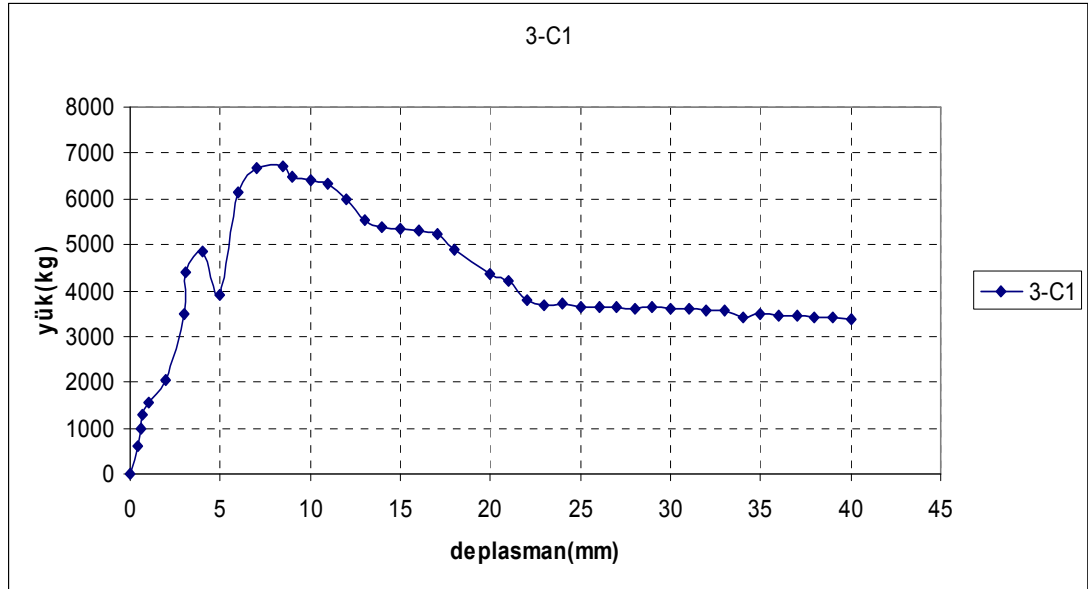
Şekil 3.67. 3-C1 Deney Numunesi



Şekil 3.68. 3-C1 Deney Numunesi



Şekil 3.69. 3-C1 Deney Numunesi



Şekil 3.70. 3-C1 Numunesi Yük- Deplasman Grafiği

3.2.6. 3-C2 Güçlendirilmiş Kiriş

3-C2, referans kirişin alt yüzüne 3 mm kalınlığındaki çelik plakanın eşit 5 cm arayla çelik dübeller vasıtasıyla yapıştırılmasıyla güçlendirilmiş deney elemanıdır (Şekil 3.71).

Yükleme başladıktan sonra taşıma kapasitesi 4700 kg yük değerine ulaştığında epoksinin ayrılmasıyla taşıma kapasitesi 4200 kg değerine düşmektedir. Taşıma kapasitesi tekrar artarak maksimum değer olan 7000 kg değerine ulaşmıştır. Bu değerden sonra taşıma kapasitesi betonda meydana gelen deformasyonlardan dolayı kademeli olarak düşmektedir. Bu yük altındaki deplasmanıda 8.8 mm' dir.

Mesnet bölgesinde betonun parçalanmasıyla çelik dübeller boşa çıkmıştır ve dayanım azalmıştır. Çelik dübellerde ve çelik plakada herhangi bir deformasyon gözlenmemiştir (Şekil 3.72, Şekil 3.73).



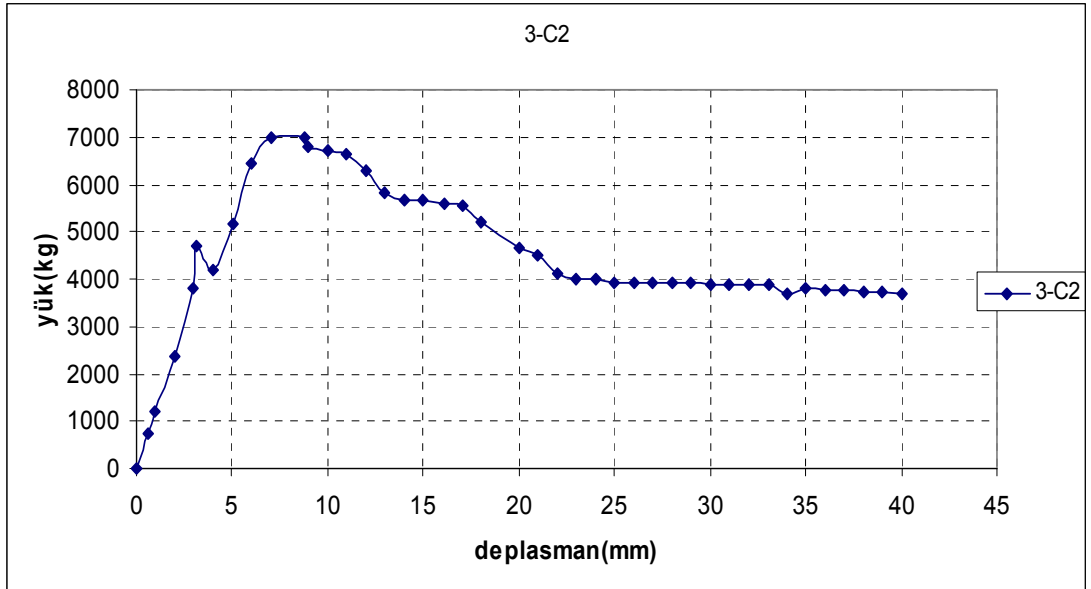
Şekil 3.71. 3-C2 Deney Numunesi



Şekil 3.72. 3-C2 Deney Numunesi



Şekil 3.73. 3-C2 Deney Numunesi



Şekil 3.74. 3-C2 Numunesi Yük- Deplasman Grafiği

3.2.7. 4-C Güçlendirilmiş Kiriş

4-C, referans kirişin alt yüzüne 3 mm kalınlığındaki çelik plakanın mesnet bölgelerinde sıklaştırılarak orta bölgede ise eşit 5 cm arayla çelik dübeller vasıtasıyla yapıştırılmasıyla güçlendirilmiş deney elemanıdır (Şekil 3.75).



Şekil 3.75. 4-C Deney Numunesi

Yükleme başladıktan sonra 4189 kg yük değerine ulaştıktan sonra betonda meydana gelen çatlamlar neticesinde taşıma kapasitesi aniden 3425 kg değerine düşmektedir. Bu değerden sonra tekrar 5040 kg değerine ulaşıyor ve gene ani bir düşüşle betonda meydana gelen çatlama ile 4363 kg değerine geliyor. Burdanda maksimum taşıma kapasitesi olan 6215 kg

değerine ulaştıktan sonra taşıma gücü 5290 kg değerine düşüyor. Bu değerden tekrar 6000 kg değerine ulaşıyor ve betonun dayanımını yitirmesi sonucunda taşıma gücünü giderek azalıyor. Bu yük altındaki deplasmanıda 10.02 mm' dir (Şekil 3.76).



Şekil 3.76. 4-C Deney Numunesi

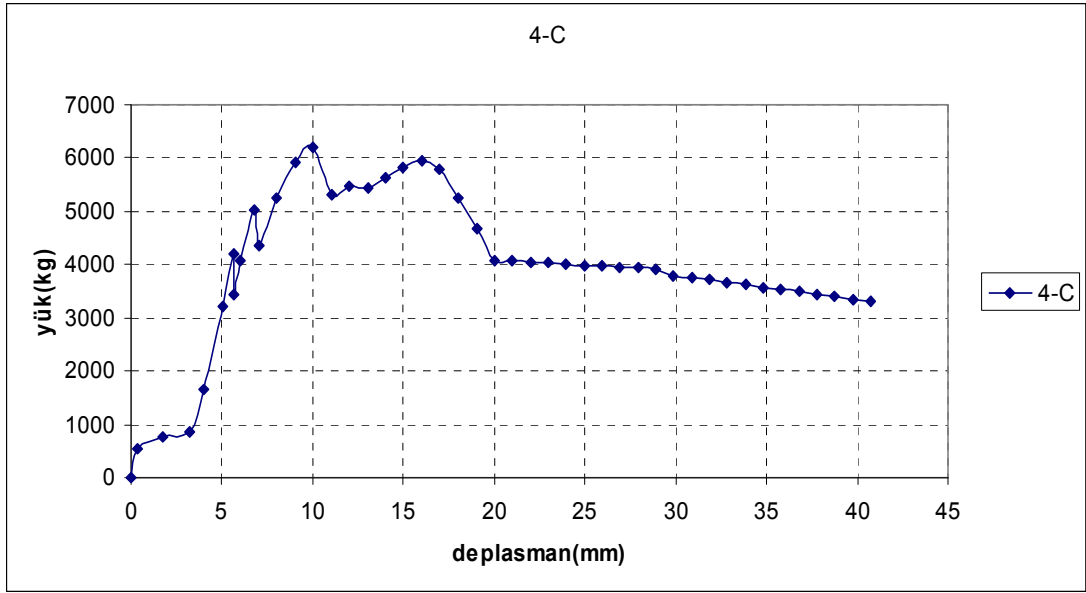
Mesnet bölgesinde başlayan çatlak büyüyerek kirişin orta bölgesine (basınç bölgesi) ulaşmıştır. Bunun sonucunda beton dayanımını kaybederek taşıma gücünü yitirmiştir. Çelik dübeller mesnet bölgesinde sık olduğu için plaka beton yüzeyinden ayrılmamıştır. Fakat bu seferde beton parçalanmıştır. Çelik dübellerde ve çelik plakada herhangi bir deformasyon gözlenmemiştir (Şekil 3.77, Şekil 3.78).



Şekil 3.77. 4-C Deney Numunesi



Şekil 3.78. 4-C Deney Numunesi



Şekil 3.79. 4-C Numunesi Yük- Deplasman Grafiği

3.2.8. 4-C1 Güçlendirilmiş Kiriş

4-C1, referans kirişin alt yüzüne 3 mm kalınlığındaki çelik plakanın mesnet bölgelerinde sıklaştırılarak orta bölgede ise eşit 5 cm arayla çelik dübeller ile tutturularak güçlendirilmiş deney elemanıdır (Şekil 3.80).

Yükleme başladıktan sonra 4500 kg yük değerine ulaştıktan sonra betonda meydana gelen çatlama ile taşıma kapasitesi aniden 3900 kg değerine düşmektedir. Burdanda maksimum taşıma kapasitesi olan 6250 kg değerine ulaştıktan sonra taşıma gücü 5600 kg değerine düşüyor. Bu değerden tekrar 5700 kg değerine ulaşıyor ve betonun dayanımını yitirmesi sonucunda taşıma gücünü giderek azalıyor. Bu yük altındaki deplasmanıda 11.03 mm' dir.



Şekil 3.80. 4-C1 Deney Numunesi

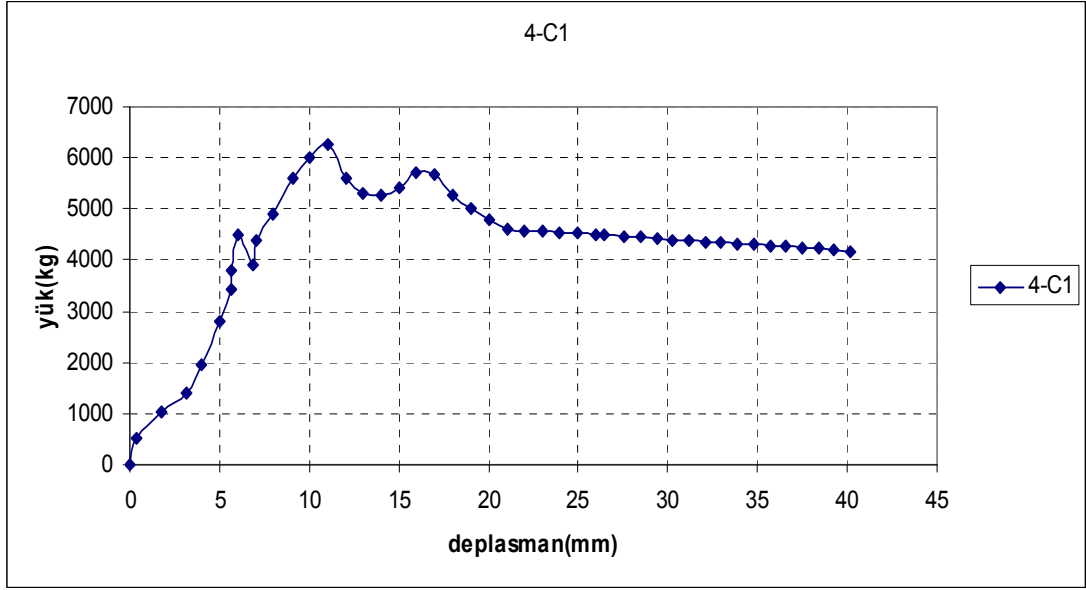
Mesnet bölgesinde başlayan çatlak büyüyerek kirişin orta bölgesine (basınç bölgesi) ulaşmıştır. Bunun sonucunda beton dayanımını kaybederek taşıma gücünü yitirmiştir. Çelik dübeller mesnet bölgesinde sık olduğu için plaka beton yüzeyinden ayrılmamıştır. Fakat bu seferde beton parçalanmıştır. Çelik dübellerde ve çelik plakada herhangi bir deformasyon gözlenmemiştir (Şekil 3.81, Şekil 3.82).



Şekil 3.81. 4-C1 Deney Numunesi



Şekil 3.82. 4-C1 Deney Numunesi



Şekil 3.83. 4-C1 Numunesi Yük- Deplasman Grafiği

3.2.9. 4-C2 Güçlendirilmiş Kiriş

4-C2, referans kirişin alt yüzüne 3 mm kalınlığındaki çelik plakanın mesnet bölgelerinde sıklaştırılarak orta bölgede ise eşit 5 cm arayla çelik dübeller vasıtasıyla yapıştırılmasıyla güçlendirilmiş deney elemanıdır (Şekil 3.84).

Yükleme başladıktan sonra 3995 kg yük değerine ulaştıktan sonra betonda meydana gelen çatlama ile taşıma kapasitesi aniden 3400 kg değerine düşmektedir. Bu değerden sonra tekrar 4820 kg değerine ulaşır ve gene betonda meydana gelen çatlama ile 4185 kg değerine gelir. Burdanda maksimum taşıma kapasitesi olan 6115 kg değerine ulaştıktan sonra taşıma gücü 5380 kg değerine düşüyor. Bu değerden tekrar 5830 kg değerine ulaşır ve betonun dayanımını yitirmesi sonucunda taşıma gücünü giderek azalıyor. Bu yük altındaki deplasmanıda 10.3 mm' dir.

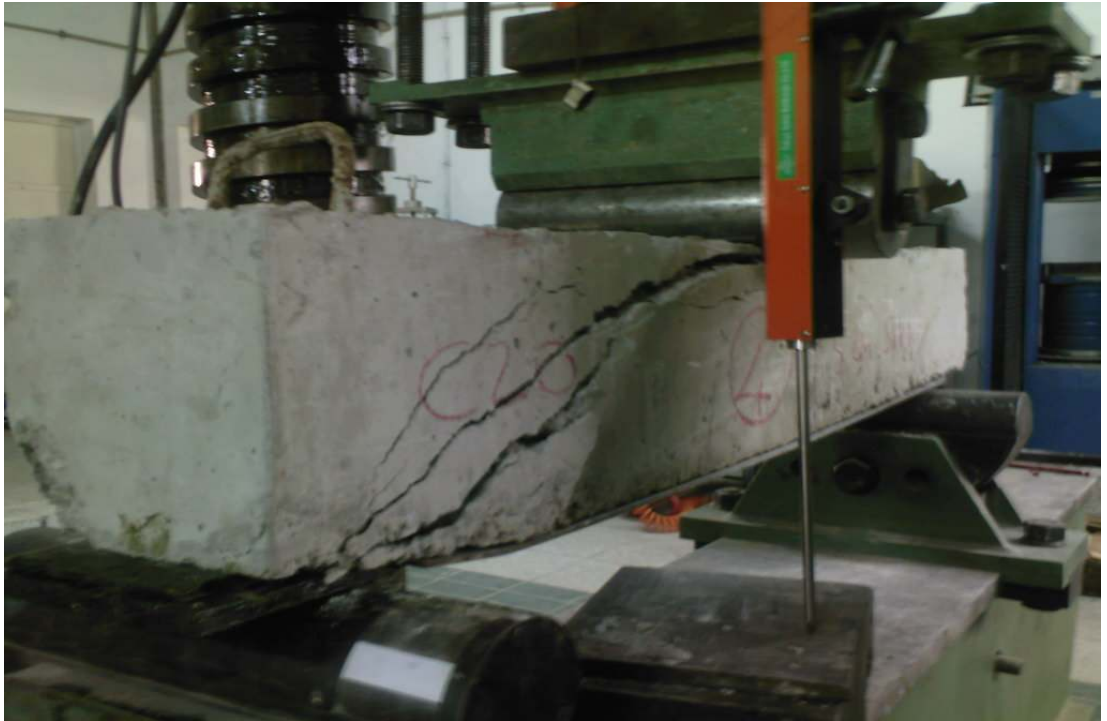


Şekil 3.84. 4-C2 Deney Numunesi

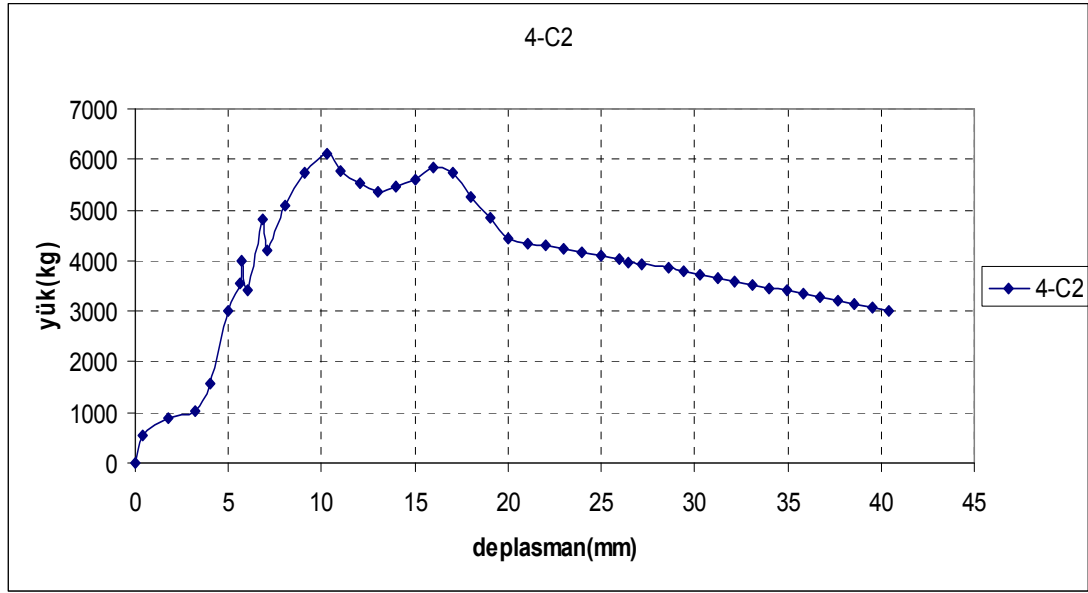
Mesnet bölgesinde başlayan çatlak büyüyerek kirişin orta bölgesine (basınç bölgesi) ulaşmıştır. Bunun sonucunda beton dayanımını kaybederek taşıma gücünü yitirmiştir. Çelik dübeller mesnet bölgesinde sık olduğu için plaka beton yüzeyinden ayrılmamıştır. Fakat bu seferde beton parçalanmıştır. Çelik dübellerde ve çelik plakada herhangi bir deformasyon gözlenmemiştir (Şekil 3.85, Şekil 3.86).



Şekil 3.85. 4-C2 Deney Numunesi



Şekil 3.86. 4-C2 Deney Numunesi



Şekil 3.87. 4-C2 Numunesi Yük- Deplasman Grafiği

3.2.10. 5-C Güçlendirilmiş Kiriş

5-C, referans kirişin alt yüzüne 3 mm kalınlığındaki çelik plakanın mesnet bölgelerinden başlayıp orta bölgeye doğru doğrusal olarak artan bir şekilde çelik dübeller vasıtasıyla yapıştırılmasıyla güçlendirilmiş deney elemanıdır (Şekil 3.88).

Yükleme başladıktan sonra 5270 kg yük değerine ulaştıktan sonra betonda meydana gelen çatlama ile taşıma kapasitesi aniden 4300 kg düşmektedir. Bu değerden sonra tekrar 5450 kg değerine ulaşıyor ve betonda meydana gelen çatlama ile taşıma kapasitesi tekrar 4345 kg değerine ulaşıyor. Bu değerden sonra maksimum taşıma kapasitesi olan 8030 kg değerine ulaştıktan sonra betonun dayanımını yitirmesiyle taşıma kapasitesi düşmektedir. Bu yük altındaki deplasmanıda 12 mm' dir (Şekil 3.89).



Şekil 3.90. 5-C Deney Numunesi

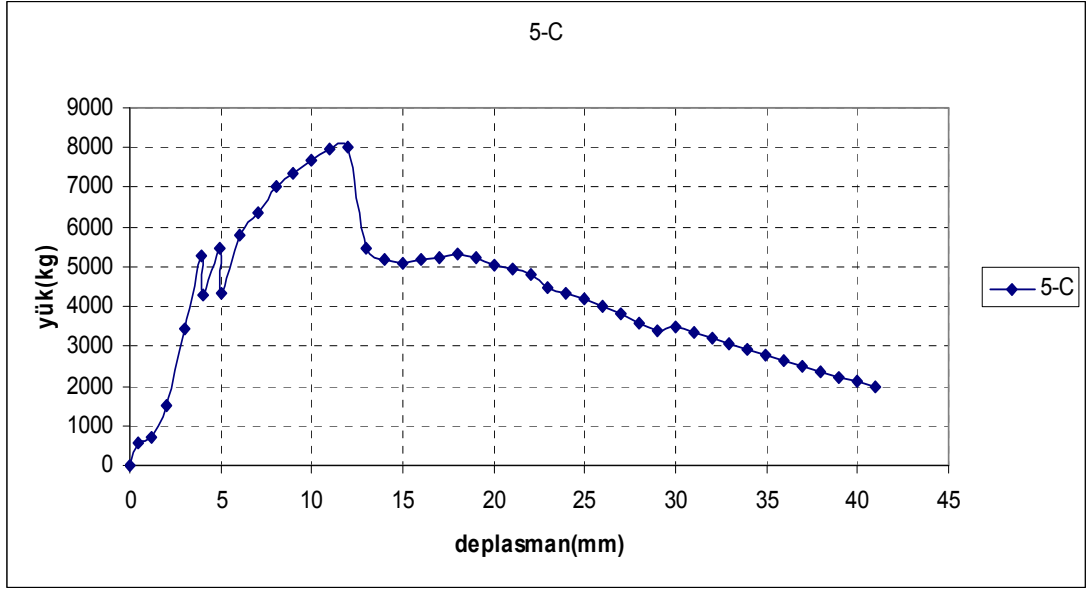


Şekil 3.89. 5-C Deney Numunesi

Mesnet bölgesinde başlayan çatlak büyüyerek kirişin orta bölgesine (basınç bölgesi) ulaşmıştır. Bunun sonucunda beton dayanımını kaybederek taşıma gücünü yitirmiştir. Çelik dübeller mesnet bölgesinde sık olduğu için plaka beton yüzeyinden ayrılmamıştır. Fakat bu seferde beton parçalanmıştır. Çelik dübellerde ve çelik plakada herhangi bir deformasyon gözlenmemiştir (Şekil 3.90).



Şekil 3.90. 5-C Deney Numunesi



Şekil 3.91. 5-C Numunesi Yük- Deplasman Grafiği

3.2.11. 5-C1 Güçlendirilmiş Kiriş

5-C1, referans kirişin alt yüzüne 3 mm kalınlığındaki çelik plakanın mesnet bölgelerinden başlayıp orta bölgeye doğru doğrusal olarak artan bir şekilde çelik dübeller vasıtasıyla yapıştırılmasıyla güçlendirilmiş deney elemanıdır (Şekil 3.92).

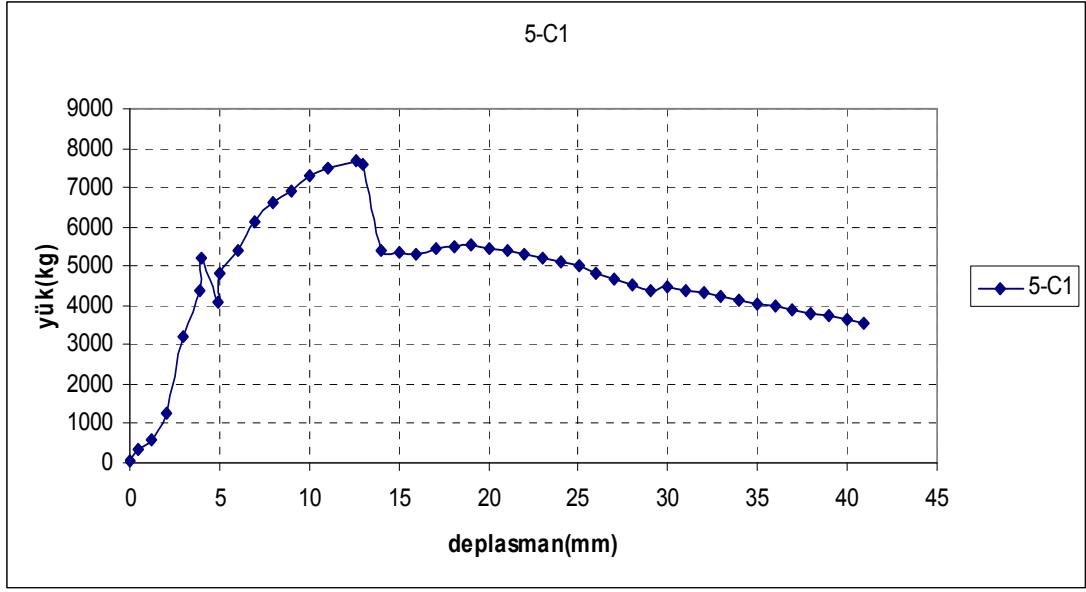
Yükleme başladıktan sonra 5200 kg yük değerine ulaştıktan sonra betonda meydana gelen deformasyonla taşıma kapasitesi aniden 4095 kg düşmektedir. Bu değerden sonra maksimum taşıma kapasitesi olan 7680 kg değerine ulaştıktan sonra betonun dayanımını yitirmesiyle taşıma kapasitesi düşmektedir. Bu yük altındaki deplasmanıda 12,6 mm' dir (Şekil 3.93).



Şekil 3.92. 5-C1 Deney Numunesi



Şekil 3.93. 5-C1 Deney Numunesi



Şekil 3.94. 5-C1 Numunesi Yük- Deplasman Grafiği

3.2.12. 5-C2 Güçlendirilmiş Kiriş

5-C2, referans kirişin alt yüzüne 3 mm kalınlığındaki çelik plakanın mesnet bölgelerinden başlayıp orta bölgeye doğru doğrusal olarak artan bir şekilde çelik dübeller vasıtasıyla yapıştırılmasıyla güçlendirilmiş deney elemanıdır (Şekil 3.95).

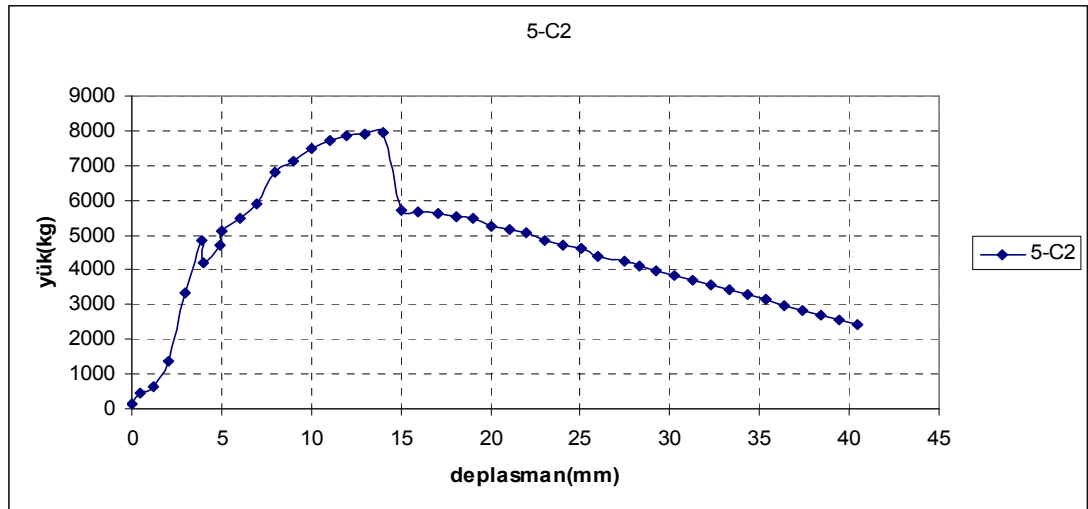
Yükleme başladıktan sonra 4835 kg yük değerine ulaştıktan sonra betonda meydana gelen deformasyonla taşıma kapasitesi aniden 4200 kg düşmektedir. Bu değerden sonra maksimum taşıma kapasitesi olan 7950 kg değerine ulaştıktan sonra betonun dayanımını yitirmesiyle taşıma kapasitesi düşmektedir. Bu yük altındaki deplasmanıda 14 mm' dir.

Mesnet bölgesinde başlayan çatlak büyüyerek kirişin orta bölgesine (basınç bölgesi) ulaşmıştır. Bunun sonucunda beton dayanımını kaybederek taşıma gücünü yitirmiştir. Çelik dübeller mesnet bölgesinde sık olduğu için

plaka beton yüzeyinden ayrılmamıştır. Fakat bu seferde beton parçalanmıştır. Çelik dübellerde ve çelik plakada herhangi bir deformasyon gözlenmemiştir.



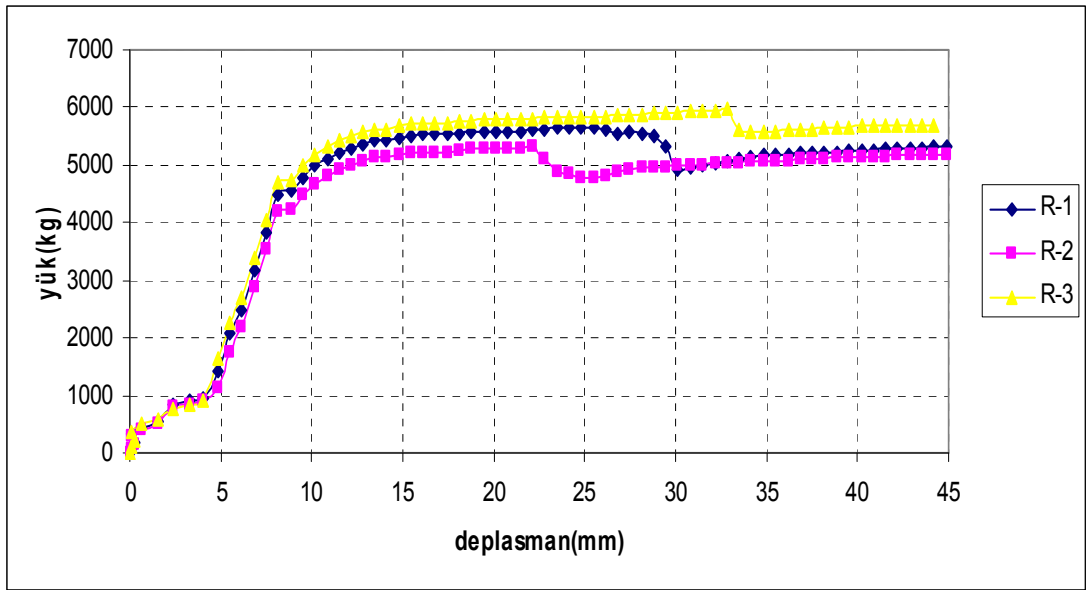
Şekil 3.95. 5-C2 Deney Numunesi



Şekil 3.96. 5-C2 Numunesi Yük- Deplasman Grafiği

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

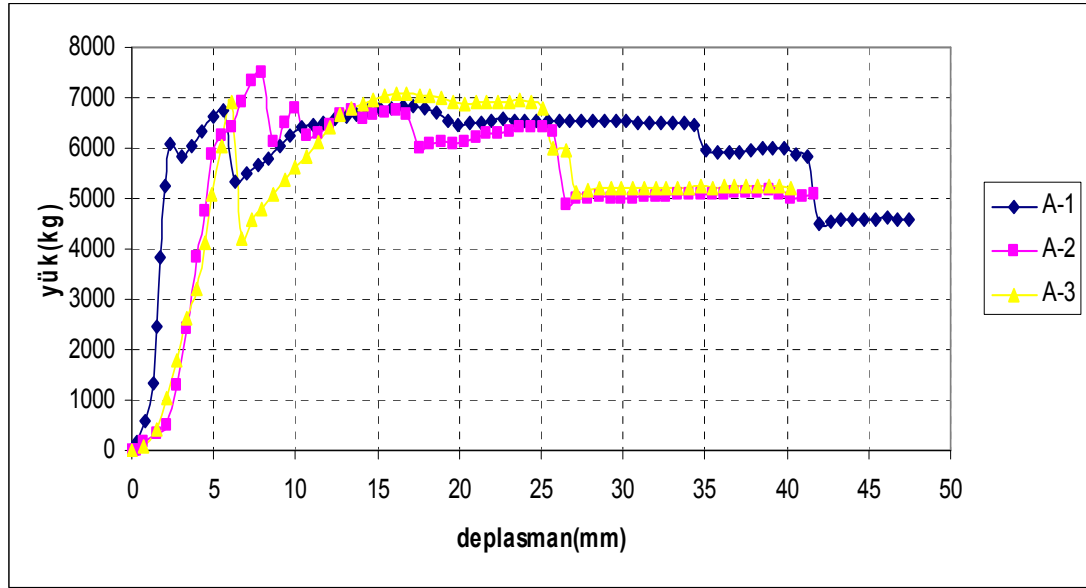
Deney numuneleri karşılaştırılırken maksimum taşıma gücü, bu taşıma gücünde yapmış oldukları deplasman ve enerji yutma kapasiteleri baz alınmıştır.



Şekil 4.1. C14 Beton Sınıfı Referans Numuneleri Yük- Deplasman Grafiği

Çizelge 4.1. C14 Beton Sınıfı Referans Numuneleri Deney Sonuçları

Numune	Mak. Yük (kg)	Deplasman (mm)	Enerji Kapasiteleri (kg*mm)
R-1	5600	25,5	187489
R-2	5300	22,1	172781
R-3	5900	31,4	198783
Rort	5600	26,3	186351

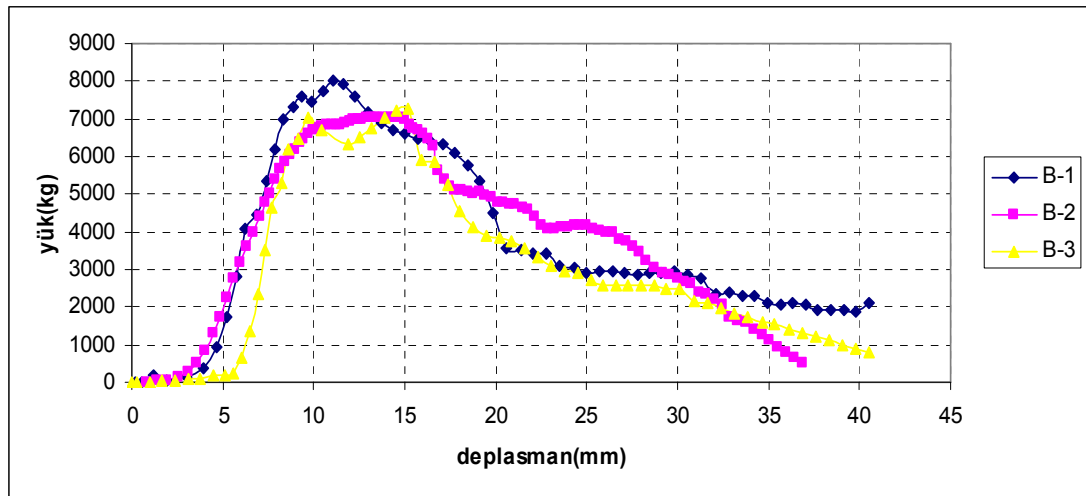


Şekil 4.2. C14 Beton Sınıfı A Grubu Numuneleri Yük- Deplasman Grafiği

Çizelge 4.2. C14 Beton Sınıfı A Gurubu Numuneleri Deney Sonuçları

Numune	Mak. Yük (kg)	Deplasman (mm)	Enerji Kapasiteleri (kg*mm)
A-1	6740	17,2	248376
A-2	7490	16,1	220529
A-3	7000	16,8	218766
Aort	7076	16,7	229223

A grubu deney numuneleri diğer iki grup güçlendirme elemanlarına göre en az dübel sayısına sahip gruptur. Maksimum taşıma gücü referans numuneye göre %26 oranında daha fazladır. Bununla beraber enerji yutma kapasiteside %23 oranında artmıştır. Bunların aksine maksimum kuvvette yapmış oldukları deplasman %43 oranında azalmıştır.

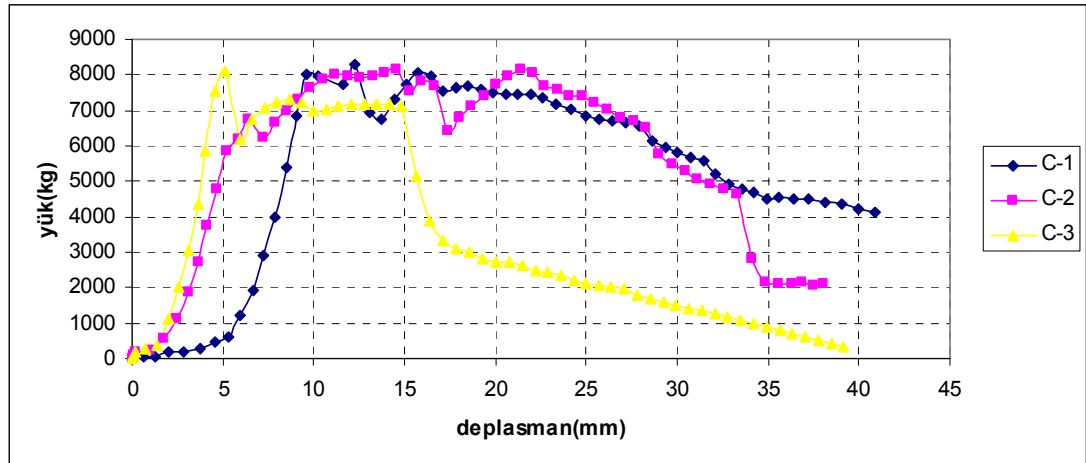


Şekil 4.3. C14 Beton Sınıfı B Grubu Numuneleri Yük- Deplasman Grafiği

Çizelge 4.3. C14 Beton Sınıfı B Grubu Deney Sonuçları

Numune	Mak. Yük (kg)	Deplasman (mm)	Enerji Kapasiteleri (kg*mm)
B-1	7990	13,0	149426
B-2	7040	14,0	139538
B-3	7300	15,2	123839
Bort	7443	14,1	137601

B grubu deney numulerinin maksimum taşıma gücü referans numuneye göre %33 oranında daha fazladır. Bununla beraber enerji yutma kapasitesi %35 oranında azalmıştır. Bunların aksine maksimum kuvvette yapmış oldukları deplasman %44 oranında azalmıştır.

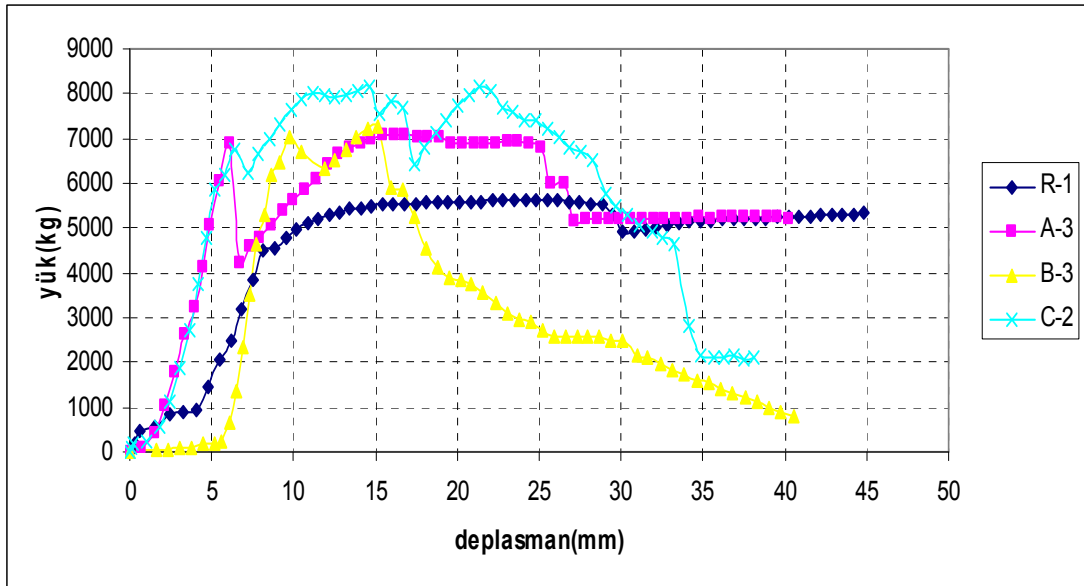


Şekil 4.4. C14 Beton Sınıfı C Grubu Numuneleri Yük- Deplasman Grafiği

Çizelge 4.4. C14 Beton Sınıfı C Grubu Deney Sonuçları

Numune	Mak. Yük (kg)	Deplasman (mm)	Enerji Kapasiteleri (kg*mm)
C-1	8300	12,2	216637
C-2	8180	14,6	223558
C-3	8110	13,5	137666
Cort	8200	13,4	191287

C grubu deney numulerinin maksimum taşıma gücü referans numuneye göre %44 oranında daha fazladır. Bununla beraber enerji yutma kapasiteside %2 oranında artmıştır. Bunların aksine maksimum kuvvette yapmış oldukları deplasman %50 oranında azalmıştır.

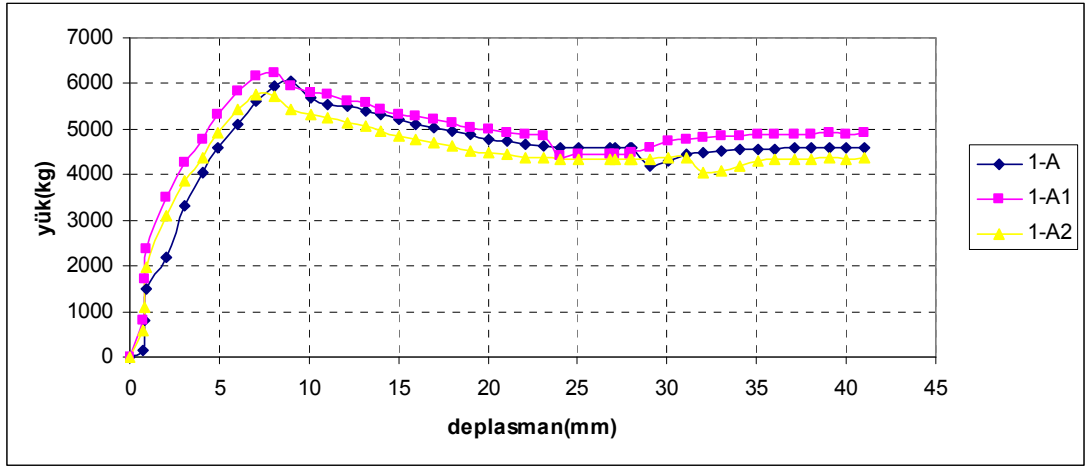


Şekil 4.5. C14 Deney Grubu Numuneleri Yük- Deplasman Grafiği

A grubu deney numunesi yalın kirişe en yakın davranışı göstermiştir. Bunun nedeni çelik dübel sayısı en az olan numunedir. Çelik dübellerin sayısı az olduğu için mesnete yakın bölgelerdeki ilk sıra dübeller kesilmiştir. Çelik dübellerin kesilmesiyle çelik plaka mesnete yakın bölgelerde boşa çıkmıştır ve bundan sonra deney numunesi referans numuneye yakın bir davranış göstererek sünek bir şekilde hareket etmiştir. Sünek bir davranış gösterdiği için de enerji yutma kapasitesi diğer deney gruplarına göre daha fazla artış göstermiştir. Fakat taşıma gücünde diğer deney gruplarına kıyasla fazla bir artış meydana gelmemiştir.

B grubu deney numuneler A grubu deney numunelerinden daha fazla dayanım göstermiştir. Fakat süneklik açısından bakıldığında en az sünek davranışı gösteren deney grubudur. Bunun nedeni ise çelik dübel sayısının diğer gruplardan daha fazla oluşudur. Ayrıca C grubu deney numuneleriyle karşılaştırıldığında daha az dayanım vermesinin sebebi çelik dübel için betonda açılan delik sayısının fazla olması ve bu yüzden de betonun dayanımının düşmesidir. Buna bağlı olarakta enerji yutma kapasiteleri referans numuneye oranla azalmıştır.

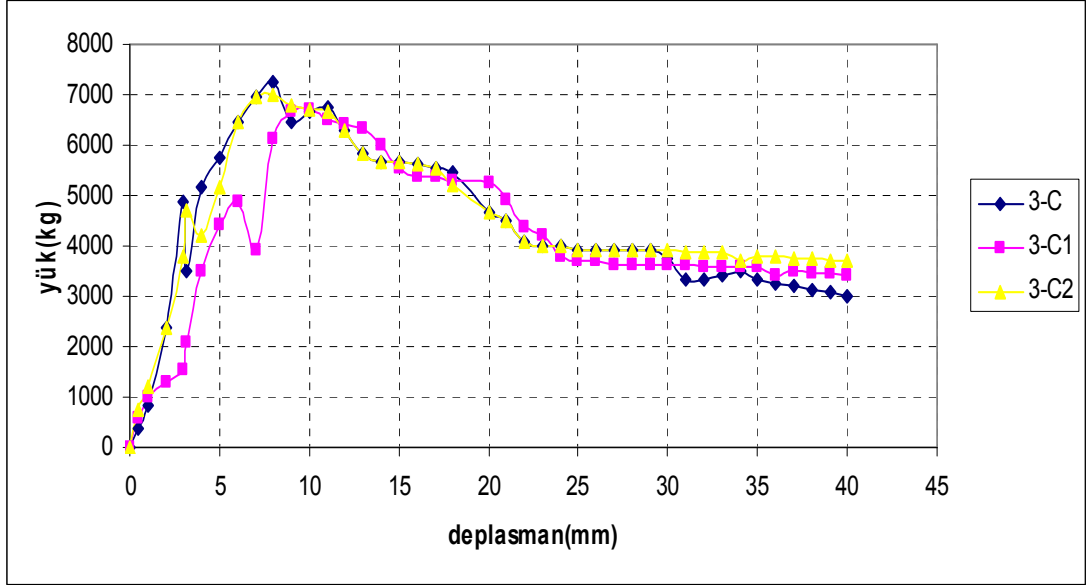
C grubu deney numuneleri maksimum taşıma kapasitesi açısından en iyi sonuç veren numune grubudur. Bunun nedeni dübel sayısı ve aralığı bakımından diğer iki deney grubunun arasında bir değer olmasıdır. A grubu deney numunelerindeki konnektör dizilimi kadar seyrek olmadığı gibi B grubu deney numunelerindeki kadar da sık bir dizilime sahip değildi. Süneklik açısından bakıldığında da diğer iki deney grubunun arasında kalmıştır. Enerji yutma kapasitesine bakıldığında A grubu deney grubunun gerisinde kalmıştır.



Şekil 4.6. C20 Beton Sınıfı 1-A Grubu Numuneleri Yük- Deplasman Grafiği

Çizelge 4.5. C20 Beton Sınıfı 1-A Grubu Deney Sonuçları

Numune	Mak. Yük (kg)	Deplasman (mm)	Enerji Kapasiteleri (kg*mm)
1-A	6030	9,0	188590
1-A1	6240	9,5	202375
1-A2	5750	8,5	183858
1-Aort	6007	9,0	191607

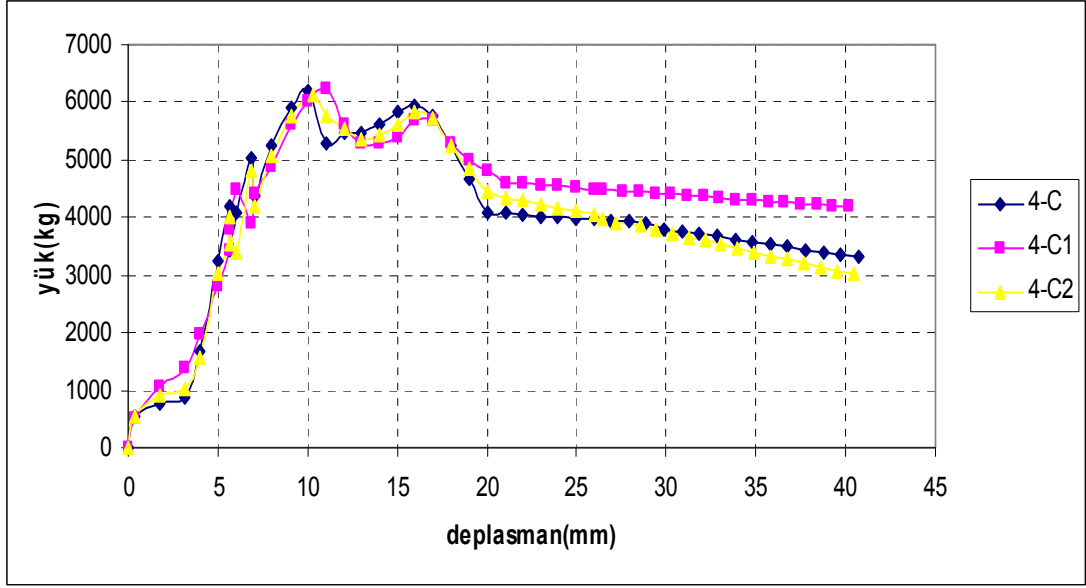


Şekil 4.7. C20 Beton Sınıfı 3-C Grubu Numuneleri Yük- Deplasman Grafiği

Çizelge 4.6. C20 Beton Sınıfı 3-C Grubu Deney Sonuçları

Numune	Mak. Yük (kg)	Deplasman (mm)	Enerji Kapasiteleri (kg*mm)
3-C	7242	8,0	185690
3-C1	6700	8,5	178810
3-C2	7000	8,8	190746
3-Cort	6980	8,4	185082

3-C grubu deney numulerinin maksimum taşıma gücü referans numuneye göre %16 oranında daha fazladır. Bunun aksine enerji yutma kapasiteside %3 oranında azalmıştır. Bununla beraber maksimum kuvvette yapmış oldukları deplasman %7 oranında azalmıştır.

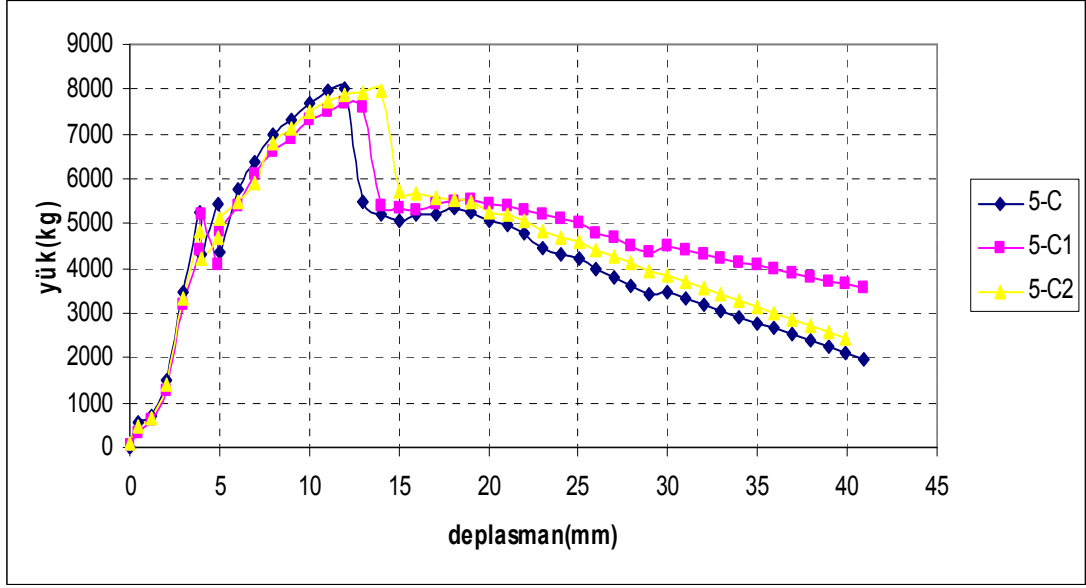


Şekil 4.8. C20 Beton Sınıfı 4-C Grubu Numuneleri Yük- Deplasman Grafiği

Çizelge 4.7. C20 Beton Sınıfı 4-C Grubu Deney Sonuçları

Numune	Mak. Yük (kg)	Deplasman (mm)	Enerji Kapasiteleri (kg*mm)
4-C	6215	9,0	169201
4-C1	6250	10,0	181329
4-C2	6115	10,3	165701
4-Cort	6195	9,8	172077

4-C grubu deney numulerinin maksimum taşıma gücü referans numuneye göre %3 oranında daha fazladır. Bunun aksine enerji yutma kapasiteside %11 oranında azalmıştır. Bununla beraber maksimum kuvvette yapmış oldukları deplasman %8 oranında artmıştır.

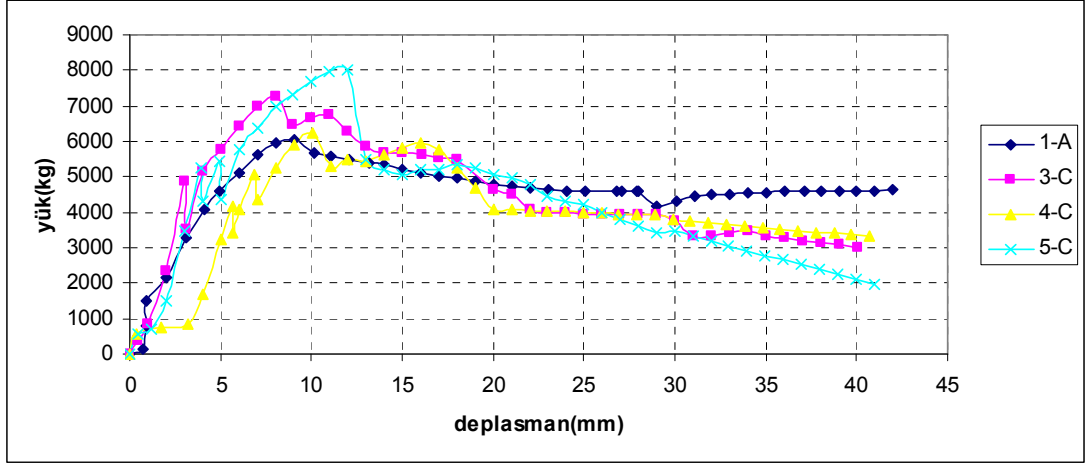


Şekil 4.9. C20 Beton Sınıfı 5-C Grubu Numuneleri Yük- Deplasman Grafiği

Çizelge 4.8. C20 Beton sınıfı 5-C Grubu Numuneleri Özellikleri

Numune	Mak. Yük (kg)	Deplasman (mm)	Enerji Kapasiteleri (kg*mm)
5-C	8030	12,0	179889
5-C1	7650	12,6	204873
5-C2	7950	14	193135
5-Cort	7877	12,9	192632

5-C grubu deney numulerinin maksimum taşıma gücü referans numuneye göre %31 oranında daha fazladır. Bununla beraber enerji yutma kapasitesi hemen hemen aynı kalmıştır. Bunların aksine maksimum kuvvette yapmış oldukları deplasman %7 oranında artmıştır.



Şekil 4.10. C20 Deney Grubu Yük- Deplasman Grafiği

3-C deney grubu enerji yutma kapasitesi açısından fazla bir artış göstermemiştir. Bunda deney numunelerinin sünek olmayan bir davranış göstermesinin bir sonucudur. Sünek olmayan bir davranış göstermesinde dübel aralıklarının çok sık olması etkilidir.

4-C deney grubu maksimum taşıma gücü bakıldığında referans numune ile hemen hemen aynı değerde olduğu görülmektedir. Enerji yutma kapasitesine bakıldığında da maksimum taşıma gücüne göre azaldığı görülmüştür. Bunun sebebi mesnete yakın bölgelerde sık aralıklı dübel atılmıştır ve bu da o bölgede beton dayanımını azaltmıştır.

5-C deney grubu en yüksek dayanım veren deney grubudur. Bunun sebebi çelik dübel aralığının mesnetten başlayıp orta bölgeye kadar doğrusal bir şekilde artarak olmasıdır. Enerji yutma kapasitesine bakıldığında diğer referans numuneye göre bir değişim olmamıştır.

Yapılan deneyler bize elik plaka ile gulendirmenin iyi bir sonuç verdiğini göstermektedir. Fakat elik plaka ile gulendirme sonucunda elemanların süneklik düzeyleri azalmaktadır.

Deney sonuçları, bize elik dübel uzunluğunun deney sonuçları üzerinde önemli bir etkisi olduğunu göstermiştir. C20 deney grubu numunlerinde 5 cm uzunlukta elik dübel kullanılmıştır. C14 deney grubu numunelerinde ise 7.5 cm uzunluğunda elik dübel kullanılmıştır. C14 deney gruplarında referans numunelere göre dayanımda oldukça yüksek bir artış görülmüştür. C20 deney gruplarında ise C14 deney grubunda meydana gelen kadar bir artış görülememiştir. elik dübel uzunluğu arttıkça elik plakalar betona daha iyi bir şekilde ankraj edilmiş olmaktadır.

Mesnet bölgelerinde plaka ayrılmasın diye çok sık dübel kullanıldığında ise beton dayanımının düştüğü görülmektedir. 4-C deney gruplarında 2'şer cm arayla 5 sıra dübel kullanılmıştır. Fakat görülmüştür ki maksimum taşıma kapasitesi ve enerji yutma kapasiteleri diğer numunelere oranla düşmektedir.

Plakaları beton numuneye bağlayan elik dübellerin sayısı ile süneklik düzeyi arasında da bir bağlantı olduğu görülmüştür. elik dübel sayı ve aralığı arttıkça elemanların sünekliğinin de o lde azaldığı görülmüştür.

4.1. neriler

Numune boyutlarını 1:2 veya 1:3 oranında ve dikdörtgen kesit olarak tasarlanıp, etriye aralıklarını daha sık seçerek daha gerçekçi sonuçlara ulaşılabilir. Ayrıca beton sınıfı veya konektör uzunluklarını değiştirerek

yapılacak çalışmaların sonuçları ile bu çalışma karşılaştırılıp önemli verilere ulaşılabilir.

KAYNAKLAR

1. N. Çetinkaya, H. Kaplan, Ş. Murat Şenel, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, **10**, 291(2004).
2. M. Köse, K. Özgen, İTÜ Dergisi, **2**, 41(2003).
3. M. Tekin, E. Alsancak, Betonarme Kirişlerin ve Kolonların Prefabrik Levhalarla Güçlendirilmesi, Yapısal Onarım ve Güçlendirme Sempozyumu, Denizli, 2006.
4. D. Mehmet Özcan, A. Şahin, A. Bayraktar, T. Türker, Betonarme Kirişlerin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Modellenmesi, Yapısal Onarım ve Güçlendirme Sempozyumu, Denizli, 2006.
5. Y. Çağlar, O. Doğan, A. Koçak, Çelik Plakalarla Güçlendirilmiş Betonarme Kirişlerin Modellenmesi ve Sonlu Elemanlar Metodu ile Analizi, Yapısal Onarım ve Güçlendirme Sempozyumu, Denizli, 2006.
6. A. Uysal, Betonarme Kirişlerin Epoksiyle Yapıştırılan Delikli Çelik Levhalarla Güçlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara,