



**CFRP İLE BETON YÜZEYLER ARASINDAKİ GERİLME AKTARIM
MEKANİZMALARININ DENEYSEL VE ANALİTİK OLARAK
İNCELENMESİ**

Çelebi MERTOĞLU

**DOKTORA TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

TEMMUZ 2015

Çelebi MERTOĞLU tarafından hazırlanan “CFRP İLE BETON YÜZEYLER ARASINDAKİ GERİLME AKTARIM MEKANİZMALARININ DENEYSEL VE ANALİTİK OLARAK İNCELENMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Özgür ANIL

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum

Başkan :Prof. Dr. Tekin GÜLTOP

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Çankaya Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum

Üye : Prof. Dr. Barış BİNİCİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Orta Doğu Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum

Üye : Prof. Dr. Kurtuluş SOYLUK

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum

Üye : Doç. Dr. Mustafa ŞAHMARAN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu onaylıyorum

Tez Savunma Tarihi: 27/07/2015

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Doktora Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....
Prof. Dr. Şeref SAĞIROĞLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Çelebi MERTOĞLU

27.07.2015

CFRP İLE BETON YÜZEYLER ARASINDAKİ GERİLME AKTARIM
MEKANİZMALARININ DENEYSEL VE ANALİTİK OLARAK İNCELENMESİ

(Doktora Tezi)

Çelebi MERTOĞLU

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Temmuz 2015

ÖZET

Bu çalışma kapsamında çatlaksız, eğilme çatlaklı ile kesme çatlaklına sahip beton yüzeyine yapıştırılan ankrajlı ve ankrajsız CFRP şeritler ile yüzey arasındaki birim şekil değiştirme dağılımı ve bond-slip modeli ile ilgili bir araştırma yapılmıştır. Ankrajsız ve ankrajlı CFRP şeritlerin davranışları ile eğilme ve kesme çatlaklına sahip beton yüzeylerine yapıştırılmış CFRP şeritlerin davranışları karşılaştırılarak ankrajlı CFRP şeritler için yeni bir bond-slip modeli önerilmiştir. Ayrıca CFRP şeritlerdeki birim deformasyon dağılımı ile ilgili yorumlar yapılmıştır. Çalışmada incelenen temel değişkenler beton yüzeyindeki çatlak tipi ve sayısı, CFRP şerit genişliği, CFRP şerit yapıştırma boyu ve ankraj sayısıdır. Ayrıca ankrajsız referans elemanları da test edilerek çatlaklı ve ankrajlı deney elemanları ile karşılaştırılmıştır. Deneysel çalışmada 50 ve 100 mm CFRP şerit genişlikli, 200 ve 280 mm yapıştırma boyuna sahip, 1, 2, 3 ankrajlı, 1, 2 kesme ve eğilme çatlaklına sahip ve ankrajsız referans elemanları olmak üzere toplam 30 deney elemanı test edilmiştir. Deney elemanlarının yük-deplasman grafikleri ve birim deformasyon dağılımları ölçülerek yorumlanmıştır. Deney elemanlarının dayanımları, başlangıç rijitlikleri ve enerji tüketim kapasiteleri değerlendirilerek ankrajlı, ankrajsız ve çatlaklı beton yüzeylerindeki CFRP şeritlerin davranışları birbiriyle karşılaştırılmıştır. Ayrıca ankrajlı CFRP şeritler için yeni bir bond-slip modeli önerilmiştir. CFRP şerit genişliği ve yapıştırma boyu arttıkça dayanım, rijitlik ve enerji tüketim kapasiteleri de artmıştır. Ankraj sayısındaki artış sonucunda deney elemanlarının dayanım, rijitlik ve enerji tüketim değerleri de artmıştır. Yeni önerilen bond-slip modelinde ankrajların olması, ankrajsız standart bond-slip modellerine göre yükün azalan bölümünde değişime neden olmuştur.

Bilim Kodu : 911.1.144

Anahtar Kelimeler : CFRP ile Güçlendirme, CFRP şeritler, Fan ankraj, Gerilme Dağılımı.

Sayfa Adedi : 185

Danışman : Prof. Dr. Özgür ANIL

EXPERIMENTAL AND ANALYTICAL INVESTIGATION OF STRESS TRANSFER
MECHANISMS BETWEEN CFRP WITH CONCRETE SURFACES

(Ph. D. Thesis)

Çelebi MERTOĞLU

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

July 2015

ABSTRACT

In scope of this study, a research study is conducted both experimentally and analytically investigate the stress transfer mechanisms between concrete surfaces, to shear and bending cracks as well as without any cracks, and CFRP strips bonded to concrete surfaces with and without anchorages. Also, a new bond slip model is proposed to simulate the slip behavior of the CFRP strips bonded to concrete surfaces using anchorages. Furthermore, strain distributions in the CFRP strips are observed and interpreted. Also, finite element simulations of the test specimens were conducted using the software ANSYS. The main variables in the study are type and number of cracks on the concrete surface, CFRP strip width, CFRP bonding length and number of anchorages. Moreover, the specimens without any anchorages are also tested and the results are comparatively presented. 30 test specimens with 1 or 2 shear or flexural cracks as well as the specimens without any cracks were strengthened with 50 mm or 100 mm wide CFRP strips using varying number of anchorages (1 to 3) and 200 mm or 280 mm CFRP strip length. The test results obtained from the experimental study are comparatively presented in terms of strain distributions on CFRP strips, load – displacement behaviors, strengths, initial stiffnesses and energy dissipation capacities. From the test results it is observed that the rigidities and energy dissipation capacities of the test specimens increased with increasing CFRP strip width and bonding length and increasing number of anchorages. The results obtained from the new bond slip model reflected the variation in the post peak behavior of the test specimens with anchorages.

Science Code : 911.1.144

Key Words : Strengthened with CFRP, CFRP Strip, Fan type Anchorage,
Stress Distribution

Page Number : 185

Supervisor : Prof. Dr. Özgür ANIL

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca, bu araştırmayı planlayıp yöneten, değerli yardım ve katkılarıyla çalışmayı yönlendiren Sayın Prof. Dr. Özgür ANIL'a teşekkür ederim.

Tez çalışmasının gerçekteőmesinde, bilgisi ve tecrübesini hiçbir zaman esirgemeyen Sayın Faruk OGÜN'e teőekkürlerimi sunarım.

Çalışmamın her aşamasında yardımlarını esirgemeyen Sardarwali DIN ve Cengizhan DURUCAN'a teşekkür ederim. Böyle bir çalışma içerisinde yer almam için beni yönlendiren ve çalışmamın her aşamasında desteklerini esirgemeyen başta canım babam Yusuf MERTOĞLU'na, annem Leyla MERTOĞLU'na, kardeőlerime ve biricik eőim Özge MERTOĞLU'na teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xii
RESİMLERİN LİSTESİ	xvii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xx
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	5
3. DENEY ELEMANLARI	15
3.1. Kullanılan Malzemelerin Özellikleri.....	15
3.1.1. Beton	15
3.1.2. CFRP	16
3.1.3. Epoksi (Sikadur 330).....	17
3.2. Deney Elemanlarının Hazırlanışı.....	18
3.2.1. Beton yan yüzlerinin hazırlanması	19
3.2.2. Ankraj noktaları ve ankajların hazırlanması	20
3.2.3. Deney elemanlarına eğilme ve kesme çatlakları oluşturulması .	22
3.2.4. CFRP şeritlerin hazırlanışı, yüzeylere yapıştırılması ve ankraj uygulaması.....	23
3.2.5. Deney elemanlarının isimlendirilmesi.....	24
4. LABORATUAR TEKNOLOJİSİ	29
4.1. Genel.....	29
4.2. Yükleme ve Deney Düzeni	29

	Sayfa
4.3. Ölçüm Düzeneği ve Veri Toplanması	31
4.3.1. Ölçüm aletleri ve yerleşim düzeni	31
4.3.2. Toplanan verilerin değerlendirilmesi	31
5. DENEYLER	33
5.1. Deney Elemanı 100W200L (Referans Elemanı 1).....	33
5.2. Deney Elemanı 100W280L (Referans Elemanı 2).....	35
5.3. Deney Elemanı 50W200L (Referans Elemanı 3).....	38
5.4. Deney Elemanı 50W280L (Referans Elemanı 4).....	40
5.5. Deney Elemanı 50W200L1A	42
5.6. Deney Elemanı 50W200L2A	45
5.7. Deney Elemanı 50W280L1A	48
5.8. Deney Elemanı 50W280L2A	51
5.9. Deney Elemanı 100W200L1A	54
5.10. Deney Elemanı 100W200L2A	58
5.11. Deney Elemanı 100W280L1A	61
5.12. Deney Elemanı 100W280L2A	64
5.13. Deney Elemanı 100W280L3A	67
5.14. Deney Elemanı 50W280L3A	70
5.15. Deney Elemanı 50W200L1F	73
5.16. Deney Elemanı 50W200L2F	76
5.17. Deney Elemanı 50W200L1S	79
5.18. Deney Elemanı 50W200L2S	82
5.19. Deney Elemanı 50W280L1F	85
5.20. Deney Elemanı 50W280L2F	88
5.21. Deney Elemanı 50W280L1S	91
5.22. Deney Elemanı 50W280L2S	94

	Sayfa
5.23. Deney Elemanı 100W200L1F	97
5.24. Deney Elemanı 100W200L2F	100
5.25. Deney Elemanı 100W200L1S	103
5.26. Deney Elemanı 100W200L2S	106
5.27. Deney Elemanı 100W280L2F	109
5.28. Deney Elemanı 100W280L1F	112
5.29. Deney Elemanı 100W280L2S	115
5.30. Deney Elemanı 100W280L1S	118
6. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	121
6.1. Deney Elemanlarının Dayanım, Rijitlik ve Enerji Yutma Kapasiteleri ..	121
6.1.1. Deney elemanlarının dayanımları	121
6.1.2. Deney elemanlarının rijitlik ve enerji yutma kapasiteleri.....	128
6.2. CFRP şeritlerde birim deformasyonlar	129
7. SONUÇLARIN ANALİTİK HESAPLAMALARLA KARŞILAŞTIRILMASI	141
7.1 Bond Slip Model Geliştirilmesi	158
8. ANSYS SONLU ELEMANLAR PROGRAMI	163
8.1. ANSYS Yazılımında Ana Menü	163
8.2. ANSYS Yazılımında Analiz Basamakları.....	164
8.2.1. Model geometrisinin oluşturulması.....	165
8.2.2. Malzeme özelliklerinin girilmesi.....	166
8.2.3. Malzeme modelleri.....	166
8.2.4. Modelin sonlu eleman ağının oluşturulması.....	172
8.2.5. Sınır şartların düzenlenmesi	173
8.2.6. Yükleme ve analiz.....	173

	Sayfa
8.3. ANSYS Modelleme ile Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması	174
9. SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ VE ÖNERİLER	179
9.1. Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	179
9.2. Öneriler	181
KAYNAKLAR.....	183
ÖZGEÇMİŞ	185

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Beton karışım oranı	13
Çizelge 3.2. Deney elemanlarının 28 günlük beton basınç dayanımları	14
Çizelge 3.3. CFRP'nin özellikleri	15
Çizelge 3.4. Sikadur 330'nun özellikleri	15
Çizelge 3.5. Deney elemanlarının özellikleri	23
Çizelge 6.1. Deney Elemanları Rijitlik ve Enerji Yutma Kapasiteleri	129
Çizelge 6.2. CFRP şeritlerde ölçülen birim deformasyon değerleri	131
Çizelge 7.1. Deneysel sonuçlar ile analitik verilerin karşılaştırılması	144
Çizelge 8.1. CZM parametre tanımları	171
Çizelge 8.2 Referans deney elemanları için kullanılan czm parametreleri.....	172
Çizelge 8.3. Deney sonuçları ile ansys sonuçlarının karşılaştırılması	174
Çizelge 8.4. Deney sonuçları ile ansys rijitlik değerleri	175

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Deney elemanlarında ankraj yerleşim noktaları	26
Şekil 3.2. Deney elemanlarında eğilme çatlakları yerleşimi.....	27
Şekil 3.3. Deney elemanlarında kesme çatlakları yerleşimi.....	28
Şekil 4.1. Tipik bir deney elemanında yükleme ve ölçüm düzeneği.....	29
Şekil 5.1. Deney elemanı 100W200L yük-deplasman grafiği	34
Şekil 5.2. Deney elemanı 100W200L birim deformasyon – mesafe grafiği....	35
Şekil 5.3. Deney elemanı 100W280L yük-deplasman grafiği	37
Şekil 5.4. Deney elemanı 100W280L birim deformasyon – mesafe grafiği.....	37
Şekil 5.5. Deney elemanı 50W200L yük-deplasman grafiği	39
Şekil 5.6. Deney Elemanı 50W200L birim deformasyon – mesafe grafiği	39
Şekil 5.7. Deney Elemanı 50W280L yük-deplasman grafiği	41
Şekil 5.8. Deney Elemanı 50W280L birim deformasyon – mesafe grafiği	41
Şekil 5.9. Deney elemanı 50W200L1A yük-deplasman grafiği	44
Şekil 5.10. Deney elemanı 50W200L1A birim deformasyon – mesafe grafiği ..	44
Şekil 5.11. Deney elemanı 50W200L2A yük-deplasman grafiği.....	47
Şekil 5.12. Deney elemanı 50W200L2A birim deformasyon – mesafe grafiği ..	47
Şekil 5.13. Deney elemanı 50W280L1A yük-deplasman grafiği	50
Şekil 5.14. Deney elemanı 50W280L1A birim deformasyon – mesafe grafiği ..	50
Şekil 5.15. Deney elemanı 50W280L2A yük-deplasman grafiği	53
Şekil 5.16. Deney elemanı 50W280L2A birim deformasyon – mesafe grafiği ..	53
Şekil 5.17. Deney elemanı 100W200L1A yük-deplasman grafiği	57
Şekil 5.18. Deney elemanı 100W200L1A birim deformasyon– mesafe grafiği .	57
Şekil 5.19. Deney elemanı 100W200L2A yük-deplasman grafiği	60
Şekil 5.20. Deney elemanı 100W200L2A birim deformasyon – mesafe grafiği	60
Şekil 5.21. Deney elemanı 100W280L1A yük-deplasman grafiği	63

Şekil	Sayfa
Şekil 5.22. Deney elemanı 100W280L1A birim deformasyon – mesafe grafiği	63
Şekil 5.23. Deney elemanı 100W280L2A yük-deplasman grafiği	66
Şekil 5.24. Deney elemanı 100W280L2A birim deformasyon – mesafe grafiği	66
Şekil 5.25. Deney elemanı 100W280L3A birim deformasyon – mesafe grafiği	69
Şekil 5.27. Deney elemanı 50W280L3A yük-deplasman grafiği	72
Şekil 5.28. Deney elemanı 50W280L3A birim deformasyon–mesafe grafiği	74
Şekil 5.29. Deney elemanı 50W200L1F yük-deplasman grafiği	75
Şekil 5.30. Deney elemanı 50W200L1F birim deformasyon–mesafe grafiği	75
Şekil 5.31. Deney elemanı 50W200L2F yük-deplasman grafiği	78
Şekil 5.32. Deney elemanı 50W200L2F birim deformasyon–mesafe grafiği	78
Şekil 5.33. Deney elemanı 50W200L1S yük-deplasman grafiği	81
Şekil 5.34. Deney elemanı 50W200L1S birim deformasyon–mesafe grafiği	81
Şekil 5.35. Deney elemanı 50W200L2S yük-deplasman grafiği	84
Şekil 5.36. Deney elemanı 50W200L2S birim deformasyon–mesafe grafiği	84
Şekil 5.37. Deney elemanı 50W280L1F yük-deplasman grafiği	87
Şekil 5.38. Deney elemanı 50W280L1F birim deformasyon–mesafe grafiği	87
Şekil 5.39. Deney elemanı 50W280L2F yük-deplasman grafiği	90
Şekil 5.40. Deney elemanı 50W280L2F birim deformasyon–mesafe grafiği	90
Şekil 5.41. Deney elemanı 50W280L1S yük-deplasman grafiği	93
Şekil 5.42. Deney elemanı 50W280L1S birim deformasyon–mesafe grafiği	93
Şekil 5.43. Deney elemanı 50W280L2S yük-deplasman grafiği	96
Şekil 5.44. Deney elemanı 50W280L2S birim deformasyon–mesafe grafiği	96
Şekil 5.45. Deney elemanı 100W200L1F yük-deplasman grafiği	99
Şekil 5.46. Deney elemanı 100W200L1F birim deformasyon-mesafe grafiği ...	99
Şekil 5.47. Deney elemanı 100W200L2F yük-deplasman grafiği	102
Şekil 5.48. Deney elemanı 100W200L2F birim deformasyon-mesafe grafiği ...	102

Şekil	Sayfa
Şekil 5.49. Deney elemanı 100W200L1S yük-deplasman grafiği	105
Şekil 5.50. Deney elemanı 100W200L1S birim deformasyon- mesafe grafiği ..	105
Şekil 5.51. Deney elemanı 100W200L2S yük-deplasman grafiği	108
Şekil 5.52. Deney elemanı 100W200L2S birim deformasyon-mesafe grafiği ...	108
Şekil 5.53. Deney elemanı 100W280L2F yük-deplasman grafiği	111
Şekil 5.54. Deney elemanı 100W280L2F birim deformasyon – mesafe grafiği	111
Şekil 5.55. Deney elemanı 100W280L1F yük-deplasman grafiği	114
Şekil 5.56. Deney elemanı 100W280L1F birim deformasyon – mesafe grafiği	114
Şekil 5.57. Deney elemanı 100W280L2S yük-deplasman grafiği	117
Şekil 5.58. Deney elemanı 100W280L2S birim deformasyon – mesafe grafiği	117
Şekil 5.59. Deney elemanı 50W280L1S yük-deplasman grafiği	120
Şekil 5.60. Deney elemanı 50W280L1S birim deformasyon – mesafe grafiği ..	120
Şekil 6.1. Referans deney elemanları yük-deplasman karşılaştırma grafikleri	122
Şekil 6.2. 50W200L, 50W200L1A ve 50W200L2A deney elemanları yük- deplasman karşılaştırma grafikleri	123
Şekil 6.3. 100W200L, 100W200L1A ve 100W200L2A deney elemanları yük- deplasman karşılaştırma grafikleri	123
Şekil 6.4. 50W280L, 50W280L1A,50W280L2A ve 50W280L3A deney elemanları yük-deplasman karşılaştırma grafikleri.....	124
Şekil 6.5. 100W280L, 100W280L1A, 100W280L2A ve 100W280L3A deney elemanları yük-deplasman karşılaştırma grafikleri.....	125
Şekil 6.6. 50W200L, 50W200L1F, 50W200L2F, 50W200L1S ve 50W200L2S deney elemanları yük-deplasman karşılaştırma grafikleri	126
Şekil 6.7. 100W200L, 100W200L1F, 100W200L2F, 100W200L1S ve 100W200L2S deney elemanları yük-deplasman karşılaştırma grafikleri	126
Şekil 6.8. 50W280L, 50W280L1F, 50W280L2F, 50W280L1S ve 50W280L2S deney elemanları yük-deplasman karşılaştırma grafikleri	127
Şekil 6.9. 100W280L, 100W280L1F, 100W280L2F, 100W280L1S ve 100W280L2S deney elemanları yük-deplasman karşılaştırma grafikleri	128

Şekil	Sayfa
Şekil 6.10. Referans deney elemanları birim deformasyon - mesafe karşılaştırma grafikleri.....	134
Şekil 6.11. 50W200L, 50W200L1A ve 50W200L2A birim deformasyon-mesafe karşılaştırma grafikleri.....	135
Şekil 6.12. 50W200L, 50W200L1F, 50W200L2F, 50W200L1S ve 50W200L2S deney elemanları yük-deplasman karşılaştırma grafikleri	136
Şekil 6.13. 100W200L, 100W200L1A ve 100W200L2A birim deformasyon - mesafe karşılaştırma grafikleri	137
Şekil 6.14. 100W200L, 100W200L1F, 100W200L2F, 100W200L1S ve 100W200L2S deney elemanları yük-deplasman karşılaştırma grafikleri	137
Şekil 6.15. 50W280L, 50W280L1A ve 50W280L2A birim deformasyon - mesafe karşılaştırma grafikleri	138
Şekil 6.16. 50W280L, 50W280L1F, 50W280L2F, 50W280L1S ve 50W280L2S deney elemanları yük-deplasman karşılaştırma grafikleri	139
Şekil 6.17. 100W280L, 100W280L1A ve 100W280L2A birim deformasyon - mesafe karşılaştırma grafikleri.....	140
Şekil 6.18. 100W280L, 100W280L1F, 100W280L2F, 100W280L1S ve 100W280L2S deney elemanları yük-deplasman karşılaştırma grafikleri	140
Şekil 7.1. Deney sonuçları ile CNR modeli karşılaştırılması	148
Şekil 7.2. Deney sonuçları ile Çing ve Ting modeli karşılaştırılması.....	149
Şekil 7.3. Deney sonuçları ile Çing ve Ting modeli karşılaştırılması.....	150
Şekil 7.4. Deney sonuçları ile ISO modeli karşılaştırılması.....	151
Şekil 7.5. Deney sonuçları ile YANG modeli karşılaştırılması.....	152
Şekil 7.6. Deney sonuçları ile Maeda modeli karşılaştırılması	153
Şekil 7.7. Deney sonuçları ile Khalifa modeli karşılaştırılması.....	154
Şekil 7.8. Deney sonuçları ile Tanaka modeli karşılaştırılması	155
Şekil 7.9. Deney sonuçları ile Hiroyuki modeli karşılaştırılması	156
Şekil 7.10. Deney sonuçları ile Van Gemert modeli karşılaştırılması	157
Şekil 7.11. Ankraj sayısı göre FN değerinin dağılımı	159

Şekil	Sayfa
Şekil 7.12. Deney sonuçları ile Eşitlik 6.1'e göre bulunan Fmax değerlerinin karşılaştırılması.....	159
Şekil 7.13. Deney sonuçlarından elde edilen rijitlik (So) değeri ile ;	160
Şekil 7.14. Deney sonuçlarında ile Eşitlik 6.1'e göre bulunan Fmax değerlerinin karşılaştırılması	161
Şekil 7.15. Önerilen bond-slip modeli	162
Şekil 8.1. Ansys yazılımında analiz basamakları	165
Şekil 8.2. 50W200L deney elemanı deneysel ve ansys modeli ile elde edilen yük-deplasman grafiklerinin karşılaştırılması.....	175
Şekil 8.3. 100W200L deney elemanı deneysel ve ansys modeli ile elde edilen yük deplasman grafiklerinin karşılaştırılması	176
Şekil 8.4. 50W280L deney elemanı deneysel ve ansys modeli ile elde edilen yük-deplasman grafiklerinin karşılaştırılması.....	176
Şekil 8.5. 100W280L deney elemanı deneysel ve ansys modeli ile elde edilen yük-deplasman grafiklerinin karşılaştırılması.....	177

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Deney elemanlarının görünüşü	18
Resim 3.2. Standart silindir numune testi	19
Resim 3.3. CFRP şeritlerin yerleşim bölgelerinin işaretlenmesi	20
Resim 3.4. Deney elemanı yüzey hazırlığı	20
Resim 3.5. Deney elemanı yüzey hazırlığı	21
Resim 3.6. Deney elemanı yüzey hazırlığı	22
Resim 3.7. Deney elemanı yüzey hazırlığı	22
Resim 3.8. CFRP şeritlerinin eleman yüzeyine yapıştırılması	23
Resim 3.9. Ankraj uygulaması.....	24
Resim 5.1. Deney elemanı 100W200L.....	33
Resim 5.2. Deney elemanı 100W280L.....	36
Resim 5.3. Deney elemanı 50W200L.....	38
Resim 5.4. Deney Elemanı 50W280L	40
Resim 5.5. Deney elemanı 50W200L1A göçmeden önceki görünüşü.....	42
Resim 5.6. Deney elemanı 50W200L1A göçmeden sonraki görünüşü,	43
Resim 5.7. Deney elemanı 50W200L2A göçmeden önceki görünüşü.....	45
Resim 5.8. Deney elemanı 50W200L2A göçmeden sonraki görünüşü	46
Resim 5.9. Deney elemanı 50W280L1A göçmeden önceki görünüşü.....	48
Resim 5.10. Deney elemanı 50W280L1A göçmeden sonraki görünüşü	49
Resim 5.11. Deney elemanı 50W280L2A göçmeden önceki görünüşü.....	51
Resim 5.12. Deney elemanı 50W280L2A göçmeden sonraki görünüşü	52
Resim 5.13. Deney elemanı 100W200L1A göçmeden önceki görünüşü.....	54
Resim 5.14. Deney elemanı 100W200L1A göçmeden sonraki görünüşü	55
Resim 5.15. Deney elemanı 50W200L1A göçmeden sonraki görünüşü	56
Resim 5.16. Deney elemanı 100W200L2A önceki görünüşü	58

Resim	Sayfa
Resim 5.17. Deney elemanı 100W200L2A göçmeden sonraki görünüşü	59
Resim 5.18. Deney elemanı 100W280L1A göçmeden önceki görünüşü	61
Resim 5.19. Deney elemanı 100W280L1A göçmeden sonraki görünüşü	62
Resim 5.20. Deney elemanı 100W280L2A göçmeden önceki görünüşü	64
Resim 5.21. Deney elemanı 100W280L2A göçmeden sonraki görünüşü	65
Resim 5.22. Deney elemanı 100W280L3A göçmeden önceki görünüşü	67
Resim 5.23. Deney elemanı 100W280L3A göçmeden sonraki görünüşü	69
Resim 5.24. Deney elemanı 50W280L3A göçmeden önceki görünüşü	70
Resim 5.25. Deney elemanı 50W280L3A göçmeden sonraki görünüşü	71
Resim 5.26. Deney elemanı 50W200L1F göçmeden önceki görünüşü.....	73
Resim 5.27. Deney Elemanı 50W200L1F göçmeden sonraki görünüşü	74
Resim 5.28. Deney elemanı 50W200L2F göçmeden önceki görünüşü.....	76
Resim 5.29. Deney elemanı 50W200L2F göçmeden sonraki görünüşü	77
Resim 5.30. Deney elemanı 50W200L1S göçmeden önceki görünüşü	79
Resim 5.31. Deney elemanı 50W200L1S göçmeden sonraki görünüşü	80
Resim 5.32. Deney elemanı 50W200L2S göçmeden önceki görünüşü	82
Resim 5.33. Deney elemanı 50W200L2S göçmeden sonraki görünüşü	84
Resim 5.34. Deney elemanı 50W280L1F göçmeden önceki görünüşü.....	85
Resim 5.35. Deney elemanı 50W280L1F göçmeden sonraki görünüşü	86
Resim 5.36. Deney elemanı 50W280L2F göçmeden önceki görünüşü.....	88
Resim 5.37. Deney elemanı 50W280L2F göçmeden sonraki görünüşü	89
Resim 5.38. Deney elemanı 50W280L1S göçmeden önceki görünüşü	90
Resim 5.39. Deney elemanı 50W280L1S göçmeden sonraki görünüşü	92
Resim 5.40. Deney elemanı 50W280L2S göçmeden önceki görünüşü	94
Resim 5.41. Deney elemanı 50W280L2S göçmeden sonraki görünüşü	95
Resim 5.42. Deney elemanı 100W200L1F göçmeden önceki görünüşü.....	97

Resim	Sayfa
Resim 5.43. Deney elemanı 100W200L1F göçmeden sonraki görünüşü	98
Resim 5.44. Deney elemanı 100W200L2F göçmeden önceki görünüşü.....	100
Resim 5.45. Deney elemanı 100W200L2F göçmeden sonraki görünüşü	101
Resim 5.46. Deney elemanı 100W200L1S göçmeden önceki görünüşü	103
Resim 5.47. Deney elemanı 100W200L1S göçmeden sonraki görünüşü	104
Resim 5.48. Deney elemanı 100W200L2S göçmeden önceki görünüşü	106
Resim 5.49. Deney elemanı 100W200L2S göçmeden sonraki görünüşü	107
Resim 5.50. Deney elemanı 50W280L2F göçmeden önceki görünüşü.....	109
Resim 5.51. Deney elemanı 100W280L2F göçmeden sonraki görünüşü	110
Resim 5.52. Deney elemanı 100W280L1F göçmeden önceki görünüşü.....	112
Resim 5.53. Deney elemanı 100W280L1F göçmeden sonraki görünüşü	113
Resim 5.54. Deney Elemanı 100W280L2S göçmeden önceki görünüşü	115
Resim 5.55. Deney elemanı 100W280L2S göçmeden sonraki görünüşü	116
Resim 5.56. Deney elemanı 100W280L1S göçmeden önceki görünüşü	118
Resim 5.57. Deney elemanı 100W280L1S göçmeden sonraki görünüşü	119
Resim 8.1. Ansys penceresi.....	163
Resim 8.2. Ansys yazılımında ana menü	164
Resim 8.3. Beton malzemesinin özellikleri	167
Resim 8.4. CFRP malzemesinin özellikleri.....	168
Resim 8.5. Ansys'te beton modellemesi için kullanılan eleman tipi (Solid65)	169
Resim 8.6. Ansys'te CFRP modellemesi için kullanılan eleman tipi (Shell181)	170
Resim 8.7. Ansys'te Shell181'de eleman kalınlığının girilmesi	170
Resim 8.8. Ağ oluşturulmuş deney elemanı	173

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklama
E_f	CFRP elastisite modülü
f_y	Kayma donatısı akma dayanımı
GF	BDÖ uzama oranı
GAIN	BDÖ kazanç faktörü
n_f	Tek yüzdeki CFRP şerit tabaka sayısı
s_f	Karbon fiber şeritlerin merkezleri arası uzaklığı
P	Kesme kuvveti
V	Deney elemanının taşıdığı toplam kesme kuvveti
V_o	BDÖ'de ölçülen gerilim değişimi
V_i	BDÖ'deki başlangıç gerilimi
w_f	Karbon fiber şeritlerin genişliği
β_p, β_w	Kiriş ve CFRP şerit genişliği düzeltme katsayısı
b₁	CFRP şerit etkili yapıştırma boyu düzeltme katsayısı
b_m	Kiriş genişliği
b_f, b_p	CFRP şerit genişliği
L_{CFRP}	CFRP şerit yapıştırma boyu
L_e	Etkili CFRP şerit boyu
f_c	Beton basınç dayanımı
f_{ct}, f_t	Beton çekme dayanımı
P_{cal}, P_u	Elemanların hesaplanan göçme yükü
K_{Gm}	CNR yöntemde göçme enerjisinin katsayısı
α	Cheng and Teng [12] deneylerindeki regresyon katsayısı
Γ_{f.m}	Göçme Enerji
E_f, E_p	CFRP elastisite Modülü
t_f, t_p	CFRP kalınlığı
ε_f	CFRP birim uzaması

Kisaltmalar	Açıklamalar
ABYYHY	Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik
ACI	American Concrete Institute
CFRP	Karbon lif donatılı polimer
EBR	Dış yüzey güçlendirmesi
FRP	Lif donatılı polimer
NSM	Yüzey altı güçlendirmesi
LVDT	Elektronik doğrusal deplasman ölçer
TS 500	Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları

1. GİRİŞ

Dünya çapında meydana gelen büyük depremlerin yapıların büyük çoğunluğunda ağır hasarlara yol açması mevcut yapıların birçoğunun büyük depremlere karşı güvenli olmadığını ortaya koymuştur. 1999 Kocaeli, 1999 Tayvan ve 2003 İran depremlerinde binlerce bina çökmüş onbinlerce can kaybına neden olmuştur. Dünyada birçok kentte olabilecek büyük depremlerde can kaybına sebebiyet verecek depreme karşı dayanıksız yapılar mevcuttur. Bu nedenle söz konusu yapıların depreme karşı güçlendirilmesi için birçok yöntem geliştirilmiş ve bu konuda çalışmalar devam etmektedir.

Karbon lif donatılı polimer (CFRP) son 15 yıl içerisinde ağırlığının hafif olması, uygulama kolaylığı, çevre etkilerine ve korozyona karşı dayanıklılığı, uygulandığı yapı elemanının şeklini değiştirmemesi ve ticari olarak çok farklı çeşit ile şekillerde bulunabilmesi gibi nedenlerden dolayı güçlendirme alanında geniş kullanım alanı bulmuştur. CFRP elemanların dışarıdan uygulanması ile kolon, kiriş, döşeme, duvar, tünel, baca ve silolar gibi birçok çeşit betonarme eleman ya da yapının güçlendirilmesine yönelik çalışmalar literatürde yer almıştır.

Güçlendirme amacıyla yapıştırılan CFRP şeritlerin göçme modlarının yapının davranışı, dayanımı, rijitliği ve süneklik performansı üzerinde son derece etkili olduğu görülmüştür. Literatürde yer alan deneysel çalışmalar incelendiğinde betonarme elemanların yüzeyine yapıştırılan CFRP şeritler için üç temel göçme mekanizması olduğu görülmüştür. Gözlenen göçme mekanizmaları, CFRP şeridin beton yüzeyinden soyulması, CFRP şerit ve beton yüzey arasındaki epoksinin kayma dayanımının aşılması ve CFRP şeridin kopması olarak sayılabilir. CFRP şeritlerin aksenal çekme kapasitesinin çok yüksek olmasından dolayı kopması çok nadir gözlenen ve istenilen bir mekanizmadır. Bu göçme mekanizmasının görülmesi CFRP şeridin tüm dayanımından yararlanıldığı ve güçlendirmenin amacına ulaştığını gösteren önemli bir belirtidir. Genellikle CFRP şerit kopma dayanımına ulaşmadan çok daha önce CFRP şeridin beton kabuk ile birlikte yüzeyden soyulması ya da epoksinin kayma dayanımının aşılması göçme mekanizmaları çok daha önceden meydana gelmektedir. CFRP şeritler ile güçlendirilen betonarme elemanlarda en çok gözlemlenen göçme mekanizması

CFRP şerit ile birlikte beton kabuğunun yüzeyden soyulmasıdır. Bu göçme biçimi betonarme elemanların istenilen dayanım ve süneklik düzeyine ulaşmasına engel olmakta ve elemanlardaki çekme donatısı akma kapasitesine ulaşmadan çok daha önceki dayanım düzeylerinde göçmektedir. Araştırmacılar CFRP şerit uçlarında uygulanabilecek ankraj detaylarının bu göçme mekanizmasını engelleyeceği ve dayanım ile süneklik düzeyinde artış sağlayacağını belirtmişlerdir.

Araştırmalar CFRP şeritlerin yapışma yüzeyinden ayrılmasını geciktirmek ve daha fazla dayanım, rijitlik, enerji tüketim kapasitesi sergilemesini sağlamak için şeritler ile yapışma yüzeyi arasındaki aderansı artırmak amacıyla ankrajlar ile ilgili çalışmalara yönelmiştir [1]. Ayrıca yapışma yüzeyindeki gerilme dağılımını etkileyecek çatlakların bulunması da incelenen konular arasına girmiştir [2, 3]. Ancak bu konulardaki çalışmalar sınırlı sayıda olup, yapılan literatür taramasında ankrajlı CFRP şeritler ile beton yapışma yüzeyi arasındaki gerilme dağılımı ve bond-slip davranışını inceleyen kapsamlı deneysel bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmada, CFRP ile beton yüzeyler arasında yapışma sonrasında oluşan gerilme dağılımının deneysel ve analitik olarak incelenmesi, yapışma yüzeyini modellemek için gerekli olan malzeme modellerine katkı sağlanması, çatlak, keskin köşeler ve dönüşler gibi gerilme birikmesi oluşturacak unsurların gerilme dağılımı üzerindeki etkilerinin araştırılması ve CFRP üzerinde kullanılacak ankrajların davranışa ve gerilme dağılımı üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Çalışma kapsamında; Gazi Üniversitesi Laboratuvarında üretilen 300 mm x 250 mm x 600 mm ölçülerinde 25 MPa dayanıma sahip beton elemanları ile 30 adet deney yapılmıştır. 50 mm ve 100 mm CFRP şerit genişliğine sahip 200 mm ve 280 mm CFRP şerit yapışma boyu olan 4 eleman referans elemanı olarak belirlenmiştir. Deney programında 10 deney 50 mm ve 100 mm CFRP şerit genişliği, 200 ve 280 mm CFRP şerit yapışma boyu olan deney elemanlarına 1, 2 ve 3 ankraj uygulaması yapılmıştır. 16 deney ise beton yüzeyinde 1 ve 2 eğilme ile kesme çatlaklarına sahip 50 mm ve 100 mm CFRP şerit genişliğine sahip 200 mm ve 280 mm CFRP şerit yapışma boyu olan deney elemanlarıdır.

Deneysel çalışmada göz önünde bulundurulacak değişkenler;

- a) CFRP şerit genişliği ve Şerit yapışma boyu
- b) Beton yüzeyindeki kesme ve eğilme çatlakları
- c) Şerit uçlarında kullanılan fan ankrajıdır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Jia (2003) yüksek lisans tezinde FRP şeritleri ile güçlendirilmiş betonarme kirişlerin sonlu eleman modelleri üzerinde çalışmıştır. Çalışma kapsamında CFRP şeritleri organik ve inorganik epoksi ile yapıştırılarak kirişler güçlendirilmiş daha sonra da kirişlerin sonlu eleman modeli yapılarak lineer davranıştan kırılma anındaki nonlineer davranışa kadar sonlu eleman modeli ile deneysel sonuçlar karşılaştırılmıştır. Tez kapsamında aynı donatıda ve geometride toplam 20 adet kiriş üretilmiş olup, kiriş üst kısmında beton üzerindeki ve alt kısmında FRP üzerindeki şekil değiştirmeleri ölçmek için dört nokta yüklemesi yapılmıştır. Kirişler ANSYS sonlu eleman programı ile modellenmiştir. Modelde eleman tipi olarak beton için Solid65, donatı için Link8 ve CFRP şeritleri için Solid46 elemanı kullanılmıştır. Beton ve donatı arasındaki aderansın tam olduğu kabul edilmiştir. Çalışma sonucunda hem lineer hem de nonlineer davranışta sonlu eleman modelinin deney sonuçlarından biraz daha fazla rijitliğe sahip olduğu görülmüştür. Bu ise beton-donatı arasındaki aderansın tam kabul edilmesi ve kirişlerdeki mikro çatlakların sonlu elemanlar modelinde dikkate alınmaması ile açıklanmaktadır. Göçme yükü sonlu eleman modelinde %5,4-25,9 kadar daha fazla çıkmış olup bunun nedeni betonun sertleşme mekanizması etkisinin ihmal edilip, ölçülen değerler yerine kabul edilen malzeme özelliklerine ait değerlerin alınması olarak belirtilmiştir [4].

Akyüz ve Özdemir çalışmalarında (2004) CFRP ile hazırlanan ankrajların çekme deneyi sonucu taşıdığı yükler araştırılmıştır. Bu amaçla 4 metre uzunluğunda 3 adet betonarme kirişler kullanılmıştır. Bütün betonarme kirişler 300x400 mm enkesitlidir. Çalışmada incelenen parametreler beton basınç dayanımı, ankraj şerit genişliği ve ankraj tipidir. Betonarme kirişler 28 günlük basınç dayanımında 3 farklı (10 MPa, 16 MPa, 20 MPa) değerlerine sahiptir. Üç farklı genişlikteki şeritler (80 mm, 120 mm, 160 mm) kullanılarak CFRP ankraj filizleri hazırlanmıştır. 70 mm, 100 mm ve 150 mm olan 3 farklı ankraj derinliği belirlenmiştir. CFRP ankraj filizlerinin hazırlanması sırasında tip 1, tip 2 isimli iki teknik kullanılmıştır. Birinci tip ankrajda, CFRP şeritleri eşit genişlik ve yükseklikte iki tabakaya bölünmüştür. Ardından bu CFRP şeritler epoksi uygulamasıyla dairesel form verilmiştir. CFRP şeritlerin silindirik formlarından ayrılmasını önlemek için, dairesel form verilmiş

ankrajların uçları CFRP şeritlere bağlanmıştır. CFRP ankrajların 1 cm altında epoksi reçinesi içine gömülüp 1 gün bekledikten sonra CFRP şeritler ankraj filizleri olarak kullanıma hazır hale gelmiştir CFRP ankraj filizinin alt kısmındaki epoksinin amacı, ankraj çevresinde sert bir kısım elde etmektir. İkinci tip ankrajda, CFRP şerit genişlikleri kesilmiş ve epoksi reçinesi sürülerek donatı etrafına sarılmıştır. Bu teknik CFRP şeritleri aynı hizaya yönelmiş düzgün ankraj filizleri elde etmek için geliştirilmiştir.

Birinci seri testler sonunda, sonuçlar genel bir kanıya varmanın çok zor olduğu geniş bir dağılıma sahip olmuştur. Bu testlerde en önemli nokta işçilik kalitesi olarak görülmüştür. İlk seri testler sonucu varılacak tek sonuç CFRP ankraj filizleri için etkin gömülme derinliği kavramının olduğudur. Bu derinliğin ötesinde, filizlerin gerilme kapasitesi arttırılmamıştır. Kullanılan parametreler için etkin gömülme derinliği 100 mm olarak görülmüştür. Bu sonuç ikinci seri testlerle bağdaşmaktadır. İkinci seri testler sonucunda, 70 mm ve 100 mm gömülme derinlikli ankraj filizleri üstte sığ beton konisi ile çekme göçmesi meydana getirmiştir. Bu sığ koni derinliği de 50 mm'dir. Diğer taraftan, 150 mm içeri gömülen filizler için CFRP parçalanması gözlemlenmiştir. Kullanılan parametrelerde, maksimum gerilme kapasitesi, 100 mm gömülme derinliğine sahip CFRP ankraj filizlerinde gözlemlenmiştir. Sığ gömülme derinlikleri için, örneğin 70 mm, 10 MPa'dan 16 MPa'ya kadar CFRP ankraj filizlerinin gerilme kapasitesi üzerindeki beton basınç dayanımı etkisi, önemli değildir. Ancak gömülme derinliği arttıkça, beton basınç dayanımının etkisi daha önemli hale gelmiştir [5].

Bencardino ve Spadea, Swamy (2006) çalışmalarında kesme dayanımı yetersiz kirişlerin CFRP şeritler ile güçlendirilerek sünek eğilme davranışı sergilemesi hedeflenmiştir. Kirişleri kesmeye karşı güçlendirmek ve güçlendirme şeritlerinin faydasını arttırmak amacıyla 4 tane deney elemanı hazırlanmıştır. Güçlendirme yapılmamış ilk iki elemanın a/d (a: kiriş kesme açıklığı, d: kiriş faydalı yüksekliği) oranları 6,9 ve 3,4'tür. Güçlendirilen deney elemanlarının a/d oranları 3,4'tür. Güçlendirilen deney elemanlarının birisi ankrajlı diğeri ankrajsız olarak üretilmiştir. Dört noktadan uygulanan yükleme ile deney elemanları test edilerek çatlak, kesme kapasiteleri ve göçme modları gözlemlenmiştir.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar şunlardır; CFRP şeritlerle ankrajsız olarak güçlendirilen kiriş kesme kırılmasından dolayı göçmüştür. Ancak CFRP şeritler ile ankrajlı olarak güçlendirilen kirişler kesmeye karşı güçlendirilmiş olup yüksek mukavemet ve deformasyon gösterip boyuna donatının akması sonucu göçmüştür. Bu çalışma CFRP şeritler ile birlikte ankraj uygulamasının yetersiz kesme donatılı betonarme kirişlerde göçme modunu değiştirdiğini göstermiştir. Kesmeye karşı zayıf olan kirişlerin yüzeylerine ankrajsız uygulanan CFRP şeritler kirişin göçme modunu değiştirememiştir ve kiriş yine kesme kırılmasından dolayı göçmüştür. Kirişlere CFRP şeritler ankrajlı uygulandığında, kirişin kesme kapasitesi büyük oranda artmıştır ve betonarme kiriş sünek bir kırılma sonucu göçmüştür. CFRP şeritlerle güçlendirilmiş kirişlerin kesme dayanımları ve deformasyon ankraj uygulaması ile attırılmıştır [6].

Barros ve Dias (2006) Bu çalışmada kirişlerin NSM (near surface mouthed) tekniği ve EBR (external bonded reinforcement) ile güçlendirilmesiyle kesme dayanımlarının arttırılması amaçlanmıştır. NSM (near surface mouthed) tekniği, beton yüzeyine CFRP şeritlerinin epoksi harcı kullanılarak yapıştırılmasıyla yapılan güçlendirme yöntemidir. EBR (external bonded reinforcement) tekniği ise şeritlerin yerleştirileceği yerlerde etriye üzerinde bulunan beton tabakasının alınarak şeritlerin yapıştırılması ve üzerinin epoksi harcıyla doldurulması yöntemidir. Bu yöntemlerin uygulanması için dört noktalı eğilme deneyleri uygulanmıştır. Bu çalışmada kirişler dört grupta toplanmışlardır. Bunlar; kesme donatısız kirişler, kesme donatılı kirişler, ıslak katmanlı CFRP ile güçlendirilen kirişlerin NSM (near surface mouthed) ve EBR (external bonded reinforcement) tekniği ile CFRP ile güçlendirilen kirişlerdir. Şeritlerin etkisi güçlendirme teknikleri tesirindeki boyuna çekme donatı oranı ve a/d oranına bağlı olarak incelenmiştir. Bütün deney elemanlarından alınan sonuçlarda en iyi sonucu yatay eksenle 45° açı yaparak CFRP şeritler uygulanan NSM kirişleri göstermiştir. Yalnızca kesme dayanımını arttırmakla kalmamış göçmedeki deformasyonda da büyük bir artış gözlemlenmiştir. NSM tekniğinin EBR ye göre daha üstün özellikleri bu deneylerde gözlemlenmiş ayrıca hızlı ve basit uygulanabilirliğiyle NSM ön plana çıkmıştır. EBR tekniği için ACI ve FIB'deki analitik formüllerle yapılan hesaplamalar karşılaştırılmıştır. NSM tekniği için Nanni ve diğerlerinin çalışmalarında da bilgiler verilmiştir. NSM, CFRP tekniği ile yapılan eğilme deneylerinde CFRP şeritlerdeki

gerilmeler Nanni ve diğerlerinin çalışmalarında kullandıkları formüller kullanılarak hesaplanmıştır. CFRP kullanılarak hazırlanan kirişlerde %72 daha fazla kesme dayanımının olduğu görülmüştür. CFRP ile yapılan güçlendirmelerde taşıma kapasitesinin arttığı gözlemlenmiştir. NSM tekniği CFRP ile yapılan güçlendirme teknikleri arasında en etkili yöntem olmuştur. Bu etki sadece yük taşıma kapasitesini arttırmada değil kirişin göçme deformasyon kapasitesinde de gözlemlenmiştir. Kullanılan yöntemlerde taşıma kapasitelerine göre sırasıyla EBR ve NSM teknikleri %54 ve % 83 başarı sağlamışlardır. Aynı karşılaştırmada maksimum deformasyonlardaki artış sırasıyla %77 ye %307'dir. Kesme donatılı kirişlere göre NSM tekniği ile güçlendirilen kirişler maksimum yük altında %9 daha fazla deplasman yapmıştır. NSM uygulamada EBR'den daha basit bir tekniktir. EBR CFRP tekniği ACI'a göre %2 ile %8 daha yüksek dayanım sağladığı deneysel olarak ispatlanmıştır. [7]

Camli ve Binici (2007), tarafından beton ve delikli tuğladan üretilmiş deney elemanlarına çift yönlü çekme kuvveti uygulanarak 57 adet deney yapılmıştır. Deneysel çalışma kapsamında beton blok, sıvalı ve sıvasız tuğla kullanılmıştır. Sıvalı olarak üretilmiş olan beton ve tuğla elemanları mukayese edildiğinde tuğla elemanlar beton elemanlara göre daha düşük dayanım göstermişlerdir. Deney elemanlarına ankrajlı olarak yapıştırılmış CFRP dayanımında siva olduğu veya olmadığı durumlarda artış sergilenmiştir. CFRP yapıştırma boyunun yapıştırma bölgesinin davranışını nasıl etkilediğini açıklamak için analitik çözümden elde edilen sonuçlar vurgulanmıştır [8].

Francesca Ceroni, ve arkadaşları (2008) yılındaki çalışmalarında CFRP şeritlerin uçlarının sabitlenmesi için hazırlanmış farklı ankraj çözümlerinin etkisinin belirlenmesi için 14 elemanın deneysel çalışması planlanmıştır. Kolon kiriş bağlantılarının gerçek geometrilerine benzemesi için numuneler T şeklindedir. Her eleman 300 mm aralıklı iki beton blok olarak yapılmıştır. Deney elemanlarının karşılıklı iki kenarı üzerine 100 mm genişlikli karbon şeritler uygulanmıştır. 6 elemanda CFRP şeritler tüm yüzey boyunca konurken, diğer 8 elemanda fiber şeritler beton bloğun 90 derecelik köşeleri epoksi doldurup 25 mm çaplı dairesel form verilerek T kesitin alt kenarına kadar uzatılmıştır. CFRP şeritlerin uçlarının sabitlenmesi için geliştirilen ankrajlar 4 farklı şekilde uygulanmıştır. Ankrajlar 4

şekilde de kiriş tabla birleşim yerinde yakın tablaya uygulanmıştır. Birinci tipte fan ankrajlar tablanın üst kısmına geçmiş ve tüm ankrajlar birbirine CFRP kumaşla bağlantısı sağlanmıştır. İkinci tipte ankrajlar tablanın üstüne geçmiş ve uçları fan şeklinde açılmıştır. Üçüncü tipte ankrajlar tablanın üstüne geçmiş ve karşılıklı ankrajlar tek parça halinde birleştirilmiştir. Dördüncü tipte fan ankrajlar tablanın üstüne geçmemiş, karşılıklı ankrajların birbirleriyle bağlantısı yapılmamış ve tabla altında fan biçiminde yapıştırılmıştır. Uygulanan fan ankrajların derinliği 75 mm, ankraj çapı 7 mm olarak belirlenmiştir.

DeneySEL çalışmalar sonucu farklı tipte mekanik ankrajlarla CFRP şeritler ile güçlendirilen beton elemanların davranışı, dayanımı ve göçme modu ile ilgili bilgiler elde edilmiştir. Deney elemanları, analitik denklemlerle hesaplanan maksimum yüke erişmeden FRP şeritlerde soyulma oluşmuştur. Test edilen ankraj sistemlerinde en iyi sonuç, kiriş çekme göçmesine ulaştığında elde edilmiştir. En kötü sonuç FRP şeritlerin L şekilli ankrajsız ve ankrajlı olduğu durumda elde edilmiştir. Bu durumda soyulma yükünü hesaplamak için göçme mekanizmasının ilave analizleri tamamlanmamıştır [9].

Sayed-Ahmed, Bakay ve Shrive (2009) çalışmalarında betonarme kiriş veya döşemelere dıştan FRP laminatlarının uygulanması ve göçme modları incelenmiştir. Ayrıca FRP ile beton arasındaki yapışma dayanımını tahmin etmek için güncel modeller incelenmiştir. CTP laminat ile güçlendirilmiş eğilmeye çalışan betonarme kirişlerde göçme CTP'nin beton yüzeyinden sıyrılmasıyla olmuştur. Beton ile FRP laminat arasındaki kompozit hareket iki malzeme arasındaki bağ-kayma davranışı ile ilgili olduğu belirtilmiştir. Sıyrılma dışındaki göçme modları ise betonarme kirişin eğilme veya kesme kırılması neticesi göçmesidir. CFRP ile beton arasındaki yapışmayı tahmin edebilmek için Literatürde yer alan ampirik formüller ile deneysel verilerin kalibre edilmesi gerektiği vurgulanmıştır. FRP ile güçlendirilmiş beton elemanlarda en yaygın göçme FRP'nin beton yüzeyinden sıyrılmasıdır. Çatlaklı bir beton elemanın FRP ile güçlendirilmesi sonucu davranışı ile ilgili daha fazla çalışmaların yapılması gerektiği belirtilmiştir [10].

Fawzia S. ve arkadaşları (2010) çalışmalarında iki kenarından birbirine CFRP şeritler ile yapıştırılan çelik levhaların deneysel sonuçları ile sayısal analizden elde

edilen sonuçlar mukayese edilmiştir. CFRP tipi (normal ve yüksek), CFRP uzunluğu (80 ve 250 mm) , CFRP tabaka sayısı (3 ve 5), yapıştırıcı türü (Araldite 420, MBrace ve Sikadur 30) ile Çelik kalınlığı (6 ve 10 mm) olmak üzere 5 değişken belirlenmiş ve toplam 27 deney yapılmıştır. Sonuçlar sonlu elemanlar analizi ile bulunan sayısal veriler ile mukayese edilmiştir. Kesme gerilmeleri yüklü kenardan uzaklaştıkça azalmıştır. CFRP şerit uzunluğu etkin yapılaşma uzunluğundan sonra çok etkili olmamıştır. Yapıştırıcılar maksimum kayma gerilmesi üzerinde doğrudan etkilidir. Yapıştırıcının kalınlığı maksimum kayma gerilmesi ile doğrudan etkilidir kalınlık arttıkça katma gerilmesi artmaktadır. Maksimum kesme kuvveti, maksimum kayma ve ilk kayma şerit kayma modellerinde etkili olduğu çalışmada gösterilmiştir [11].

H.W. Zhang, S.T. Smith (2011) Çalışmalarında betonların güçlendirilmesinde kullanılan fiber takviyeli polimer (FRP) üzerine kullanılacak ankrajların FRP'nin kapasitesi üzerindeki etkisi araştırmıştır. FRP ile güçlendirme kiriş , döşeme gibi geniş bir yapı yelpazesine sahiptir. Çalışmada ankraj sayısı, konumu ve uygulanma şeklide incelenmiştir. Toplam 41 deney yapılmıştır. Deneyler Ankrajsız, 1 ankrajlı, 2 ankrajlı ve 3 ankrajlı deney elemanlarını kapsamıştır. Rijit ankrajlar yük kapasitesini arttırmasına rağmen göçme ani ve FRP'nin kopması neticesi olduğu görülmüştür. Esnek ankrajlarda ise göçme sünek bir şekilde olmuştur. Her iki ankraj modelinde de ankraj sayısı artmasıyla taşıma kapasitesi de artmıştır. Ancak rijit ankrajlar daha fazla yük taşımıştır. Yapılan analitik çalışmalar ile deneysel çalışmalar mukayese edilmiş ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Yapılan çalışmanın neticesinde esnek ankrajın kullanılması tavsiye edilmektedir [12].

R. Al-Mahaidi, R. Kalfat (2011) çalışmalarında CFRP ile güçlendirilen beton elemanlarında uygulanan ankrajlar araştırılmıştır. Önceki çalışmaların devamı olarak güçlendirilmiş alt katman için tip 2 ve tip 3 ankrajlar uygulanmıştır. Tip 2 T kirişlerde 250 mm genişliğinde CFRP şeritlere yatay olarak 90⁰ olacak şekilde uygulanmıştır. Tip 3 ankrajlar ise CFRP şerit doğrultusunda L şeklinde uygulanmıştır. Çalışma kapsamında 6 adet deney yapılmıştır. 1 Referans elemanı, 2 adet tip 2 ankraj uygulanan eleman 3 adet tip 3 ankraj uygulanan eleman test edilmiştir. Çalışma sonucunda Tip 2 ankraj kullanılan deney elemanlarında maksimum yük %39-43 artmıştır. CFRP laminanttaki uzamalar ise % 19-28

oranında artmıştır. Tip 3 ankraj kullanılan deney elemanlarında maksimum yük %49-57 artmıştır. CFRP laminanttaki uzamalar ise % 18-37 oranında artmıştır [13].

Bilotta A. ve arkadaşları (2011) çalışmalarında CFRP ile beton yüzeyler arasındaki sıyrılmayı incelemişlerdir. Çalışma kapsamında 34 deney yapılmış, 18 adet CFR şerit 16 adet CFRP plaka kullanılmıştır. Deneysel veriler ile analitik çalışmada elde edilen veriler mukayese edilmiştir. Deney değişkenleri olarak CFRP tipi, CFRP genişliği ve CFRP yapışma boyu olarak belirlenmiştir. FRP genişliği 50, 80, 100 mm olarak belirlenmiştir. Yapışma boyu olarak 50, 100, 125, 250 ve 400 mm olarak belirlenmiştir. Analitik hesaplamalar iki farklı metotta yapılmıştır. Etkili CFRP uzunluğu CFRP laminatlarda daha iyi sonuç vermiştir. Deneysel sonuçlar CNR-DT200'e göre hesaplanan teorik sonuçlarla uyum sağlamıştır. Deneysel veriler ile analitik veriler arasında bir k_g katsayısı hesaplanmıştır. Metod 1 ve metod 2 de k_g değeri %5 hesaplanmıştır. Metod 2' malzeme değişkenlerine göre belirlenen değişim katsayısı %22 olarak hesaplanmıştır. CFRP laminatlarla güçlendirilmiş beton elemanlar CFRP şeritlerle güçlendirilmiş beton elemanlar göre %40 daha fazla dayanım göstermiştir [14].

Jumaat M.Z. ve arkadaşları (2011) çalışmalarında yapı elemanlarının CFRP ile güçlendirilmesi ile geleneksel güçlendirme yöntemlerini mukayese etmişlerdir. Bunlar; Elemana mantolama yapılması, çelik levha yapıştırılması, çelik kablolar gerdirerek dıştan güçlendirme, FRP malzemenin epoksi ile eleman yüzeyine yapıştırılması, CFRP/FRP şerit/plaka eleman üzerine açılacak yiv içine epoksi vasıtasıyla tutturulması ve CFRP/FRP üzerine mekanik ankraj uygulaması mukayese edilmiştir. CFRP ile güçlendirmede yapı üzerine uygulanacak noktaların doğru belirlenmesi gerektiği vurgulanmıştır. CFRP/FRP şerit/plaka eleman üzerine açılacak yiv içine epoksi vasıtasıyla tutturulması ile ilgili daha fazla çalışma yapılması gerekmektedir. Ayrıca CFRP/FRP malzemesinin zamanla dış etkenlerden nasıl etkilenmesi araştırılması önerilmiştir. CFRP/FRP malzemesi ile güçlendirme tavsiye edilmiştir [15].

Cameran Ryne (2012) çalışmasında betonarme kirişlerin dıştan FRP laminatlarla ankrajlı olarak güçlendirilmesini incelemiştir. Betonarme kirişlere yüzeyden

yapıştırılan FRP'lerin düşük yükte yüzeyden sıyrılması FRP'nin verimsiz kullanılmasına yol açabilir ve mukavemet artışını sınırlandırabilmektedir. Bu araştırmada yüzeyden sıyrılmayı engellemek için ankraj kullanılmıştır. Ankraj ile beton arasındaki yapışma için kullanılacak epoksinin tespiti için 9 adet test yapılmıştır. 2 ankrajlı beton prizma ankrajsız elemana göre %83 daha fazla yük taşımıştır. Çalışmanın ikinci aşamasında 6 adet 4500 mm açıklıklı 400 mm yüksekliğinde 500 mm genişliğinde T kiriş test edilmiştir. 2 adet herhangi bir güçlendirme işlemi yapılmamış referans deney elemanları, 1 adet FRP uygulanmış ankrajsız deney elemanı, kalan 3'ü ise ankrajlı deney elemanları olarak belirlenmiştir. Ankrajsız olarak FRP uygulanan deney elemanı referans elemanlarına göre %46 daha fazla yük taşırken, ankrajlı deney elemanlarında %86 daha fazla yük taşımıştır. Sonuç olarak ankraj sisteminin etkinliği CTP laminatın kullanımında önemli bir etken olduğu ortaya çıkmıştır [16].

Kotynia R. (2012) çalışmasında CFRP ile yüzeyden güçlendirilen betonarme kirişler ve FRP malzemesi ile yüzeye yakın güçlendirilen betonarme kirişler incelenmiştir. Çalışma kapsamında 6 değişken belirlenmiştir. Kiriş açıklığı ve derinliği, boyuna çelik ile güçlendirilmesi, CFRP şerit/yaprak tipi, CFRP yapışma boyu ve beton basınç dayanımıdır. Çalışma kapsamında iki farklı güçlendirme tekniğinde toplam 50 kiriş güçlendirilmiştir. E serisinde 11 adet kirişte CFRP şerit/levhalar kiriş yüzeyine, N serisinde 39 adet kirişte CFRP şerit/levhalar açılan boyuna kanallara uygulanmıştır. Her ana serinin birinde kesitleri 150x200 mm ve 150x200 mm olan I tipinde alçak kirişler ve II tipinde yüksek kirişler üretilmiştir. Kısa açıklıklı (1350 mm) ve uzun açıklıklı (2000 mm) kirişlerde CFRP şerit uzunluğunun eğilme momentinin dağılımındaki etkisi araştırılmıştır. Beton dayanımı parametresi 20 MPa ve 40 MPa olarak belirlenmiştir. Çelik takviyede çap 16 mm ve 8 mm olarak seçilmiştir. Yapılan deneyler neticesinde;

-Beton dayanımının artması CFRP şeritlerin sıyrılmasını geciktirmiştir. Ayrıca CFRP şeritlerdeki zorlanmalarda azalmıştır. CFRP şeritler ile yüzeysel olarak güçlendirilen kirişlerde hazır (prefabrik) CFR P ile güçlendirilen kirişlere göre daha başarılı sonuç vermiştir.

- Kirişlerde eğilme bölgesinde kalan CFRP şeritler kesme bölgesinde kalan CFRP şeritlerine göre daha çabuk yüzeyden sıyrılmıştır.

-Kompozit güçlendirme oranının artması CFRP şeritlerde zorlanmayı azaltmıştır. Boyuna çelik güçlendirmeler CFRP şeritlerde sıyrılmayı engellemiş ve göçme modunun değişmesini sağlamıştır [17].

Ankrajlı CFRP şeritlerin genel davranışının incelendiği kapsamlı bir çalışmaya literatürde rastlanmamıştır. Bu nedenle ankrajlı ve ankrajsız CFRP şeritlerin davranışlarının karşılaştırılarak, ankrajlı CFRP şeritlerin bond-slip davranışı ve gerilme dağılımının incelendiği deneysel ve analitik bir çalışma düzenlemiştir.

3. DENEY ELEMANLARI

3.1. Kullanılan Malzemelerin Özellikleri

Deneylerden elde edilen verilerin sağlıklı karşılaştırabilmesi için deney elemanlarının üretiminde kullanılan malzemelerin aynı karakteristik özelliklerde olmasının sağlanması çok önemlidir. Deneysel çalışmada kullanılan tüm malzemelerin aynı olması için beton üretimleri ve epoksi karışımının hazırlanılmasına özen gösterilmiştir.

3.1.1. Beton

Deney elemanlarında 28 günlük beton basınç dayanımının 25 MPa olması hedeflenmiştir. Tüm deney elemanlarda aynı beton karışımı kullanılmıştır. Beton karışım oranı Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Beton karışım oranı

Malzeme	Ağırlık (kg)	Ağırlıkça Oranı (%)
Su	195	8,6
Kum (0-7 mm)	650	28,9
Çakıl (7-15 mm)	1107	49,2
Portland Çimento	300	13,3
Toplam	2252	100

Betonun karakteristik basınç dayanımını belirlemek için beton dökümünde alınan 5 adet standart silindir numune test edilmiş, numunelerin testi sonucunda elde edilen dayanım değerlerinin ortalaması alınmıştır. Silindir numuneleri 150 mm x 300 mm boyutlarındadır. Standart silindir numunelerin ortalama beton basınç dayanımları her deney elemanı için Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Deney elemanlarının 28 günlük beton basınç dayanımları

Deney Elemanı No	f_{ck} (MPa)
1	25,0
2	24,8
3	24,9
4	25,2
5	24,9
6	25,0
7	24,8

3.1.2. CFRP

SikaWrap 230C kuru uygulama yöntemiyle uygulama için tek doğrultulu karbon lif donatılı polimerlerdir. Kullanım alanı çok geniş olup özellikle son yıllarda betonarme elemanlarının güçlendirme ve rehabilitasyonlarda yaygın bir kullanım alanı bulmuştur. Betonarme yapılarda tasarım ve imalat hatalarının giderilmesinde, kusurlu donatılı elemanları güçlendirmede, yapı elemanlarının yük taşıma kapasitelerini arttırmada gibi birçok amaçla kullanılmaktadır. SikaWrap 230C birim ağırlığının çok küçük olması nedeniyle yapıya ek yük getirmemektedir. Ayrıca kopma dayanımının donatıya göre çok fazla oluşu, korozyon riskinin bulunmaması nedenleriyle betonarme yapı elemanlarının güçlendirilmesi için elverişli bir malzemedir. Uygulaması kolay ve oldukça pratiktir. Çalışmada kullanılan CFRP'nin özellikleri Çizelge 3.3'de verilmiştir.

Çizelge 3.3. CFRP'nin özellikleri

Ağırlık	220 gr/m ²
Kalınlık	0,12 mm
Çekme Dayanımı	4100 MPa
Elastisite Modülü	231000 MPa
Kopmadaki Uzama	% 1,7
Lif Yapısı	%99 ana doğrultuda, %1 destekleyici doğrultuda lif

3.1.3. Epoksi (Sikadur 330)

SikaWrap 230C malzemesinin kiriş yüzeyine yapıştırılması için kullanılan yapıştırıcı Sikadur 330 epoksi esaslı doyurma reçinesidir. Bu yapıştırıcı iki bileşenden oluşmaktadır (A: Ana reçine, B: Sertleştirici). Epoksidede karışım oranları (A:B) 4:1 dir. Sikadur 330 malzemesi bütün yüzeylere kolayca uygulanabilir olması, iyi aderans sağlaması, kimyasallardan etkilenmemesi bu sayede uzun bir süreç içinde özelliklerini koruması güçlendirme amaçlı kullanımda önemli avantajlar sağlamaktadır. Sikadur 330 yapıştırıcısının özellikleri Çizelge 3.4'de verilmiştir.

Çizelge 3.4. Sikadur 330'nun özellikleri

Yoğunluk	1,31 kg/lt
Karışım Oranı	Beyaz Reçine:Gri Reçine = 4:1
Uygulama Sıcaklığı	min +10°C, max +35°C
Çekme Dayanımı	30 MPa (+23°C de 23 günlük külden sonra)
Eğilmede Elastisite Modülü	3800 MPa (+23°C de 23 günlük külden sonra)

3.2. Deney Elemanlarının Hazırlanışı

Deney elemanlarının tasarımı ve boyutlandırılmasında laboratuvar koşulları ve ölçüm aletlerinin kapasiteleri göz önünde bulundurulmuştur. Planlanan 30 deney için 300 x 250 x 600 mm boyutlarında 15 deney elemanı üretilmiştir. Üretilen deney elemanlarında beton basınç dayanımı 25 MPa olarak belirlenmiştir. Her deney elemanında 2 deney yapılmış, her yüzey bir defa kullanılmıştır. Üretilen deney elemanının görünüşü Resim 3.1'de verilmiştir.



Resim 3.1. Deney elemanlarının görünüşü

Beton döküldükten üç gün sonra kiriş ve standart silindir numuneler kalıptan çıkarılmış laboratuvarında aynı şartlar altında 28 gün kür uygulanmıştır. Standart silindir numune testi Resim 3.2'de verilmiştir.



Resim 3.2. Standart silindir numune testi

3.2.1. Beton yan yüzlerinin hazırlanması

Üretilen deney elemanlarının CFRP şeritlerin yapıştırılacağı yerleşim bölgeleri işaretlenmiş, beton yüzeyindeki şerbet yan yüzeyinde beton şerbeti temizlenmiş ve betonda granülometrinin görünmesi sağlanmıştır. Deney Elemanlarında yüzey hazırlığı Resim 3.3. ve Resim 3.4' de verilmiştir.



Resim 3.3. CFRP şeritlerin yerleşim bölgelerinin işaretlenmesi

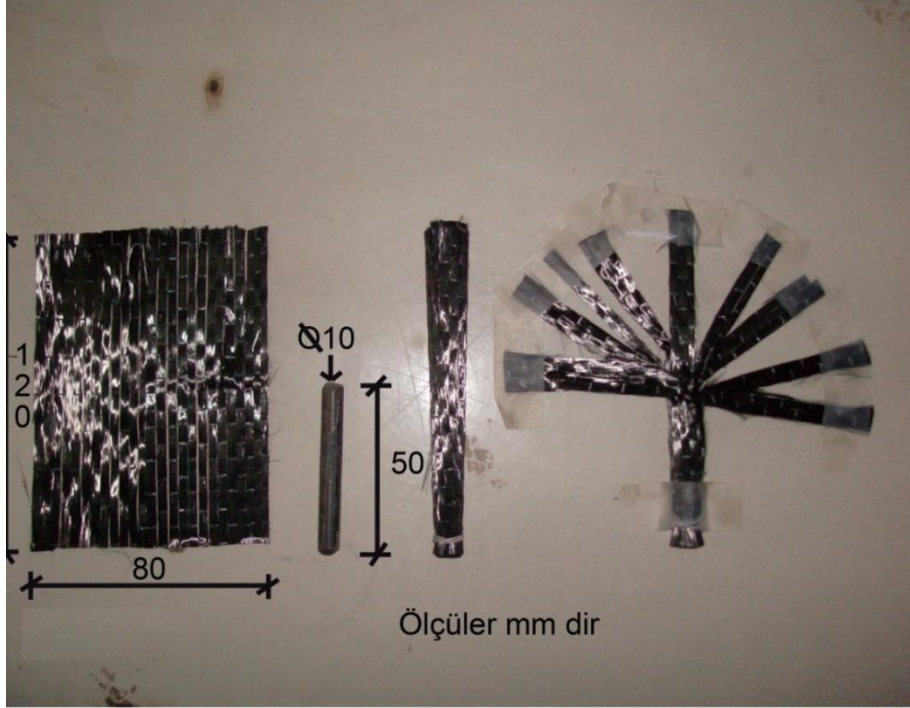


Resim 3.4. Deney elemanı yüzey hazırlığı

3.2.2. Ankraj noktaları ve ankajların hazırlanması

Deney elemanlarında kullanılan fan ankrajları, 50 mm uzunluğunda 10 mm çapındaki donatıya, 80 mm genişliğinde 120 mm uzunluğunda CFRP şerit sarılarak üretilmiştir. CFRP şeritlerde donatının dışında kalan 70 mm'lik kısım 10 mm genişliğinde 8 adet CFRP şerit fan şekilde ayrılmıştır. Hazırlanan ankrajların

detayı Resim 3.5’de verilmiştir. Ankrajlar hazırlanırken CFRP şeritlerin sarılmasına ve CFRP şerit liflerine zarar verilmemesine özen gösterilmiştir.



Resim 3.5. Deney elemanı yüzey hazırlığı

Deney elemanlarında ankraj uygulanacak noktalar tespit edilerek işaretlemesi yapılır. Ankraj uygulaması yapılması için 14 mm çapında 50 mm derinliğinde delik açılır. Basıncılı hava yardımı ile delik içerisinde toz parçaları kalmaması sağlanır. Ankraj deliklerinin oluşturulması Resim 3.6’da verilmiştir.



Resim 3.6. Deney elemanı yüzey hazırlığı

3.2.3. Deney elemanlarına eğilme ve kesme çatlakları oluşturulması

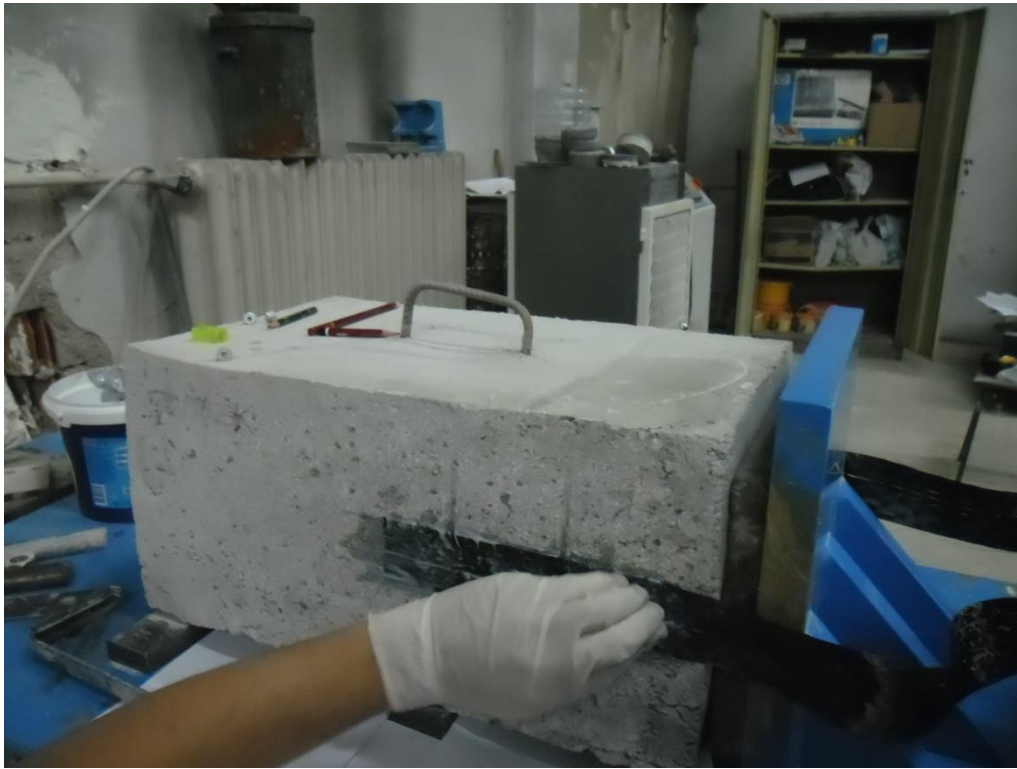
CFRP ile Beton yüzeyler arasındaki gerilme dağılımının incelenmesi amacıyla deneysel çalışma kapsamında 16 deney planlanmıştır. Bu kapsamda deney elemanlarının yan yüzeylerine 1 mm genişliğinde 1 mm derinliğinde eğilme ve kesme çatlakları oluşturulmuştur. Çatlakların yapılması Resim 3.7’de verilmiştir.



Resim 3.7. Deney elemanı yüzey hazırlığı

3.2.4. CFRP şeritlerin hazırlanışı, yüzeylere yapıştırılması ve ankraj uygulaması

Deney elemanlarının yan yüzeylerine yapıştırılacak şeritler 1300 mm uzunluğunda 50 ve 100 mm genişliğinde CFRP kumaştan kesilerek hazırlanmıştır. Her epoksi (Sikadur 330) karışımı (A:B) 4:1 oranında 500 gr yapılmıştır. Hazırlanan karışım spatula ile 1 mm kalınlığında şeritlerin yerleştirileceği kırıç yüzeyine sürülmüştür. Hazırlanan CFRP şerit çizilen çizgi doğrultusunda gergin bir şekilde yüzeye yapıştırılmıştır. Yapıştırma sırasında lif doğrultusunun bozulmaması için özen gösterilmiştir. İyi bir yapışmanın gerçekleştirilmesi için CFRP şeritlerin epoksiye doyurulması sağlanmıştır. CFRP şeritlerin deney elemanı yüzeyine yapıştırılması Resim 3.8'de verilmiştir.



Resim 3.8. CFRP şeritlerinin eleman yüzeyine yapıştırılması

CFRP şerit uçları fan ankrajı kullanılarak deney elemanına sabitlenmiştir. CFRP şerit yapıştırıldıktan hemen sonra şeritlerinin liflerine zarar verilmeden lifler aralanmış ve deliklere enjeksiyonla epoksi doldurulmuştur. Fan ankrajları epoksi dolu deliklere özenle yerleştirilmiştir. Delik dışında kalan 70 mm uzunluğundaki 8

parçaya ayrılmış kısımlar şeritlerin üstüne yapıştırılmıştır. Yapılan ankraj uygulaması Resim 3.9'da verilmiştir. Böylece ankraj uygulaması tamamlanmıştır.



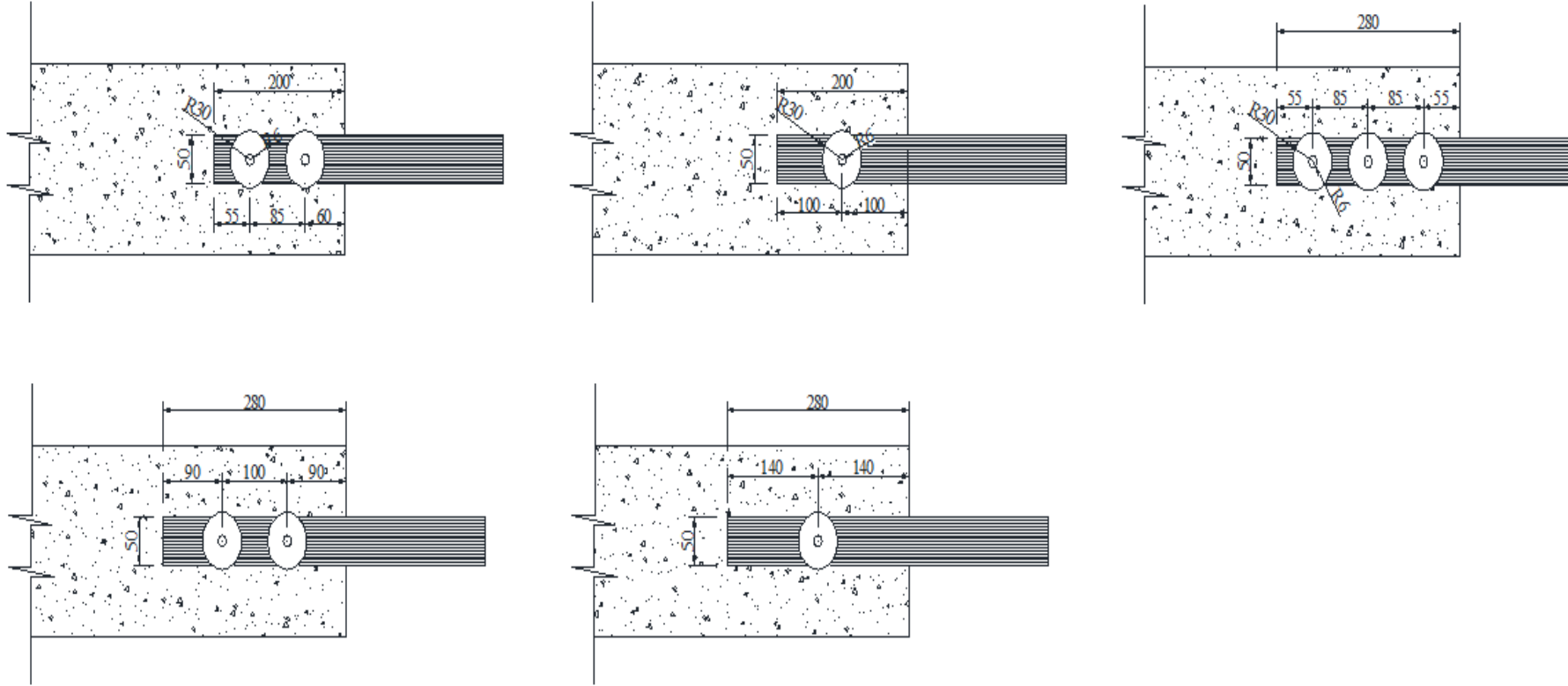
Resim 3.9. Ankraj uygulaması

3.2.5. Deney elemanlarının isimlendirilmesi

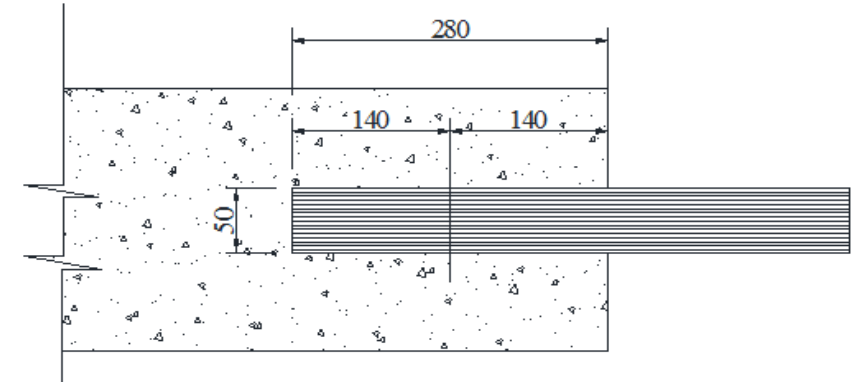
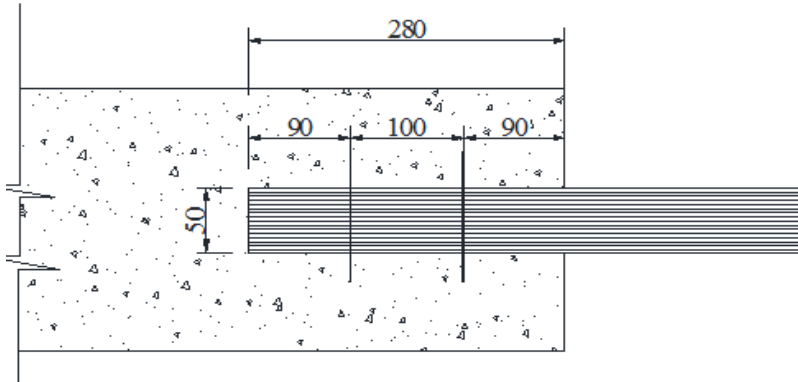
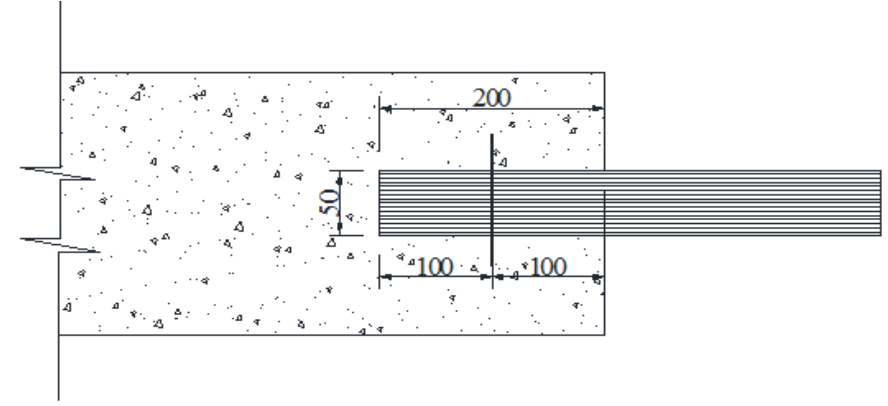
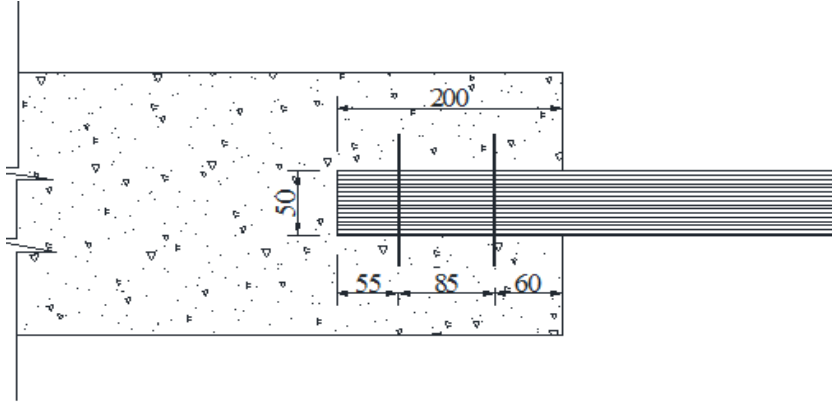
Deneysel çalışma kapsamında planlanan deneylerin anlatımında karışıklık olmaması ve anlatımın kolaylaşması amacıyla deney elemanları isimlendirilmiştir. İsimlendirme CFRP şerit genişliği, yapışma uzunluğu, çatlak tipi ve sayısı ile ankraj sayısına göre yapılmıştır. İsimlendirmede şerit genişliği (W), şerit uzunluğu (L), ankraj (A), kesme çatlağı (S) ve eğilme çatlağı (F) harfi ile belirtilmiştir. Şerit genişliği ve şerit uzunluğu mm olarak belirtilmiştir. Deneysel çalışma kapsamında planlanan deney elemanlarının özellikleri Çizelge 3.5' de verilmiştir. Deney elemanlarına yerleştirilen ankraj, kesme ve eğilme çatlaklarının geometrik detayları Şekil 3.1, Şekil 3.2 ve Şekil 3.3'de verilmiştir.

Çizelge 3.5. Deney elemanlarının özellikleri

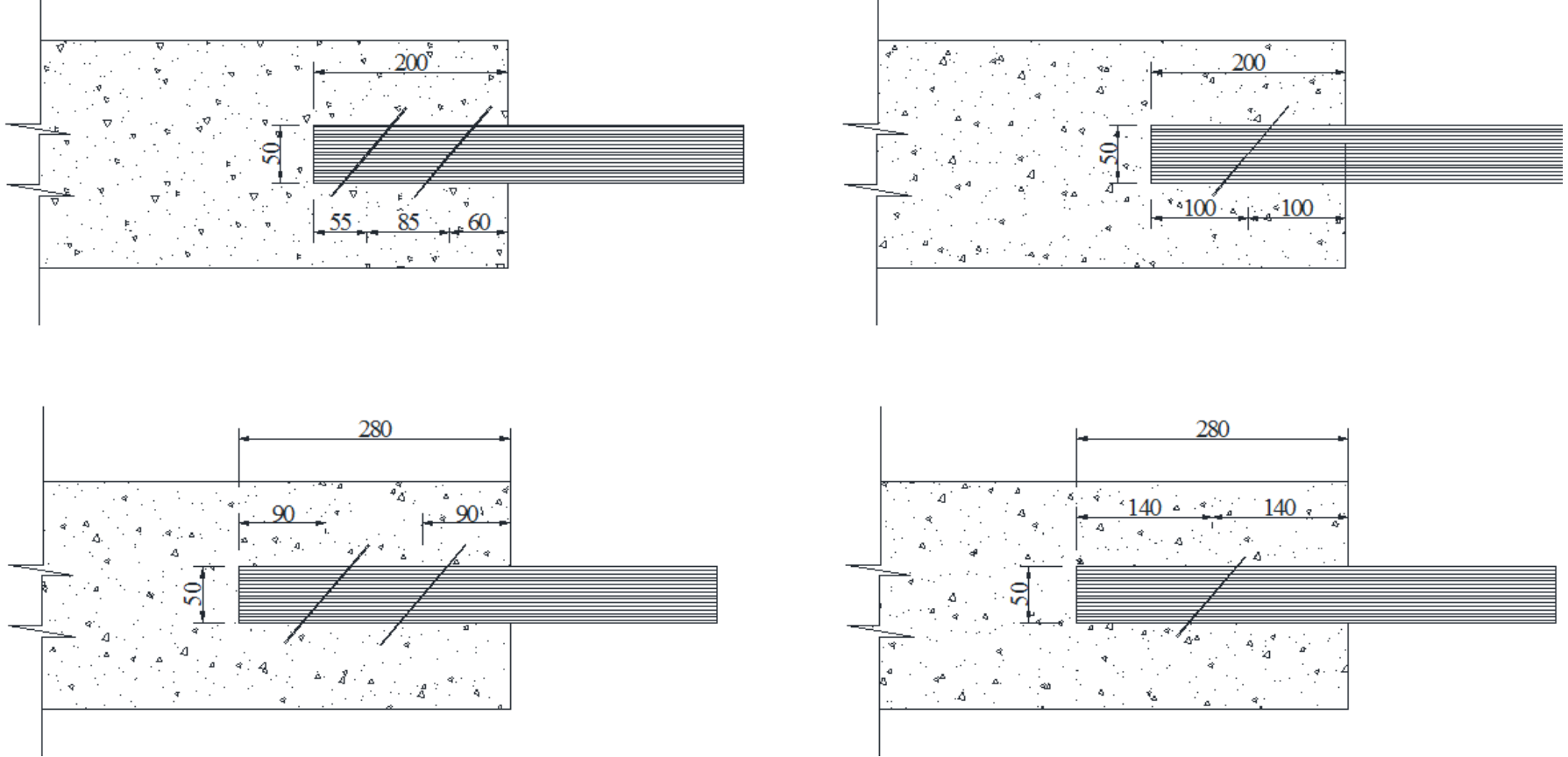
Deney El. No.	CFRP Şerit Gen.(mm)	CFRP Şerit Yap. Uzunluğu (mm)	İsim	Ankraj	Çatlak
1	100	200	100W200L	YOK	YOK
2	100	280	100W280L	YOK	YOK
3	50	200	50W200L	YOK	YOK
4	50	280	50W280L	YOK	YOK
5	50	200	50W200L1A	1 Adet	YOK
6	50	200	50W200L2A	2 Adet	YOK
7	50	280	50W280L1A	1 Adet	YOK
8	50	280	50W280L2A	2 Adet	YOK
9	100	200	100W200L1A	1 Adet	YOK
10	100	200	100W200L2A	2 Adet	YOK
11	100	280	100W280L1A	1 Adet	YOK
12	100	280	100W280L2A	2 Adet	YOK
13	100	280	100W280L3A	3 Adet	YOK
14	50	280	50W280L3A	3 Adet	YOK
15	50	200	50W200L1F	YOK	TEK EĞİLME
16	50	200	50W200L2F	YOK	ÇİFT EĞİLME
17	50	200	50W200L1S	YOK	TEK KESME
18	50	200	50W200L2S	YOK	ÇİFT KESME
19	50	280	50W280L1F	YOK	TEK EĞİLME
20	50	280	50W280L2F	YOK	ÇİFT EĞİLME
21	50	280	50W280L1S	YOK	TEK KESME
22	50	280	50W280L2S	YOK	ÇİFT KESME
23	100	200	100W200L1F	YOK	TEK EĞİLME
24	100	200	100W200L2F	YOK	ÇİFT EĞİLME
25	100	200	100W200L1S	YOK	TEK KESME
26	100	200	100W200L2S	YOK	ÇİFT KESME
27	100	280	100W280L2F	YOK	ÇİFT EĞİLME
28	100	280	100W280L1F	YOK	TEK EĞİLME
29	100	280	100W280L2S	YOK	ÇİFT KESME
30	100	280	100W280L1S	YOK	TEK KESME



Şekil 3.1. Deney elemanlarında ankraj yerleşim noktaları



Şekil 3.2. Deney elemanlarında eğilme çatlakları yerleşimi



Şekil 3.3. Deney elemanlarında kesme çatlağı yerleşimi

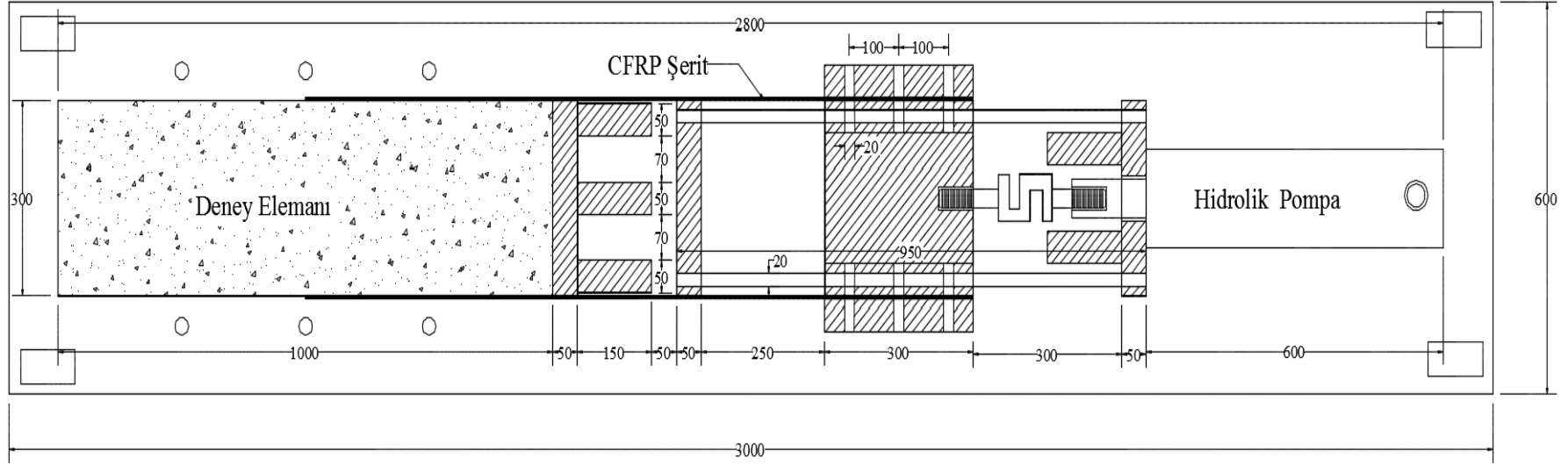
4. LABORATUAR TEKNOLOJİSİ

4.1. Genel

Deneyler Gazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünün Yapı Mekaniği laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Deney elemanları tek düze yüklemeler altında test edilmiştir. Yükleme sıfırdan başlayarak artırılmış ve CFRP şeritte kopma veya beton yüzeyinden sıyrılma olana kadar devam edilmiştir. Yük hidrolik pompa ile verilmiş, yükün büyüklüğü yük hücresi (Load-Cell) ile ölçülmüştür.

4.2. Yükleme ve Deney Düzeni

Deney elemanlarının testinde kullanılan yükleme ve ölçüm düzeneği şematik olarak Şekil 4.1'de verilmiştir. Deney elemanları yapı laboratuvarındaki 10 mm kalınlığında, 600 mm genişliğinde ve 3 m uzunluğundaki çelik levha üzerine yükleme sırasında hareket etmemesi için sabitlenmiştir. Düzenekte Plakanın sabitlendiği kısım hidrolik pompa vasıtasıyla çekilerek CFRP şeritlere çekme kuvveti uygulanmıştır. Yük Hidrolik pompanın ucuna yerleştirilen yük hücresi (Load-Cell) vasıtasıyla ölçülmüştür. Yük hücresinin (Load-Cell) kapasitesi 400 kN'dur. CFRP şeritlerin deplasmanı LVDT ile ölçülmüştür.



Tüm ölçüler mm'dir

Şekil 4.1. Tipik bir deney elemanında yükleme ve ölçüm düzeneği

4.3. Ölçüm Düzenegi ve Veri Toplanması

4.3.1. Ölçüm aletleri ve yerleşim düzeni

Deneylerde CFRP şeritlerdeki uzama miktarı elektronik deplasman ölçüm aletleri (LVDT) ile ölçülmüştür. LVDT'ler 0.0001 mm ye kadar olan deplasman değişimlerini ölçebilmektedir. LVDT'ler ile alınan deney verileri veri toplayıcı ile bilgisayara aktarılarak istenilen grafikler oluşturulmuştur.

Deneylerde 1 adet LVDT kullanılmıştır Kullanılan LVDT 50×10^{-6} mm ölçüm hassasiyetinde 200 mm kapasitededir. CFRP şeritlerinde birim deformasyonları ölçmek için şeritlerin üzerine Tokyo Sokki firmasının ürettiği FLA 10-11 tipi birim deformasyon ölçerler yerleştirilmiştir. Birim deformasyon ölçerler bir taşıyıcı üzerinde bulunan birbirine paralel bağlantılı tellerden oluşmuştur. Kullanılan birim deformasyon ölçerlerin direnci 120Ω 'dur. Birim deformasyon ölçerlerin en önemli parametresi uzama oranıdır (GF). Uzama oranı, birim deformasyon ölçerin birim uzamada gösterdiği direnç değişimidir. Birim deformasyon ölçerler 0,01 mm/mm ölçüm kapasitesindedir.

4.3.2. Toplanan verilerin değerlendirilmesi

CFRP şeritlerinin birim uzama değerleri Eşitlik 4.1 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$V_o = \frac{GF \times \epsilon}{4} \times \left(\frac{1}{1 + GF \times \frac{\epsilon}{2}} \right) \times V_i \times \text{GAIN} \quad (4.1)$$

Eşitlikte kullanılan terimler aşağıda verilmiştir.

V_o :Birim deformasyonda ölçülen gerilim değişimi (volt)

V_i :Birim deformasyon ölçerdeki başlangıç gerilimi (volt)

GF:Uzama oranı

GAIN :Kazanç faktörü

ϵ :CFRP şeritlerdeki birim uzama değeri (mm/mm)

Eşitlikte başlangıç gerilimi (V_i) 5 V, uzama oranı (GF) 2, kazanç faktörü (GAIN) 410 alınmıştır.

5. DENEYLER

Deneyler sırasında yük hücresinden ve LVDT'den alınan ölçümlerden Yük-Deplasman (yük CFRP'ye uygulanan çekme kuvvetini, deplasman CFRP'deki uzama miktarını ifade etmektedir) grafikleri oluşturulmuştur. CFRP şeritlerdeki birim deformasyon ölçerler ve yük hücresinden alınan değerler kullanılarak birim deformasyon-Mesafe (Mesafe, Birim deformasyon Ölçerin Yüklü Kenardan uzaklığını ifade etmektedir) grafikleri oluşturulmuştur.

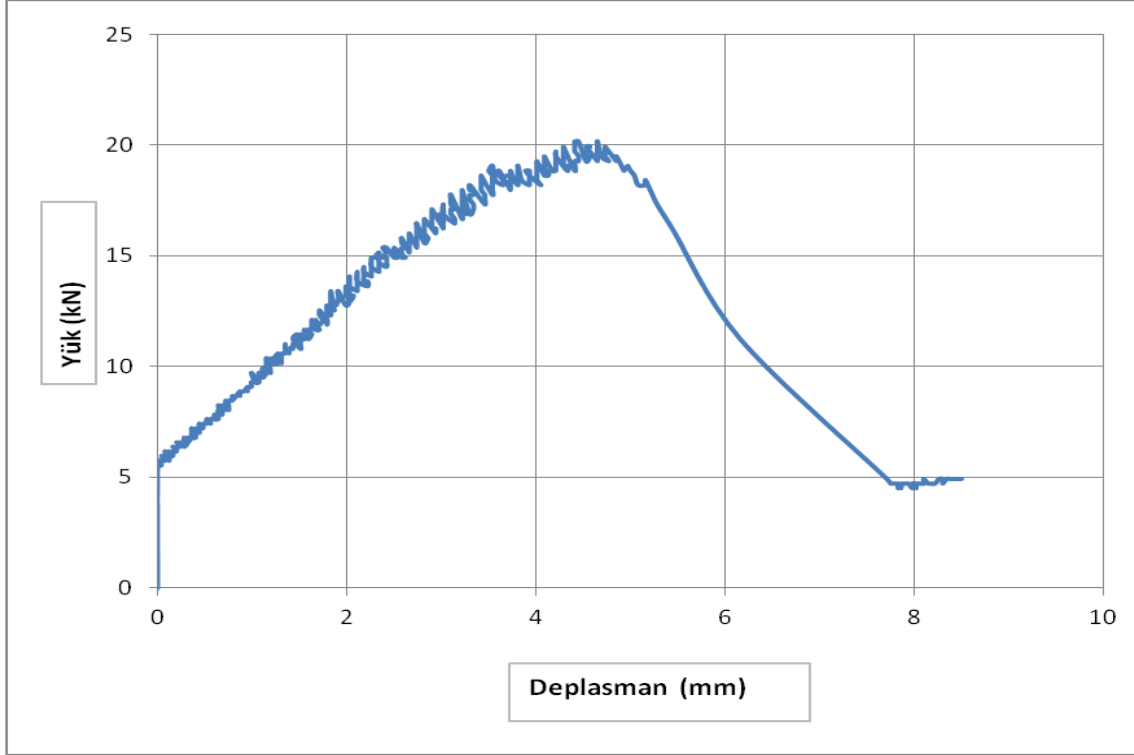
5.1. Deney Elemanı 100W200L (Referans Elemanı 1)

CFRP ile beton yüzeyler arasında yapışma sonrasında oluşan gerilme dağılımının deneysel olarak araştırılabilmesi amacıyla üretilen 100 mm CFRP şerit genişliği ve 200 mm etkin yapışma boyu olan referans elemanıdır. Deney elemanının göçmeden önceki görünüşü Resim 5.1'de verilmiştir.



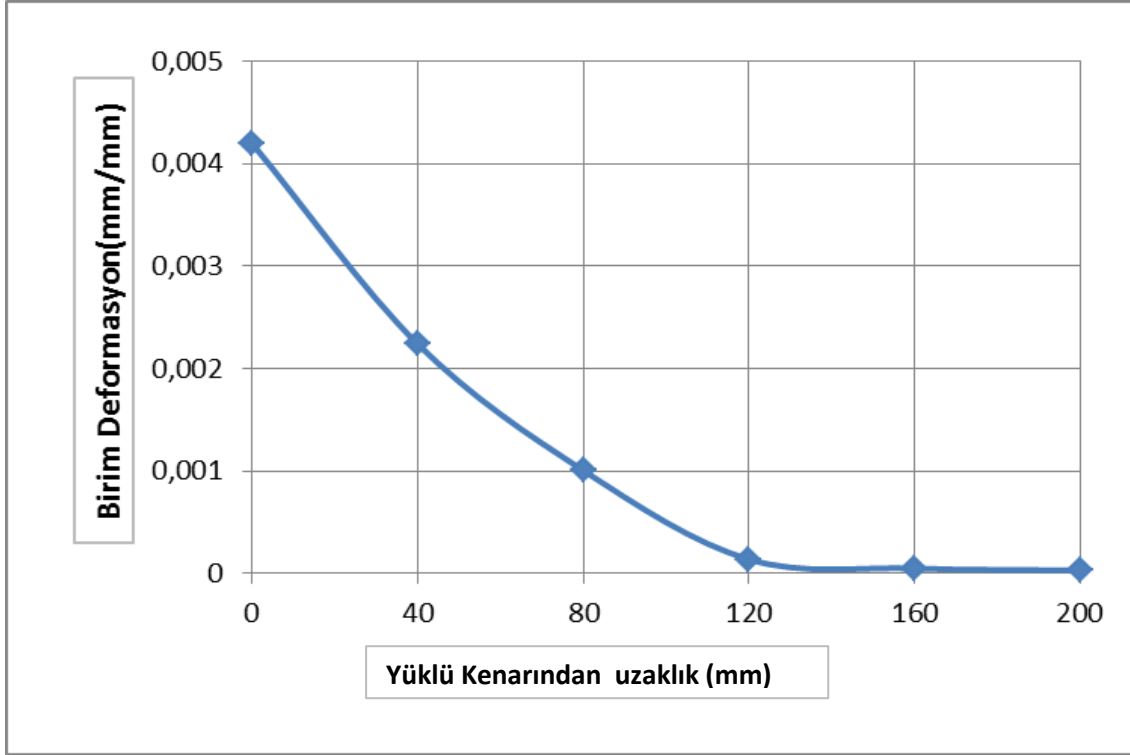
Resim 5.1. Deney elemanı 100W200L

100W200L Referans deney elemanında CFRP şeride uygulanan maksimum çekme kuvveti 20,19 kN ölçülmüştür. Maksimum yükteki deplasman ise 4,45 mm olarak ölçülmüştür. Deney sırasında ölçülen yük-deplasman grafiği Şekil 5.1'de, birim deformasyon-mesafe grafiği ise Şekil 5.2.'de verilmiştir.



Şekil 5.1. Deney elemanı 100W200L yük-deplasman grafiği

100W200L referans deney elemanında CFRP şeritlerdeki maksimum birim deformasyon değeri 0,0042 mm/mm ölçülmüştür. En yüksek birim deformasyon değeri yüklü kenara en yakın olan yapışma yüzeyinin başlangıcına yerleştirilen birim deformasyon ölçerden alınmıştır.

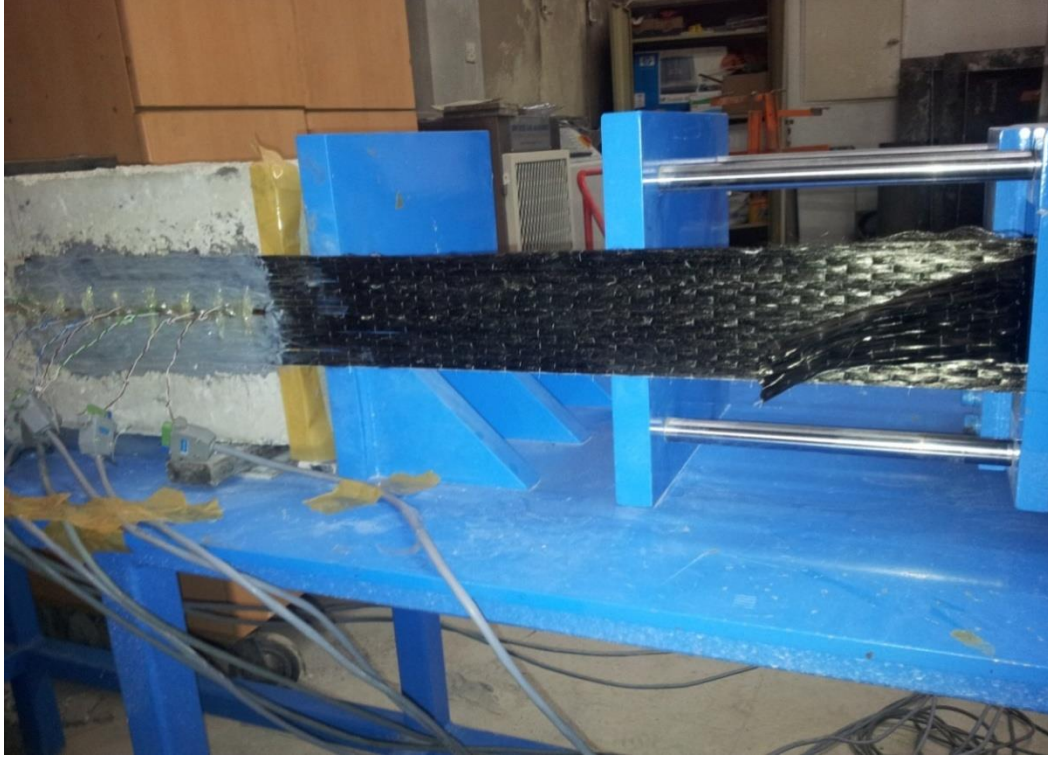


Şekil 5.2. Deney elemanı 100W200L birim deformasyon – mesafe grafiği

CFRP şerit yüzeyinde oluşan maksimum kayma gerilmesi ise maksimum çekme kuvvetinin etkin yapışma yüzeyine oranlanması neticesinde 1,01 MPa olarak hesaplanmıştır. Deney elemanı 100W200L göçme CFRP şeritlerin beton yüzeyinden sıyrılması sonucu olmuştur.

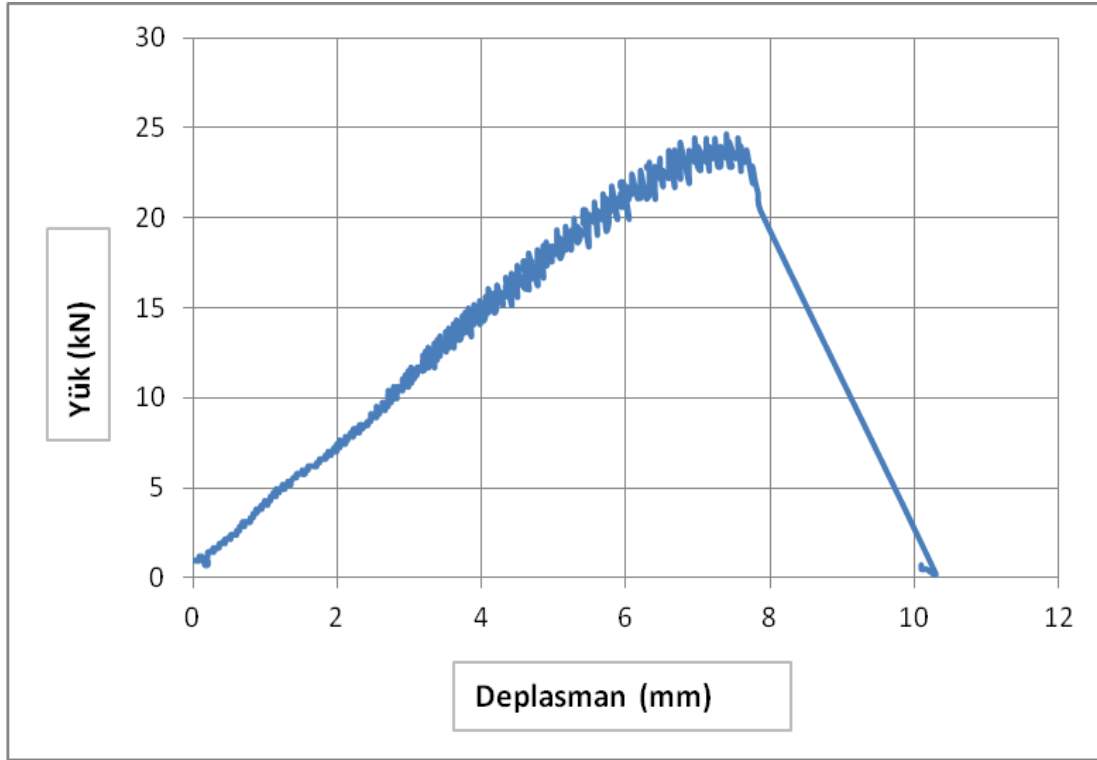
5.2. Deney Elemanı 100W280L (Referans Elemanı 2)

CFRP ile beton yüzeyler arasında yapışma sonrasında oluşan gerilme dağılımının deneysel olarak araştırılabilmesi amacıyla üretilen 100 mm CFRP şerit genişliği ve 280 mm etkin yapışma boyu olan referans elemanıdır. Deney elemanının göçmeden önceki görünüşü Resim 5.2'de verilmiştir.

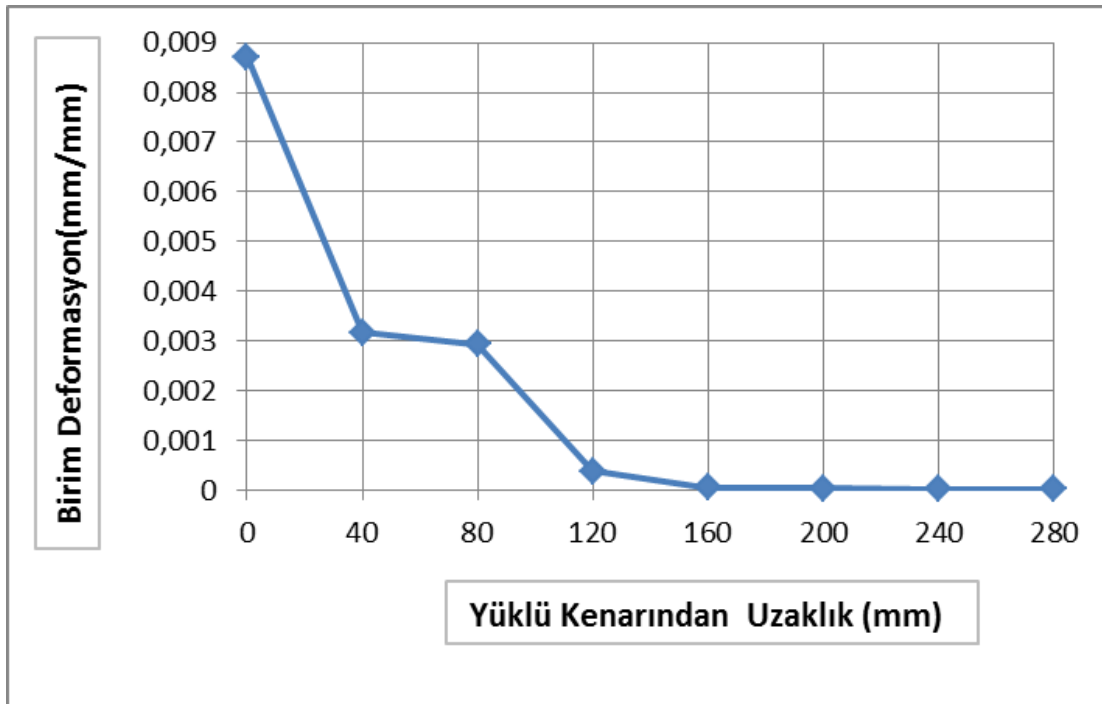


Resim 5.2. Deney elemanı 100W280L

100W280L Referans deney elemanında CFRP şeride uygulanan maksimum çekme kuvveti 24,63 kN ölçülmüştür. Maksimum yükteki deplasman ise 7,39 mm olarak ölçülmüştür. Deney sırasında ölçülen yük-deplasman grafiği Şekil 5.3.'de, birim deformasyon-mesafe grafiği ise Şekil 5.4' de verilmiştir.



Şekil 5.3. Deney elemanı 100W280L yük-deplasman grafiği



Şekil 5.4. Deney elemanı 100W280L birim deformasyon – mesafe grafiği

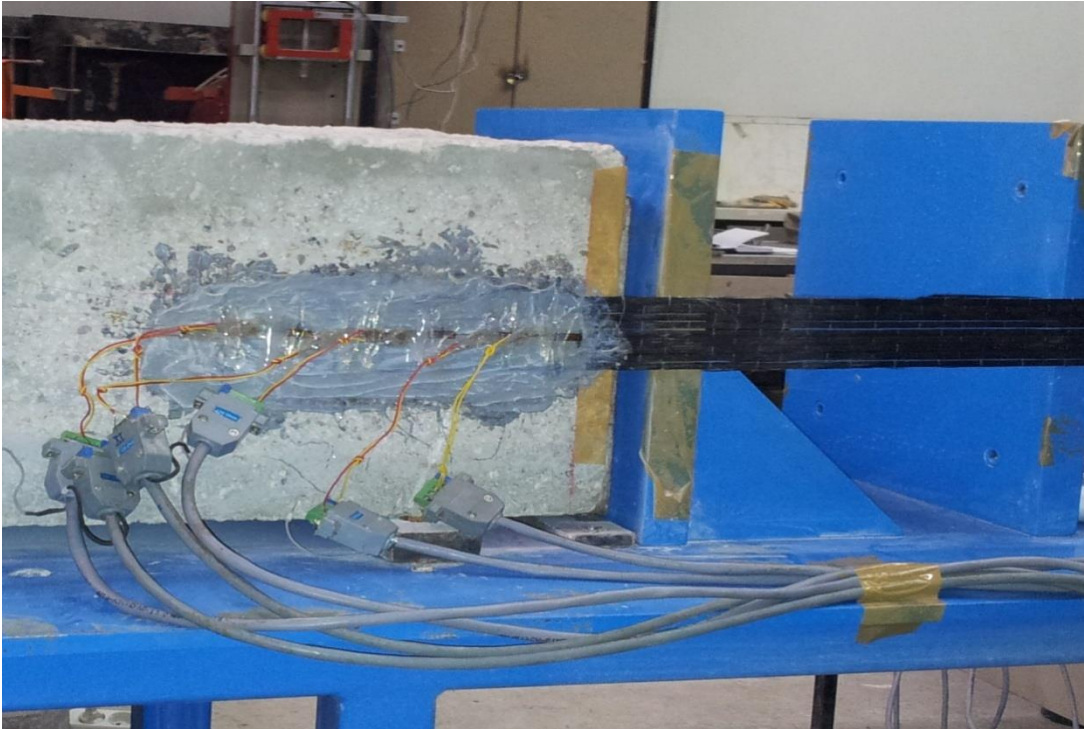
100W280L referans deney elemanında CFRP şeritlerdeki maksimum birim deformasyon değeri 0,0087 mm/mm ölçülmüştür. En yüksek birim deformasyon

değeri yüklü kenara en yakın olan yapışma yüzeyinin başlangıcına yerleştirilen birim deformasyon ölçerden alınmıştır.

CFRP şerit yüzeyinde oluşan maksimum kayma gerilmesi ise maksimum çekme kuvvetinin etkin yapışma yüzeyine oranlanması neticesinde 1,36 MPa olarak hesaplanmıştır. Deney elemanı 100W280L göçme CFRP şeritlerin beton yüzeyinden sıyrılması sonucu olmuştur.

5.3. Deney Elemanı 50W200L (Referans Elemanı 3)

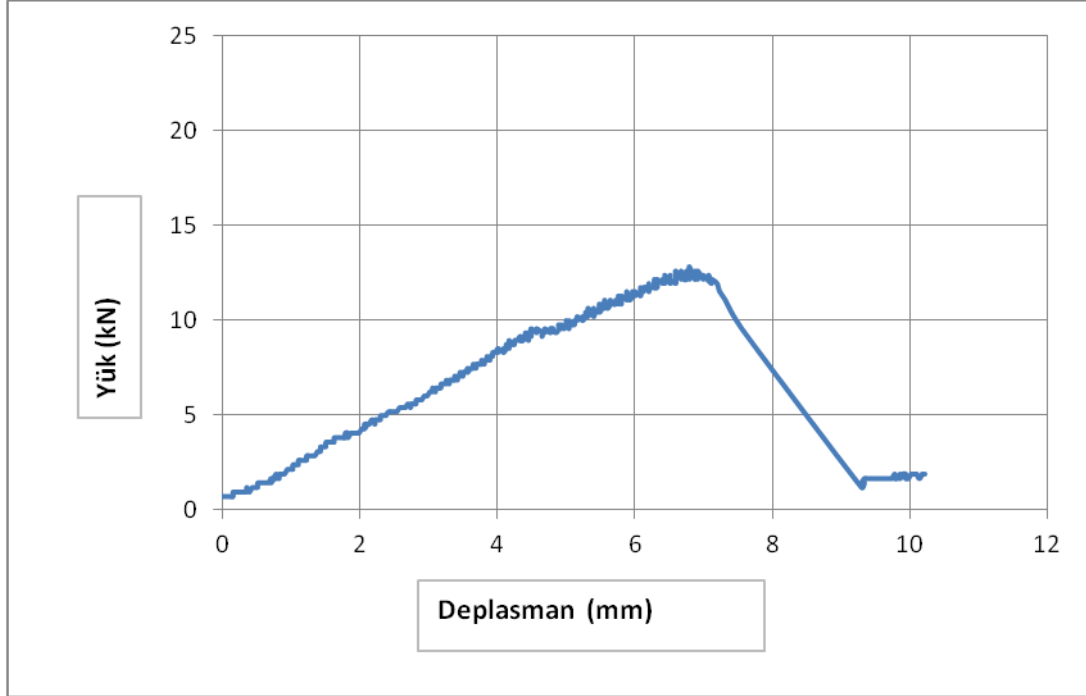
CFRP ile beton yüzeyler arasında yapışma sonrasında oluşan gerilme dağılımının deneysel olarak araştırılabilmesi amacıyla üretilen 50 mm CFRP şerit genişliği ve 200 mm etkin yapışma boyu olan referans elemanıdır. Deney elemanının göçmeden önceki görünüşü Resim 5.3'de verilmiştir.



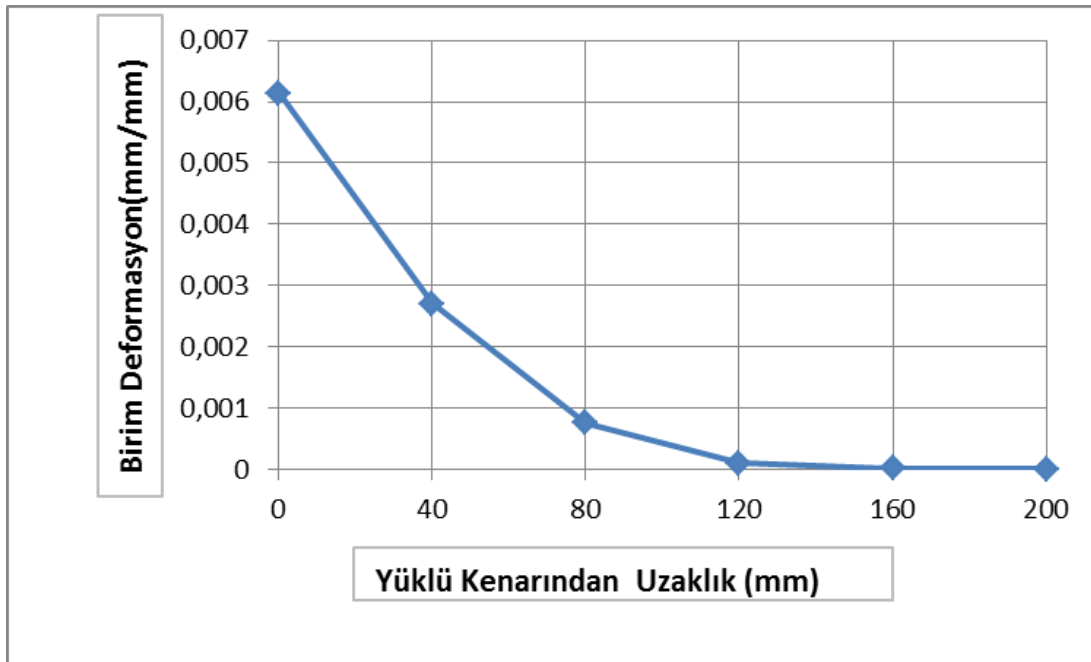
Resim 5.3. Deney elemanı 50W200L

50W200L Referans deney elemanında CFRP şeride uygulanan maksimum çekme kuvveti 12,80 kN ölçülmüştür. Maksimum yükteki deplasman ise 6,69 mm olarak

ölçülmüştür. Deney sırasında ölçülen yük-deplasman grafiği Şekil 5.5'de, birim deformasyon-mesafe ise Şekil 5.6.'de verilmiştir.



Şekil 5.5. Deney elemanı 50W200L yük-deplasman grafiği



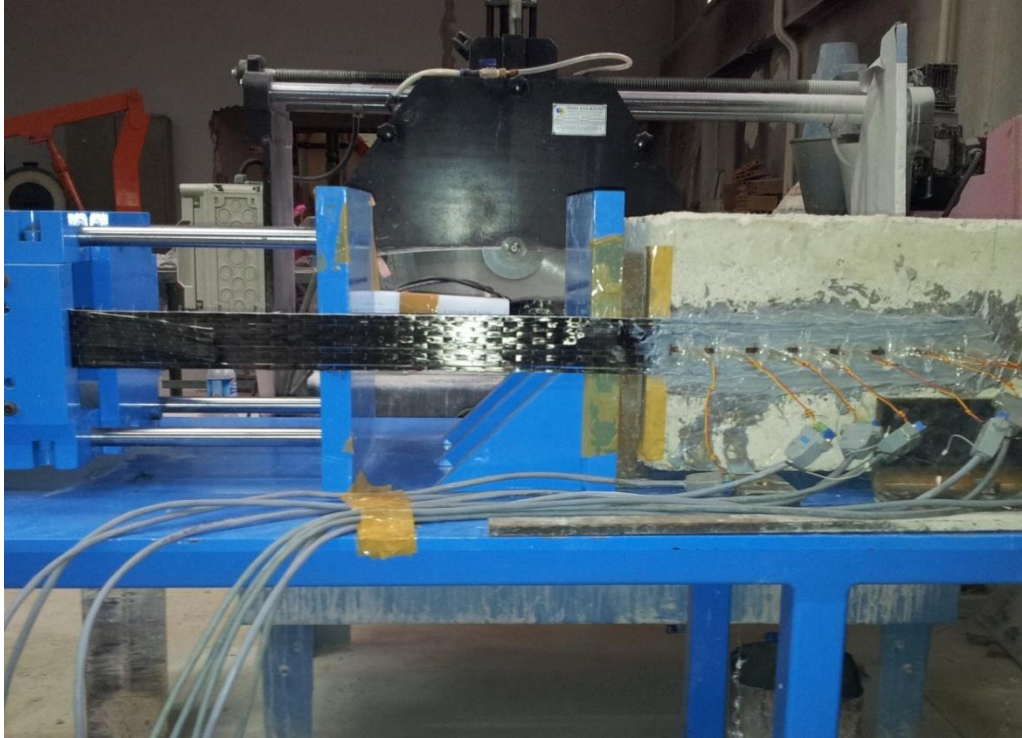
Şekil 5.6. Deney Elemanı 50W200L birim deformasyon – mesafe grafiği

50W200L referans deney elemanında CFRP şeritlerdeki maksimum birim deformasyon değeri 0,0061 mm/mm ölçülmüştür. En yüksek birim deformasyon değeri yüklü kenara en yakın olan yapışma yüzeyinin başlangıcına yerleştirilen birim deformasyon ölçerden alınmıştır.

CFRP şerit yüzeyinde oluşan maksimum kayma gerilmesi ise maksimum çekme kuvvetinin etkin yapışma yüzeyine oranlanması neticesinde 0,781 MPa olarak hesaplanmıştır. Deney elemanı 50W200L göçme CFRP şeritlerin beton yüzeyinden sıyrılması sonucu olmuştur.

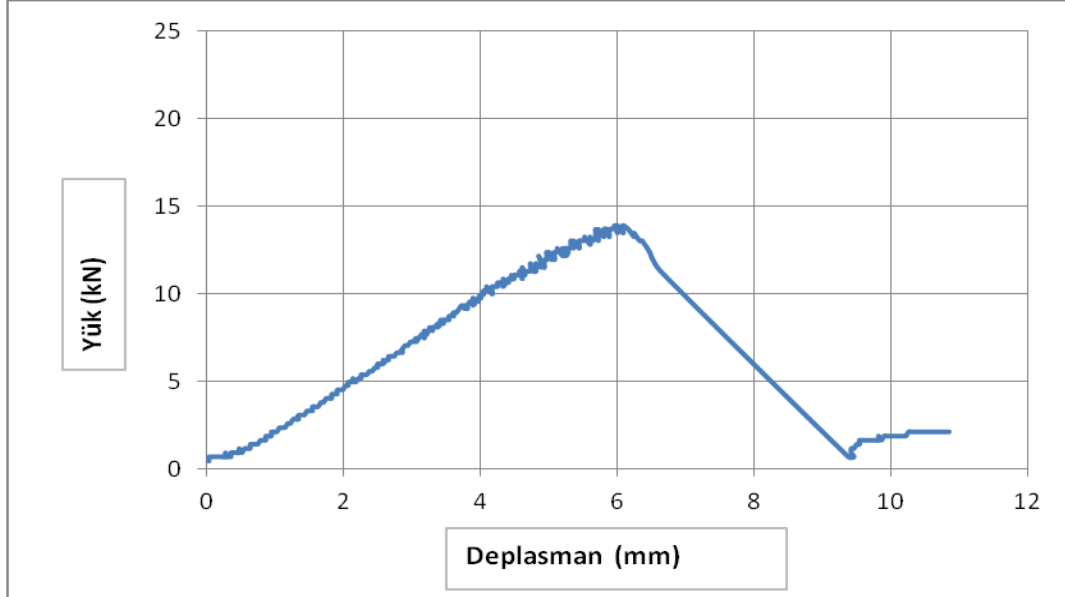
5.4. Deney Elemanı 50W280L (Referans Elemanı 4)

CFRP ile beton yüzeyler arasında yapışma sonrasında oluşan gerilme dağılımının deneysel olarak araştırılabilmesi amacıyla üretilen 50 mm CFRP şerit genişliği ve 280 mm etkin yapışma boyu olan referans elemanıdır. Deney elemanının göçmeden önceki görünüşü Resim 5.4'de verilmiştir.

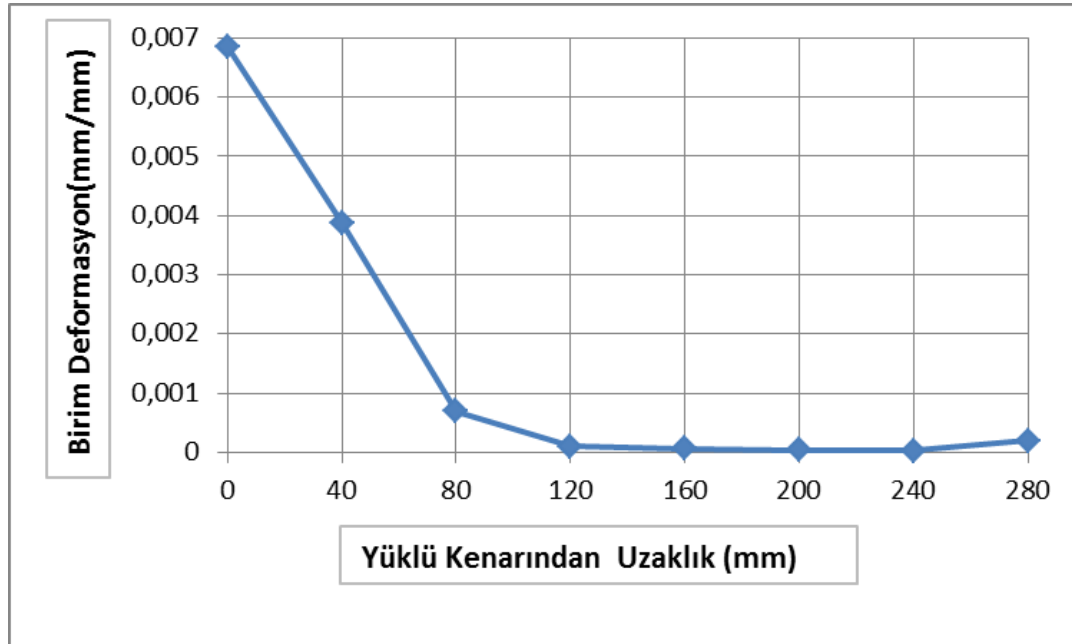


Resim 5.4. Deney Elemanı 50W280L

50W280L Referans deney elemanında CFRP şeride uygulanan maksimum çekme kuvveti 13,89 kN ölçülmüştür. Maksimum yükteki deplasman ise 6,08 mm olarak ölçülmüştür. Deney sırasında ölçülen yük-deplasman grafiği Şekil 5.7'de, birim deformasyon-mesafe grafiği ise Şekil 5.8.'de verilmiştir.



Şekil 5.7. Deney Elemanı 50W280L yük-deplasman grafiği



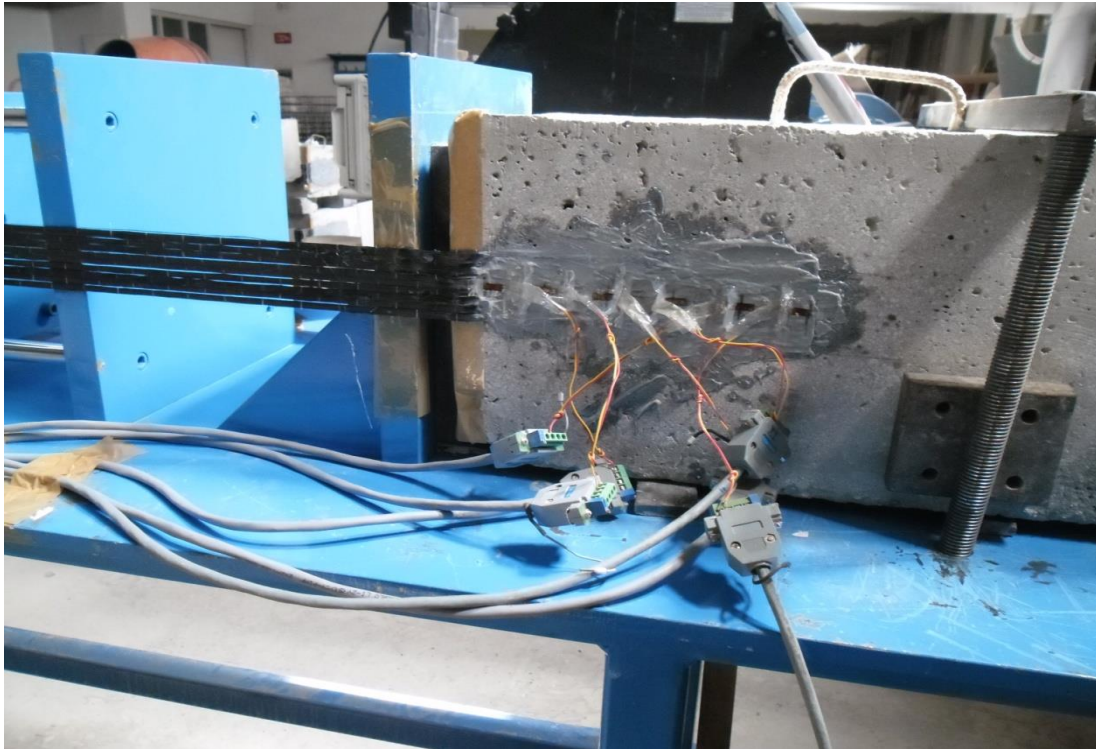
Şekil 5.8. Deney Elemanı 50W280L birim deformasyon – mesafe grafiği

50W280L referans deney elemanında CFRP şeritlerdeki maksimum birim deformasyon değeri 0,0069 mm/mm ölçülmüştür. En yüksek birim deformasyon değeri yüklü kenara en yakın olan yapışma yüzeyinin başlangıcına yerleştirilen birim deformasyon ölçerden alınmıştır.

CFRP şerit yüzeyinde oluşan maksimum kayma gerilmesi ise maksimum çekme kuvvetinin etkin yapışma yüzeyine oranlanması neticesinde 0,992 MPa olarak hesaplanmıştır. Deney elemanı 50W280L göçme CFRP şeritlerin beton yüzeyinden sıyrılması sonucu olmuştur.

5.5. Deney Elemanı 50W200L1A

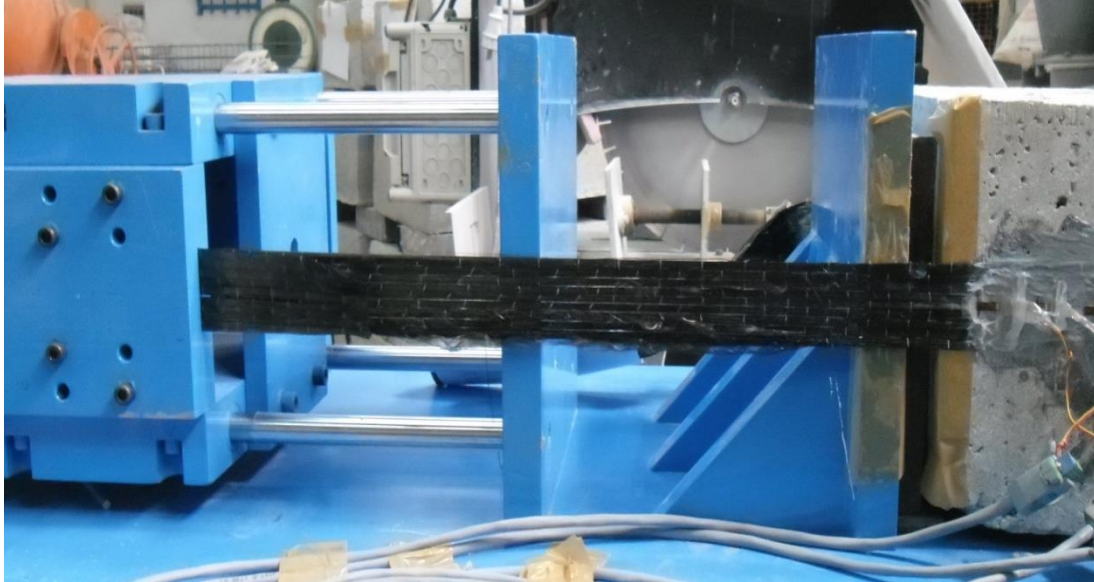
50 mm CFRP şerit genişliği ve 200 mm etkin yapışma boyu olan bir ankraj uygulaması yapılan deney elemanıdır. Deney elemanının göçmeden önceki görünüşü Resim 5.5'de verilmiştir.



Resim 5.5. Deney elemanı 50W200L1A göçmeden önceki görünüşü

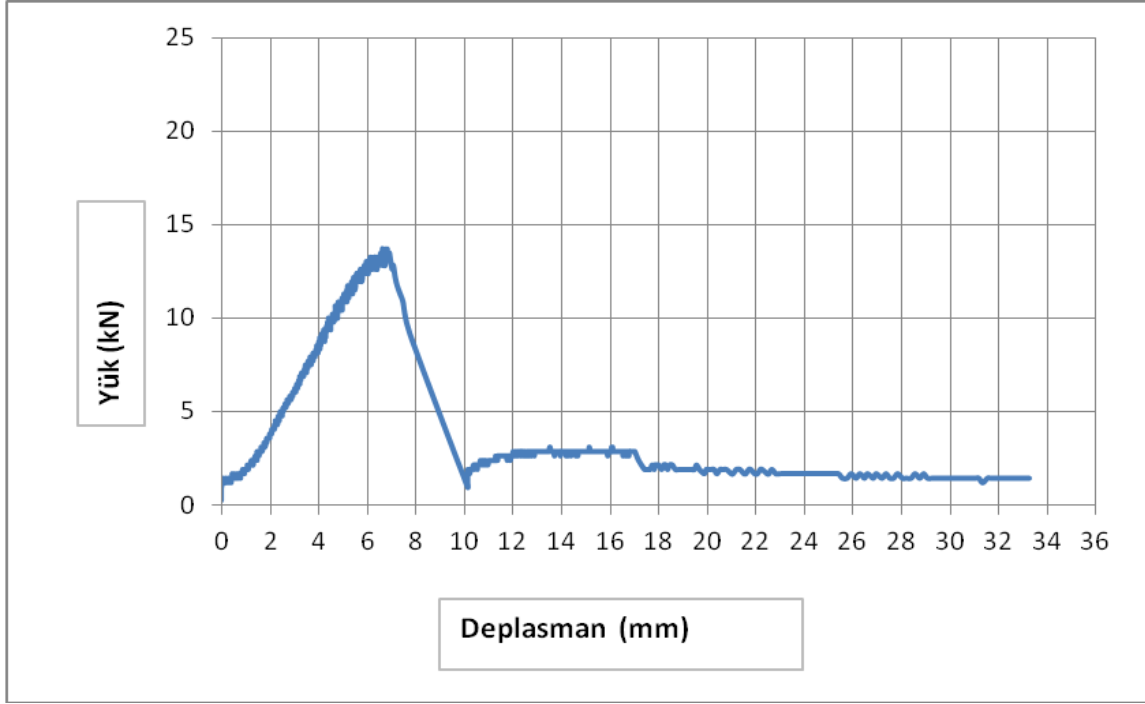
50W200L1A deney elemanında CFRP şeride uygulanan maksimum çekme kuvveti 13,70 kN ölçülmüştür. Maksimum yükteki deplasman ise 6,75 mm. olarak ölçülmüştür. Yüklemeyle birlikte CFRP şeritte yüklü kenardan sıyrılma olmuş ancak ankrajlı bölgeye geldiğinde sıyrılma durmuştur. 50W200L1A Deney elemanında göçme CFRP şeridin kopması sonucu olmuştur. Deney elemanında göçme olduktan sonra ankraj uygulaması sayesinde 2,86 kN kalıcı yük ölçülmüştür. Bu yükte maksimum deplasman 16,15 mm olmuştur. Deney elemanının göçmeden sonraki görünüşü Resim 5.6'de verilmiştir.

Deney sırasında ölçülen yük-deplasman grafiği Şekil 5.9'da, birim deformasyon-mesafe grafiği ise Şekil 5.10.'da verilmiştir.

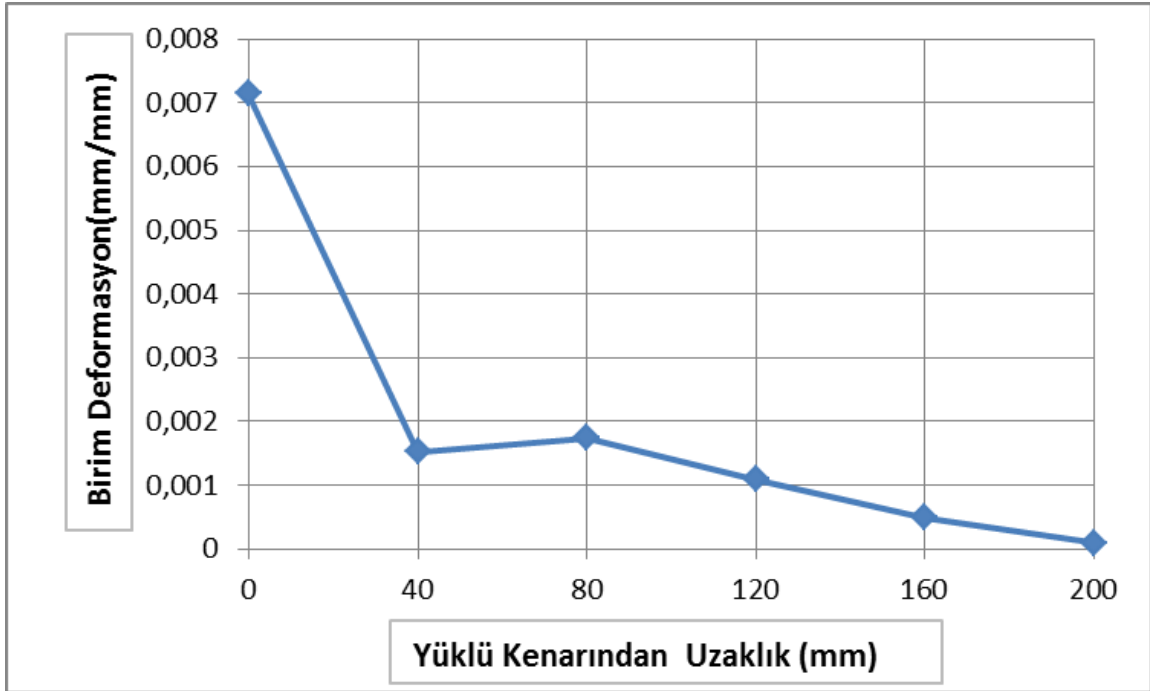


Resim 5.6. Deney elemanı 50W200L1A göçmeden sonraki görünüşü,

50W200L1A deney elemanında CFRP şeritlerdeki maksimum birim deformasyon değeri 0,007 mm/mm ölçülmüştür. 6 adet birim deformasyon ölçerlerden maksimum yükte alınan değerler yüklü kenardan uzaklaştıkça azalmasına rağmen ankraja en yakın birim deformasyon ölçerlerde bu değer tekrar yükselmiş ve 0,0017 mm/mm ölçülmüştür. CFRP şerit yüzeyinde oluşan maksimum kayma gerilmesi ise 1,37 MPa olarak hesaplanmıştır.



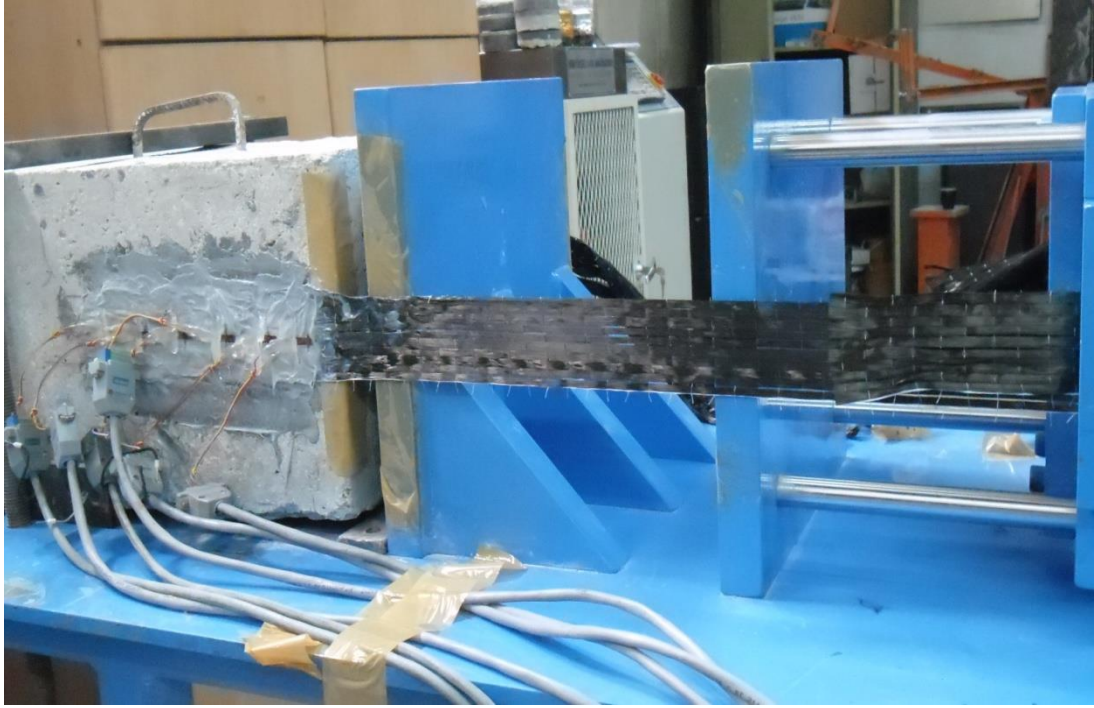
Şekil 5.9. Deney elemanı 50W200L1A yük-deplasman grafiği



Şekil 5.10. Deney elemanı 50W200L1A birim deformasyon – mesafe grafiği

5.6. Deney Elemanı 50W200L2A

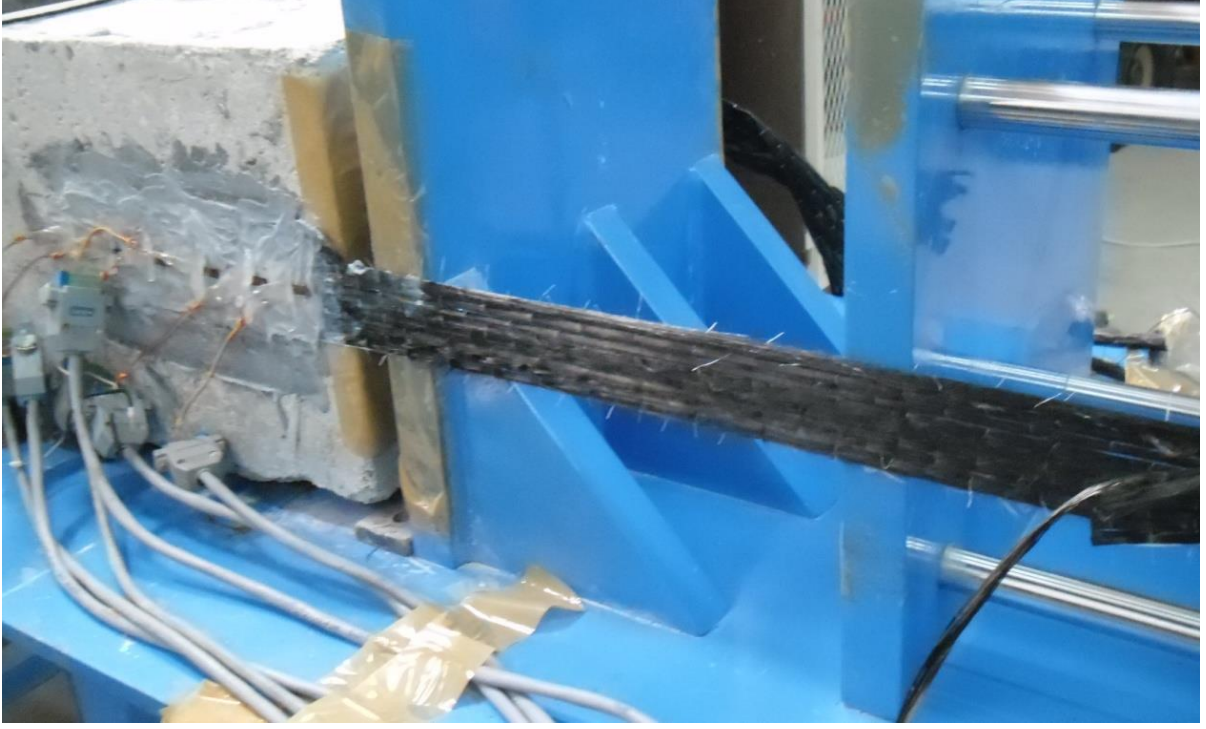
50 mm CFRP şerit genişliği ve 200 mm etkin yapışma boyu olan iki ankraj uygulaması yapılan deney elemanıdır. Deney elemanının göçmeden önceki görünüşü Resim 5.7’de verilmiştir.



Resim 5.7. Deney elemanı 50W200L2A göçmeden önceki görünüşü

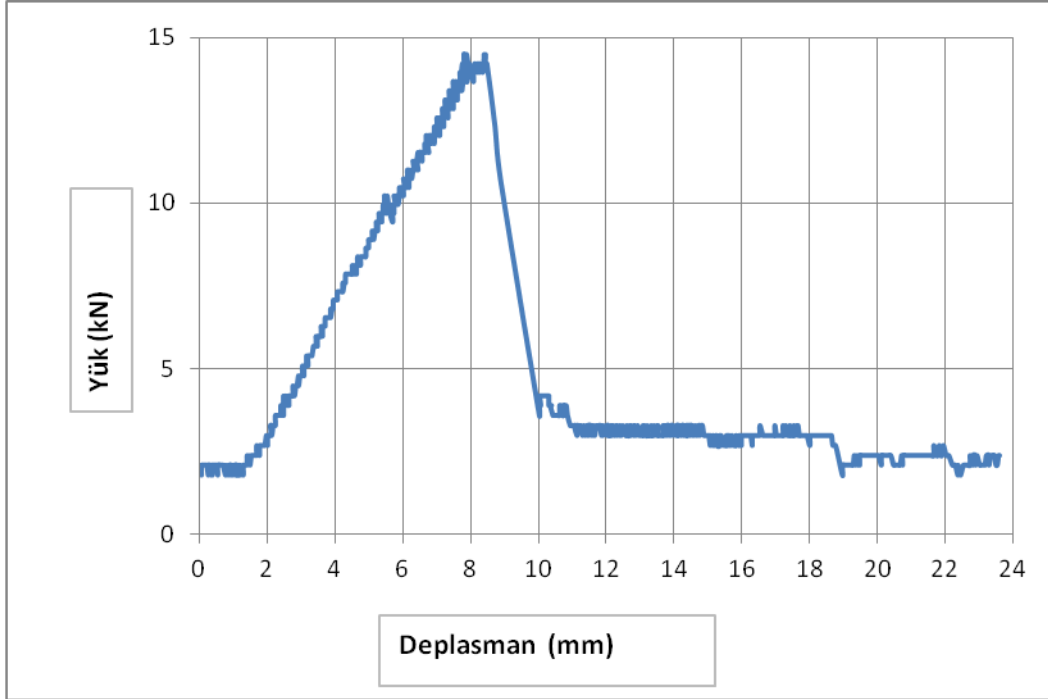
50W200L2A deney elemanında CFRP şeride uygulanan maksimum çekme kuvveti 14,50 kN ölçülmüştür. Maksimum yükteki deplasman ise 7,79 mm. olarak ölçülmüştür. Yüklemeyle birlikte CFRP şeritte yüklü kenardan sıyrılma olmuş ancak ankrajlı bölgeye geldiğinde sıyrılma durmuştur. 50W200L2A Deney elemanında göçme CFRP şeridin kopması sonucu olmuştur. Deney elemanında göçme olduktan sonra ankraj uygulaması sayesinde 4,19 kN kalıcı yük ölçülmüştür. Bu yükte maksimum deplasman 18,23 mm olmuştur. Deney elemanının göçmeden sonraki görünüşü Resim 5.8’de verilmiştir.

Deney sırasında ölçülen yük-deplasman grafiği Şekil 5.11’de, birim deformasyon-mesafe grafiği ise Şekil 5.12.’de verilmiştir.

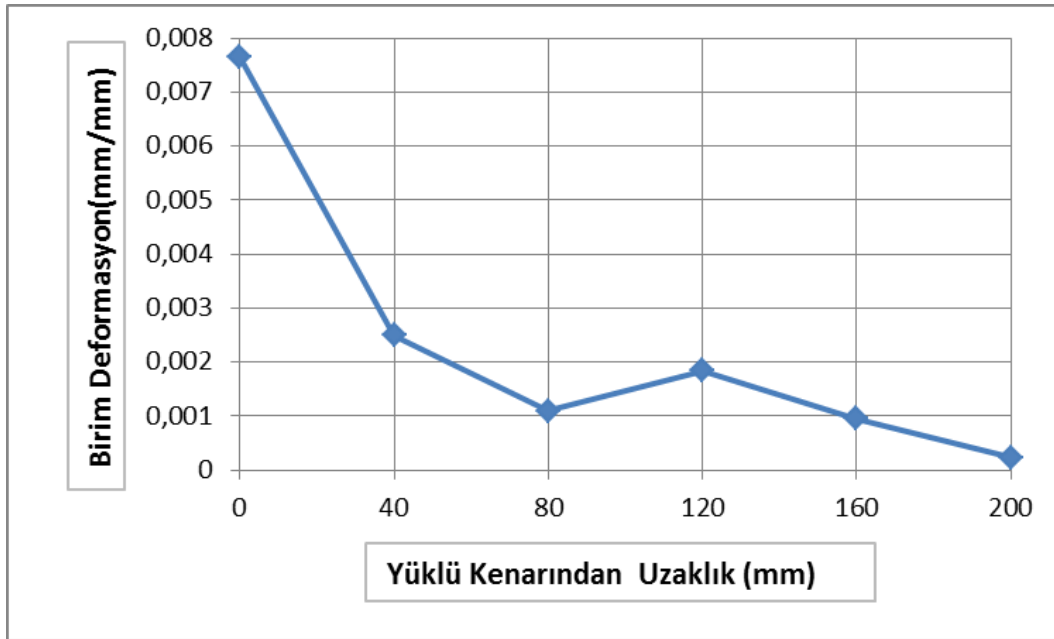


Resim 5.8. Deney elemanı 50W200L2Agöçmeden sonraki görünüşü

50W200L2A deney elemanında CFRP şeritlerdeki maksimum birim deformasyon değeri 0,0077 mm/mm ölçülmüştür. 6 adet birim deformasyon ölçerlerden maksimum yükte alınan değerler yüklü kenardan uzaklaştıkça azalmasına rağmen ankrajlara en yakın birim deformasyon ölçerlerde bu değer tekrar yükselmiş 0,0025 ve 0,0018 mm/mm ölçülmüştür. CFRP şerit yüzeyinde oluşan maksimum kayma gerilmesi ise 1,45 MPa olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.11. Deney elemanı 50W200L2A yük-deplasman grafiği



Şekil 5.12. Deney elemanı 50W200L2A birim deformasyon – mesafe grafiği

5.7. Deney Elemanı 50W280L1A

50 mm CFRP şerit genişliği ve 280 mm etkin yapışma boyu olan bir ankraj uygulaması yapılan deney elemanıdır. Deney elemanının göçmeden önceki görünüşü Resim 5.9'da verilmiştir.



Resim 5.9. Deney elemanı 50W280L1A göçmeden önceki görünüşü

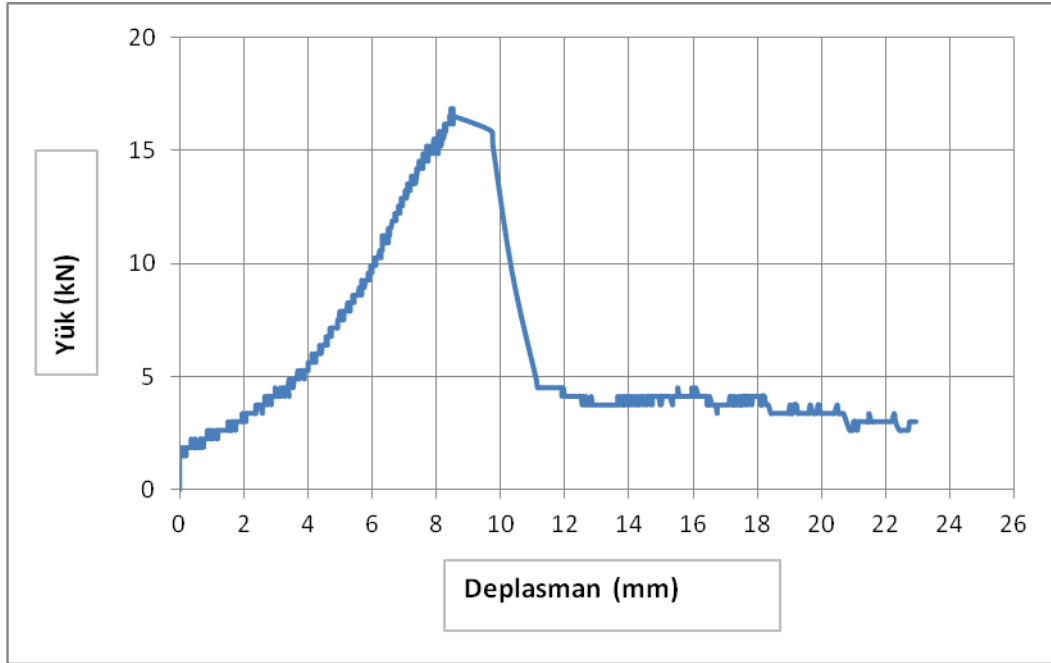
50W280L1A deney elemanında CFRP şeride uygulanan maksimum çekme kuvveti 16,54 kN ölçülmüştür. Maksimum yükteki deplasman ise 8,53 mm. olarak ölçülmüştür. Yüklemeyle birlikte CFRP şeritte yüklü kenardan sıyrılma olmuş ancak ankrajlı bölgeye geldiğinde sıyrılma durmuştur. 50W280L1A Deney elemanında göçme CFRP şeridin kopması sonucu olmuştur. Deney elemanında göçme olduktan sonra ankraj uygulaması sayesinde 4,51 kN kalıcı yük ölçülmüştür. Bu yükte maksimum deplasman 18,92 mm olmuştur. Deney elemanının göçmeden sonraki görünüşü Resim 5.10'da verilmiştir.

Deney sırasında ölçülen yük-deplasman grafiği Şekil 5.13'de, birim deformasyon-mesafe grafiği ise Şekil 5.14.'de verilmiştir.

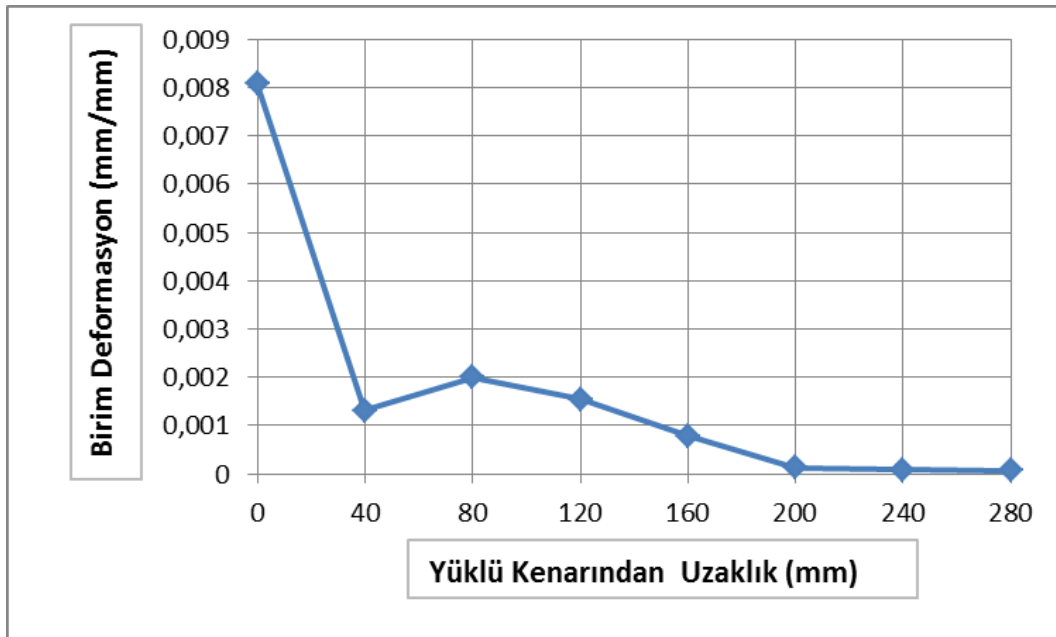


Resim 5.10. Deney elemanı 50W280L1Agöçmeden sonraki görünüşü

50W280L1A deney elemanında CFRP şeritlerdeki maksimum birim deformasyon değeri 0,0081 mm/mm ölçülmüştür. 8 adet birim deformasyon ölçerlerden maksimum yükte alınan değerler yüklü kenardan uzaklaştıkça azalmasına rağmen ankraja yakın birim deformasyon ölçerde bu değer tekrar yükselmiş 0,002 mm/mm ölçülmüştür. CFRP şerit yüzeyinde oluşan maksimum kayma gerilmesi ise 1,18 MPa olarak hesaplanmıştır.



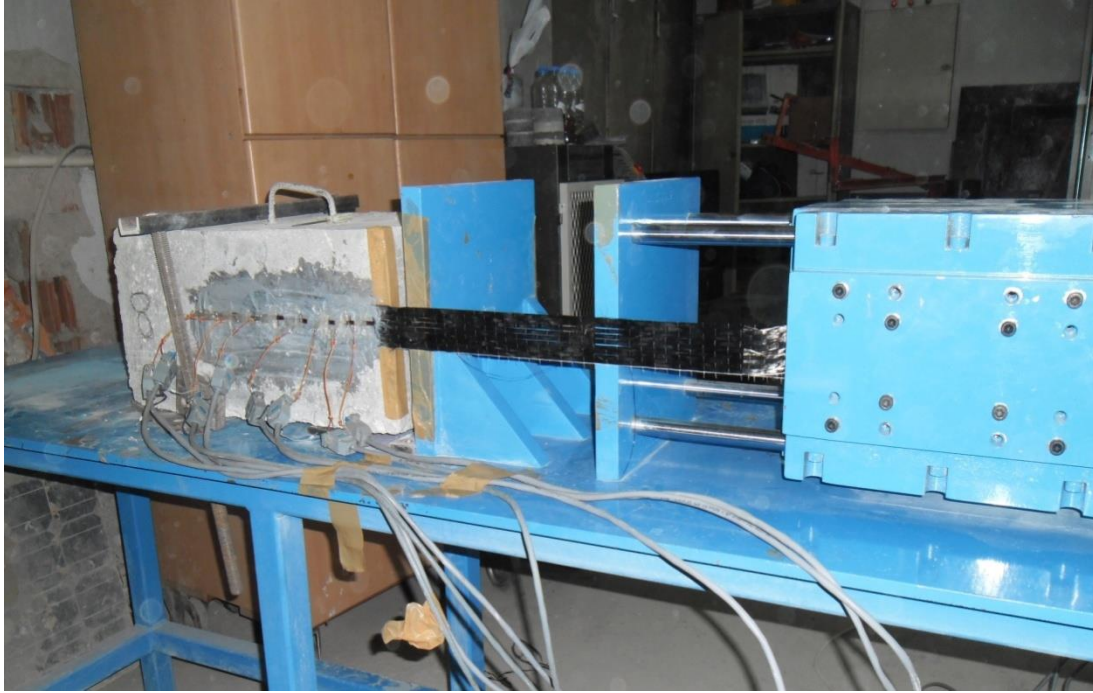
Şekil 5.13. Deney elemanı 50W280L1A yük-deplasman grafiği



Şekil 5.14. Deney elemanı 50W280L1A birim deformasyon – mesafe grafiği

5.8. Deney Elemanı 50W280L2A

50 mm CFRP şerit genişliği ve 280 mm etkin yapışma boyu olan iki ankraj uygulaması yapılan deney elemanıdır. Deney elemanının göçmeden önceki görünüşü Resim 5.11'de verilmiştir.



Resim 5.11. Deney elemanı 50W280L2A göçmeden önceki görünüşü

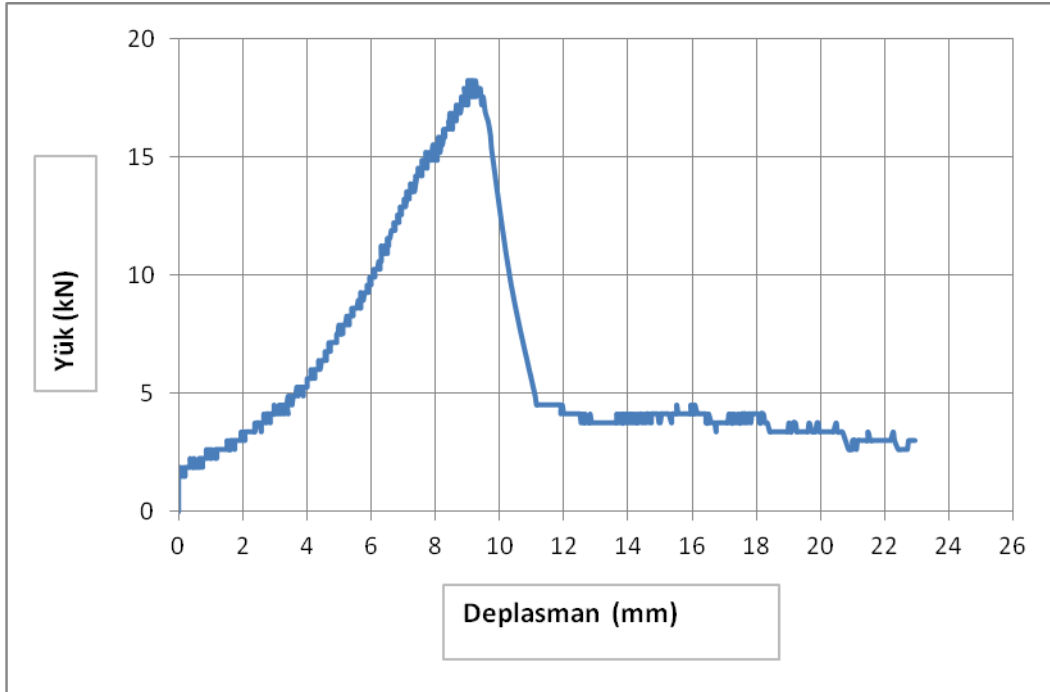
50W280L2A deney elemanında CFRP şeride uygulanan maksimum çekme kuvveti 18,25 kN ölçülmüştür. Maksimum yükteki deplasman ise 9,02 mm. olarak ölçülmüştür. Yüklemeyle birlikte CFRP şeritte yüklü kenardan sıyrılma olmuş ancak ankrajlı bölgeye geldiğinde sıyrılma durmuştur. 50W280L2A Deney elemanında göçme CFRP şeridin kopması sonucu olmuştur. Deney elemanında göçme olmasına rağmen ankraj uygulaması sayesinde 4,90 kN kalıcı yük ölçülmüştür. Bu yükte maksimum deplasman 20,12 mm olmuştur. Deney elemanının göçmeden sonraki görünüşü Resim 5.12'de verilmiştir.

Deney sırasında ölçülen yük-deplasman grafiği Şekil 5.15'de, birim deformasyon-mesafe grafiği ise Şekil 5.16.'da verilmiştir.

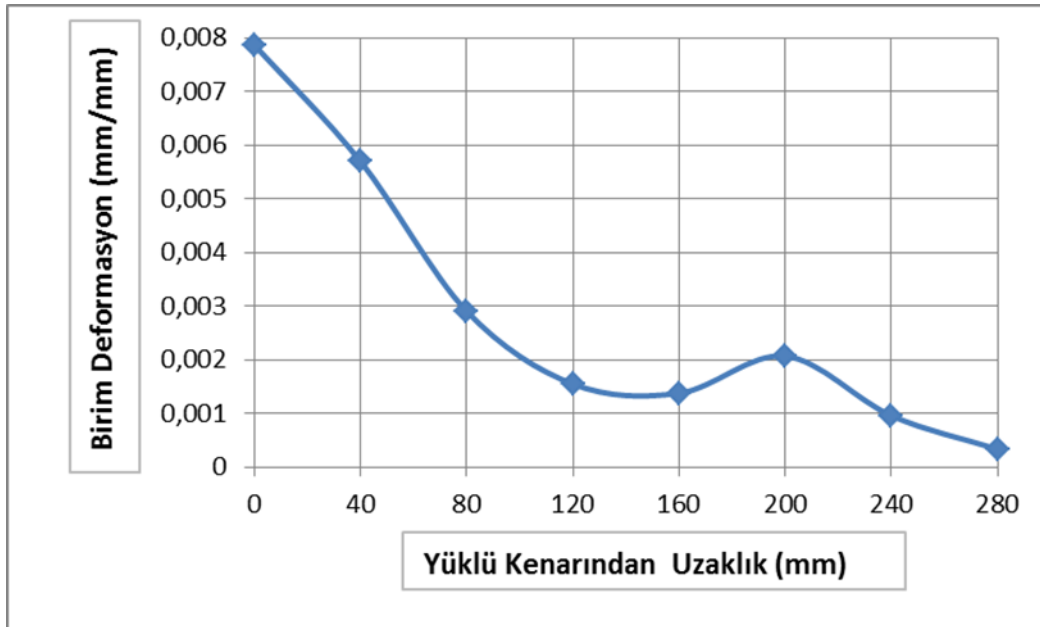


Resim 5.12. Deney elemanı 50W280L2A göçmeden sonraki görünüşü

50W280L2A deney elemanında CFRP şeritlerdeki maksimum birim deformasyon değeri 0,0079 mm/mm ölçülmüştür. 8 adet birim deformasyon ölçerlerden maksimum yükte alınan değerler yüklü kenardan uzaklaştıkça azalmasına rağmen ankrajlara yakın birim deformasyon ölçerlerde bu değer tekrar yükselmiş 0,0057 ve 0,0021 μm ölçülmüştür. CFRP şerit yüzeyinde oluşan maksimum kayma gerilmesi ise 1,30 MPa olarak hesaplanmıştır.



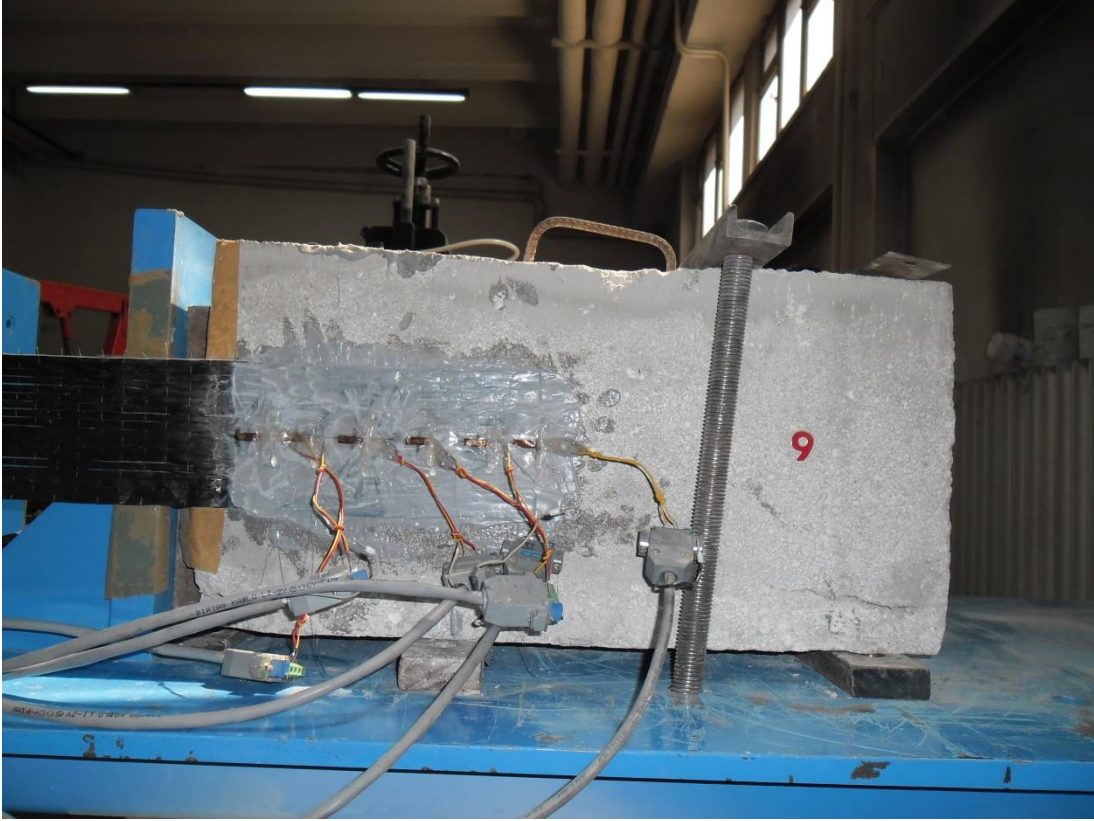
Şekil 5.15. Deney elemanı 50W280L2A yük-deplasman grafiği



Şekil 5.16. Deney elemanı 50W280L2A birim deformasyon – mesafe grafiği

5.9. Deney Elemanı 100W200L1A

100 mm CFRP şerit genişliği ve 200 mm etkin yapışma boyu olan bir ankraj uygulaması yapılan deney elemanıdır. Deney elemanının göçmeden önceki görünüşü Resim 5.13'de verilmiştir.



Resim 5.13. Deney elemanı 100W200L1A göçmeden önceki görünüşü

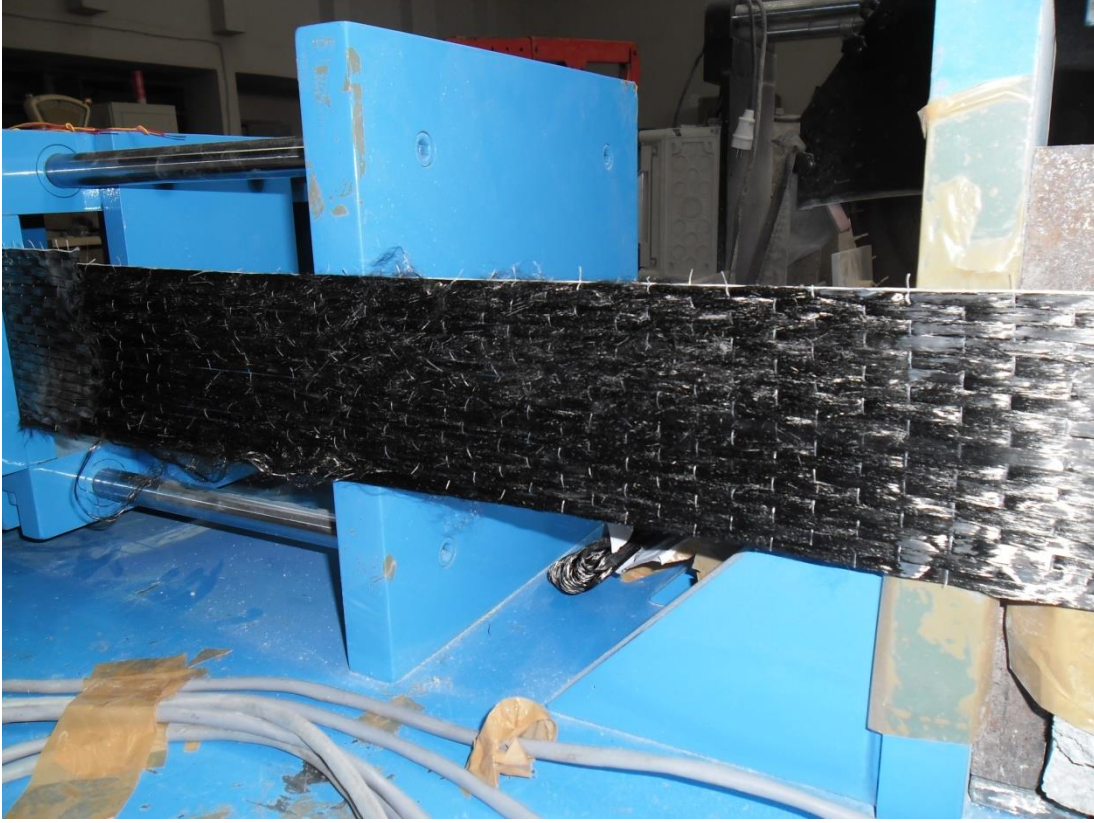
100W200L1A deney elemanında CFRP şeride uygulanan maksimum çekme kuvveti 26,46 kN ölçülmüştür. Maksimum yükteki deplasman ise 9,45 mm. olarak ölçülmüştür. Yüklemeyle birlikte CFRP şeritte yüklü kenardan sıyrılma olmuş ancak ankrajlı bölgeye geldiğinde sıyrılma durmuştur. Deney elemanında göçmeden sonraki görünüşü Resim 5.14'de verilmiştir.



Resim 5.14. Deney elemanı 100W200L1A göçmeden sonraki görünüşü

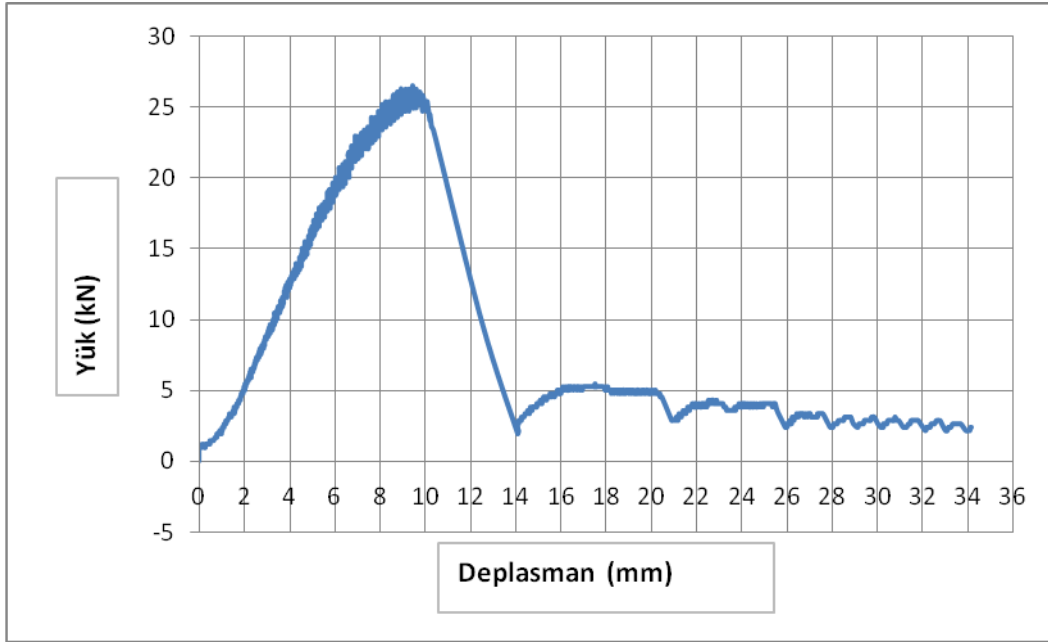
1000W200L1A Deney elemanında göçme CFRP şeridin kopması sonucu olmuştur. Deney elemanında göçme olduktan sonra ankraj uygulaması sayesinde 5,45 kN kalıcı yük ölçülmüştür. Bu yükte maksimum deplasman 24,15 mm olmuştur. Deney elemanının göçmeden sonraki görünüşü Resim 5.15'de verilmiştir.

Deney sırasında ölçülen yük-deplasman grafiği Şekil 5.17'de, birim deformasyon-mesafe grafiği ise Şekil 5.18.'de verilmiştir.

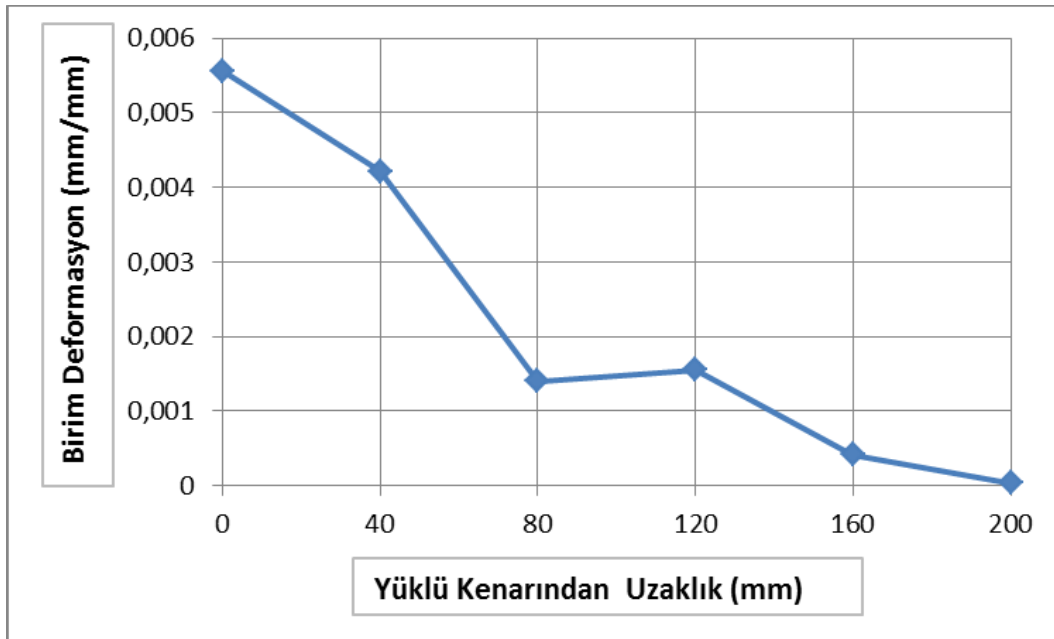


Resim 5.15. Deney elemanı 50W200L1A göçmeden sonraki görünüşü

100W200L1A referans deney elemanında CFRP şeritlerdeki maksimum birim deformasyon değeri $0,0057 \mu\text{m}$ ölçülmüştür. 6 adet birim deformasyon ölçerlerden maksimum yükte alınan değerler yüklü kenardan uzaklaştıkça azalmasına rağmen ankraja en yakın birim deformasyon ölçerde bu değer tekrar yükselmiş ve $0,0015 \text{ mm/mm}$ ölçülmüştür. CFRP şerit yüzeyinde oluşan maksimum kayma gerilmesi ise $1,33 \text{ MPa}$ olarak hesaplanmıştır.



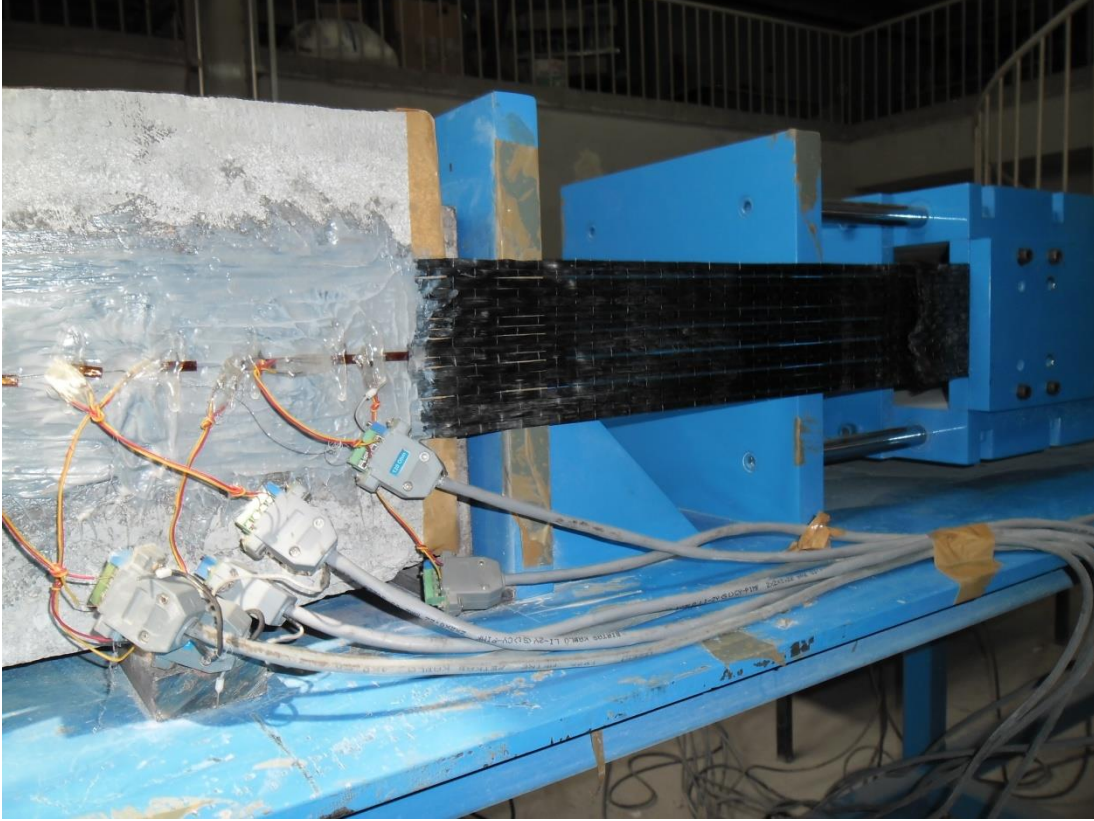
Şekil 5.17. Deney elemanı 100W200L1A yük-deplasman grafiği



Şekil 5.18. Deney elemanı 100W200L1A birim deformasyon – mesafe grafiği

5.10. Deney Elemanı 100W200L2A

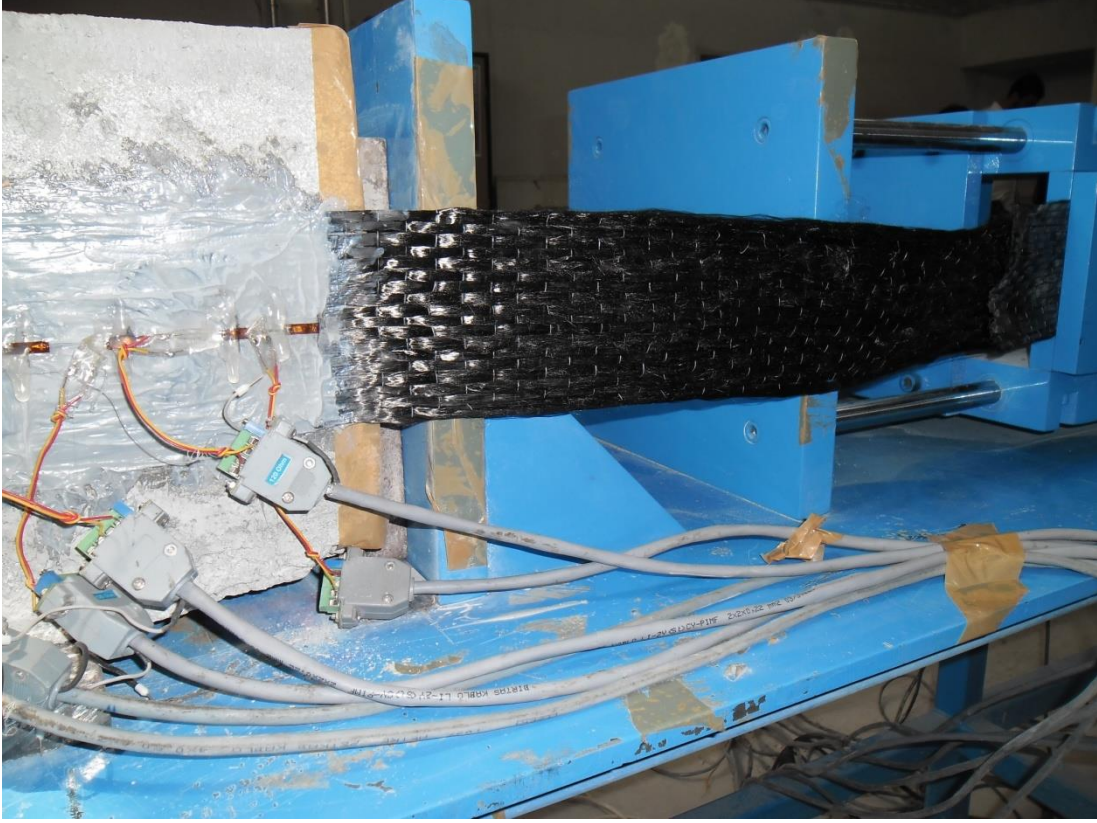
100 mm CFRP şerit genişliği ve 200 mm etkin yapışma boyu olan iki ankraj uygulaması yapılan deney elemanıdır. Deney elemanının göçmeden önceki görünüşü Resim 5.16'da verilmiştir.



Resim 5.16. Deney elemanı 100W200L2A önceki görünüşü

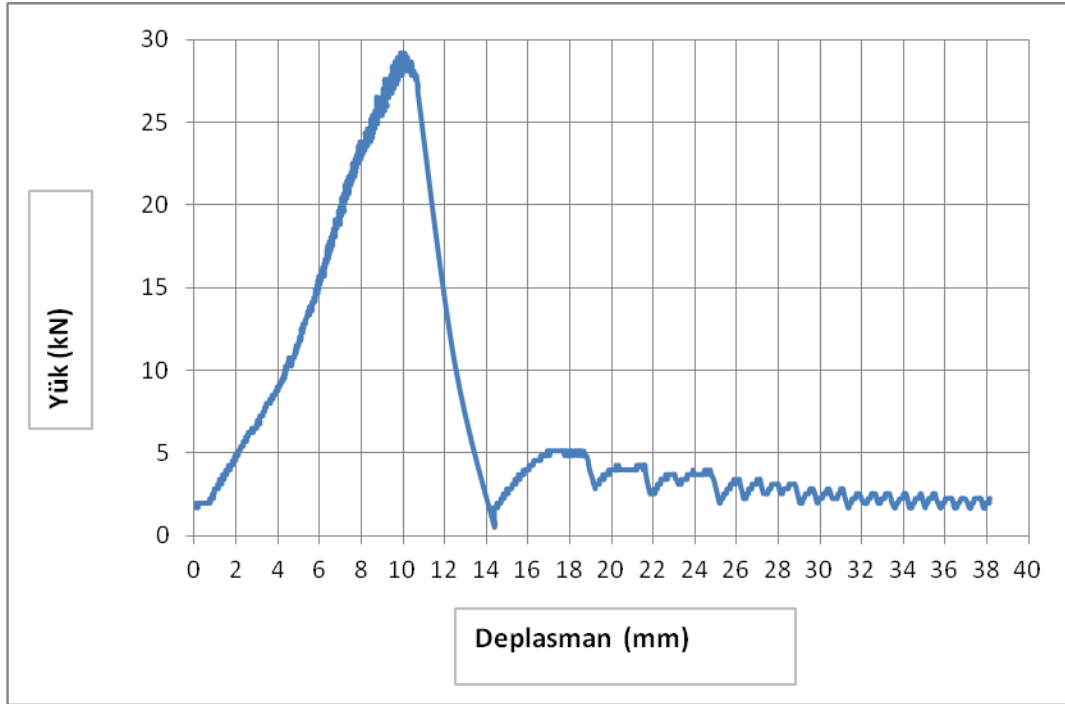
100W200L2A deney elemanında CFRP şeride uygulanan maksimum çekme kuvveti 29,15 kN ölçülmüştür. Maksimum yükteki deplasman ise 9,89 mm. olarak ölçülmüştür. Yüklemeyle birlikte CFRP şeritte yüklü kenardan sıyrılma olmuş ancak ankrajlı bölgeye geldiğinde sıyrılma durmuştur. 50W200L2A Deney elemanında göçme CFRP şeridin kopması sonucu olmuştur. Deney elemanında göçme olmasına rağmen ankraj uygulaması sayesinde 5,16 kN kalıcı yük ölçülmüştür. Bu yükte maksimum deplasman 22,25 mm olmuştur. Deney elemanının göçmeden sonraki görünüşü Resim 5.17'de verilmiştir.

Deney sırasında ölçülen yük-deplasman grafiği Şekil 5.19'de, birim deformasyon-mesafe grafiği ise Şekil 5.20.'de verilmiştir.

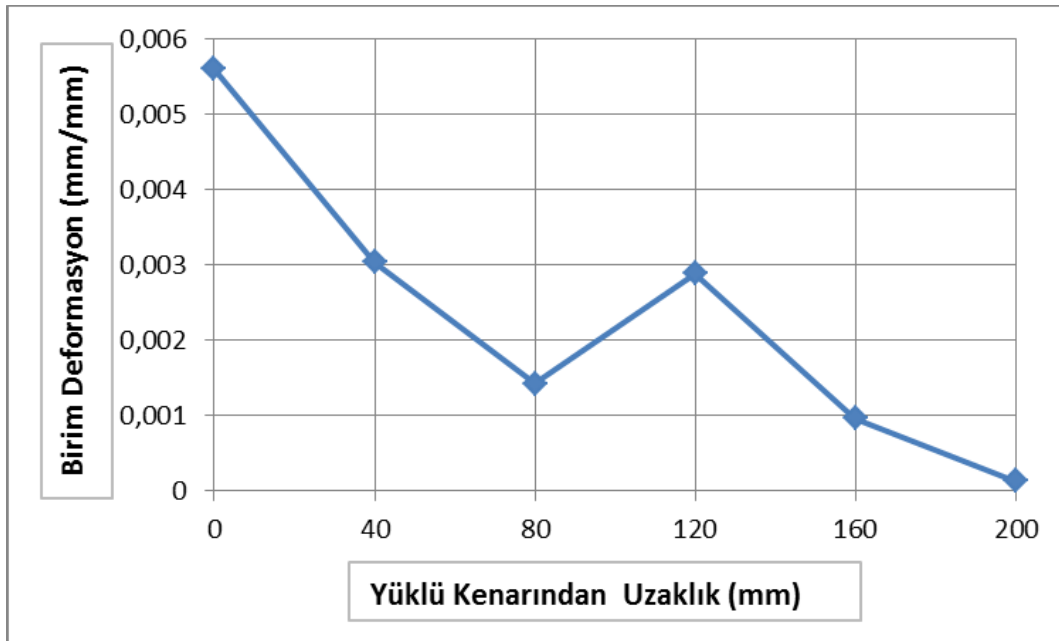


Resim 5.17. Deney elemanı 100W200L2A göçmeden sonraki görünüşü

100W200L2A deney elemanında CFRP şeritlerdeki maksimum birim deformasyon değeri 0,0056 mm/mm ölçülmüştür. 6 adet birim deformasyon ölçerlerden maksimum yükte alınan değerler yüklü kenardan uzaklaştıkça azalmasına rağmen ankrajlara en yakın birim deformasyon ölçerlerde bu değer tekrar yükselmiş 0,003 mm/mm ölçülmüştür. CFRP şerit yüzeyinde oluşan maksimum kayma gerilmesi ise 1,46 MPa olarak hesaplanmıştır.



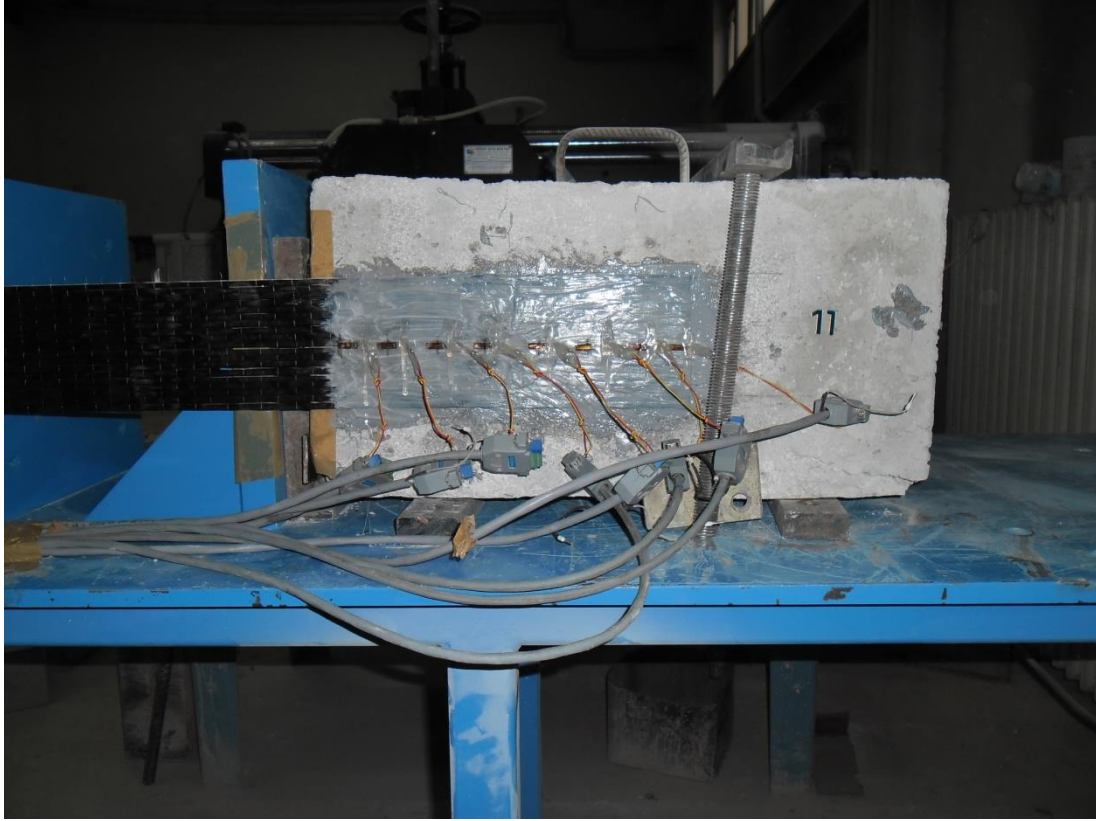
Şekil 5.19. Deney elemanı 100W200L2A yük-deplasman grafiği



Şekil 5.20. Deney elemanı 100W200L2A birim deformasyon – mesafe grafiği

5.11. Deney Elemanı 100W280L1A

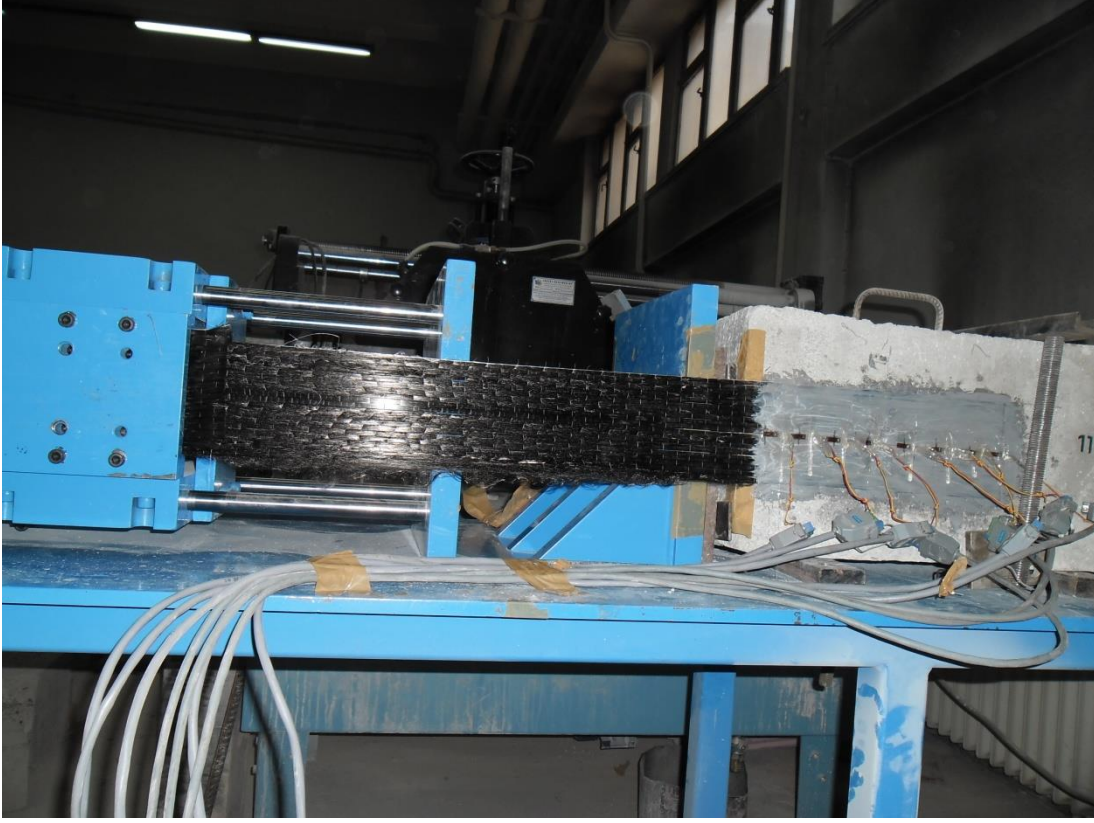
100 mm CFRP şerit genişliği ve 280 mm etkin yapışma boyu olan bir ankraj uygulaması yapılan deney elemanıdır. Deney elemanının göçmeden önceki görünüşü Resim 5.18'de verilmiştir.



Resim 5.18. Deney elemanı 100W280L1A göçmeden önceki görünüşü

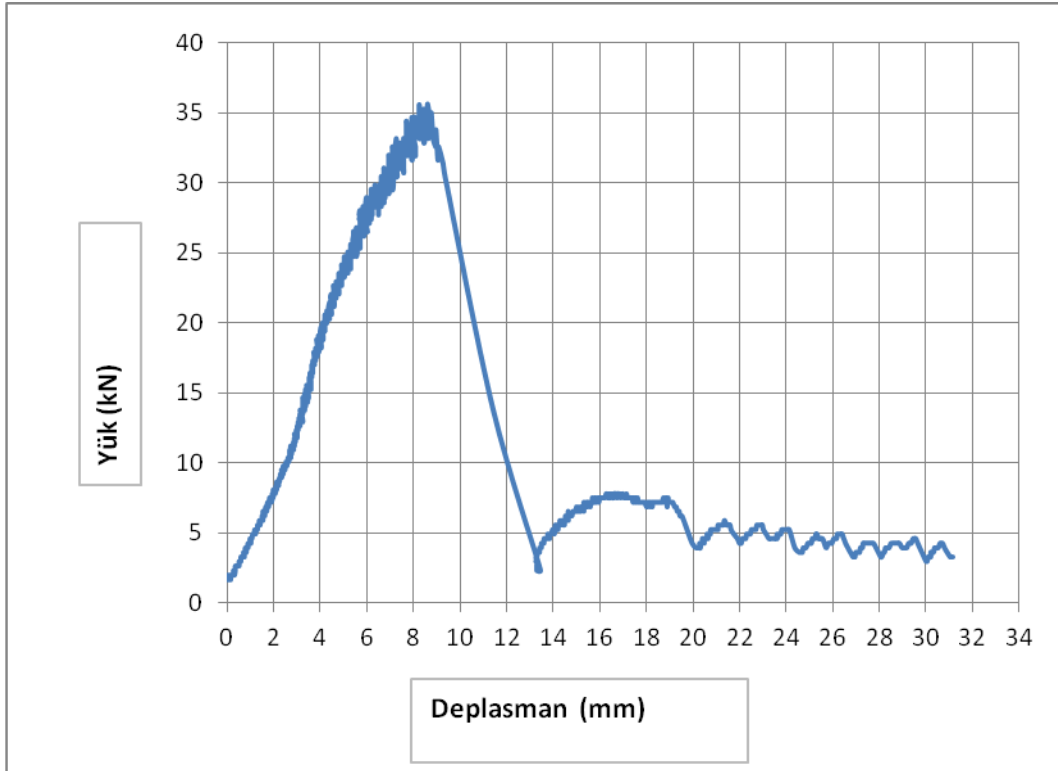
100W280L1A deney elemanında CFRP şeride uygulanan maksimum çekme kuvveti 35,57 kN ölçülmüştür. Maksimum yükteki deplasman ise 7,77 mm. olarak ölçülmüştür. Yüklemeyle birlikte CFRP şeritte yüklü kenardan sıyrılma olmuş ancak ankrajlı bölgeye geldiğinde sıyrılma durmuştur. 100W280L1A Deney elemanında göçme CFRP şeridin kopması sonucu olmuştur. Deney elemanında göçme olmasına rağmen ankraj uygulaması sayesinde 4,58 kN kalıcı yük ölçülmüştür. Bu yükte maksimum deplasman 26,45 mm olmuştur. Deney elemanının göçmeden sonraki görünüşü Resim 5.19'da verilmiştir.

Deney sırasında ölçülen yük-deplasman grafiği Şekil 5.21'de, birim deformasyon-mesafe grafiği ise Şekil 5.22.'de verilmiştir.

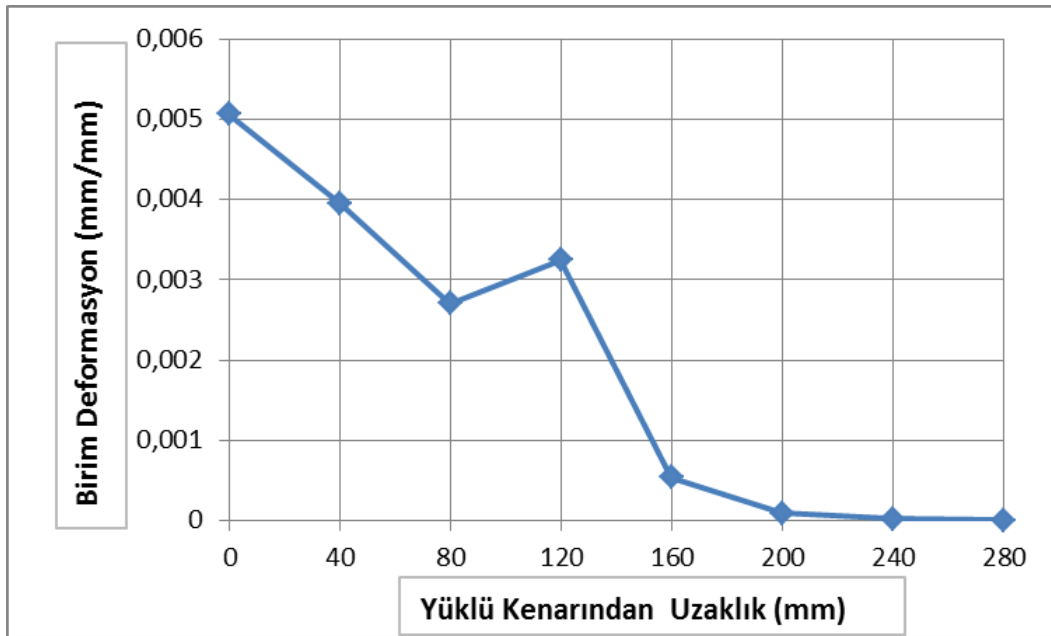


Resim 5.19. Deney elemanı 100W280L1A göçmeden sonraki görünüşü

100W280L1A deney elemanında CFRP şeritlerdeki maksimum birim deformasyon değeri 0,005 mm/mm ölçülmüştür. 8 adet birim deformasyon ölçerlerden maksimum yükte alınan değerler yüklü kenardan uzaklaştıkça azalmasına rağmen ankraja yakın birim deformasyon ölçerlerde bu değer tekrar yükselmiş 0,0034 mm/mm ölçülmüştür. CFRP şerit yüzeyinde oluşan maksimum kayma gerilmesi ise 1,27 MPa olarak hesaplanmıştır.



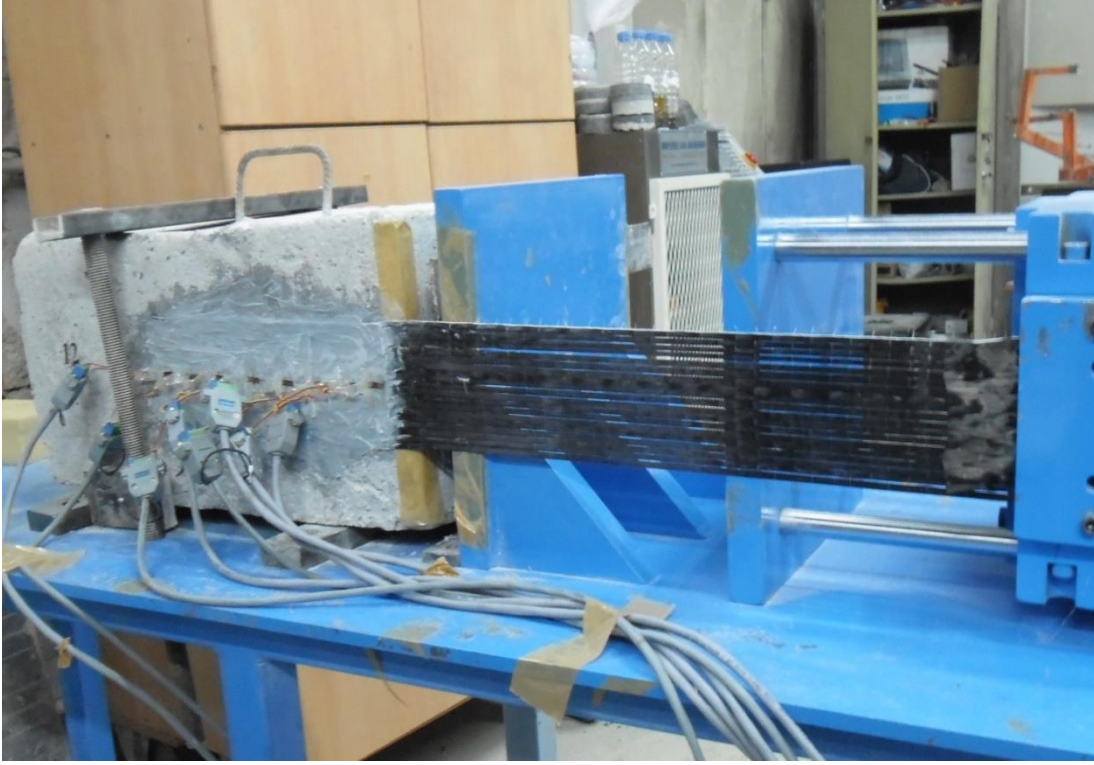
Şekil 5.21. Deney elemanı 100W280L1A yük-deplasman grafiği



Şekil 5.22. Deney elemanı 100W280L1A birim deformasyon – mesafe grafiği

5.12. Deney Elemanı 100W280L2A

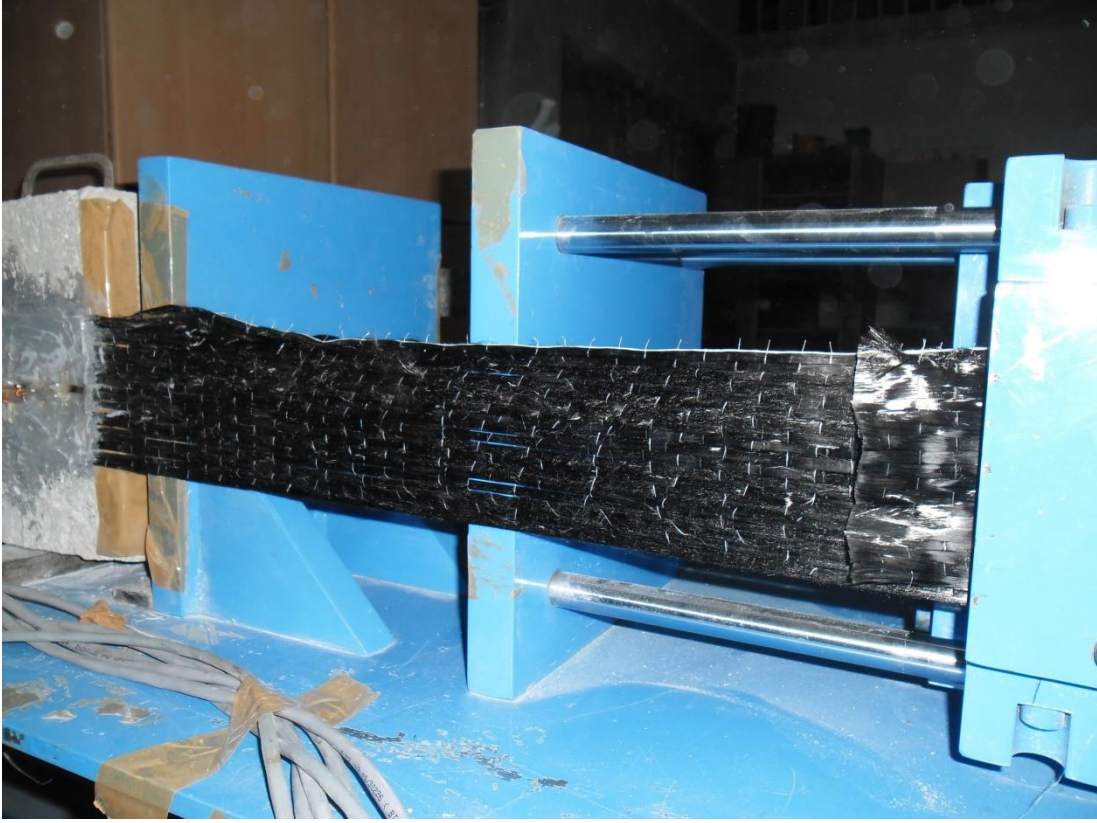
100 mm CFRP şerit genişliği ve 280 mm etkin yapışma boyu olan iki ankraj uygulaması yapılan deney elemanıdır. Deney elemanının göçmeden önceki görünüşü Resim 5.20'de verilmiştir.



Resim 5.20. Deney elemanı 100W280L2A göçmeden önceki görünüşü

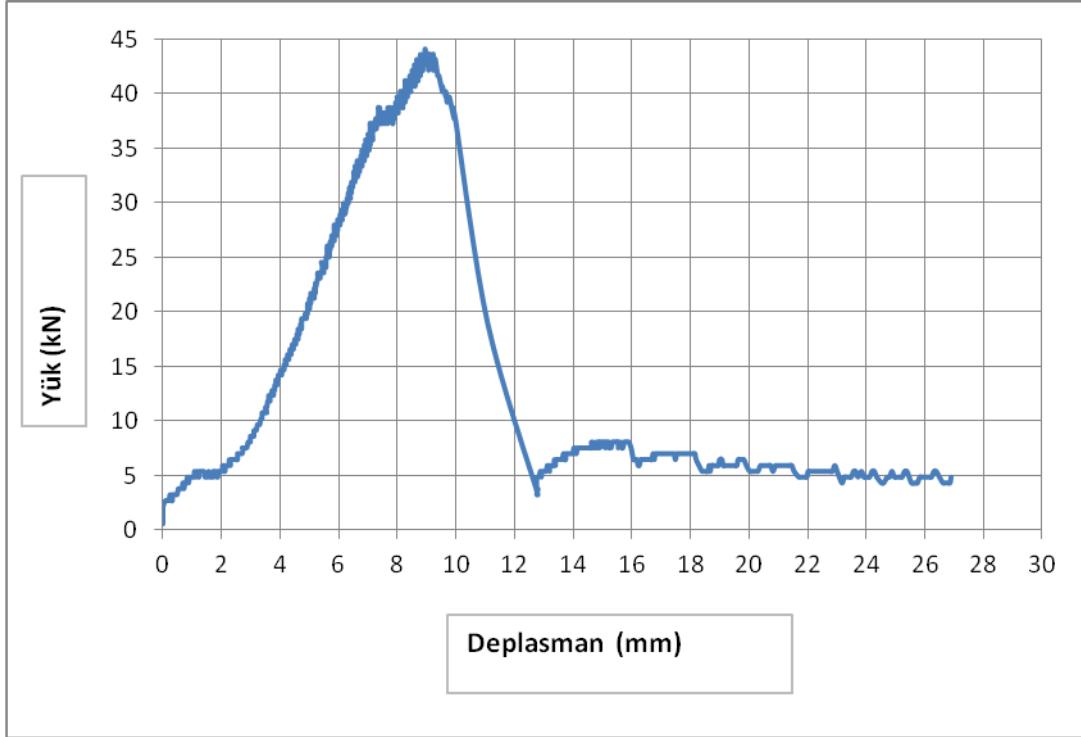
100W280L2A deney elemanında CFRP şeride uygulanan maksimum çekme kuvveti 44,12 kN ölçülmüştür. Maksimum yükteki deplasman ise 8,05 mm. olarak ölçülmüştür. Yüklemeyle birlikte CFRP şeritte yüklü kenardan sıyrılma olmuş ancak ankrajlı bölgeye geldiğinde sıyrılma durmuştur. 100W280L2A Deney elemanında göçme CFRP şeridin kopması sonucu olmuştur. Deney elemanında göçme olmasına rağmen ankraj uygulaması sayesinde 5,48 kN kalıcı yük ölçülmüştür. Bu yükte maksimum deplasman 26,89 mm olmuştur. Deney elemanının göçmeden sonraki görünüşü Resim 5.21'de verilmiştir.

Deney sırasında ölçülen yük-deplasman grafiği Şekil 5.23'de, birim deformasyon-mesafe grafiği ise Şekil 5.24.'de verilmiştir.

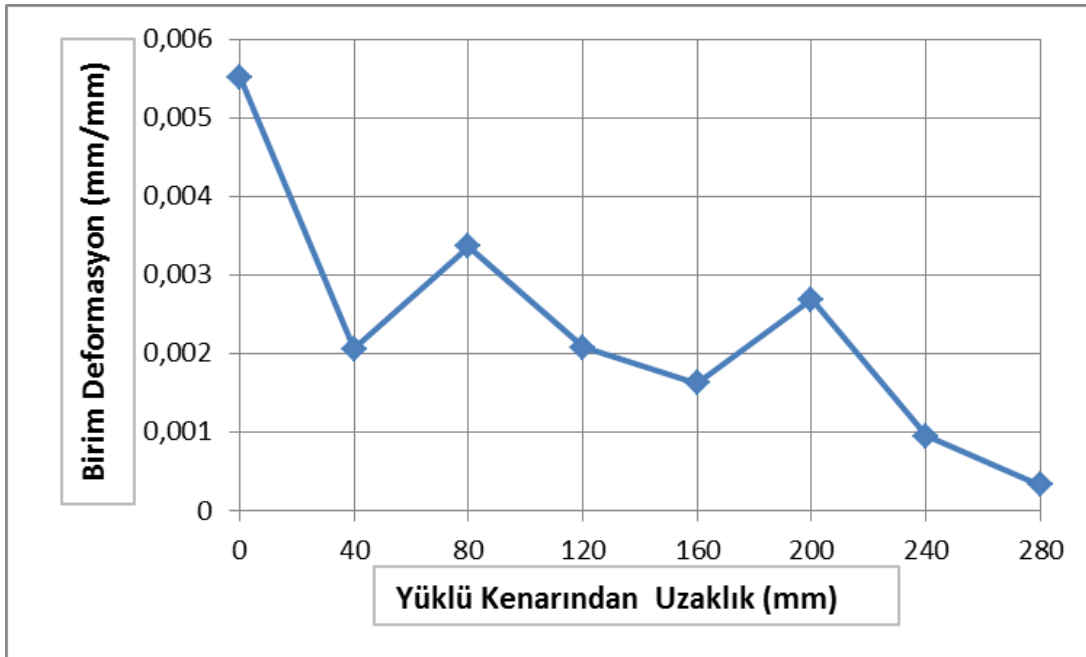


Resim 5.21. Deney elemanı 100W280L2Agöçmeden sonraki görünüşü

100W280L2A deney elemanında CFRP şeritlerdeki maksimum birim deformasyon değeri 0,0056 mm/mm ölçülmüştür. 8 adet birim deformasyon ölçerlerden maksimum yükte alınan değerler yüklü kenardan uzaklaştıkça azalmasına rağmen ankrajlara yakın birim deformasyon ölçerlerde bu değer tekrar yükselmiş 0,003 ve 0,0027 mm/mm ölçülmüştür. CFRP şerit yüzeyinde oluşan maksimum kayma gerilmesi ise 1,57 MPa olarak hesaplanmıştır.



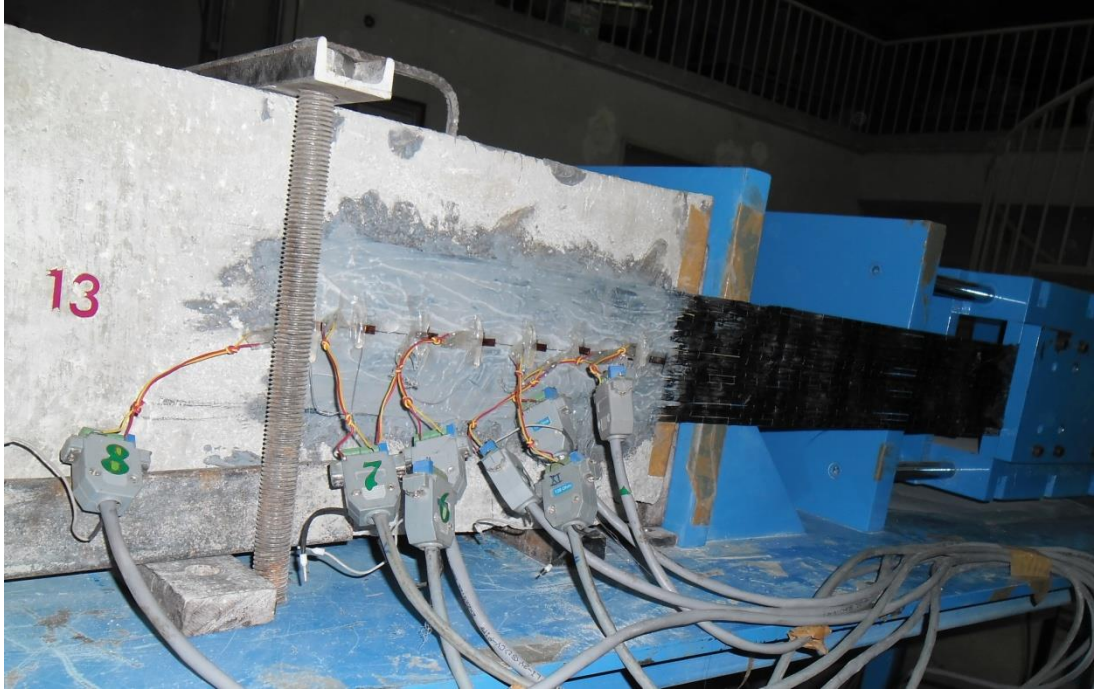
Şekil 5.23. Deney elemanı 100W280L2A yük-deplasman grafiği



Şekil 5.24. Deney elemanı 100W280L2A birim deformasyon – mesafe grafiği

5.13. Deney Elemanı 100W280L3A

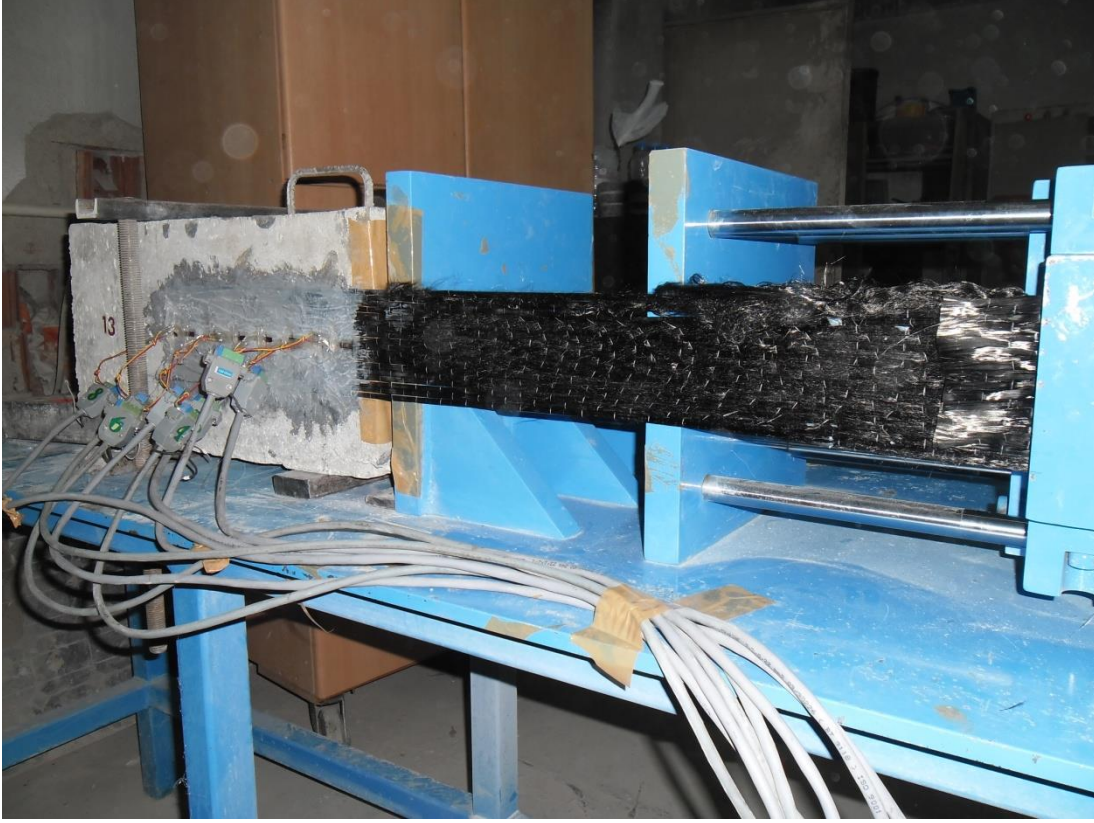
100 mm CFRP şerit genişliği ve 280 mm etkin yapışma boyu olan üç ankraj uygulaması yapılan deney elemanıdır. Deney elemanının göçmeden önceki görünüşü Resim 5.22'de verilmiştir.



Resim 5.22. Deney elemanı 100W280L3A göçmeden önceki görünüşü

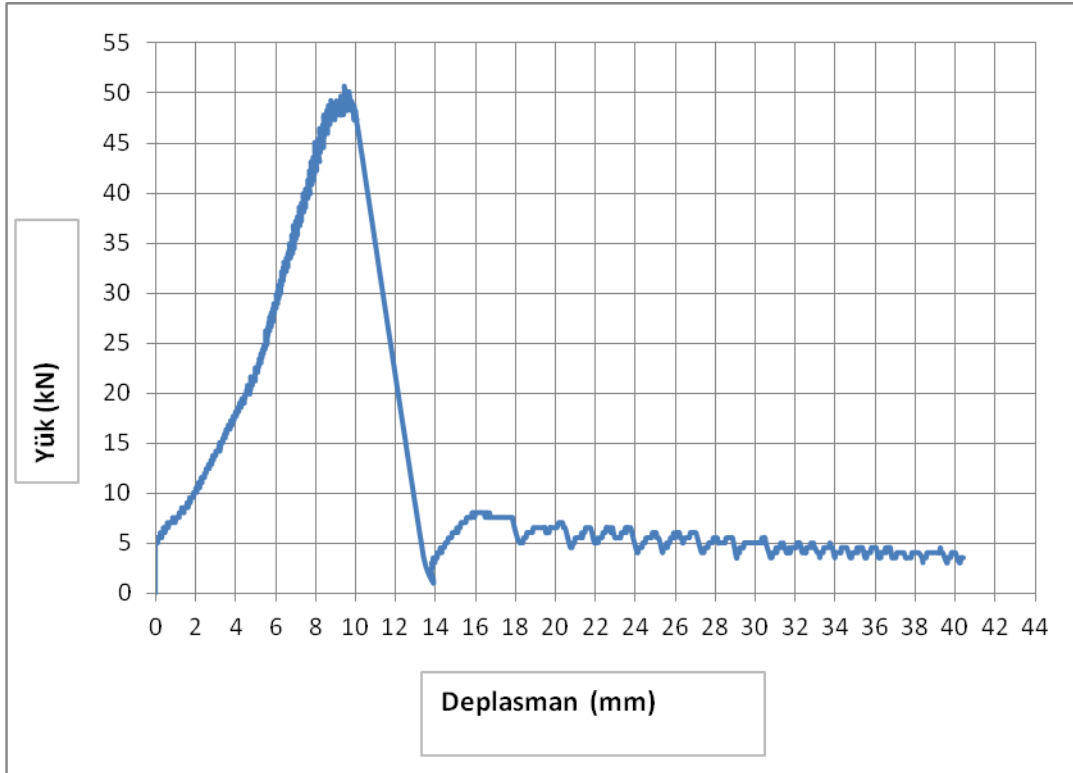
100W280L3A deney elemanında CFRP şeride uygulanan maksimum çekme kuvveti 50,67 kN ölçülmüştür. Maksimum yükteki deplasman ise 9,45 mm. olarak ölçülmüştür. Yüklemeyle birlikte CFRP şeritte yüklü kenardan sıyrılma olmuş ancak ankrajlı bölgeye geldiğinde sıyrılma durmuştur. 100W280L3A Deney elemanında göçme CFRP şeridin kopması sonucu olmuştur. Deney elemanında göçme olmasına rağmen ankraj uygulaması sayesinde 8,03 kN kalıcı yük ölçülmüştür. Bu yükte maksimum deplasman 30,25 mm olmuştur. Deney elemanının göçmeden sonraki görünüşü Resim 5.23'de verilmiştir.

Deney sırasında ölçülen yük-deplasman grafiği Şekil 5.25'de, birim deformasyon-mesafe grafiği ise Şekil 5.26.'da verilmiştir.

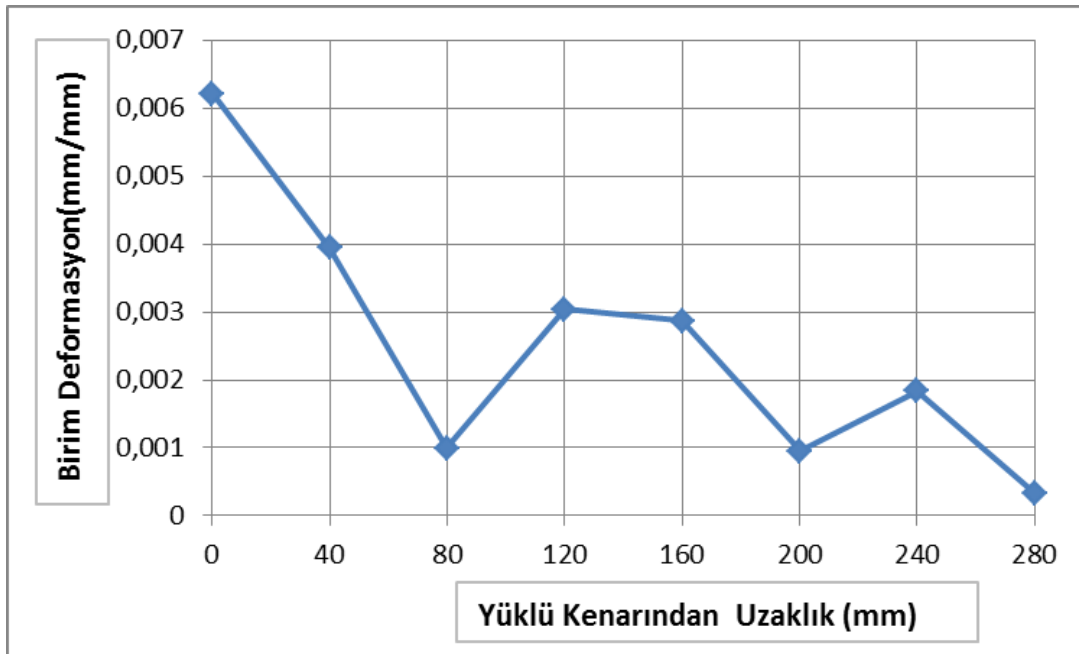


Resim 5.23. Deney elemanı 100W280L3A göçmeden sonraki görünüşü

100W280L3A deney elemanında CFRP şeritlerdeki maksimum birim deformasyon değeri 0,006 mm/mm ölçülmüştür. 8 adet birim deformasyon ölçerlerden maksimum yükte alınan değerler yüklü kenardan uzaklaştıkça azalmasına rağmen ankrajlara yakın birim deformasyon ölçerlerde bu değer tekrar yükselmiş 0,004, 0,003 ve 0,002 μm ölçülmüştür. CFRP şerit yüzeyinde oluşan maksimum kayma gerilmesi ise 1,81 MPa olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.25. Deney elemanı 100W280L3A yük-deplasman grafiği



Şekil 5.26. Deney elemanı 100W280L3A birim deformasyon – mesafe grafiği

5.14. Deney Elemanı 50W280L3A

50 mm CFRP şerit genişliği ve 280 mm etkin yapışma boyu olan üç ankraj uygulaması yapılan deney elemanıdır. Deney elemanının göçmeden önceki görünüşü Resim 5.24'de verilmiştir.



Resim 5.24. Deney elemanı 50W280L3A göçmeden önceki görünüşü

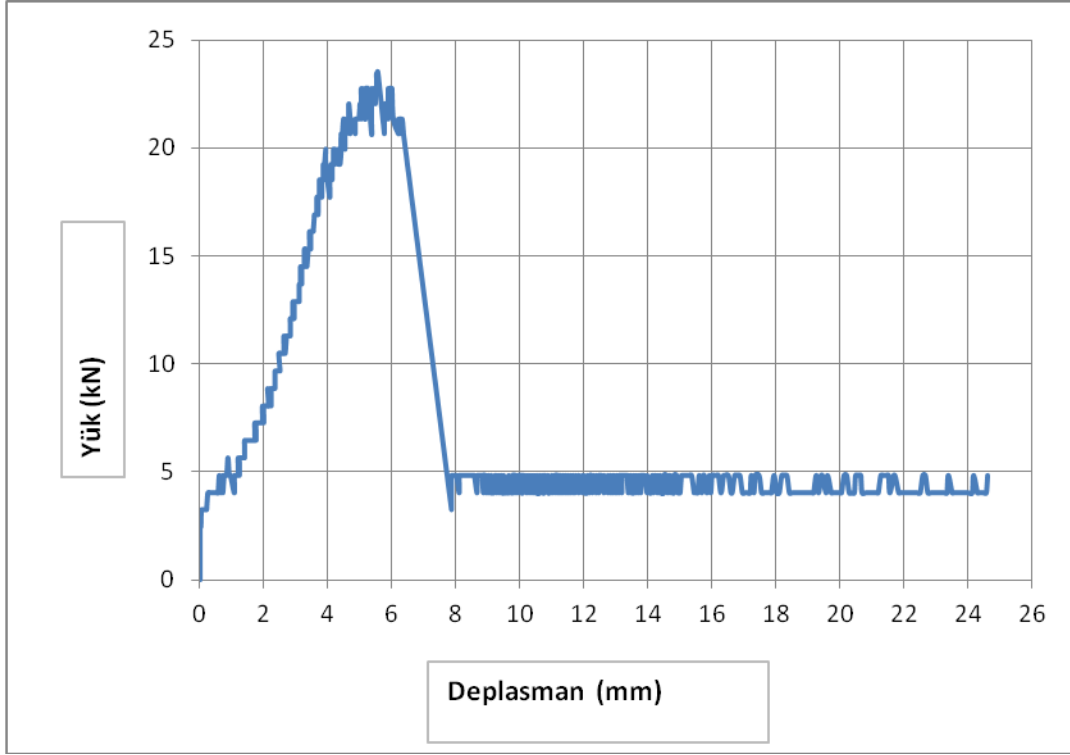
50W280L3A deney elemanında CFRP şeride uygulanan maksimum çekme kuvveti 23,45 kN ölçülmüştür. Maksimum yükteki deplasman ise 5,52 mm. olarak ölçülmüştür. Yüklemeyle birlikte CFRP şeritte yüklü kenardan sıyrılma olmuş ancak ankrajlı bölgeye geldiğinde sıyrılma durmuştur. 100W280L3A Deney elemanında göçme CFRP şeridin kopması sonucu olmuştur. Deney elemanında göçme olmasına rağmen ankraj uygulaması sayesinde 4,83 kN kalıcı yük ölçülmüştür. Bu yükte maksimum deplasman 24,63 mm olmuştur. Deney elemanının göçmeden sonraki görünüşü Resim 5.25'de verilmiştir.

Deney sırasında ölçülen yük-deplasman grafiği Şekil 5.27'de, birim deformasyon-mesafe grafiği ise Şekil 5.28.'de verilmiştir.

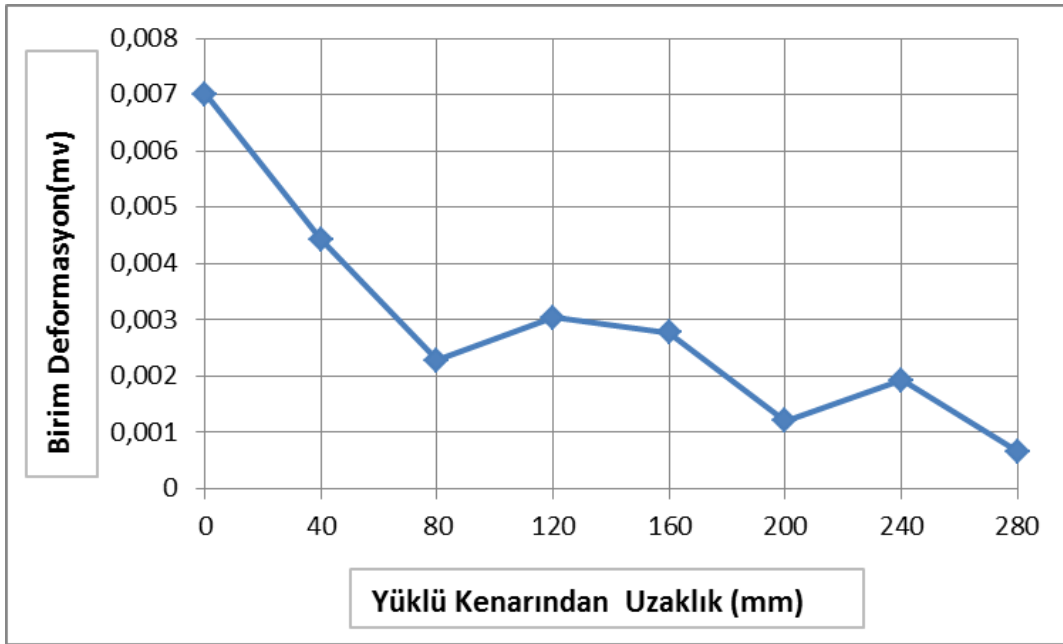


Resim 5.25. Deney elemanı 50W280L3Agöçmeden sonraki görünüşü

50W280L3A deney elemanında CFRP şeritlerdeki maksimum birim deformasyon değeri 0,007 mm/mm ölçülmüştür. 8 adet birim deformasyon ölçerlerden maksimum yükte alınan değerler yüklü kenardan uzaklaştıkça azalmasına rağmen ankrajlara yakın birim deformasyon ölçerlerde bu değer tekrar yükselmiş 0,004, 0,003 ve 0,002 mm/mm ölçülmüştür. CFRP şerit yüzeyinde oluşan maksimum kayma gerilmesi ise 1,68 MPa olarak hesaplanmıştır.



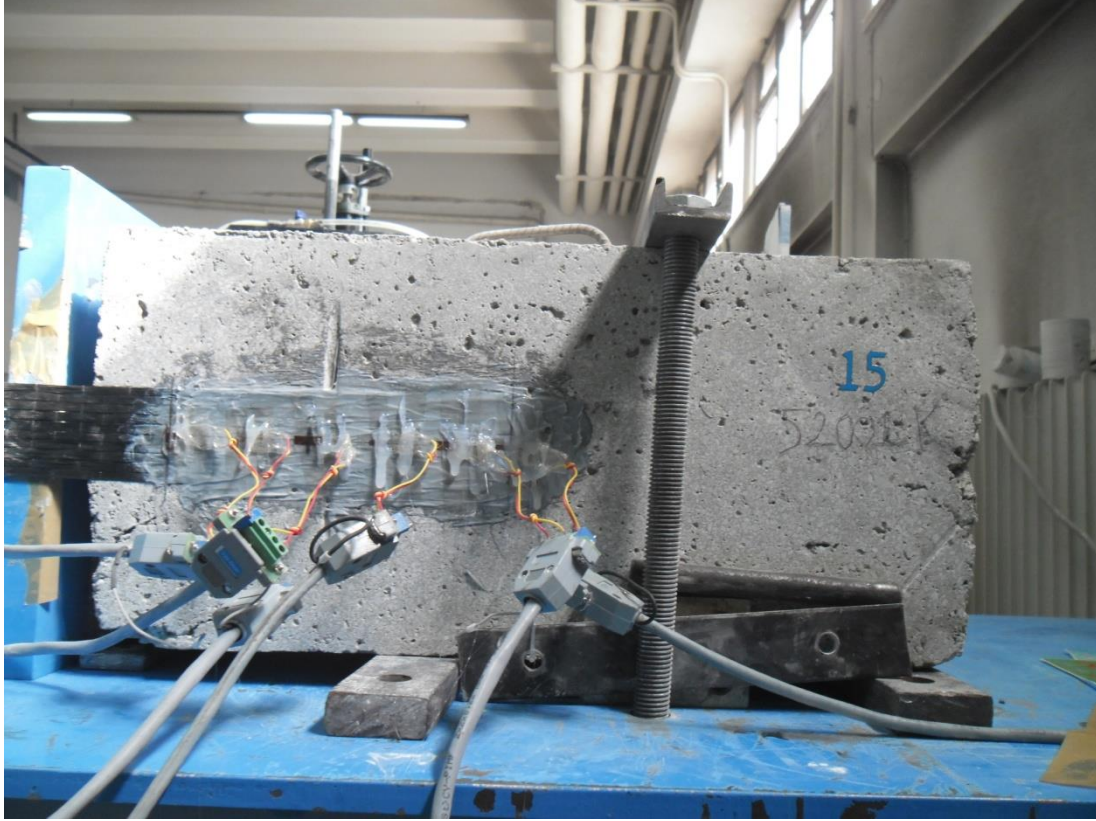
Şekil 5.27. Deney elemanı 50W280L3A yük-deplasman grafiği



Şekil 5.28. Deney elemanı 50W280L3A birim deformasyon – mesafe grafiği

5.15. Deney Elemanı 50W200L1F

50 mm CFRP şerit genişliği ve 200 mm etkin yapışma boyu olan bir eğilme çatlaklı bulunan deney elemanıdır. Deney elemanının göçmeden önceki görünüşü Resim 5.26'da verilmiştir.



Resim 5.26. Deney elemanı 50W200L1F göçmeden önceki görünüşü

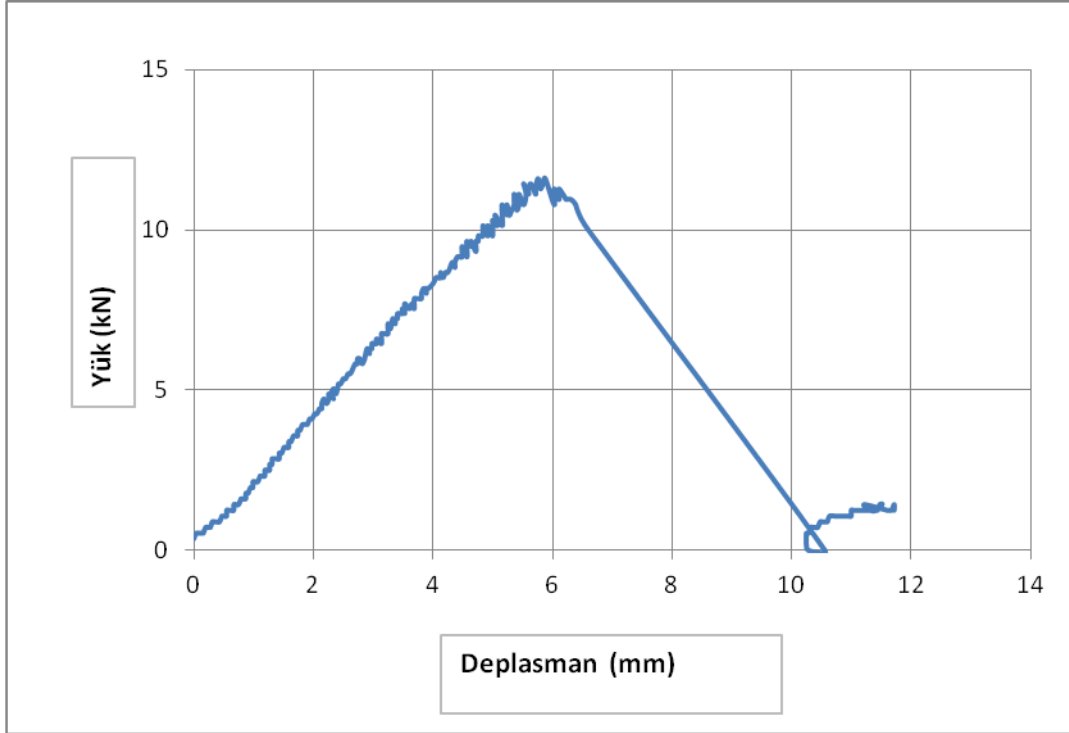
50W200L1F deney elemanında CFRP şeride uygulanan maksimum çekme kuvveti 11,61 kN ölçülmüştür. Maksimum yükteki deplasman ise 5,88 mm. olarak ölçülmüştür. 50W200L1F Deney elemanında göçme CFRP şeridin yüzeyden sıyrılması sonucu olmuştur. Deney elemanının göçmeden sonraki görünüşü Resim 5.27'de verilmiştir.

Deney sırasında ölçülen yük-deplasman grafiği Şekil 5.29'da, birim deformasyon-mesafe grafiği ise Şekil 5.30.'da verilmiştir.

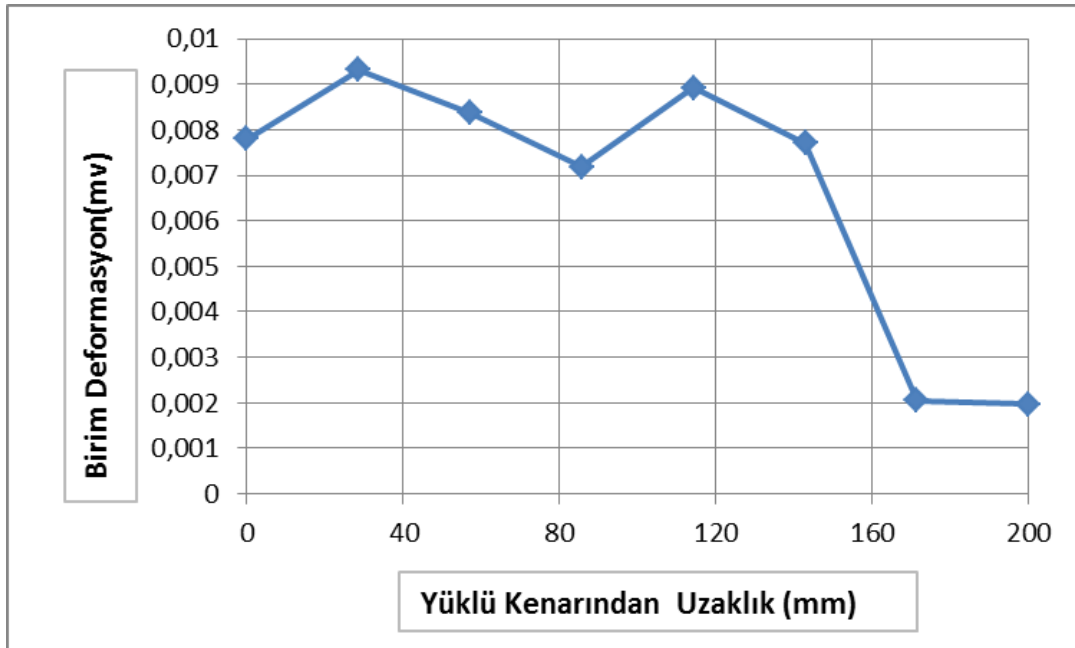


Resim 5.27. Deney Elemanı 50W200L1F göçmeden sonraki görünüşü

50W200L1F deney elemanında CFRP şeritlerdeki maksimum birim deformasyon değeri 0,0093 mm/mm ölçülmüştür. 6 adet birim deformasyon ölçerlerden maksimum yükte alınan değerler yüklü kenardan uzaklaştıkça azalmasına rağmen eğilme çatlağına en yakın birim deformasyon ölçerde bu değer tekrar yükselmiş ve 0,0089 mm/mm ölçülmüştür. CFRP şerit yüzeyinde oluşan maksimum kayma gerilmesi ise 1,16 MPa olarak hesaplanmıştır.



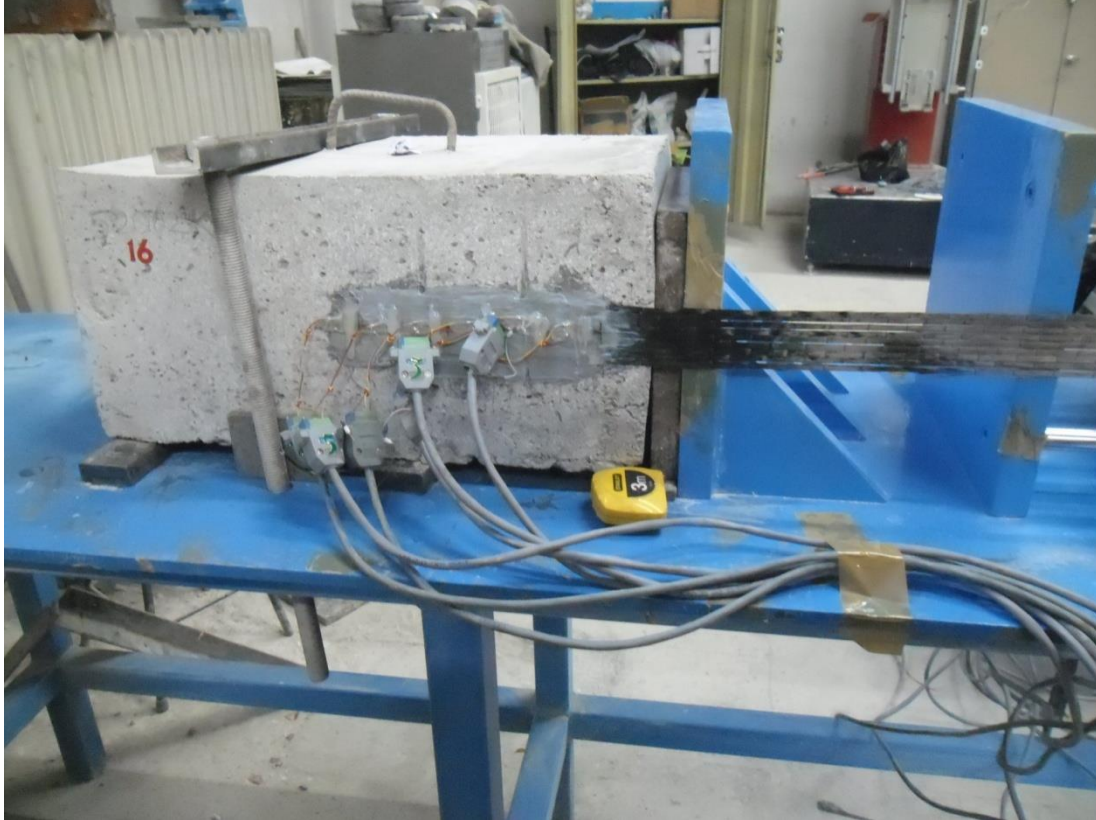
Şekil 5.29. Deney elemanı 50W200L1F yük-deplasman grafiği



Şekil 5.30. Deney elemanı 50W200L1F birim deformasyon – mesafe grafiği

5.16. Deney Elemanı 50W200L2F

50 mm CFRP şerit genişliği ve 200 mm etkin yapışma boyu olan iki eğilme çatlaklı bulunan deney elemanıdır. Deney elemanının göçmeden önceki görünüşü Resim 5.28'de verilmiştir.



Resim 5.28. Deney elemanı 50W200L2F göçmeden önceki görünüşü

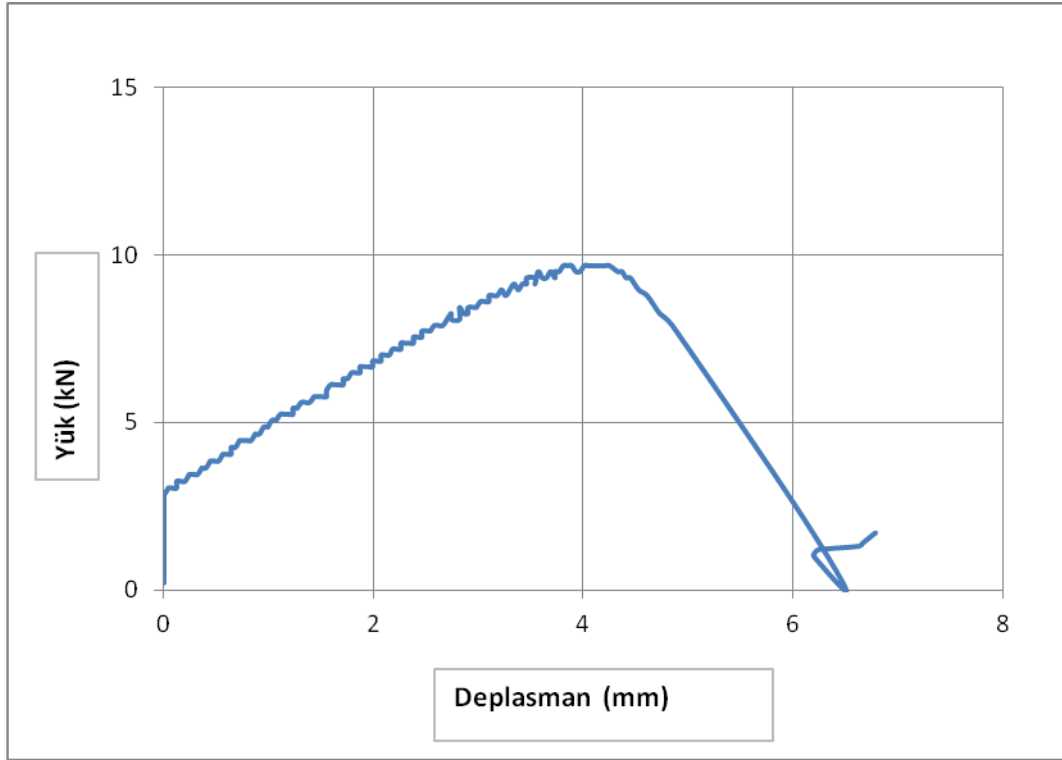
50W200L2F deney elemanında CFRP şeride uygulanan maksimum çekme kuvveti 9,67 kN ölçülmüştür. Maksimum yükteki deplasman ise 4,25 mm. olarak ölçülmüştür. 50W200L2F Deney elemanında göçme CFRP şeridin yüzeyden sıyrılması sonucu olmuştur. Deney elemanının göçmeden sonraki görünüşü Resim 5.29'da verilmiştir.

Deney sırasında ölçülen yük-deplasman grafiği Şekil 5.31'de, birim deformasyon-mesafe grafiği ise Şekil 5.32.'de verilmiştir.

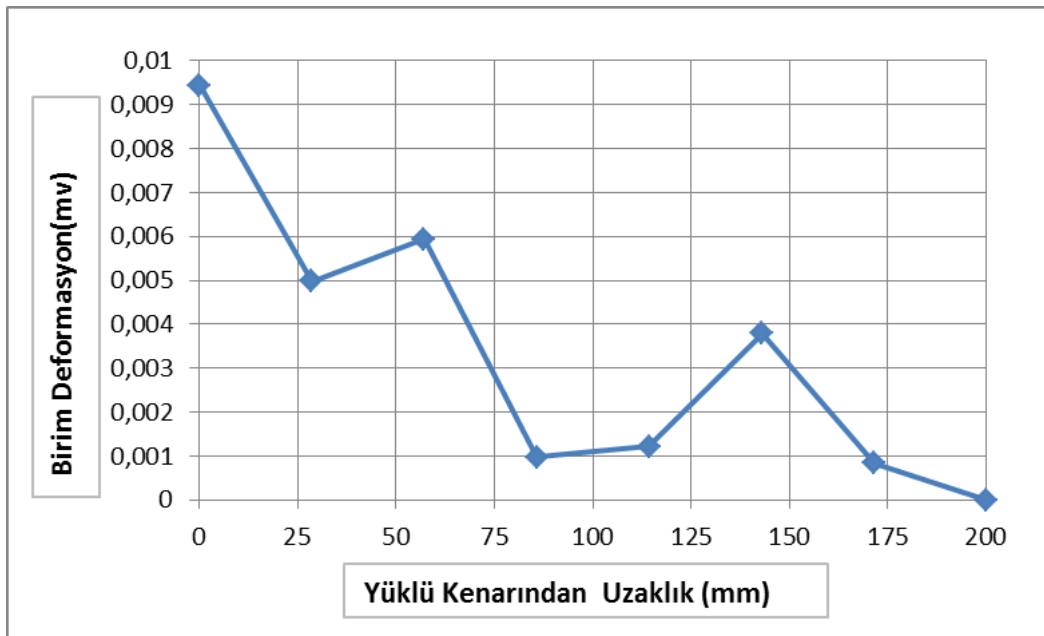


Resim 5.29. Deney elemanı 50W200L2F göçmeden sonraki görünüşü

50W200L2F deney elemanında CFRP şeritlerdeki maksimum birim deformasyon değeri 0,0094 mm/mm ölçülmüştür. 8 adet birim deformasyon ölçerlerden maksimum yükte alınan değerler yüklü kenardan uzaklaştıkça azalmasına rağmen eğilme çatlaklarına en yakın birim deformasyon ölçerlerde bu değer tekrar yükselmiş, 0,0059 ve 0,0038 μ m ölçülmüştür. CFRP şerit yüzeyinde oluşan maksimum kayma gerilmesi ise 0,967 MPa olarak hesaplanmıştır.



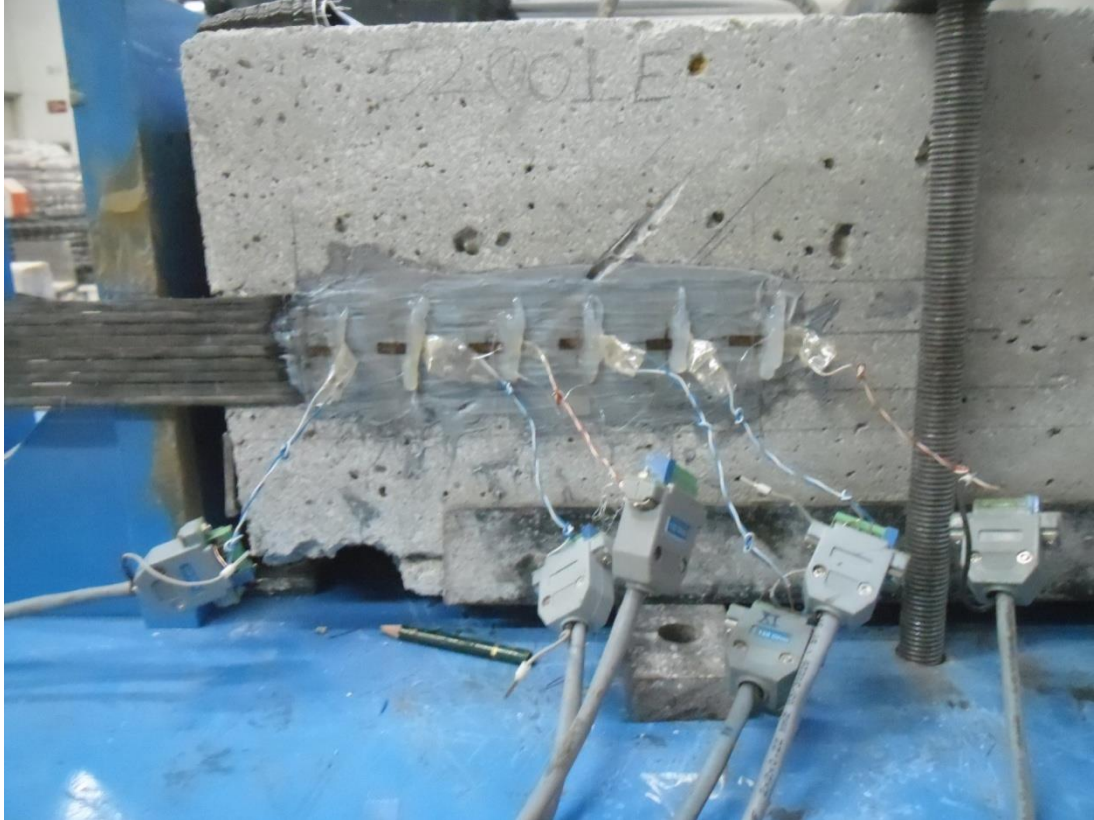
Şekil 5.31. Deney elemanı 50W200L2F yük-deplasman grafiği



Şekil 5.32. Deney elemanı 50W200L2F birim deformasyon – mesafe grafiği

5.17. Deney Elemanı 50W200L1S

50 mm CFRP şerit genişliği ve 200 mm etkin yapışma boyu olan bir kesme çatlığı bulunan deney elemanıdır. Deney elemanının göçmeden önceki görünüşü Resim 5.30'da verilmiştir.



Resim 5.30. Deney elemanı 50W200L1S göçmeden önceki görünüşü

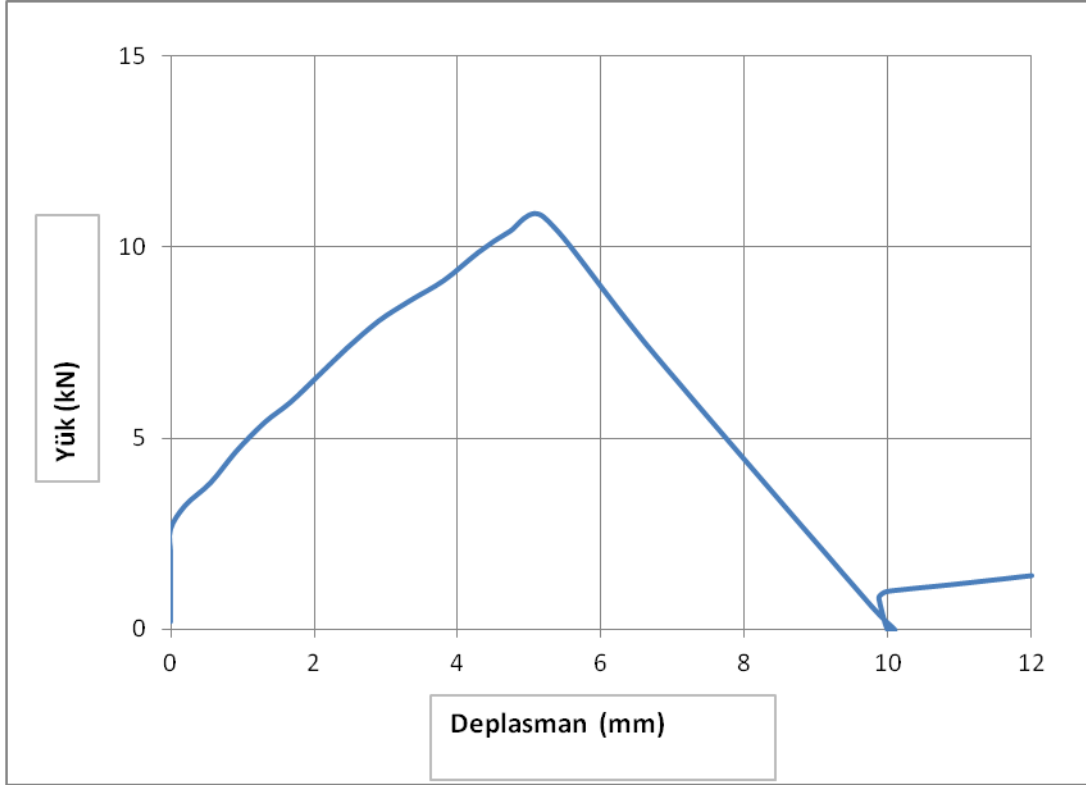
50W200L1S deney elemanında CFRP şeride uygulanan maksimum çekme kuvveti 10,79 kN ölçülmüştür. Maksimum yükteki deplasman ise 5,20 mm. olarak ölçülmüştür. 50W200L1S Deney elemanında göçme CFRP şeridin yüzeyden sıyrılması sonucu olmuştur. Deney elemanının göçmeden sonraki görünüşü Resim 5.31'de verilmiştir.

Deney sırasında ölçülen yük-deplasman grafiği Şekil 5.33'de, birim deformasyon-mesafe grafiği ise Şekil 5.34.'de verilmiştir.

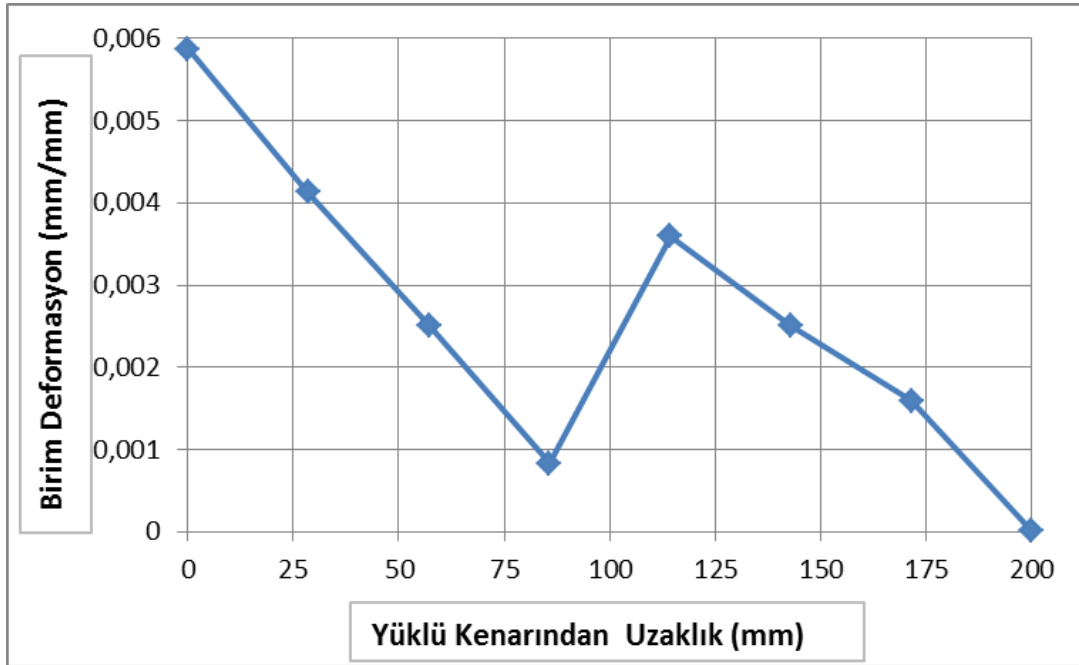


Resim 5.31. Deney elemanı 50W200L1S göçmeden sonraki görünüşü

50W200L1F deney elemanında CFRP şeritlerdeki maksimum birim deformasyon değeri 0,0059 mm/mm ölçülmüştür. 8 adet birim deformasyon ölçerlerden maksimum yükte alınan değerler yüklü kenardan uzaklaştıkça azalmasına rağmen eğilme çatlağına en yakın birim deformasyon ölçerde bu değer tekrar yükselmiş ve 0,0036 mm/mm ölçülmüştür. CFRP şerit yüzeyinde oluşan maksimum kayma gerilmesi ise 1,08 MPa olarak hesaplanmıştır.



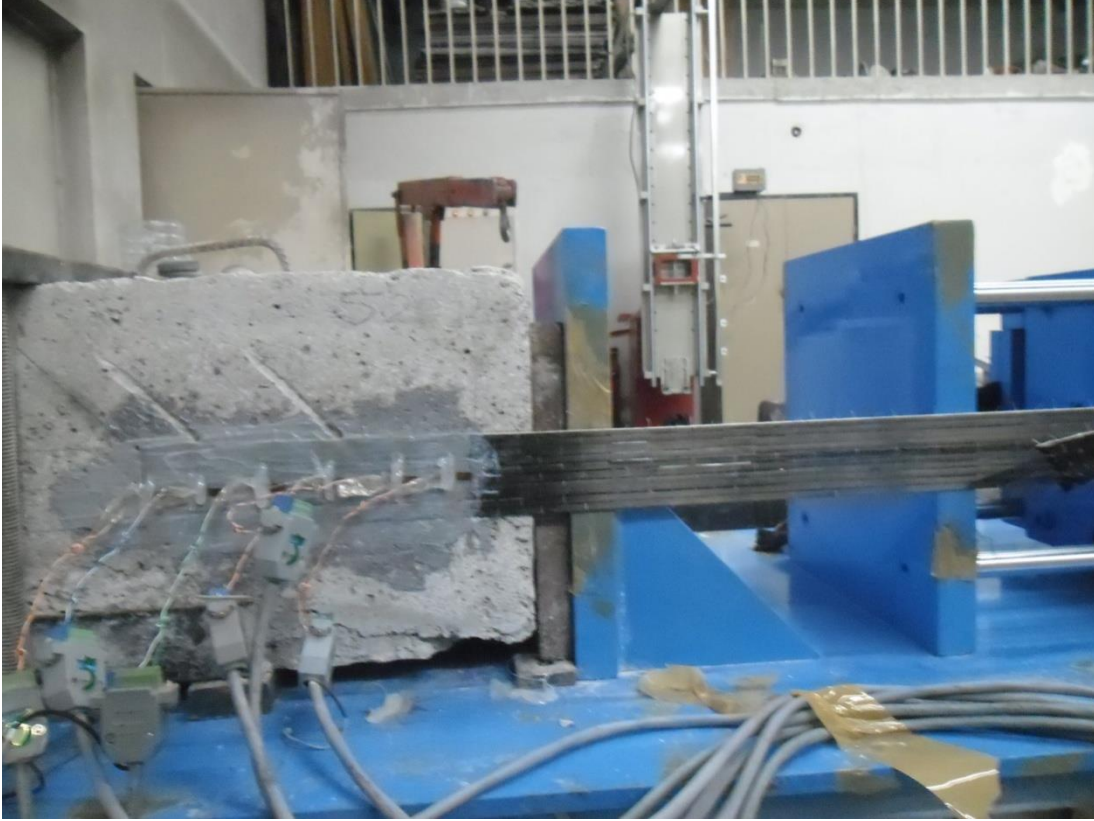
Şekil 5.33. Deney elemanı 50W200L1 S yük-deplasman grafiği



Şekil 5.34. Deney elemanı 50W200L1S birim deformasyon – mesafe grafiği

5.18. Deney Elemanı 50W200L2S

50 mm CFRP şerit genişliği ve 200 mm etkin yapışma boyu olan iki kesme çatlığı bulunan deney elemanıdır. Deney elemanının göçmeden önceki görünüşü Resim 5.32'de verilmiştir.



Resim 5.32. Deney elemanı 50W200L2S göçmeden önceki görünüşü

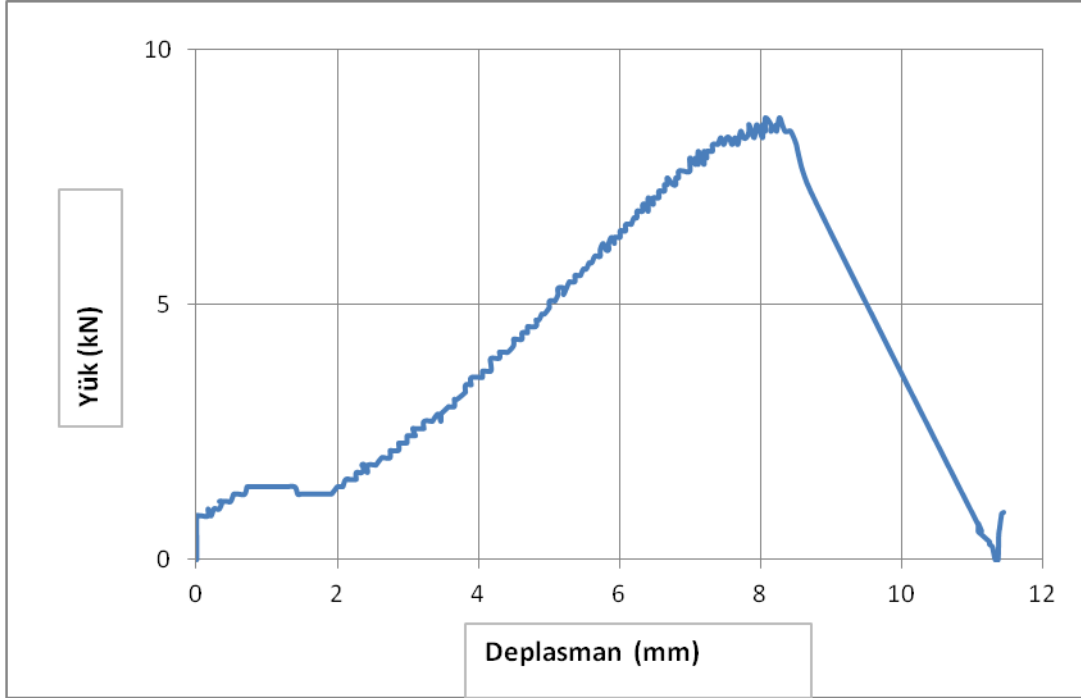
50W200L2S deney elemanında CFRP şeride uygulanan maksimum çekme kuvveti 8,66 kN ölçülmüştür. Maksimum yükteki deplasman ise 8,06 mm olarak ölçülmüştür. 50W200L2S Deney elemanında göçme CFRP şeridin yüzeyden sıyrılması sonucu olmuştur. Deney elemanının göçmeden sonraki görünüşü Resim 5.33'de verilmiştir.

Deney sırasında ölçülen yük-deplasman grafiği Şekil 5.35'de, birim deformasyon-mesafe grafiği ise Şekil 5.36.'da verilmiştir.

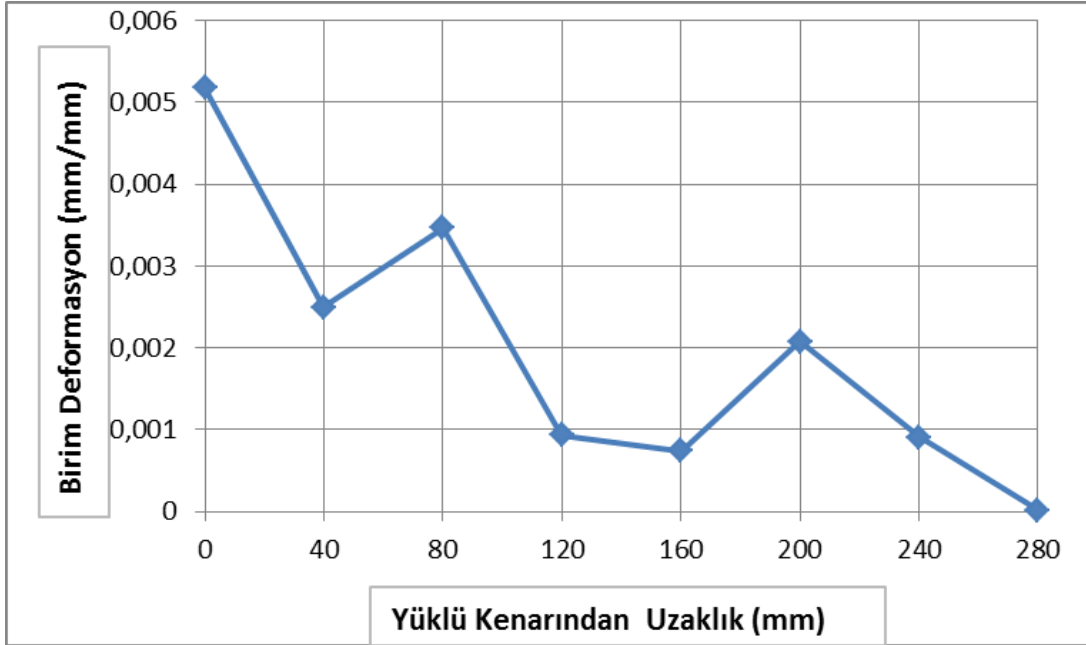


Resim 5.33. Deney elemanı 50W200L2S göçmeden sonraki görünüşü

50W200L2S deney elemanında CFRP şeritlerdeki maksimum birim deformasyon değeri 0,0052 mm/mm ölçülmüştür. 8 adet birim deformasyon ölçerlerden maksimum yükte alınan değerler yüklü kenardan uzaklaştıkça azalmasına rağmen kesme çatlaklarına en yakın birim deformasyon ölçerlerde bu değer tekrar yükselmiş, 0,0035 ve 0,0021 mm/mm ölçülmüştür. CFRP şerit yüzeyinde oluşan maksimum kayma gerilmesi ise 0,866 MPa olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.35. Deney elemanı 50W200L2S Yük-Deplasman Grafiği



Şekil 5.36. Deney elemanı 50W200L2S Birim Deformasyon – Mesafe grafiği

5.19. Deney Elemanı 50W280L1F

50 mm CFRP şerit genişliği ve 280 mm etkin yapışma boyu olan bir eğilme çatlaklı bulunan deney elemanıdır. Deney elemanının göçmeden önceki görünüşü Resim 5.34'de verilmiştir.



Resim 5.34. Deney elemanı 50W280L1F göçmeden önceki görünüşü

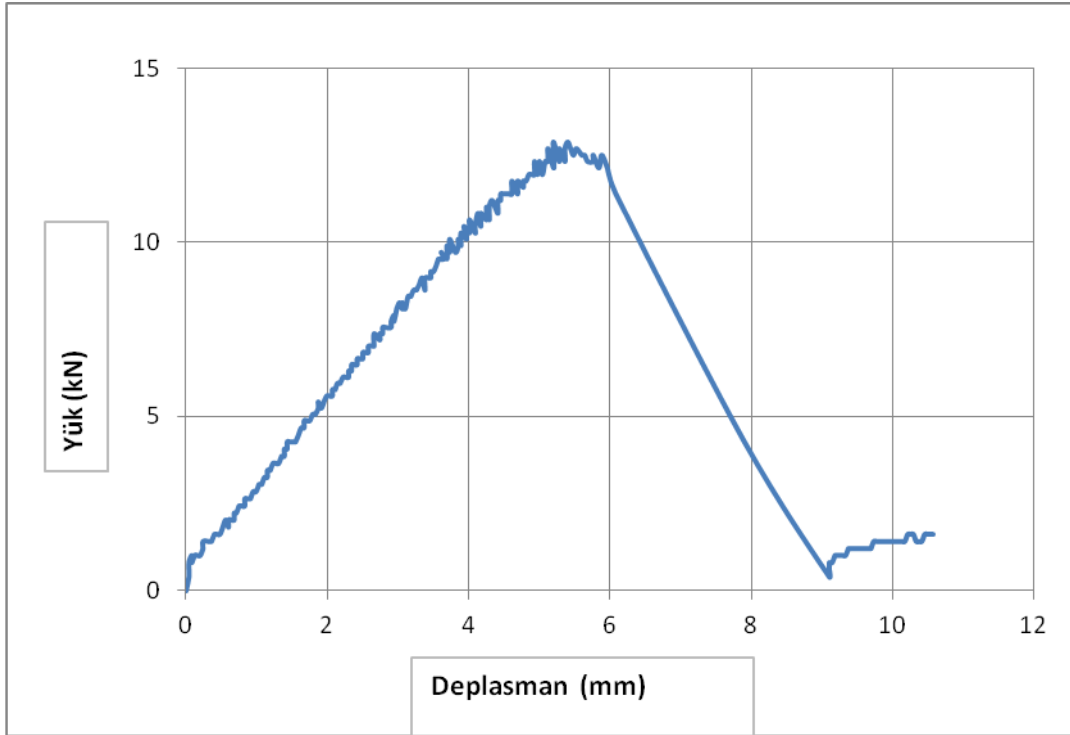
50W280L1F deney elemanında CFRP şeride uygulanan maksimum çekme kuvveti 12,88 kN ölçülmüştür. Maksimum yükteki deplasman ise 5,40 mm. olarak ölçülmüştür. 50W280L1F Deney elemanında göçme CFRP şeridin yüzeyden sıyrılması sonucu olmuştur. Deney elemanının göçmeden sonraki görünüşü Resim 5.35'de verilmiştir.

Deney sırasında ölçülen yük-deplasman grafiği Şekil 5.37'de, birim deformasyon-mesafe grafiği ise Şekil 5.38.'de verilmiştir.

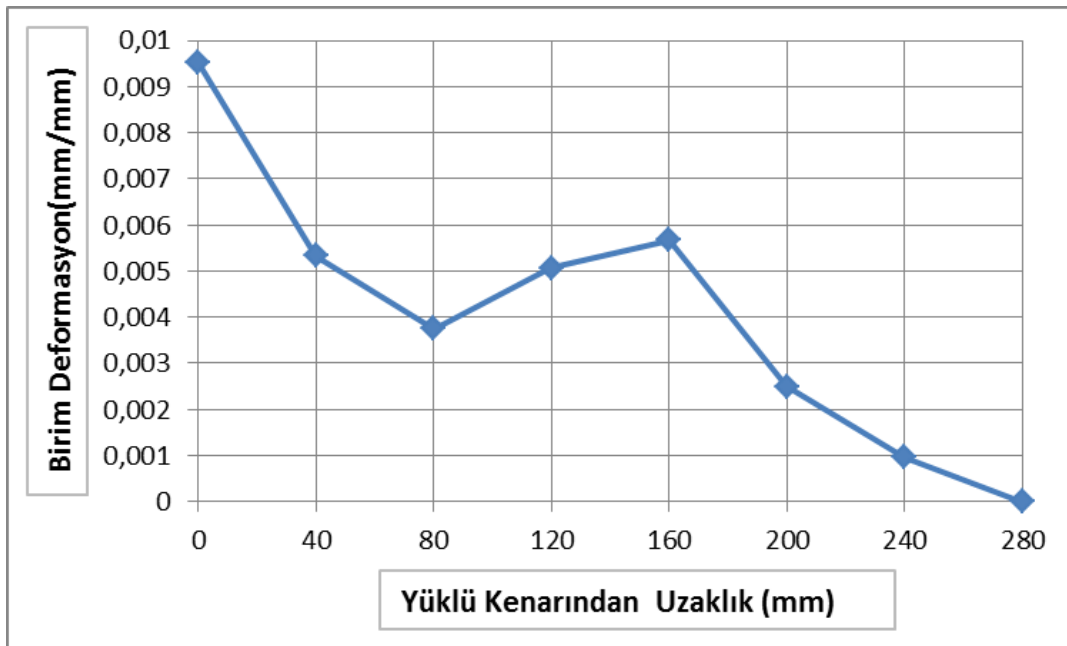


Resim 5.35. Deney elemanı 50W280L1F göçmeden sonraki görünüşü

50W280L1F deney elemanında CFRP şeritlerdeki maksimum birim deformasyon değeri 0,0096 mm/mm ölçülmüştür. 8 adet birim deformasyon ölçerlerden maksimum yükte alınan değerler yüklü kenardan uzaklaştıkça azalmasına rağmen eğilme çatlağına en yakın birim deformasyon ölçerde bu değer tekrar yükselmiş ve 0,0051 mm/mm ölçülmüştür. CFRP şerit yüzeyinde oluşan maksimum kayma gerilmesi ise 0,92 MPa olarak hesaplanmıştır.



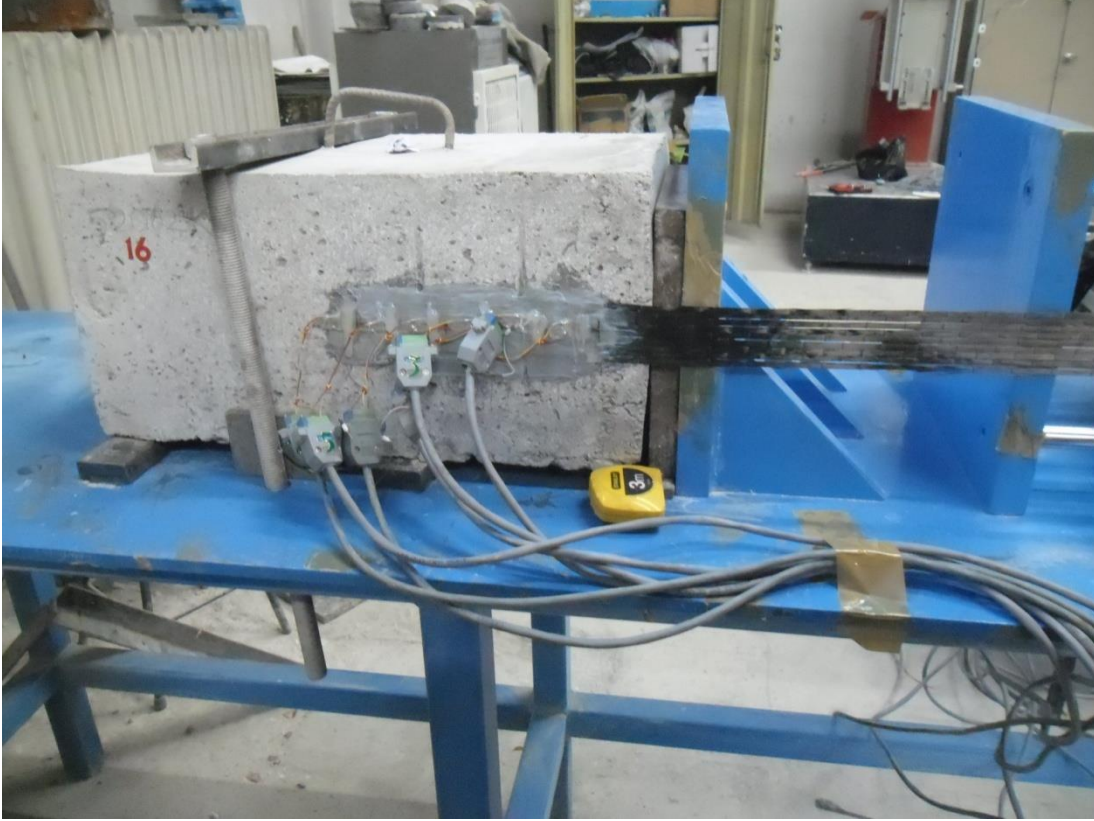
Şekil 5.37. Deney elemanı 50W280L1F yük-deplasman grafiği



Şekil 5.38. Deney elemanı 50W280L1F birim deformasyon – mesafe grafiği

5.20. Deney Elemanı 50W280L2F

50 mm CFRP şerit genişliği ve 200 mm etkin yapışma boyu olan iki eğilme çatlaklı bulunan deney elemanıdır. Deney elemanının göçmeden önceki görünüşü Resim 5.36'da verilmiştir.



Resim 5.36. Deney elemanı 50W280L2F göçmeden önceki görünüşü

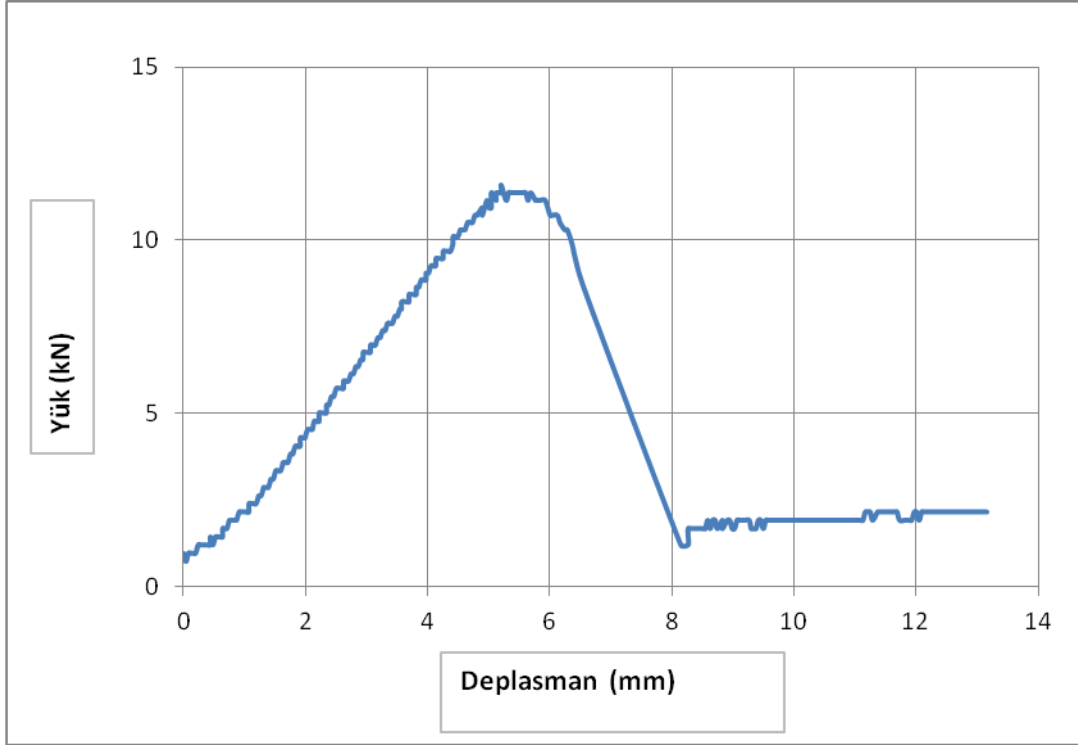
50W280L2F deney elemanında CFRP şeride uygulanan maksimum çekme kuvveti 11,58 kN ölçülmüştür. Maksimum yükteki deplasman ise 5,20 mm. olarak ölçülmüştür. 50W280L2F Deney elemanında göçme CFRP şeridin yüzeyden sıyrılması sonucu olmuştur. Deney elemanının göçmeden sonraki görünüşü Resim 5.37'de verilmiştir.

Deney sırasında ölçülen yük-deplasman grafiği Şekil 5.39'da, birim deformasyon-mesafe grafiği ise Şekil 5.40.'da verilmiştir.

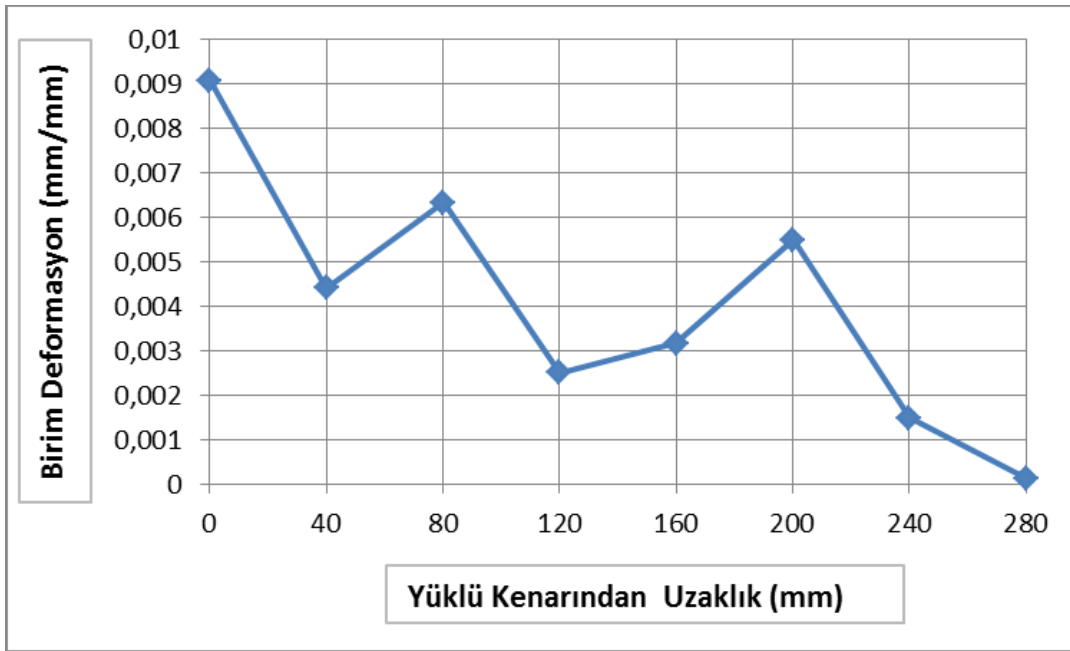


Resim 5.37. Deney elemanı 50W280L2F göçmeden sonraki görünüşü

50W280L2F deney elemanında CFRP şeritlerdeki maksimum birim deformasyon değeri 0,0091 mm/mm ölçülmüştür. 8 adet birim deformasyon ölçerlerden maksimum yükte alınan değerler yüklü kenardan uzaklaştıkça azalmasına rağmen eğilme çatlaklarına en yakın birim deformasyon ölçerlerde bu değer tekrar yükselmiş, 0,0063 ve 0,0055 mm/mm ölçülmüştür. CFRP şerit yüzeyinde oluşan maksimum kayma gerilmesi ise 0,826 MPa olarak hesaplanmıştır.



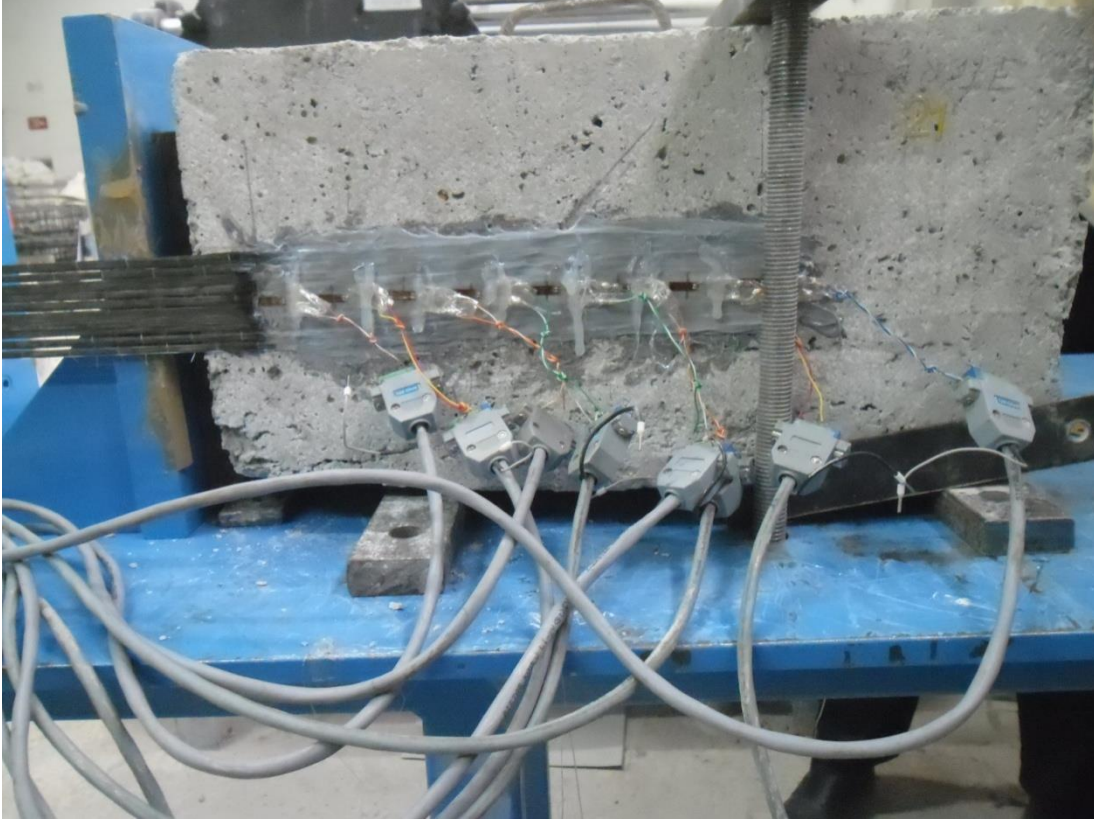
Şekil 5.39. Deney elemanı 50W280L2F yük-deplasman grafiği



Şekil 5.40. Deney elemanı 50W280L2F birim deformasyon – mesafe grafiği

5.21. Deney Elemanı 50W280L1S

50 mm CFRP şerit genişliği ve 200 mm etkin yapışma boyu olan bir kesme çatlığı bulunan deney elemanıdır. Deney elemanının göçmeden önceki görünüşü Resim 5.38'de verilmiştir.



Resim 5.38. Deney elemanı 50W280L1S göçmeden önceki görünüşü

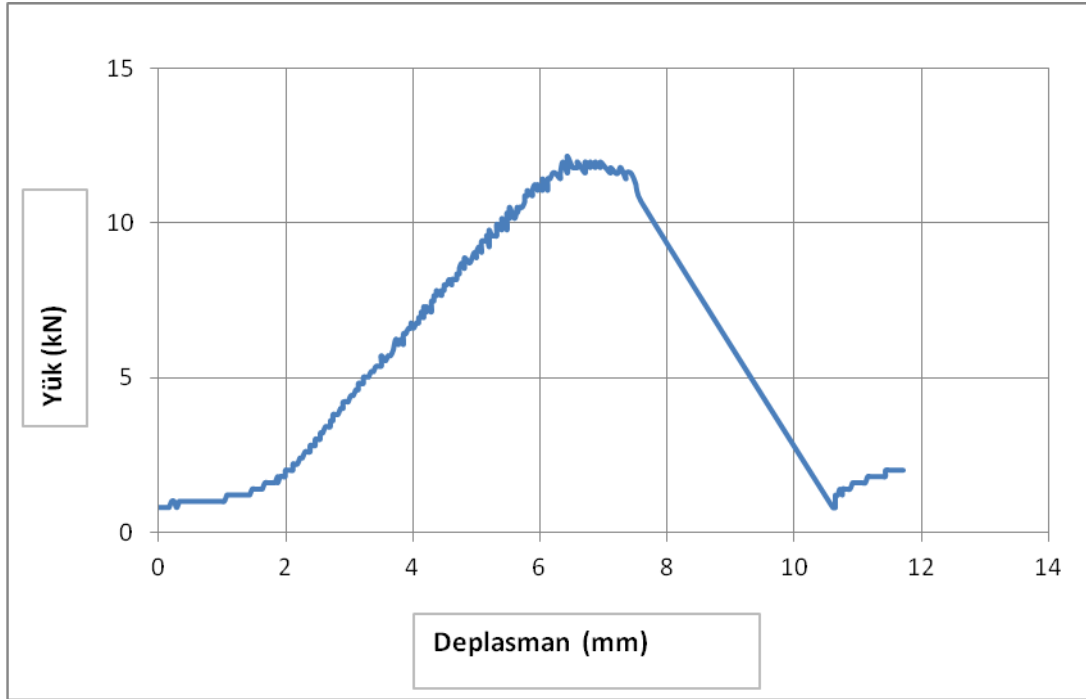
50W280L1S deney elemanında CFRP şeride uygulanan maksimum çekme kuvveti 12,15 kN ölçülmüştür. Maksimum yükteki deplasman ise 6,43 mm. olarak ölçülmüştür. 50W280L1S Deney elemanında göçme CFRP şeridin yüzeyden sıyrılması sonucu olmuştur. Deney elemanının göçmeden sonraki görünüşü Resim 5.39'da verilmiştir.

Deney sırasında ölçülen yük-deplasman grafiği Şekil 5.41'de, birim deformasyon-mesafe grafiği ise Şekil 5.42.'de verilmiştir.

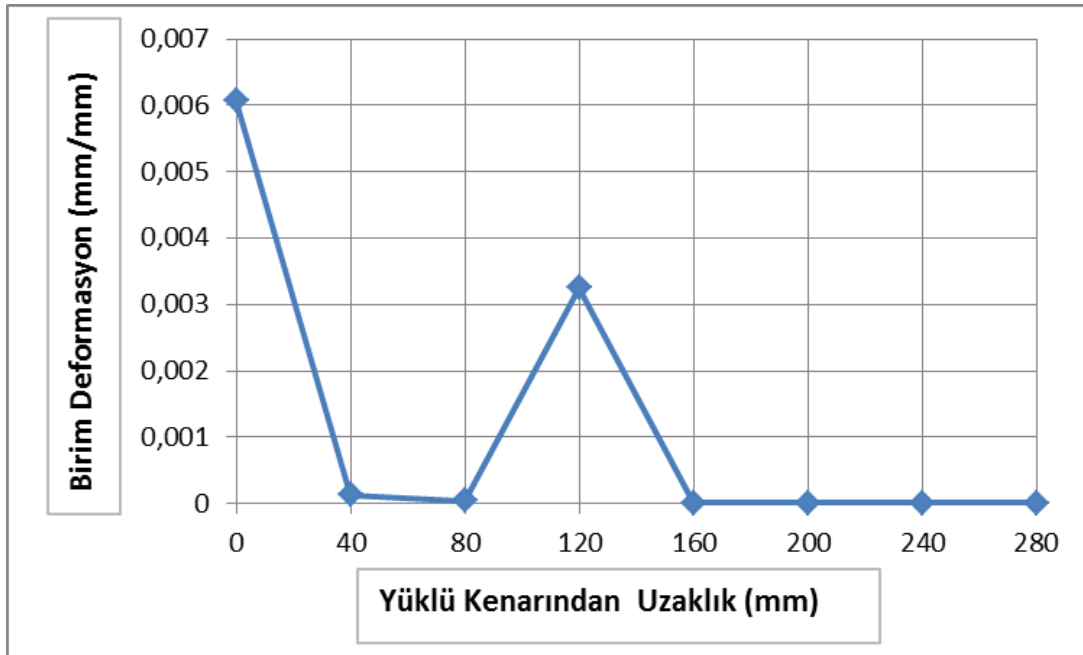


Resim 5.39. Deney elemanı 50W280L1S göçmeden sonraki görünüşü

50W280L1S deney elemanında CFRP şeritlerdeki maksimum birim deformasyon değeri 0,0061 mm/mm ölçülmüştür. 8 adet birim deformasyon ölçerlerden maksimum yükte alınan değerler yüklü kenardan uzaklaştıkça azalmasına rağmen kesme çatlağına en yakın birim deformasyon ölçerde bu değer tekrar yükselmiş ve 0,0033 mm/mm ölçülmüştür. CFRP şerit yüzeyinde oluşan maksimum kayma gerilmesi ise 0,867 MPa olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.41. Deney elemanı 50W280L1S yük-deplasman grafiği



Şekil 5.42. Deney elemanı 50W280L1S birim deformasyon – mesafe grafiği

5.22. Deney Elemanı 50W280L2S

50 mm CFRP şerit genişliği ve 280 mm etkin yapışma boyu olan iki kesme çatlığı bulunan deney elemanıdır. Deney elemanının göçmeden önceki görünüşü Resim 5.40'da verilmiştir.



Resim 5.40. Deney elemanı 50W280L2S göçmeden önceki görünüşü

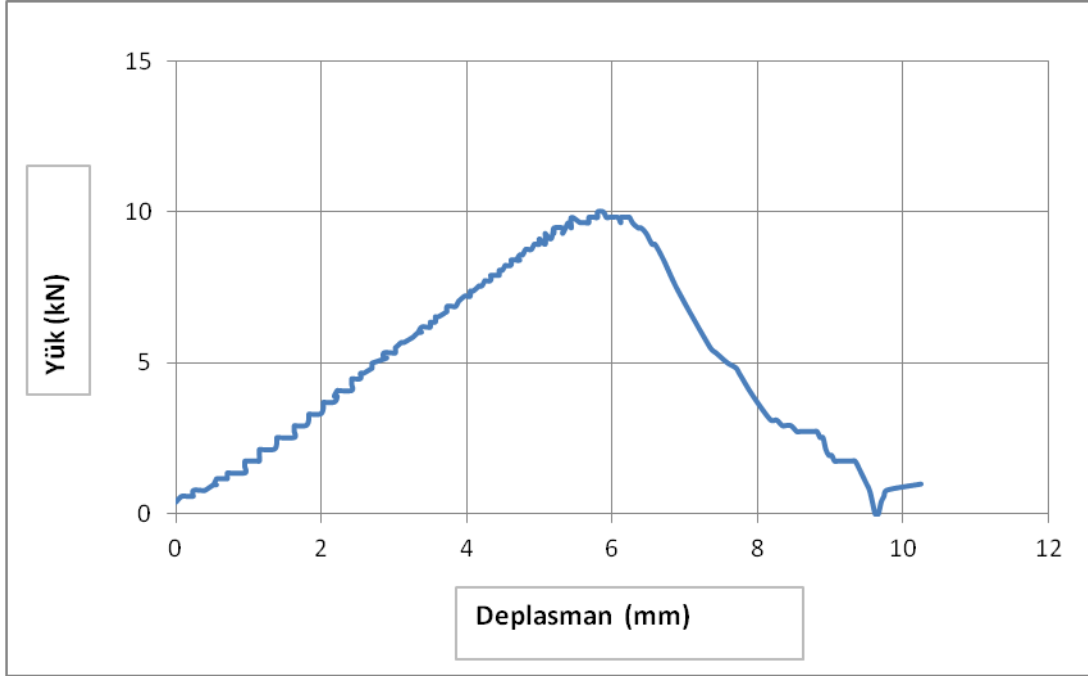
50W280L2S deney elemanında CFRP şeride uygulanan maksimum çekme kuvveti 10,02 kN ölçülmüştür. Maksimum yükteki deplasman ise 5,88 mm. olarak ölçülmüştür. 50W280L2S Deney elemanında göçme CFRP şeridin yüzeyden sıyrılması sonucu olmuştur. Deney elemanının göçmeden sonraki görünüşü Resim 5.41'de verilmiştir.

Deney sırasında ölçülen yük-deplasman grafiği Şekil 5.43'de, birim deformasyon-mesafe grafiği ise Şekil 5.44.'de verilmiştir.

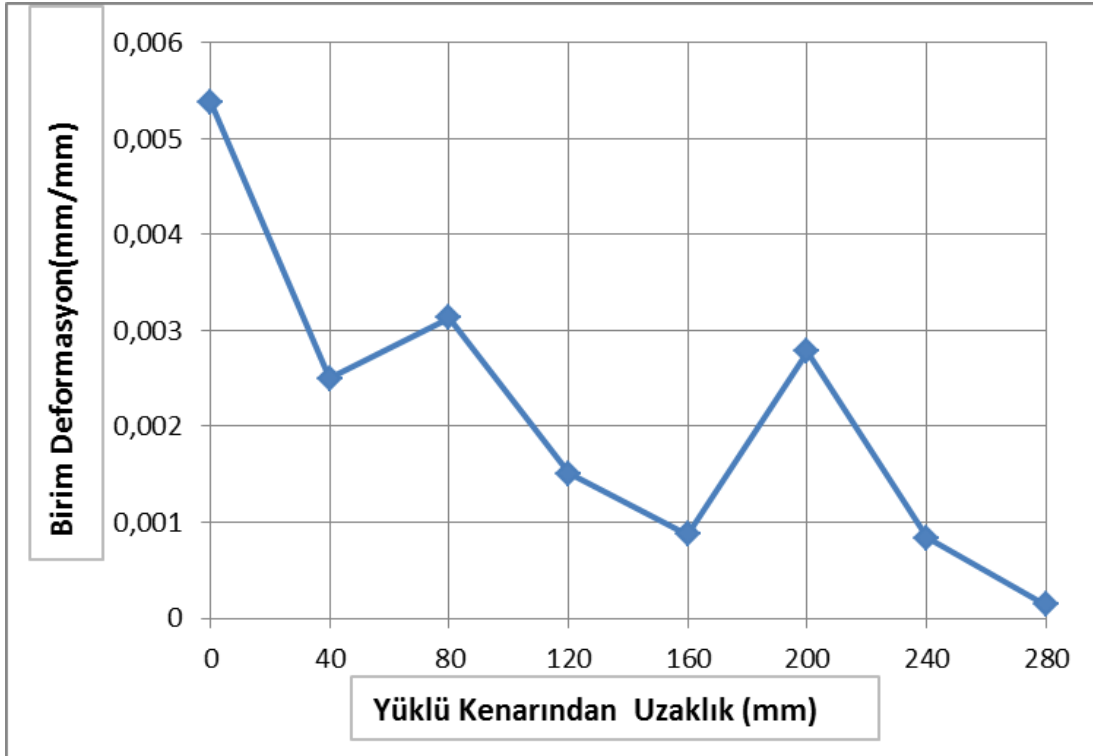


Resim 5.41. Deney elemanı 50W280L2S göçmeden sonraki görünüşü

50W280L2S deney elemanında CFRP şeritlerdeki maksimum birim deformasyon değeri 0,0054 mm/mm ölçülmüştür. 8 adet birim deformasyon ölçerlerden maksimum yükte alınan değerler yüklü kenardan uzaklaştıkça azalmasına rağmen kesme çatlaklarına en yakın birim deformasyon ölçerlerde bu değer tekrar yükselmiş, 0,0033 ve 0,003 mm/mm ölçülmüştür. CFRP şerit yüzeyinde oluşan maksimum kayma gerilmesi ise 0,715 MPa olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.43. Deney elemanı 50W280L2S yük-deplasman grafiği



Şekil 5.44. Deney elemanı 50W280L2S birim deformasyon – mesafe grafiği

5.23. Deney Elemanı 100W200L1F

100 mm CFRP şerit genişliği ve 200 mm etkin yapışma boyu olan bir eğilme çatlaklı bulunan deney elemanıdır. Deney elemanının göçmeden önceki görünüşü Resim 5.42'de verilmiştir.



Resim 5.42. Deney elemanı 100W200L1F göçmeden önceki görünüşü

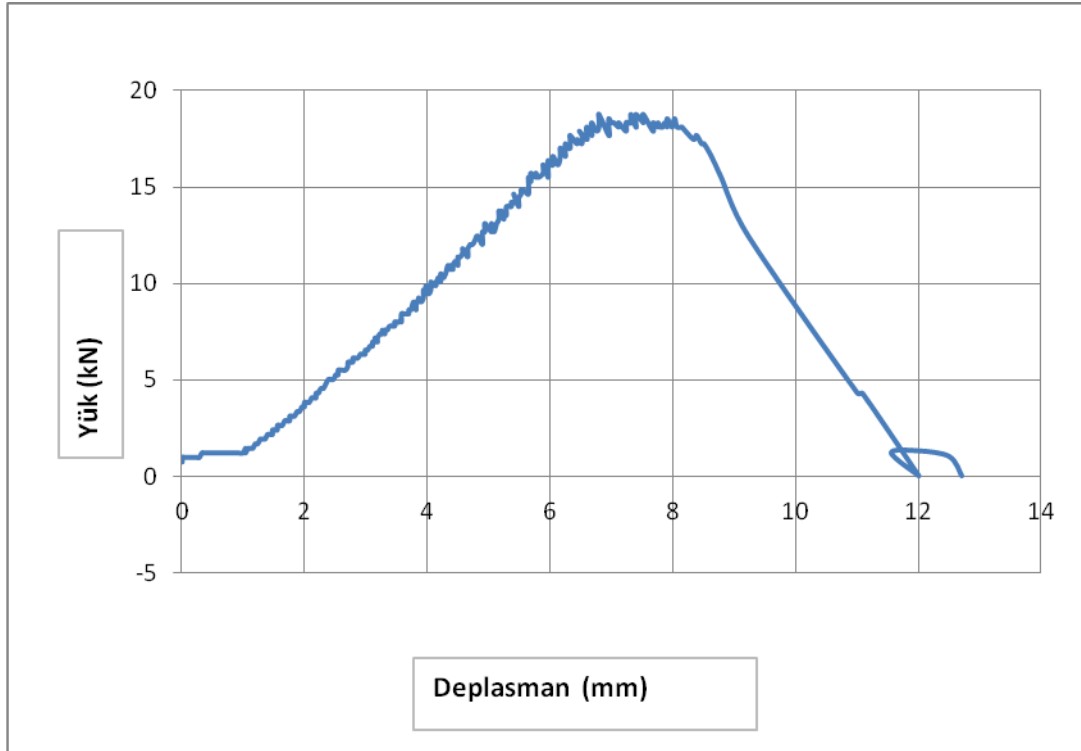
100W200L1F deney elemanında CFRP şeride uygulanan maksimum çekme kuvveti 18,74 kN ölçülmüştür. Maksimum yükteki deplasman ise 7,51 mm. olarak ölçülmüştür. 100W200L1F Deney elemanında göçme CFRP şeridin yüzeyden sıyrılması sonucu olmuştur. Deney elemanının göçmeden sonraki görünüşü Resim 5.43'de verilmiştir.

Deney sırasında ölçülen yük-deplasman grafiği Şekil 5.45'de, birim deformasyon-mesafe grafiği ise Şekil 5.46.'da verilmiştir.

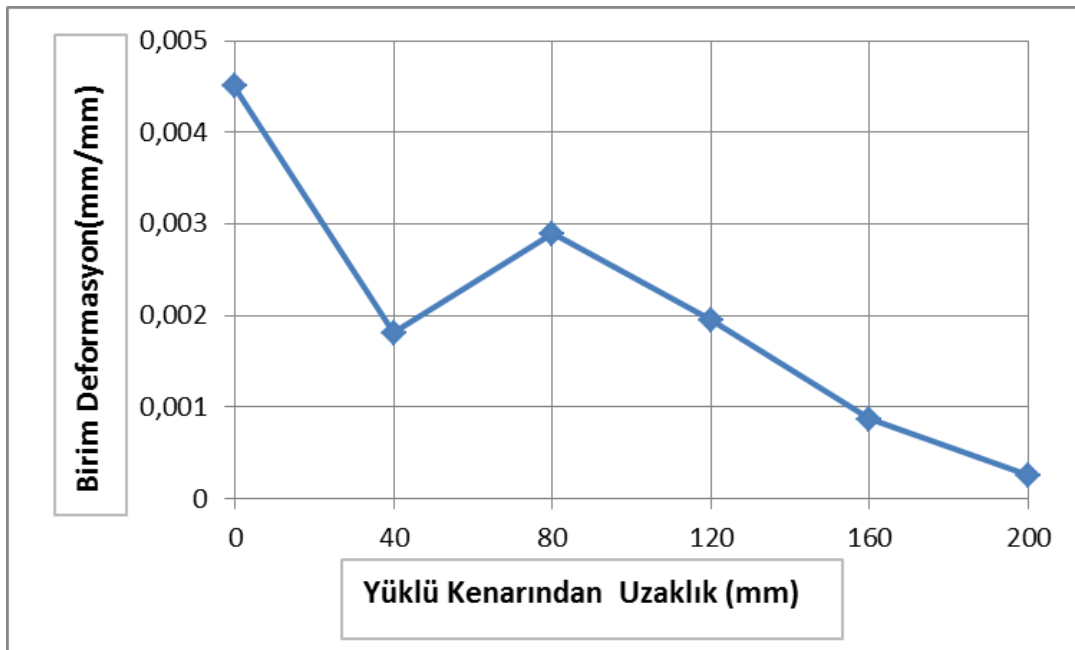


Resim 5.43. Deney elemanı 100W200L1F göçmeden sonraki görünüşü

100W200L1F deney elemanında CFRP şeritlerdeki maksimum birim deformasyon değeri 0,0045 mm/mm ölçülmüştür. 8 adet birim deformasyon ölçerlerden maksimum yükte alınan değerler yüklü kenardan uzaklaştıkça azalmasına rağmen eğilme çatlağına en yakın birim deformasyon ölçerde bu değer tekrar yükselmiş ve 0,0029 mm/mm ölçülmüştür. CFRP şerit yüzeyinde oluşan maksimum kayma gerilmesi ise 1,87 MPa olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.45. Deney elemanı 100W200L1F yük-deplasman grafiği



Şekil 5.46. Deney elemanı 100W200L1F birim deformasyon – mesafe grafiği

5.24. Deney Elemanı 100W200L2F

100 mm CFRP şerit genişliği ve 200 mm etkin yapışma boyu olan iki eğilme çatlaklı bulunan deney elemanıdır. Deney elemanının göçmeden önceki görünüşü Resim 5.44'de verilmiştir.



Resim 5.44. Deney elemanı 100W200L2F göçmeden önceki görünüşü

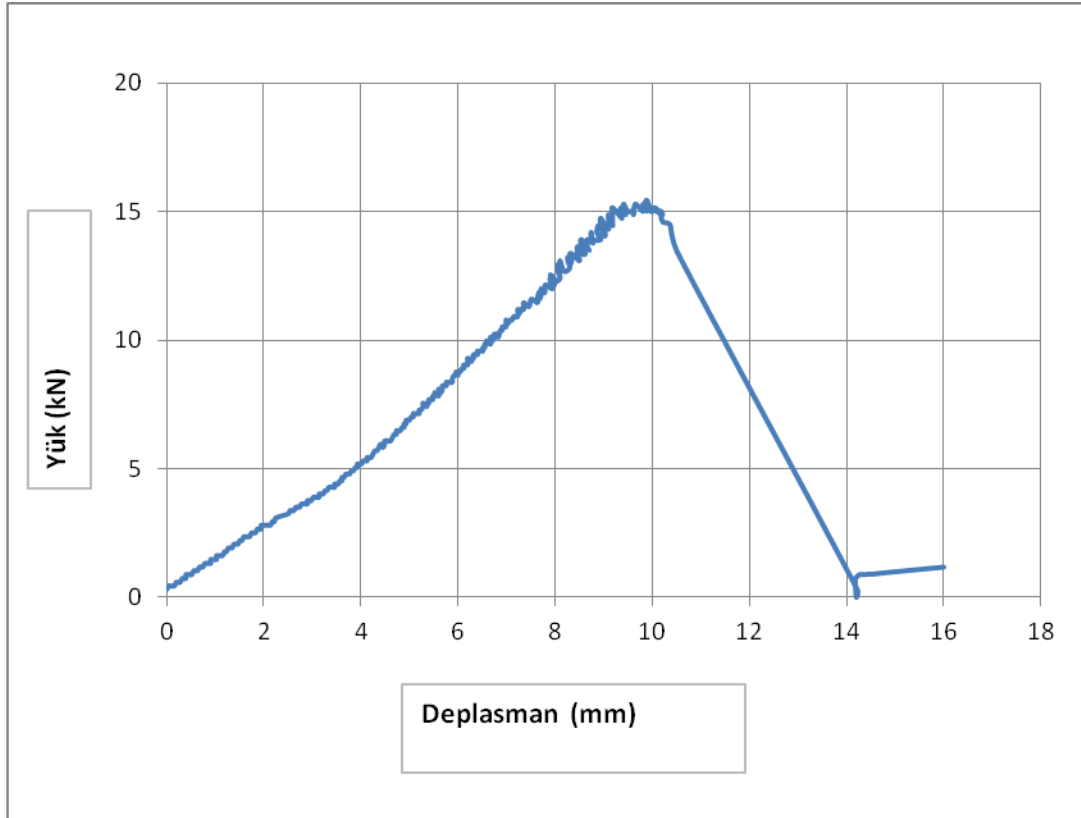
100W200L2F deney elemanında CFRP şeride uygulanan maksimum çekme kuvveti 15,44 kN ölçülmüştür. Maksimum yükteki deplasman ise 9,89 mm. olarak ölçülmüştür. 50W200L2F Deney elemanında göçme CFRP şeridin yüzeyden sıyrılması sonucu olmuştur. Deney elemanının göçmeden sonraki görünüşü Resim 5.45'de verilmiştir.

Deney sırasında ölçülen yük-deplasman grafiği Şekil 5.47'de, birim deformasyon-mesafe grafiği ise Şekil 5.48.'de verilmiştir.

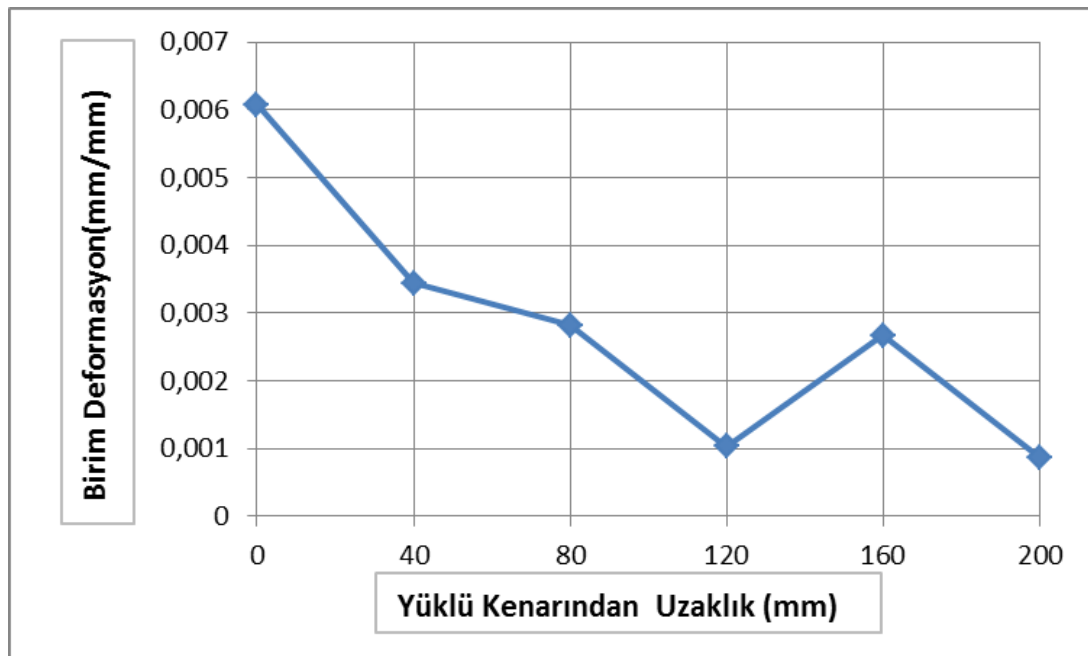


Resim 5.45. Deney elemanı 100W200L2F göçmeden sonraki görünüşü

100W200L2F deney elemanında CFRP şeritlerdeki maksimum birim deformasyon değeri 0,0061 mm/mm ölçülmüştür. 8 adet birim deformasyon ölçerlerden maksimum yükte alınan değerler yüklü kenardan uzaklaştıkça azalmasına rağmen eğilme çatlaklarına en yakın birim deformasyon ölçerlerde bu değer tekrar yükselmiş, 0,0034 ve 0,0027 mm/mm ölçülmüştür. CFRP şerit yüzeyinde oluşan maksimum kayma gerilmesi ise 1,54 MPa olarak hesaplanmıştır.



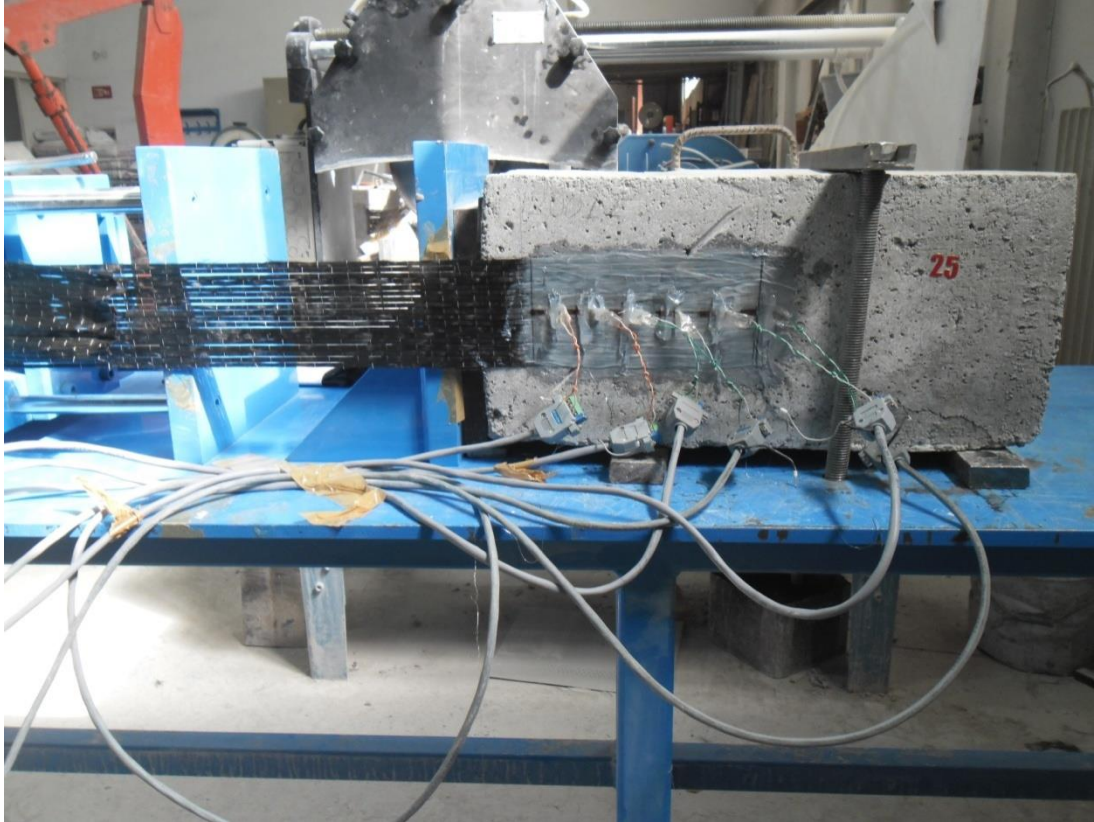
Şekil 5.47. Deney elemanı 100W200L2F yük-deplasman grafiği



Şekil 5.48. Deney elemanı 100W200L2F birim deformasyon – mesafe grafiği

5.25. DeneY Elemanı 100W200L1S

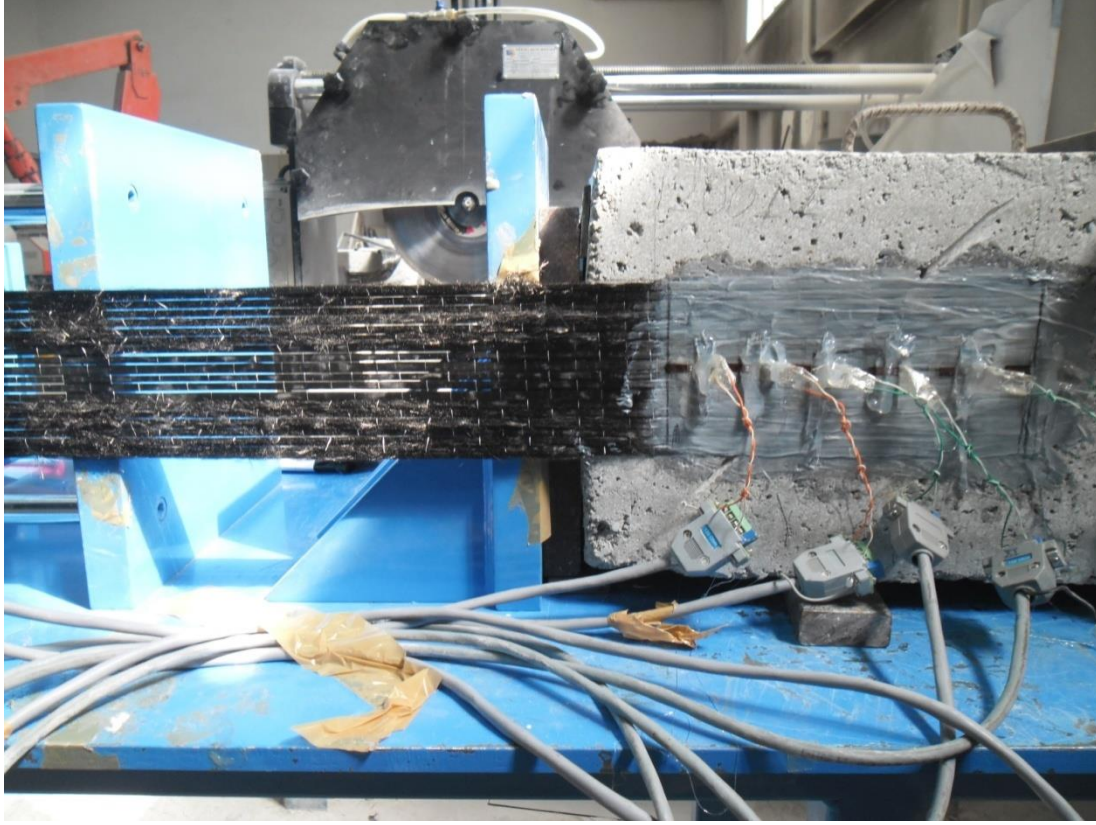
100 mm CFRP şerit genişliği ve 200 mm etkin yapışma boyu olan bir kesme çatlağı bulunan deneY elemanıdır. DeneY elemanının gmeden nceki grnş Resim 5.46'da verilmiştir.



Resim 5.46. DeneY elemanı 100W200L1S gçmeden nceki grnş

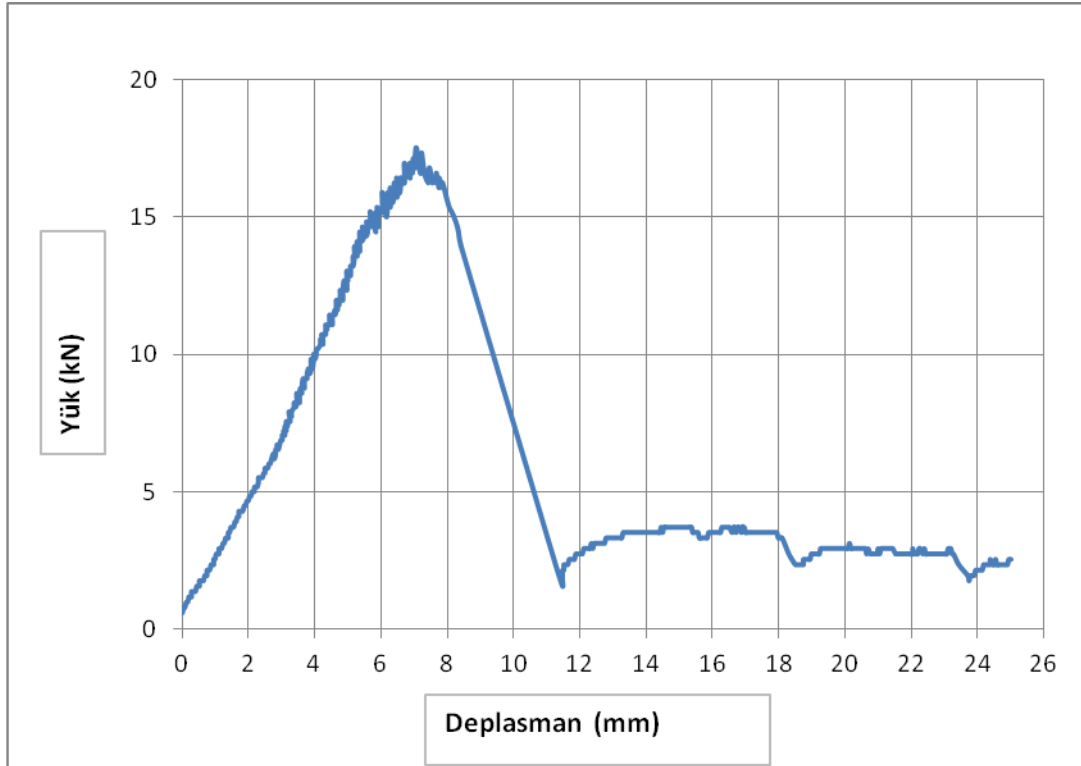
100W200L1S deneY elemanında CFRP şeride uygulanan maksimum çekme kuvveti 17,52 kN lçlmüştür. Maksimum ykteki deplasman ise 7,07 mm. olarak lçlmüştür. 50W200L1S DeneY elemanında gçme CFRP şerinin yzeyden sıyrılması sonucu olmuştur. DeneY elemanının gçmeden sonraki grnş Resim 5.47'de verilmiştir.

DeneY sırasında lçlen yk-deplasman grafiği şekil 5.49'da, birim deformasyon-mesafe grafiği ise şekil 5.50.'de verilmiştir.

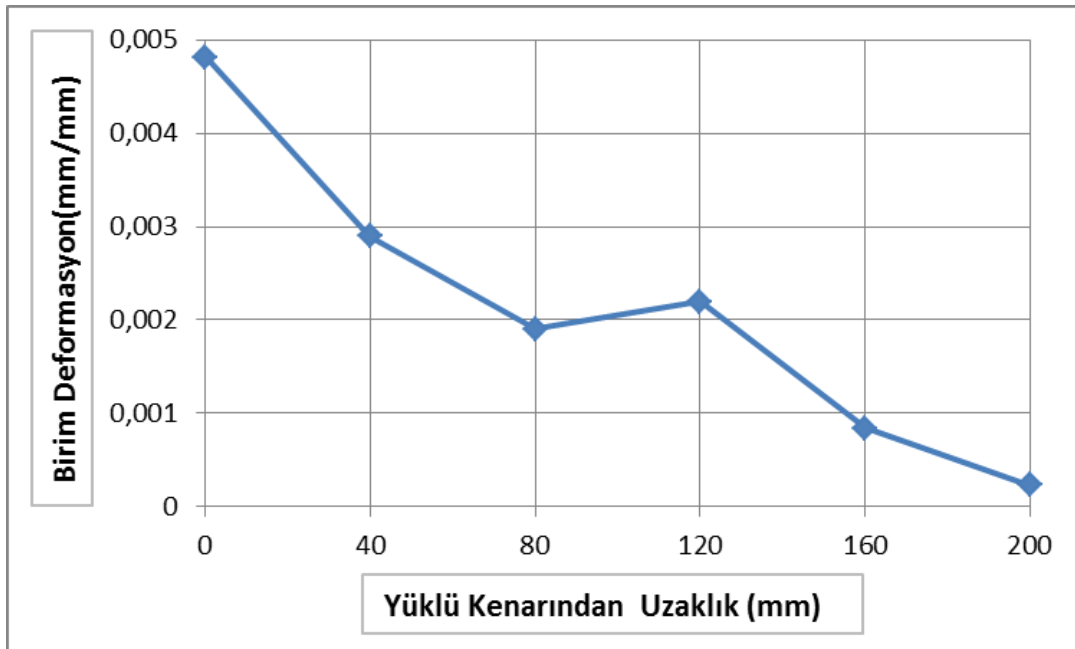


Resim 5.47. Deney elemanı 100W200L1S göçmeden sonraki görünüşü

100W200L1S deney elemanında CFRP şeritlerdeki maksimum birim deformasyon değeri 0,0048 mm/mm ölçülmüştür. 6 adet birim deformasyon ölçerlerden maksimum yükte alınan değerler yüklü kenardan uzaklaştıkça azalmasına rağmen kesme çatlağına en yakın birim deformasyon ölçerinde bu değer tekrar yükselmiş ve 0,0022 mm/mm ölçülmüştür. CFRP şerit yüzeyinde oluşan maksimum kayma gerilmesi ise 1,752 MPa olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.49. Deney elemanı 100W200L1S yük-deplasman grafiği



Şekil 5.50. Deney elemanı 100W200L1S birim deformasyon – mesafe grafiği

5.26. Deney Elemanı 100W200L2S

100 mm CFRP şerit genişliği ve 200 mm etkin yapışma boyu olan iki kesme çatlaklı bulunan deney elemanıdır. Deney elemanının göçmeden önceki görünüşü Resim 5.48'de verilmiştir.



Resim 5.48. Deney elemanı 100W200L2S göçmeden önceki görünüşü

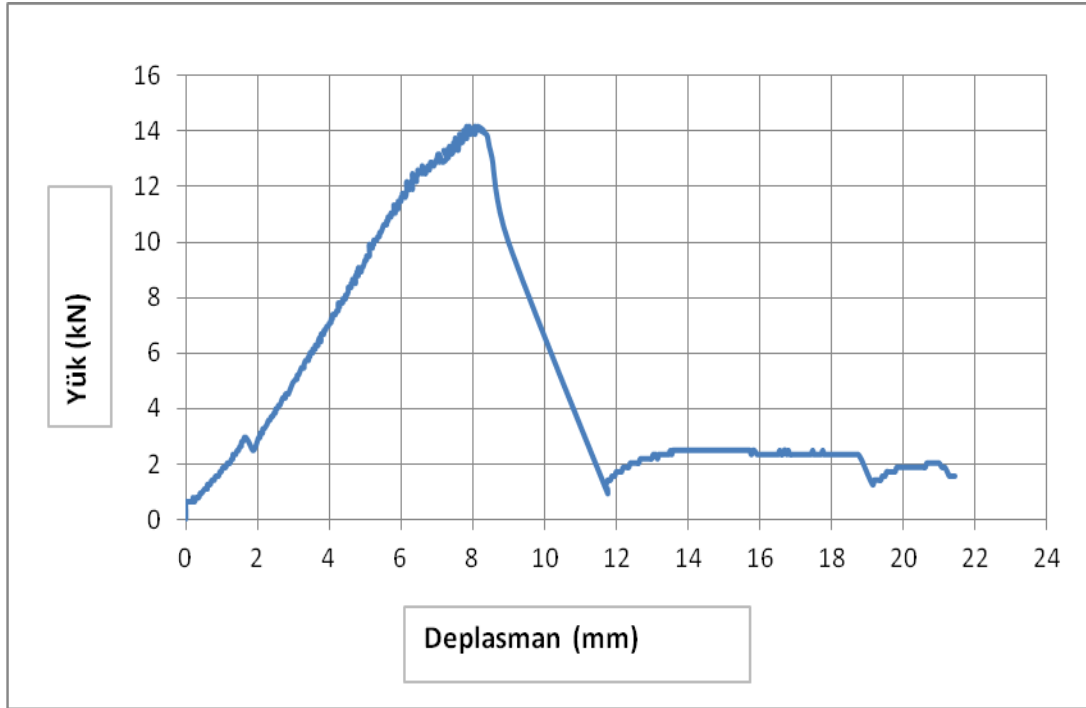
100W200L2S deney elemanında CFRP şeride uygulanan maksimum çekme kuvveti 14,18 kN ölçülmüştür. Maksimum yükteki deplasman ise 8,14 mm. olarak ölçülmüştür. 100W200L2S Deney elemanında göçme CFRP şeridin yüzeyden sıyrılması sonucu olmuştur. Deney elemanının göçmeden sonraki görünüşü Resim 5.49'da verilmiştir.

Deney sırasında ölçülen yük-deplasman grafiği Şekil 5.51'de, birim deformasyon-mesafe grafiği ise Şekil 5.52.'de verilmiştir.

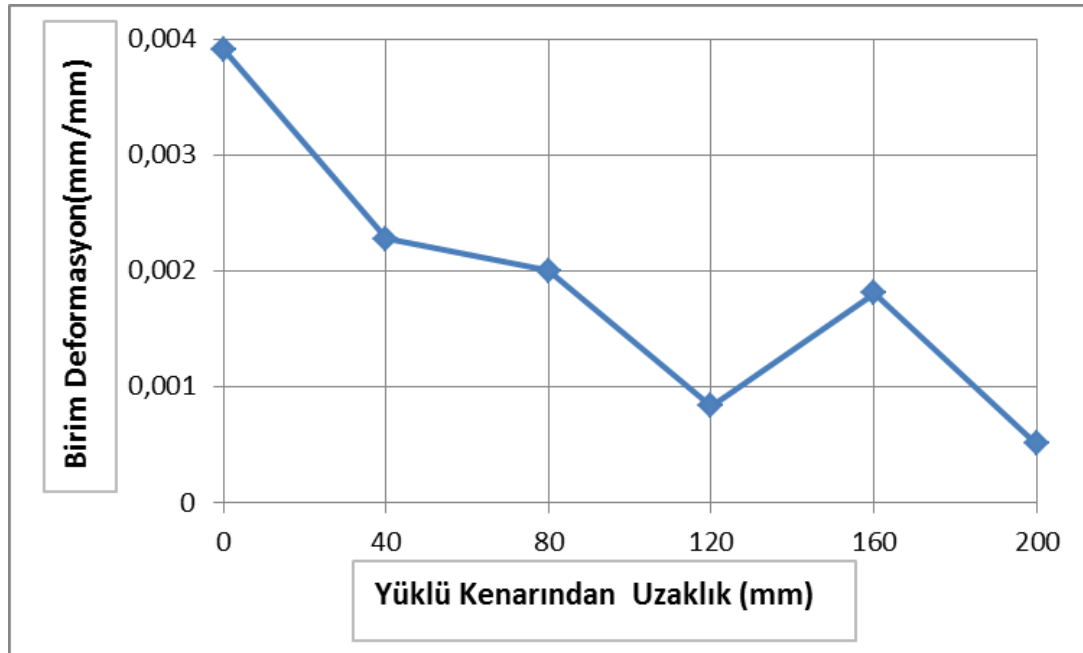


Resim 5.49. Deney elemanı 100W200L2S göçmeden sonraki görünüşü

100W200L2S deney elemanında CFRP şeritlerdeki maksimum birim deformasyon değeri 0,0039 mm/mm ölçülmüştür. 6 adet birim deformasyon ölçerlerden maksimum yükte alınan değerler yüklü kenardan uzaklaştıkça azalmasına rağmen kesme çatlaklarına en yakın birim deformasyon ölçerlerde bu değer tekrar yükselmiş, 0,0023 ve 0,0018 mm/mm ölçülmüştür. CFRP şerit yüzeyinde oluşan maksimum kayma gerilmesi ise 1,418 MPa olarak hesaplanmıştır.



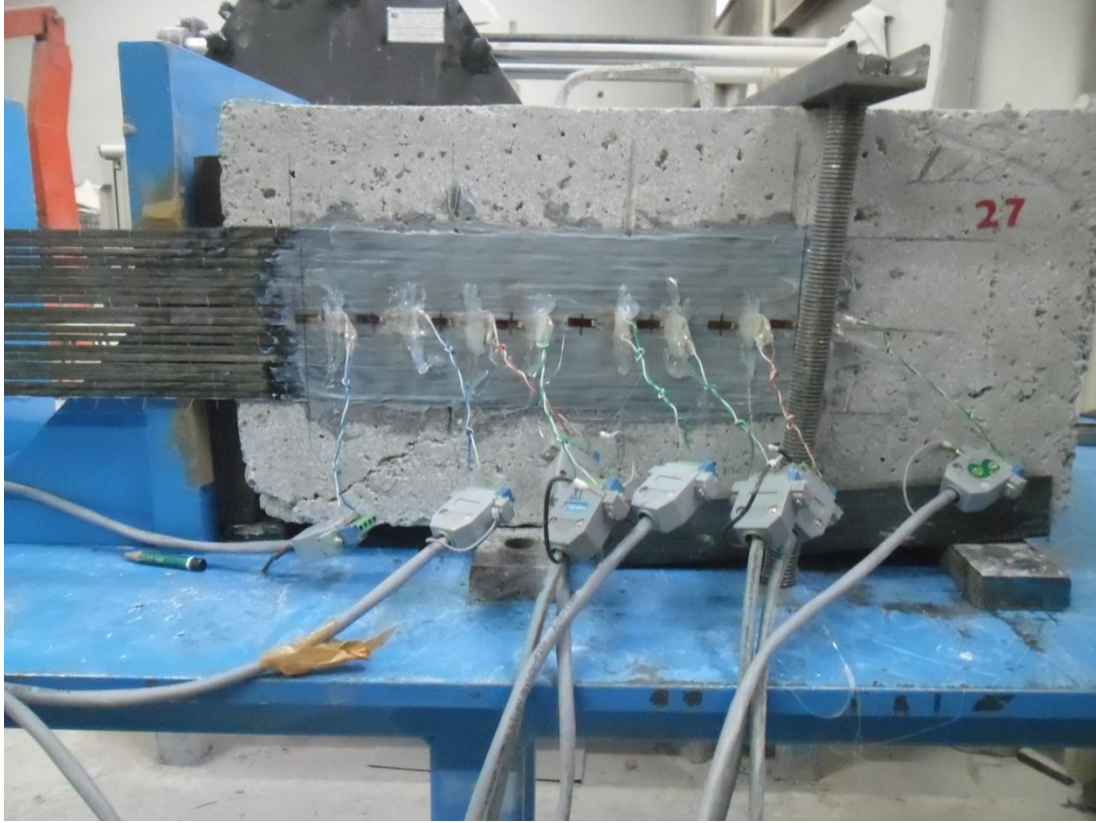
Şekil 5.51. Deney elemanı 100W200L2S yük-deplasman grafiği



Şekil 5.52. Deney elemanı 100W200L2S birim deformasyon – mesafe grafiği

5.27. Deney Elemanı 100W280L2F

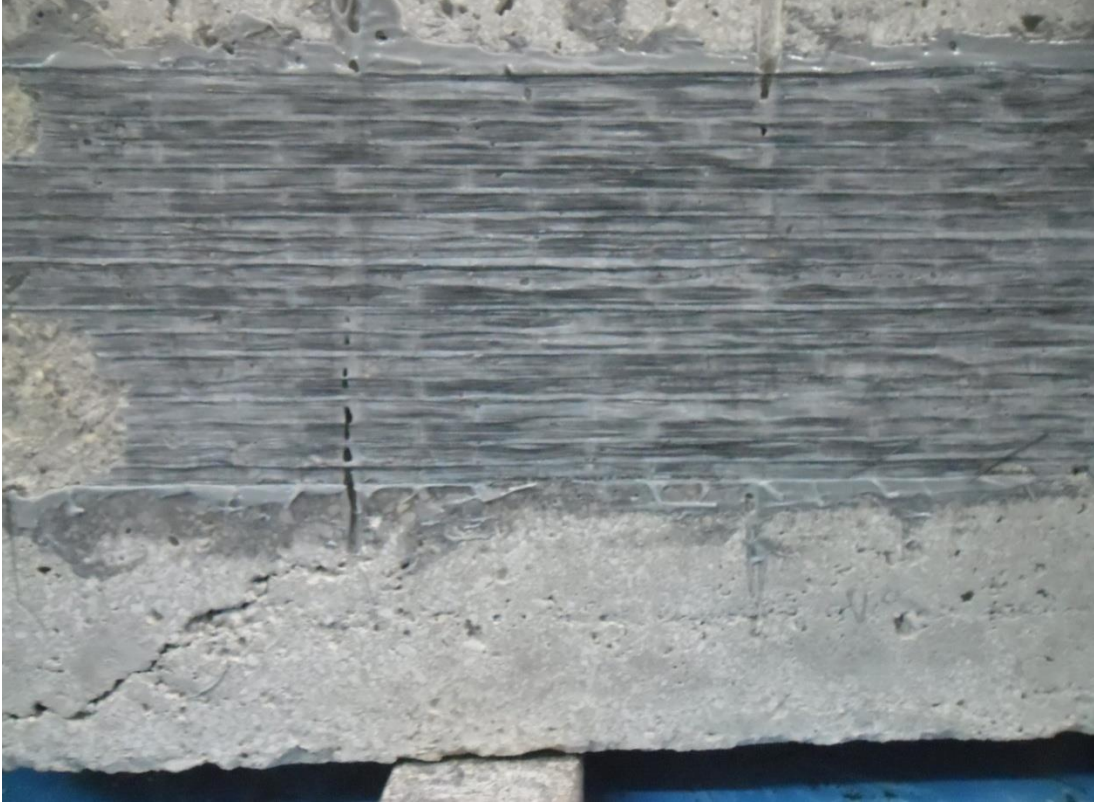
100 mm CFRP şerit genişliği ve 280 mm etkin yapışma boyu olan iki eğilme çatlaklı bulunan deney elemanıdır. Deney elemanının göçmeden önceki görünüşü Resim 5.50'de verilmiştir.



Resim 5.50. Deney elemanı 50W280L2F göçmeden önceki görünüşü

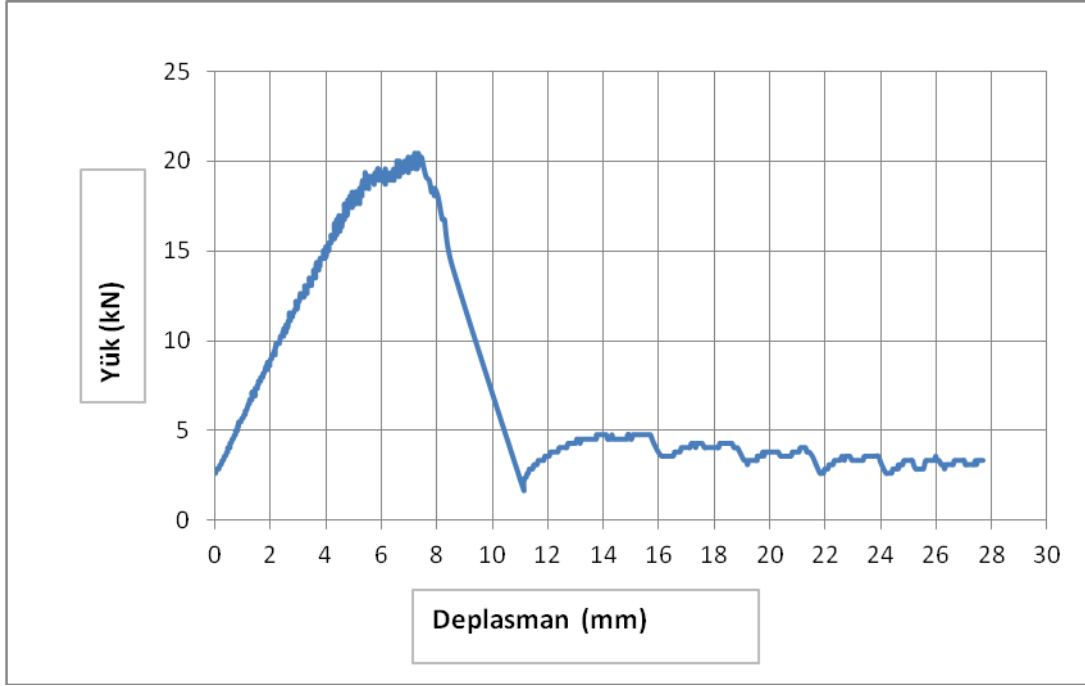
100W280L2F deney elemanında CFRP şeride uygulanan maksimum çekme kuvveti 20,49 kN ölçülmüştür. Maksimum yükteki deplasman ise 7,19 mm. olarak ölçülmüştür. 100W280L2F Deney elemanında göçme CFRP şeridin yüzeyden sıyrılması sonucu olmuştur. Deney elemanının göçmeden sonraki görünüşü Resim 5.51'de verilmiştir.

Deney sırasında ölçülen yük-deplasman grafiği Şekil 5.53'de, birim deformasyon-mesafe grafiği ise Şekil 5.54.'de verilmiştir.

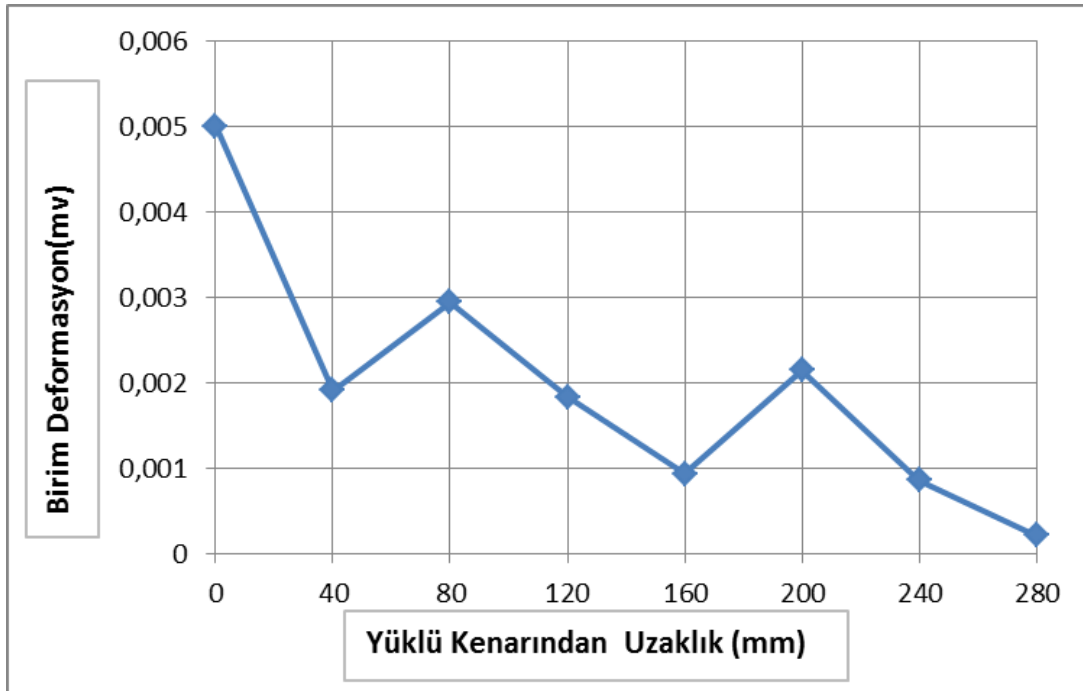


Resim 5.51. Deney elemanı 100W280L2F göçmeden sonraki görünüşü

100W280L2F deney elemanında CFRP şeritlerdeki maksimum birim deformasyon değeri 0,005 mm/mm ölçülmüştür. 8 adet birim deformasyon ölçerlerden maksimum yükte alınan değerler yüklü kenardan uzaklaştıkça azalmasına rağmen eğilme çatlaklarına en yakın birim deformasyon ölçerlerde bu değer tekrar yükselmiş, 0,0029 ve 0,0021 mm/mm ölçülmüştür. CFRP şerit yüzeyinde oluşan maksimum kayma gerilmesi ise 0,732 MPa olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.53. Deney elemanı 100W280L2F yük-deplasman grafiği



Şekil 5.54. Deney elemanı 100W280L2F birim deformasyon – mesafe grafiği

5.28. Deney Elemanı 100W280L1F

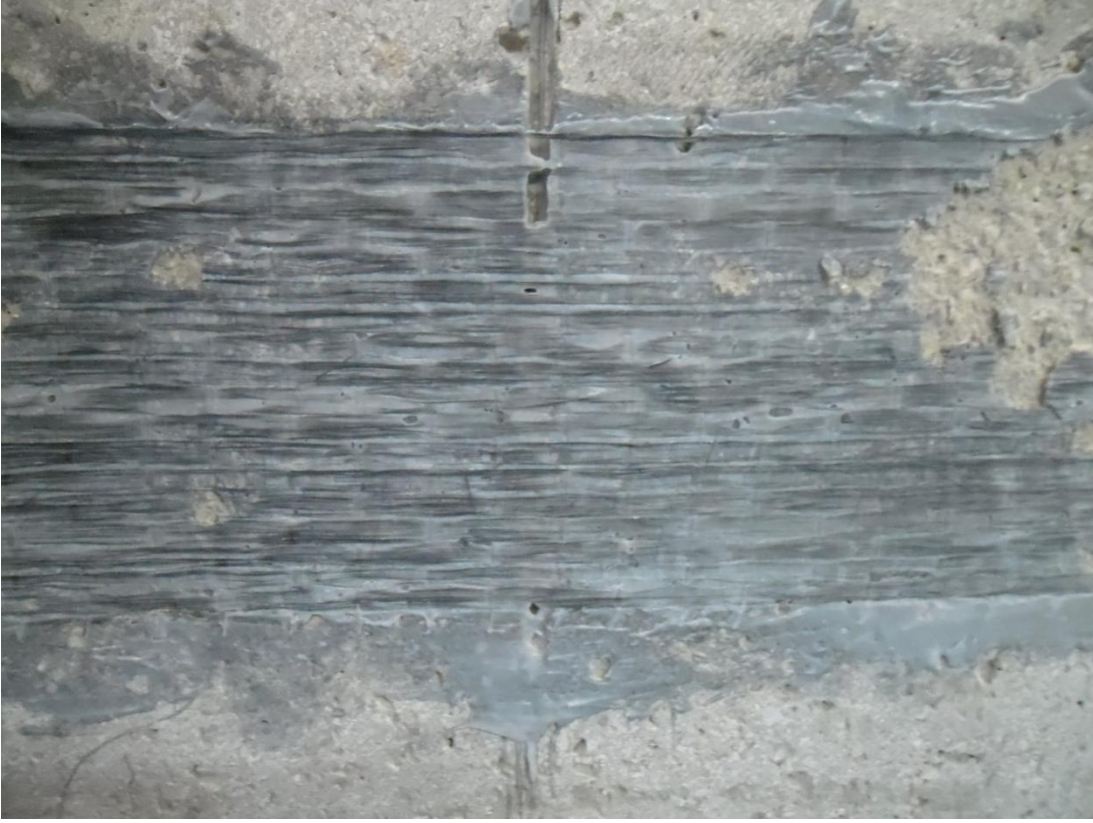
100 mm CFRP şerit genişliği ve 100 mm etkin yapışma boyu olan bir eğilme çatlaklı bulunan deney elemanıdır. Deney elemanının göçmeden önceki görünüşü Resim 5.52'de verilmiştir.



Resim 5.52. Deney elemanı 100W280L1F göçmeden önceki görünüşü

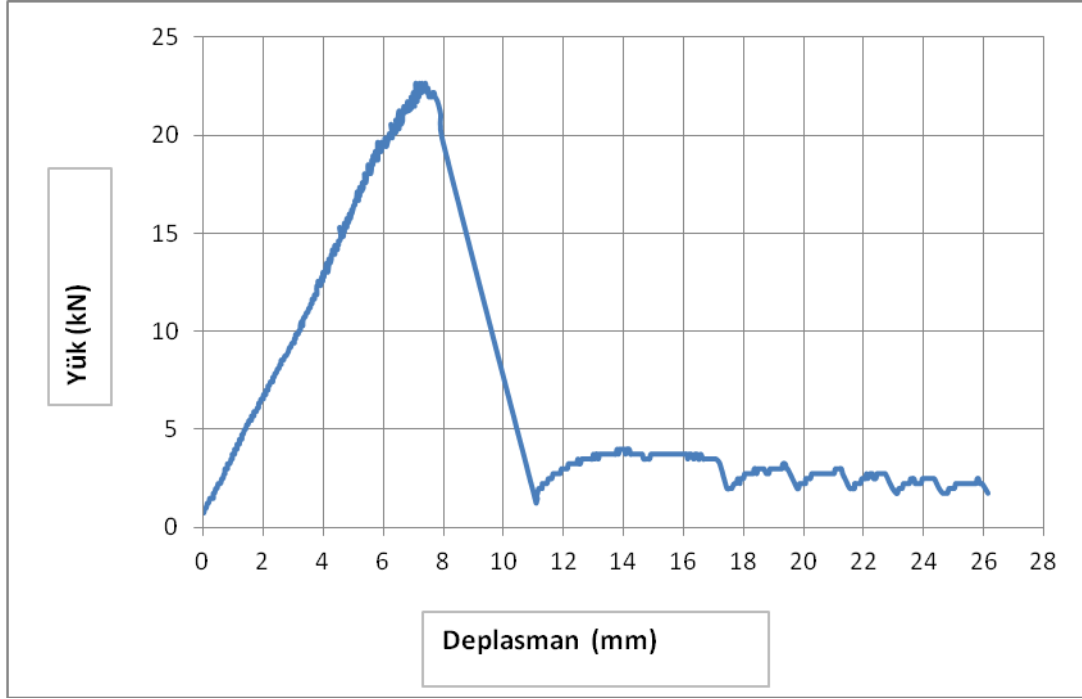
100W280L1F deney elemanında CFRP şeride uygulanan maksimum çekme kuvveti 22,64 kN ölçülmüştür. Maksimum yükteki deplasman ise 7,39 mm. olarak ölçülmüştür. 100W280L1F Deney elemanında göçme CFRP şeridin yüzeyden sıyrılması sonucu olmuştur. Deney elemanının göçmeden sonraki görünüşü Resim 5.53'de verilmiştir.

Deney sırasında ölçülen yük-deplasman grafiği Şekil 5.55'de, birim deformasyon-mesafe grafiği ise Şekil 5.56.'da verilmiştir.

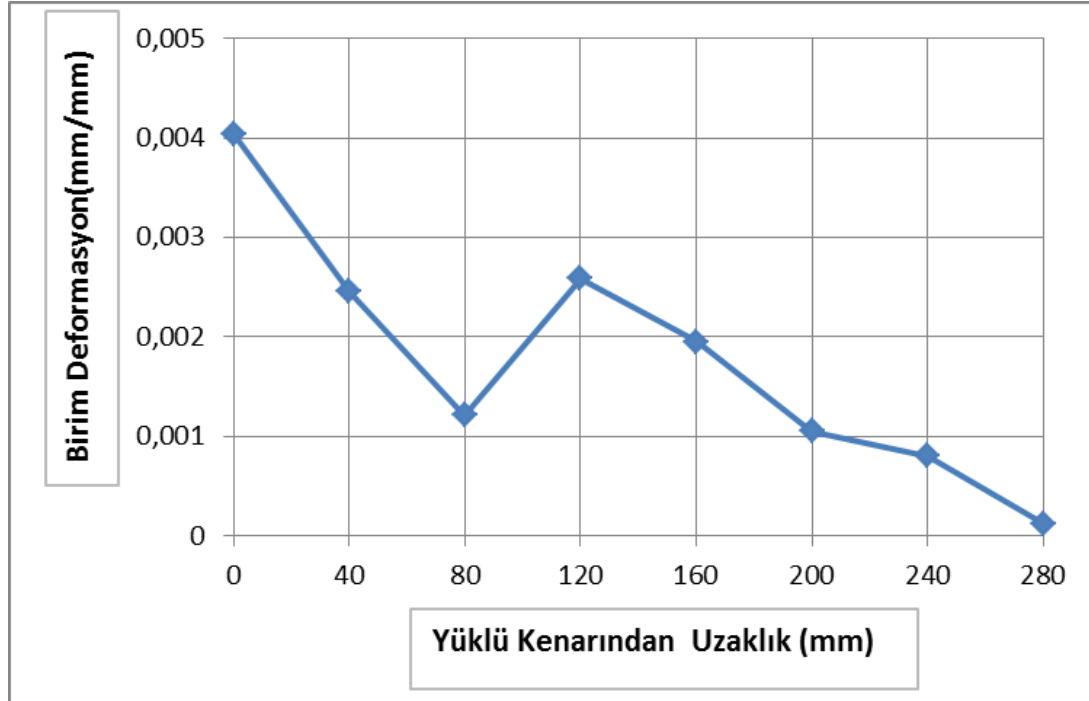


Resim 5.53. Deney elemanı 100W280L1F göçmeden sonraki görünüşü

100W280L1F deney elemanında CFRP şeritlerdeki maksimum birim deformasyon değeri 0,004 mm/mm ölçülmüştür. 8 adet birim deformasyon ölçerlerden maksimum yükte alınan değerler yüklü kenardan uzaklaştıkça azalmasına rağmen eğilme çatlaklarına en yakın birim deformasyon ölçerlerde bu değer tekrar yükselmiş, 0,0026mm/mm ölçülmüştür. CFRP şerit yüzeyinde oluşan maksimum kayma gerilmesi ise 0,808 MPa olarak hesaplanmıştır.



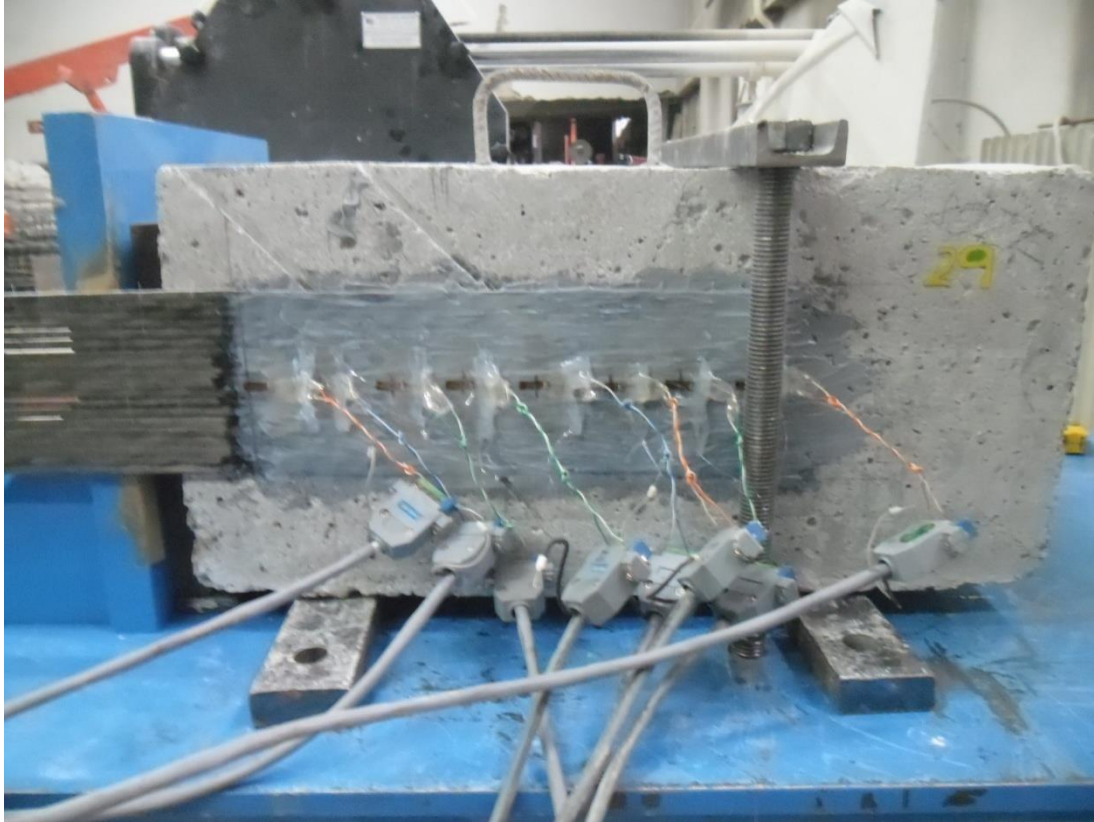
Şekil 5.55. Deney elemanı 100W280L1F yük-deplasman grafiği



Şekil 5.56. Deney elemanı 100W280L1F birim deformasyon – mesafe grafiği

5.29. DeneY Elemanı 100W280L2S

100 mm CFRP şerit genişliği ve 200 mm etkin yapışma boyu olan iki kesme çatlağı bulunan deneY elemanıdır. DeneY elemanının gmeden nceki grnş Resim 5.54'de verilmiştir.



Resim 5.54. DeneY Elemanı 100W280L2S gçmeden nceki grnş

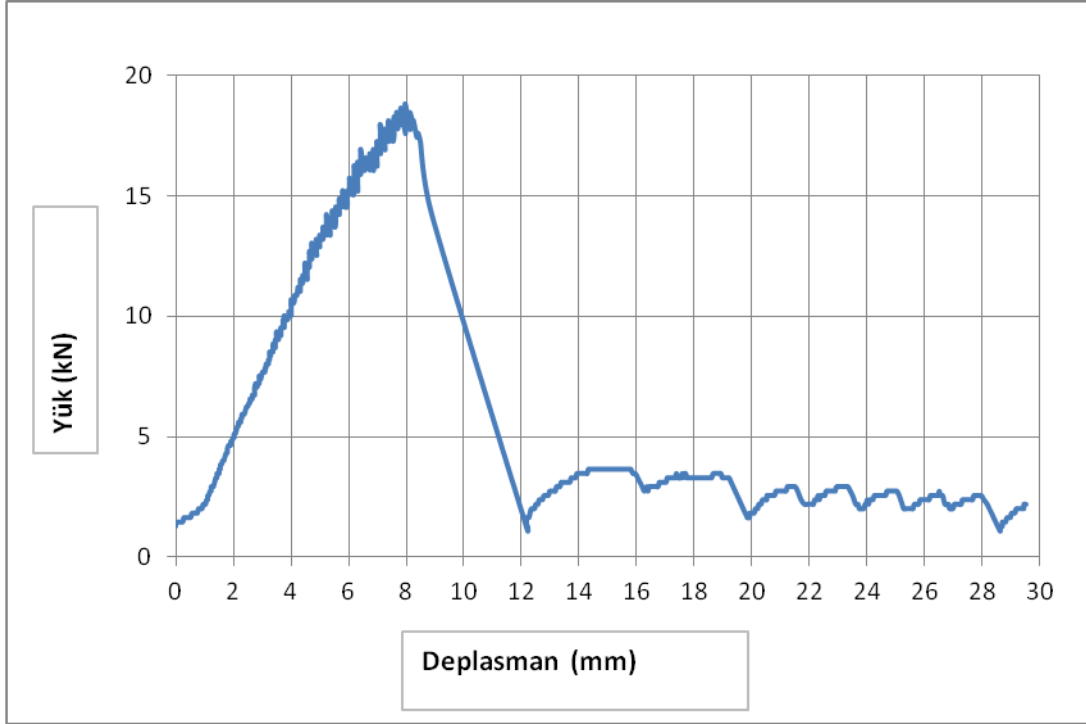
100W280L2S deneY elemanında CFRP şeride uygulanan maksimum çekme kuvveti 18,82 kN lçlmştir. Maksimum ykteki deplasman ise 7,98 mm. olarak lçlmştir. 100W280L2S DeneY elemanında gçme CFRP şeridin yzeyden sıyrılması sonucu olmuştur. DeneY elemanının gçmeden sonraki grnş Resim 5.55'de verilmiştir.

DeneY sırasında lçlen yk-deplasman grafiği şekil 5.57'de, birim deformasyon-mesafe grafiği ise şekil 5.58.'de verilmiştir.

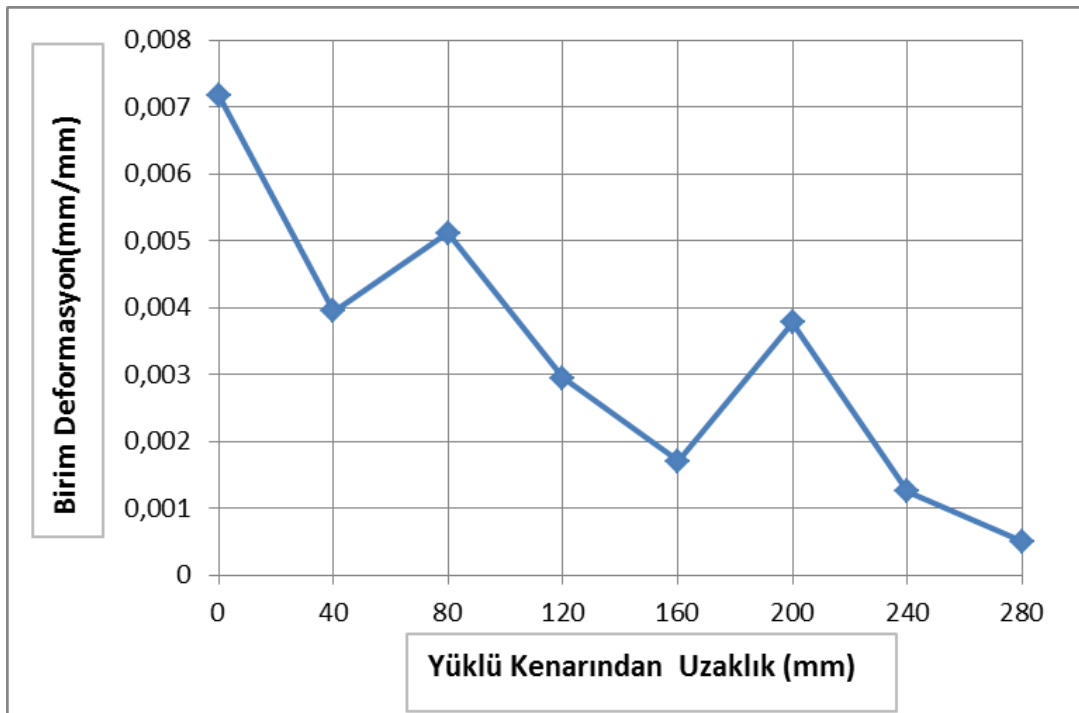


Resim 5.55. Deney elemanı 100W280L2S göçmeden sonraki görünüşü

100W280L2S deney elemanında CFRP şeritlerdeki maksimum birim deformasyon değeri 0,007mm/mm ölçülmüştür. 8 adet birim deformasyon ölçerlerden maksimum yükte alınan değerler yüklü kenardan uzaklaştıkça azalmasına rağmen kesme çatlaklarına en yakın birim deformasyon ölçerlerde bu değer tekrar yükselmiş 0,0051 ve 0,0038mm/mm ölçülmüştür. CFRP şerit yüzeyinde oluşan maksimum kayma gerilmesi ise 0,972 MPa olarak hesaplanmıştır.



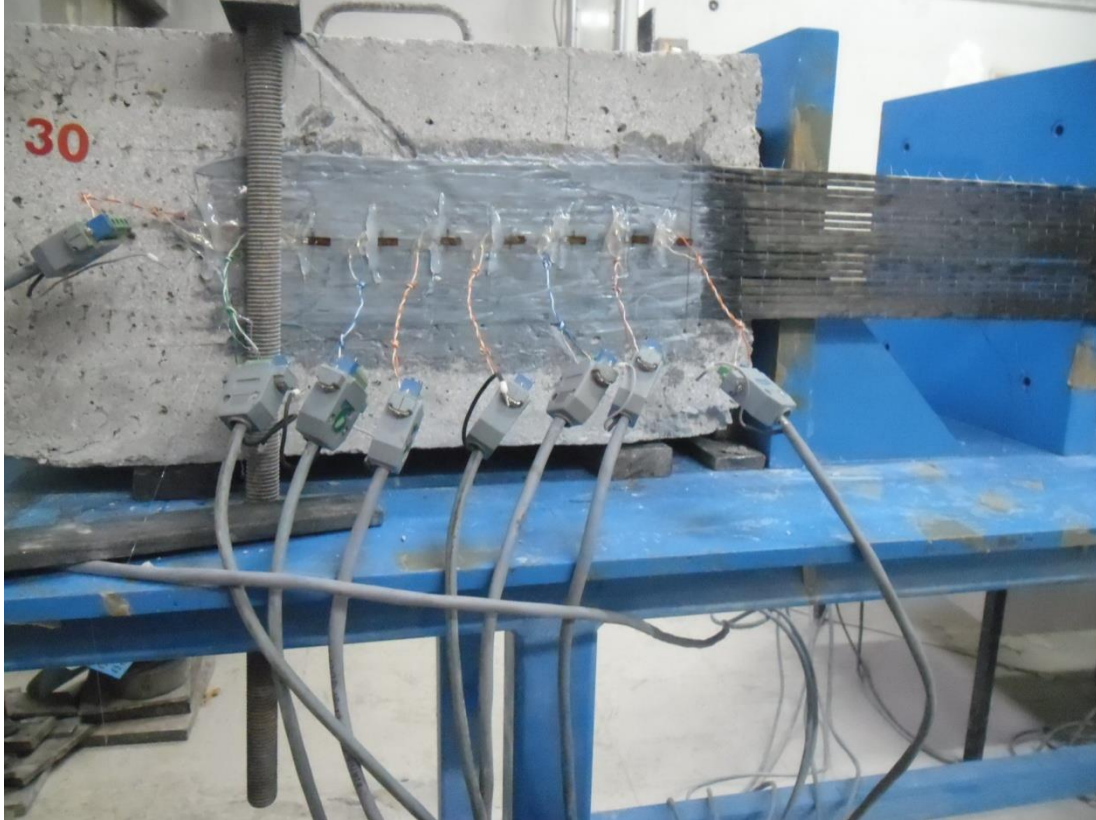
Şekil 5.57. Deney elemanı 100W280L2 yük-deplasman grafiği



Şekil 5.58. Deney elemanı 100W280L2 birim deformasyon – mesafe grafiği

5.30. Deney Elemanı 100W280L1S

100 mm CFRP şerit genişliği ve 280 mm etkin yapışma boyu olan bir kesme çatlağı bulunan deney elemanıdır. Deney elemanının göçmeden önceki görünüşü Resim 5.56'da verilmiştir.



Resim 5.56. Deney elemanı 100W280L1S göçmeden önceki görünüşü

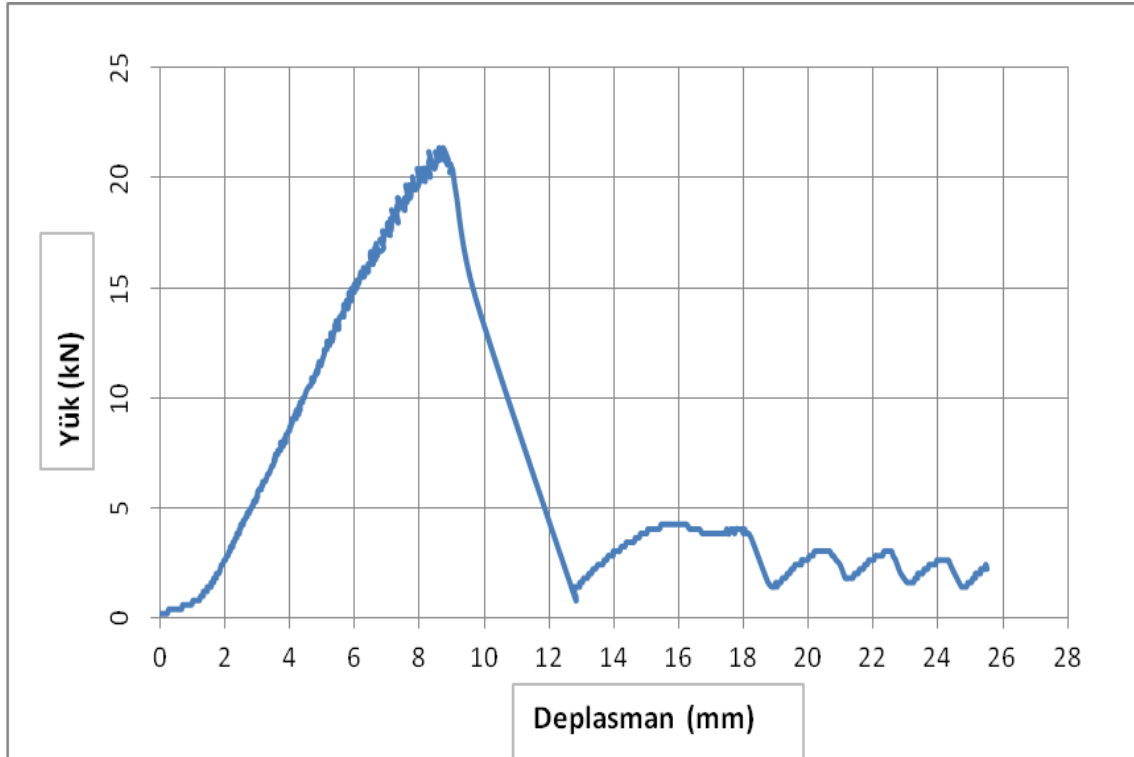
100W280L1S deney elemanında CFRP şeride uygulanan maksimum çekme kuvveti 21,34 kN ölçülmüştür. Maksimum yükteki deplasman ise 8,62 mm. olarak ölçülmüştür. 100W280L1S Deney elemanında göçme CFRP şeridin yüzeyden sıyrılması sonucu olmuştur. Deney elemanının göçmeden sonraki görünüşü Resim 5.57'de verilmiştir.

Deney sırasında ölçülen yük-deplasman grafiği Şekil 5.59'da, birim deformasyon-mesafe grafiği ise Şekil 5.60.'da verilmiştir.

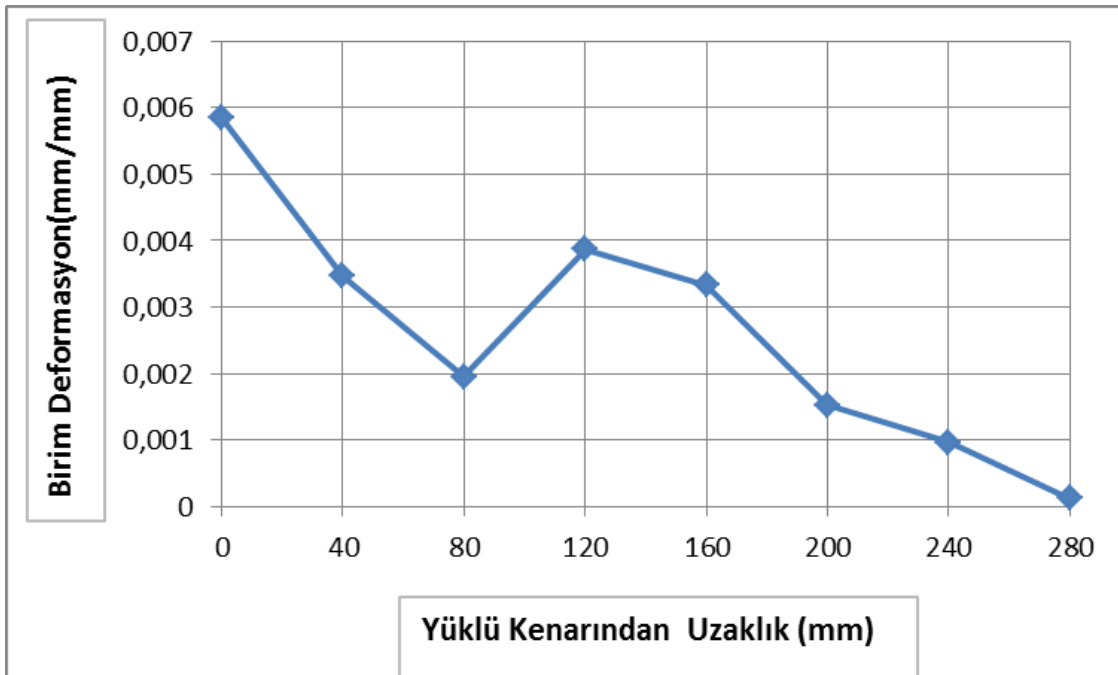


Resim 5.57. Deney elemanı 100W280L1S göçmeden sonraki görünüşü

100W280L1S deney elemanında CFRP şeritlerdeki maksimum birim deformasyon değeri 0,0059 mm/mm ölçülmüştür. 8 adet birim deformasyon ölçerlerden maksimum yükte alınan değerler yüklü kenardan uzaklaştıkça azalmasına rağmen kesme çatlağına en yakın birim deformasyon ölçerde bu değer tekrar yükselmiş, ve 0,0038 mm/mm ölçülmüştür. CFRP şerit yüzeyinde oluşan maksimum kayma gerilmesi ise 0,762 MPa olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.59. Deney elemanı 50W280L1S yük-deplasman grafiği



Şekil 5.60. Deney elemanı 50W280L1S birim deformasyon – mesafe grafiği

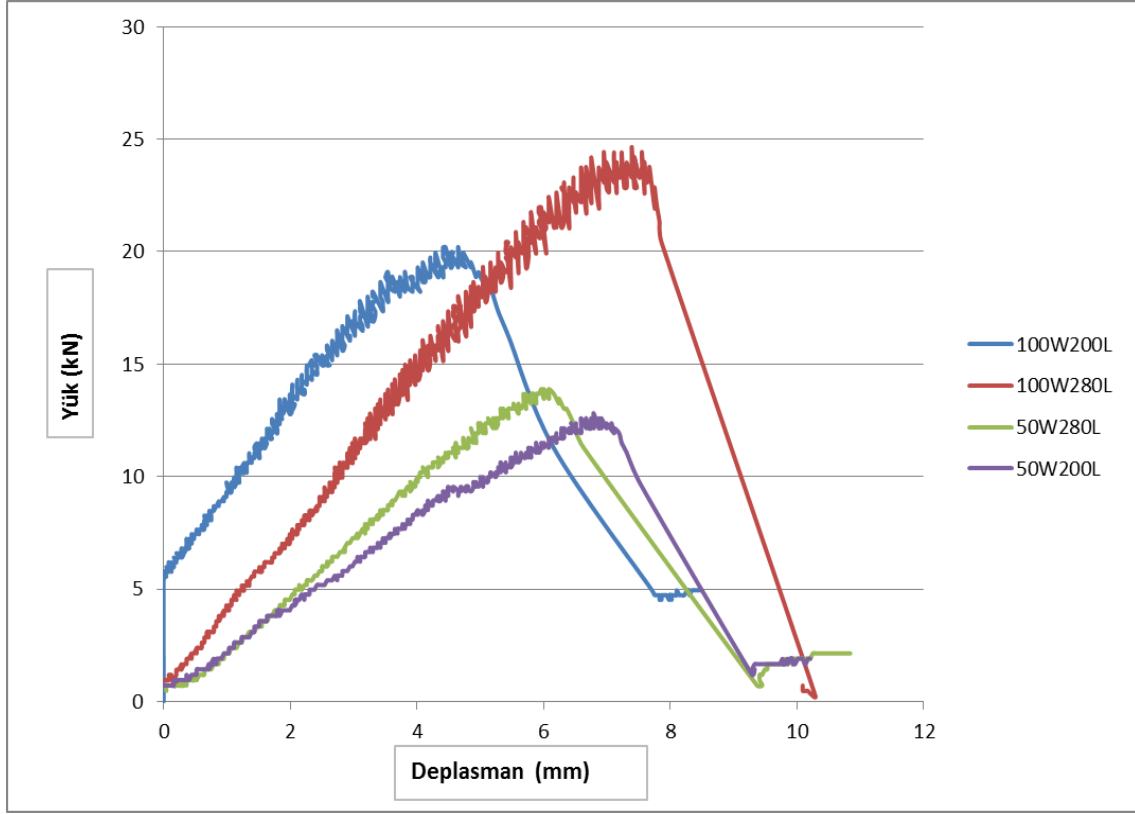
6. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Deneysel çalışma kapsamında yapılan 30 deneyden elde edilen yük deplasman ilişkileri, CFRP şeritlerdeki gerilme dağılımları karşılaştırılmalı olarak incelenmiştir. Ayrıca maksimum yükteki davranışları, enerji yutma kapasiteleri, rijitlikleri incelenmiştir.

6.1. Deney Elemanlarının Dayanım, Rijitlik ve Enerji Yutma Kapasiteleri

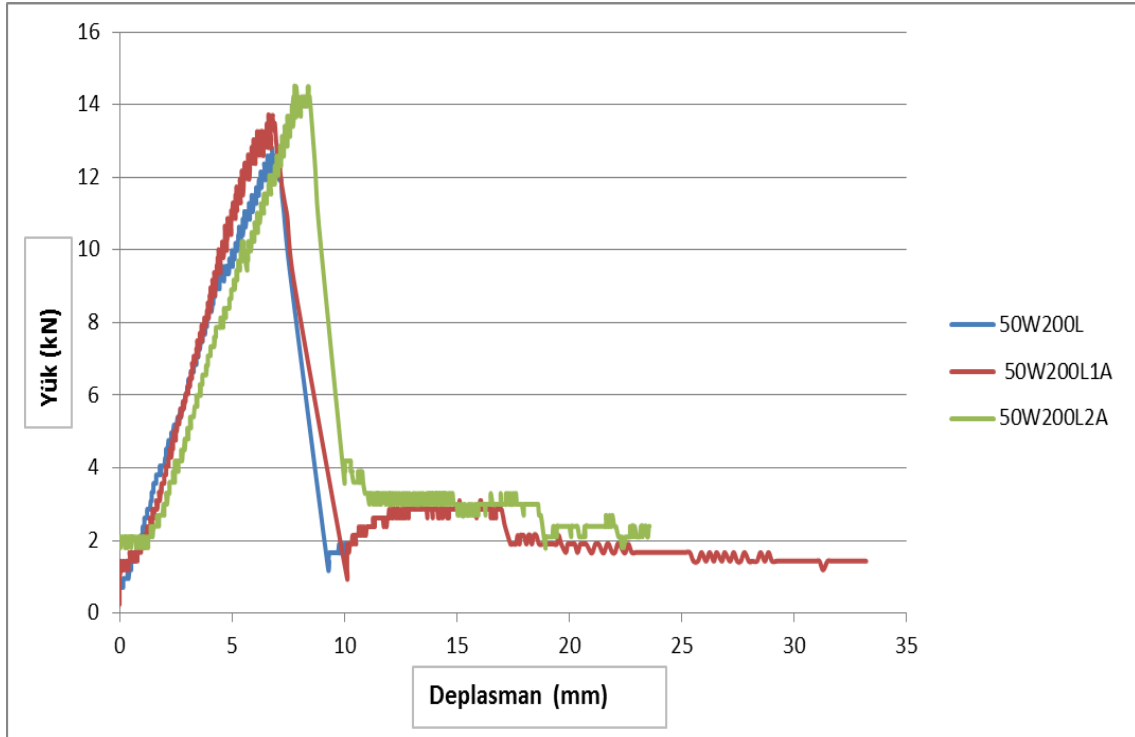
6.1.1. Deney elemanlarının dayanımları

Referans deney elemanlarında şerit genişliği (S_w) ve şerit yapışma boyu (S_f) dayanımla doğrudan ilişkilidir. CFRP şeritlerin dayanımında şerit genişliğinin artışı, şerit yapışma boyunun artmasına oranla daha fazla etkilidir. 50 mm şerit genişliğine şerit yapışma boyu 280 mm olan deney elemanı 50W280L, 50W200L deney elemanına göre yaklaşık %8, 100 mm şerit genişliğine sahip şerit yapışma boyu 280 mm olan deney elemanı 100W280L, 100W200L deney elemanına göre %22 daha fazla dayanıma sahiptir. 200 mm şerit yapışma boyuna sahip 100 mm şerit genişliği olan deney elemanı 100W200L, 50W200L deney elemanına göre %58, 280 mm şerit yapışma boyuna sahip 100 mm şerit genişliği olan deney elemanı 100W280L, 50W280L deney elemanına göre %77 daha fazla dayanıma sahiptir. Referans deney elemanlarının yük-deplasman grafikleri Şekil 6.1'de verilmiştir.

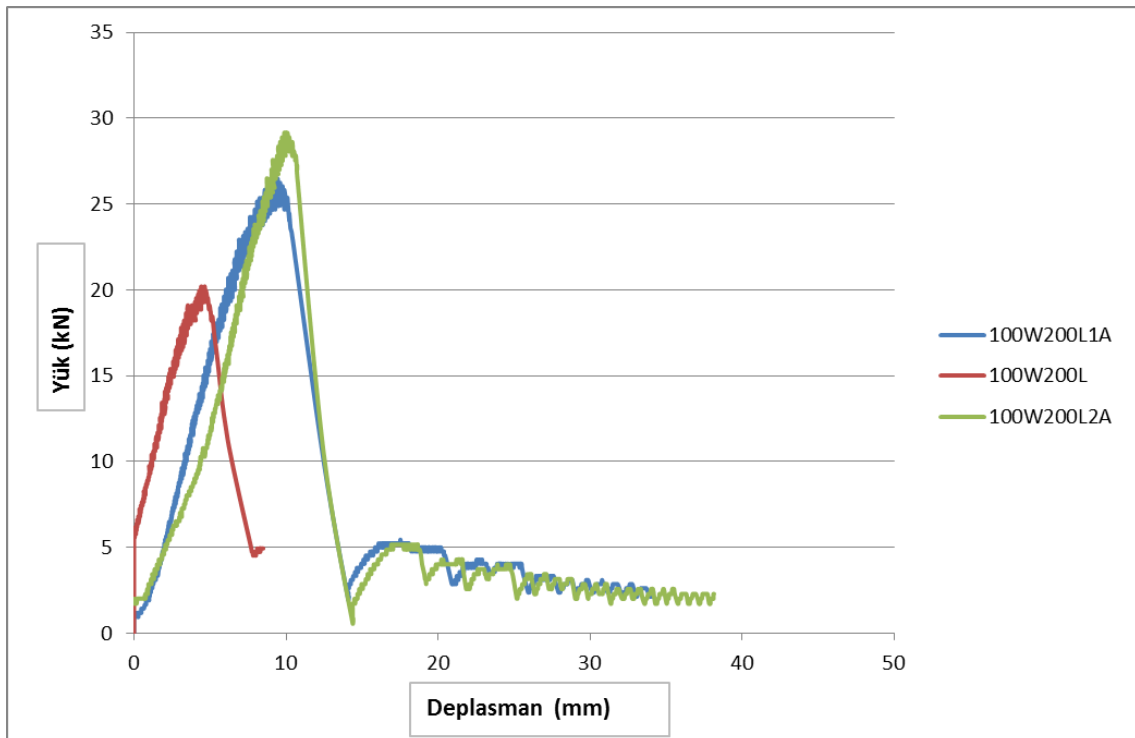


Şekil 6.1. Referans deney elemanları yük-deplasman karşılaştırma grafikleri

Deney elemanlarında uygulanan ankraj sonucu CFRP şeritlerin göçme modu değişmiş, referans elemanları beton yüzeyinden sıyrılarak göçme gerçekleşirken ankrajlı elemanlarda CFRP şeritlerin dayanımları artarak şeritlerin kopması sonucu göçme gerçekleşmiştir. 200 mm yapışma boyuna sahip deney elemanlarında; ankraj uygulaması; 50W200L referans deney elemanına göre deney elemanı 50W200L1A'da %7, deney elemanı 50W200L2A'da %13 dayanım artışına neden olmuştur. 100W200L referans deney elemanına göre deney elemanı 100W200L1A'da %31, deney elemanı 100W200L2A'da %44 dayanım artışına neden olmuştur. 50 mm ve 100 mm şerit genişliğinde 200 mm şerit yapışma boyuna sahip ankrajlı deney elemanlarının yük-deplasman grafikleri Şekil 6.2. ve Şekil 6.3'de verilmiştir.

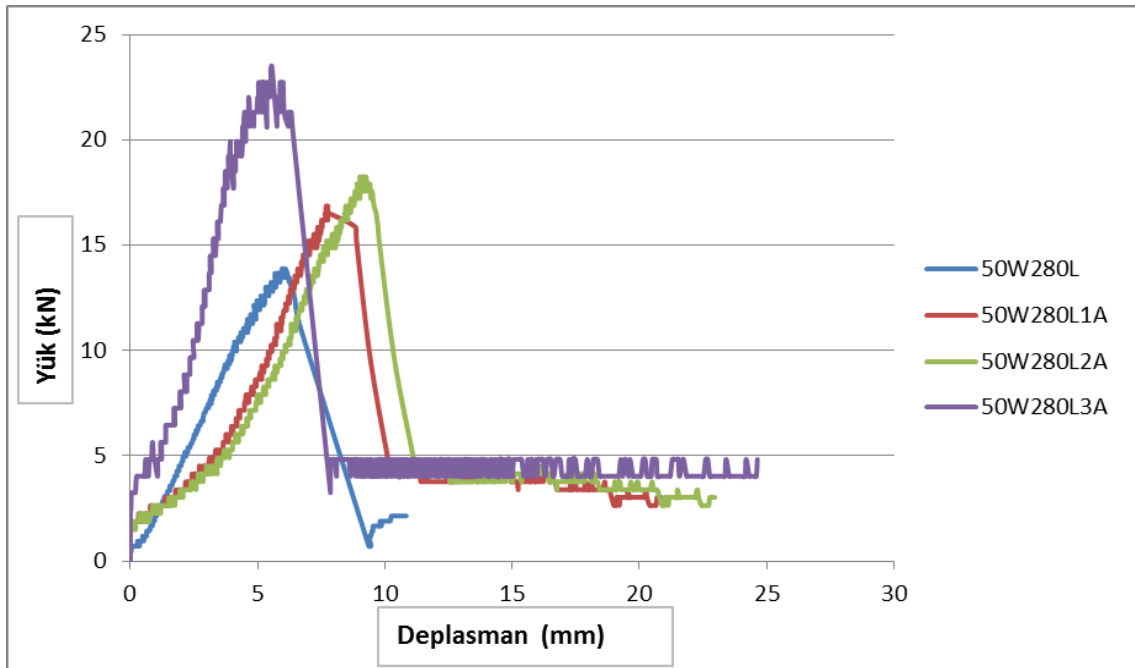


Şekil 6.2. 50W200L, 50W200L1A ve 50W200L2A deney elemanları yük-deplasman karşılaştırma grafikleri

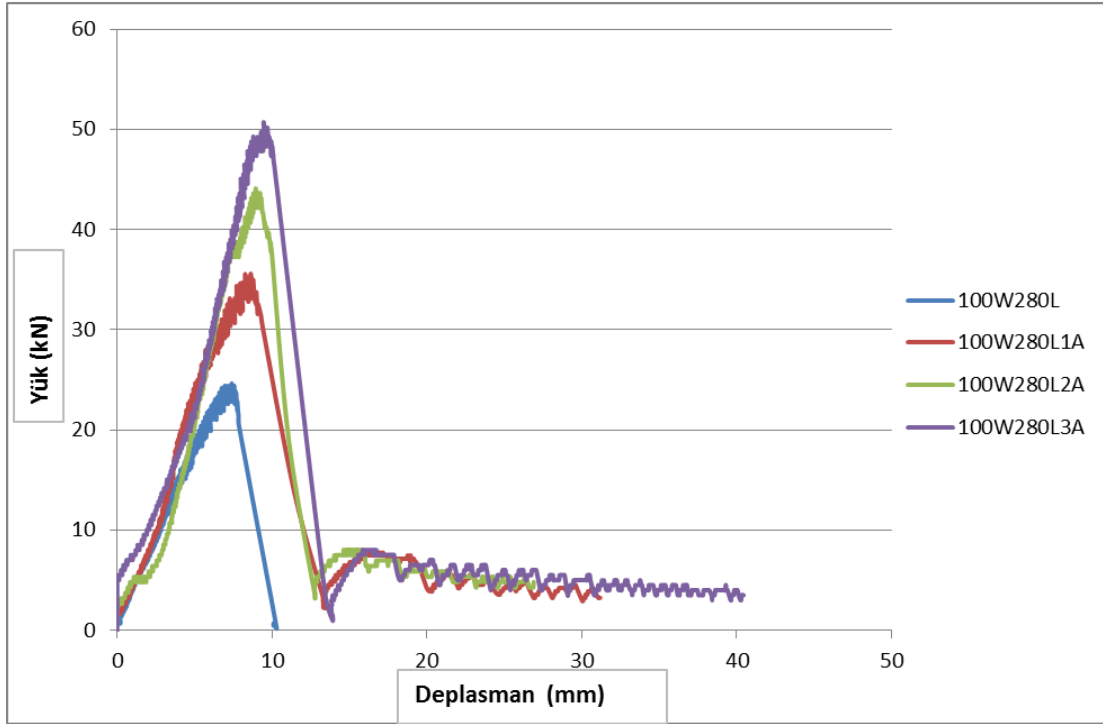


Şekil 6.3. 100W200L, 100W200L1A ve 100W200L2A deney elemanları yük-deplasman karşılaştırma grafikleri

280 mm yapışma boyuna sahip deney elemanlarında ankraj uygulaması; 50W280L referans deney elemanına göre deney elemanı 50W280L1A'da %19, deney elemanı 50W280L2A'da %31, deney elemanı 50W280L3A'da %69 dayanım artışına neden olmuştur. 100W280L referans deney elemanına göre deney elemanı 100W280L1A'da %44, deney elemanı 100W280L2A'da %79 deney elemanı 100W280L3A'da %105 dayanım artışına neden olmuştur. 50 mm ve 100 mm şerit genişliğinde 280 mm şerit yapışma boyuna sahip ankrajlı deney elemanlarının yük-deplasman grafikleri Şekil 6.4 ve Şekil 6.5.'de verilmiştir.



Şekil 6.4. 50W280L, 50W280L1A, 50W280L2A ve 50W280L3A deney elemanları yük-deplasman karşılaştırma grafikleri

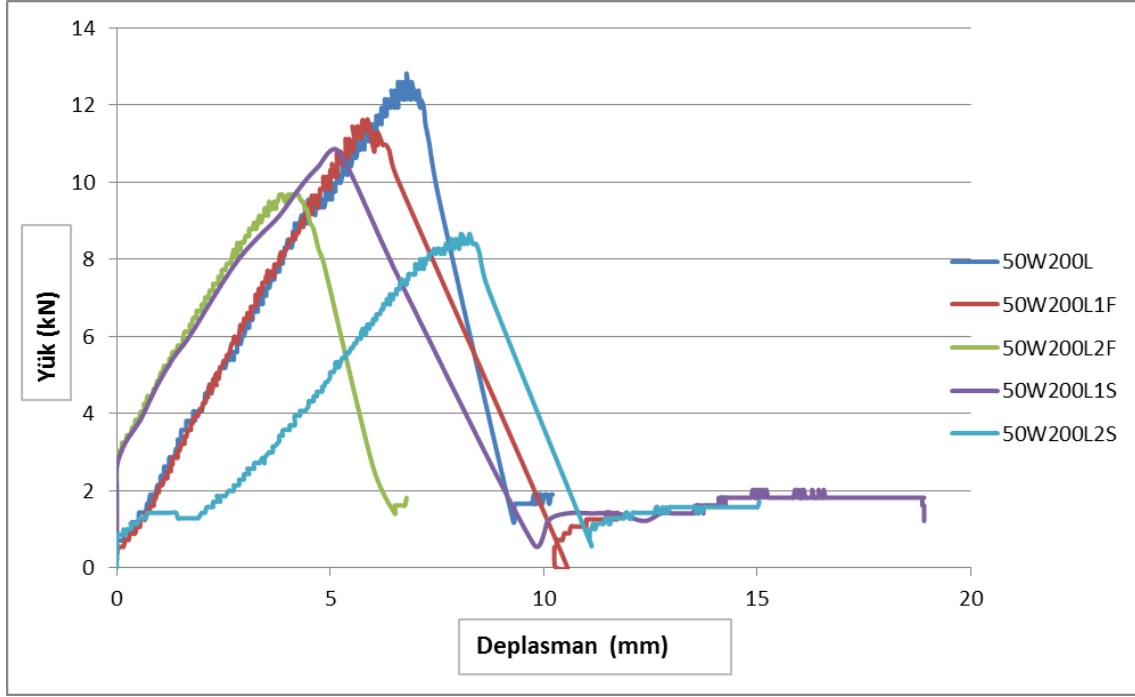


Şekil 6.5. 100W280L, 100W280L1A, 100W280L2A ve 100W280L3A deney elemanları yük-deplasman karşılaştırma grafikleri

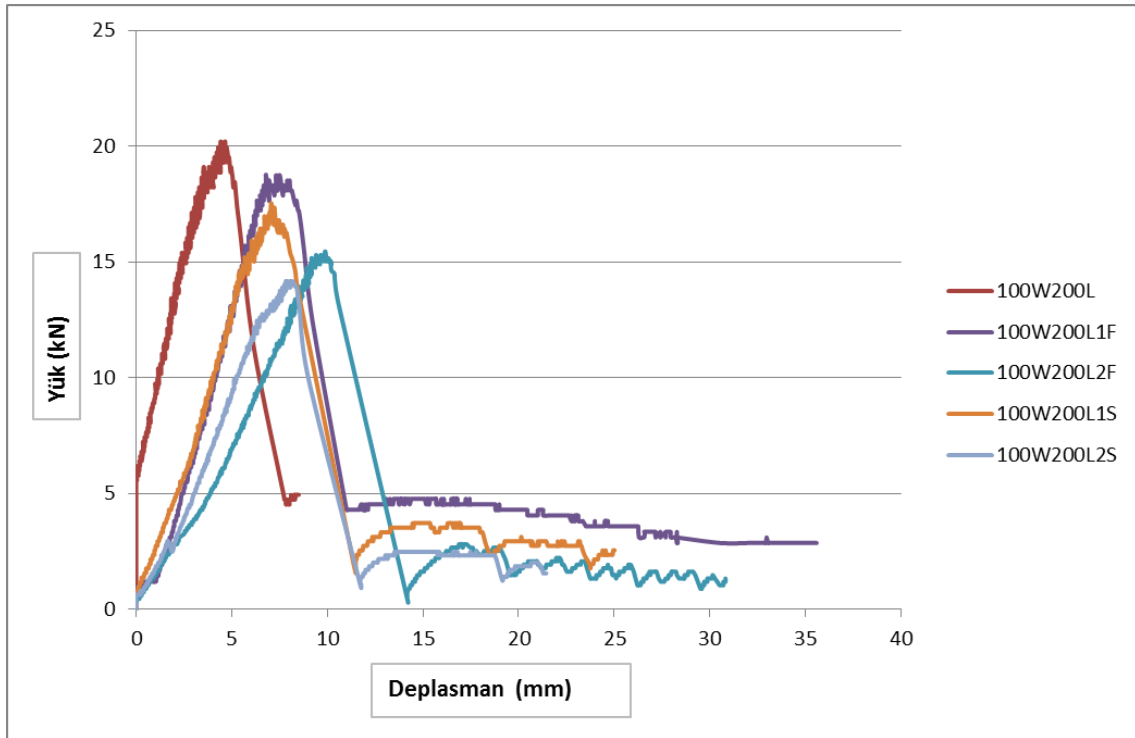
Beton yüzeyinde oluşturulan eğilme ve kesme çatlakları CFRP şeritlerinin taşıdığı maksimum çekme kuvvetinin azalmasına sebep olmuştur. Kesme çatlaklarına sahip deney elemanlarında CFRP şerit altında kalan çatlak alanının eğilme çatlaklarına göre daha fazla olması nedeniyle yük kaybı daha fazla olmuştur.

200 mm CFRP şerit yapışma boyuna sahip deney elemanlarında maksimum çekme kuvveti; 50W200L referans deney elemanına göre eğilme çatlaklarına sahip deney elemanı 50W200L1F'de %10, deney elemanı 50W200L2F'de %32 azalırken kesme çatlaklarına sahip deney elemanı 50W200L1S'de %18, deney elemanı 50W200L2S'de %48 oranında azalmıştır.

100W200L referans deney elemanına göre eğilme çatlaklarına sahip deney elemanı 100W200L1F'de %8, deney elemanı 100W200L2F'de %30 azalırken, kesme çatlaklarına sahip deney elemanı 100W200L1S %15, deney elemanı 100W200L2S'de %43 oranında azalmıştır. 50 mm ve 100 mm şerit genişliğinde 200 mm şerit yapışma boyuna sahip eğilme ve kesme çatlaklı deney elemanlarının yük-deplasman grafikleri Şekil 6.6 ve 6.7'de verilmiştir.



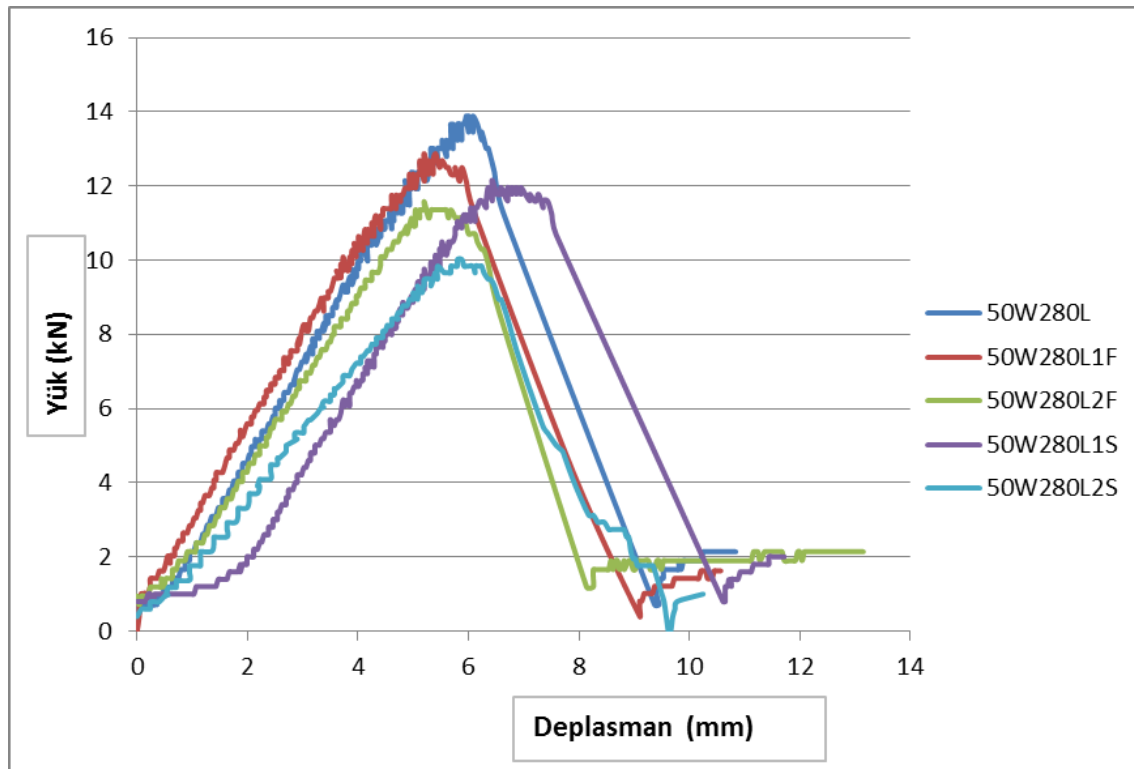
Şekil 6.6. 50W200L, 50W200L1F, 50W200L2F, 50W200L1S ve 50W200L2S deney elemanları yük-deplasman karşılaştırma grafikleri



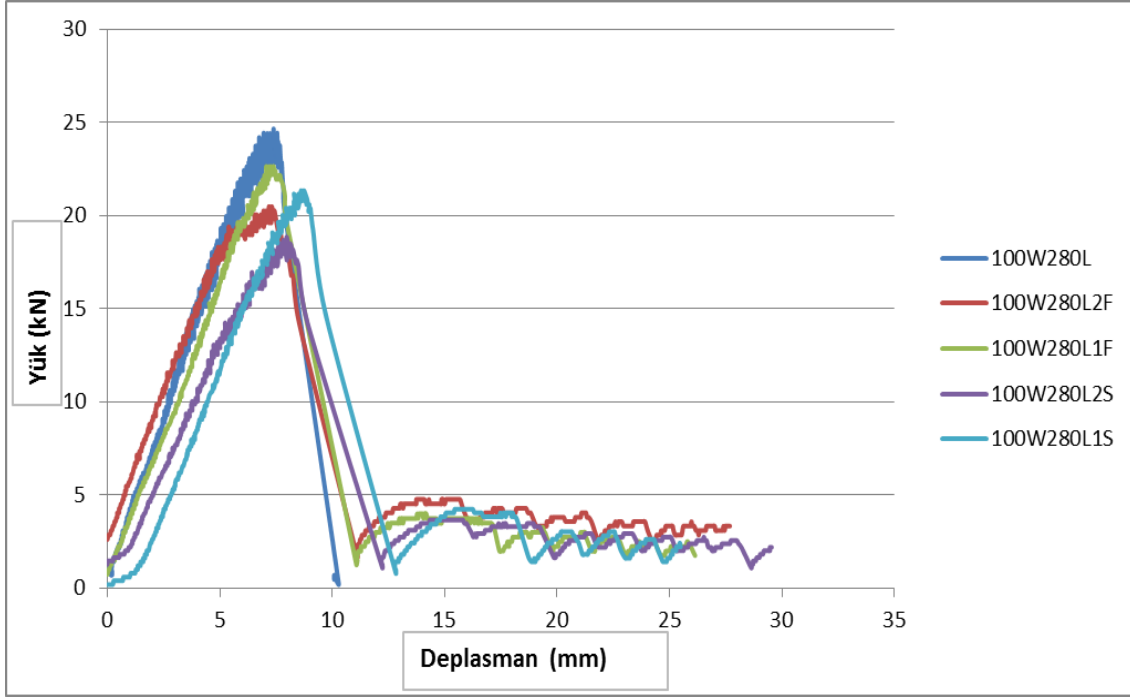
Şekil 6.7. 100W200L, 100W200L1F, 100W200L2F, 100W200L1S ve 100W200L2S deney elemanları yük-deplasman karşılaştırma grafikleri

280 mm yapışma boyuna sahip deney elemanlarında maksimum çekme kuvveti; 50W280L referans deney elemanına göre, eğilme çatlakına sahip deney elemanı 50W280L1F'de %8, deney elemanı 50W280L2F'de %20 azalırken kesme çatlakına sahip 50W280L1S'de %14, deney elemanı 50W280L2S'de %39 oranında azalmıştır.

100W280L referans deney elemanına göre eğilme çatlakına sahip deney elemanı 100W280L1F'de %9, deney elemanı 100W280L2F'de %20 azalırken kesme çatlakına sahip 100W280L1S %15, deney elemanı 100W280L2S'de %31 oranında azalmıştır. 50 mm ve 100 mm şerit genişliğinde 280 mm şerit yapışma boyuna sahip eğilme ve kesme çatlaklı deney elemanlarının yük-deplasman grafikleri Şekil 6.8 ve Şekil 6.9'da verilmiştir.



Şekil 6.8. 50W280L, 50W280L1F, 50W280L2F, 50W280L1S ve 50W280L2S deney elemanları yük-deplasman karşılaştırma grafikleri



Şekil 6.9. 100W280L, 100W280L1F, 100W280L2F, 100W280L1S ve 100W280L2S deney elemanları yük-deplasman karşılaştırma grafikleri

6.1.2. Deneysel elemanlarının rijitlik ve enerji yutma kapasiteleri

Deneysel çalışma kapsamında elde edilen Yük-Deplasman grafikleri kullanılarak deneysel elemanlarının maksimum yükteki rijitlik değerleri hesaplanarak karşılaştırılmıştır. Referans deneysel elemanlarında şerit genişliğinin artışı rijitliğin artmasına neden olmuştur.

CFRP şerit genişliği ve şerit yapışma boyunun artması elemanların enerji yutma kapasitesini arttırmıştır. Şerit genişliği 100 mm olan referans deneysel elemanları şerit genişliği 50 mm olan referans deneysel elemanlarına göre ortalama %74 oranında daha fazla enerji yutma kapasitesine sahiptir. Deneysel elemanlarında uygulanan ankraj sayesinde CFRP şeritlerin taşıma kapasitesi artmıştır. Taşıma kapasitesinin artmasıyla birlikte enerji yutma kapasiteleri de artmıştır.

Deneysel elemanlarından hesaplanan rijitlik ve enerji yutma kapasiteleri değerleri Çizelge 6.1'de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Deney Elemanları Rijitlik ve Enerji Yutma Kapasiteleri

SIRA	DENEY ELEMANI	MAKSİMUM YÜK (kN)	MAKSİMUM YÜKTEKİ DEPLASMAN	RIJİTLİK	Enerji Yutma Kapasitesi (kN /mm)
1	100W200L	20,19	4,45	4,54	105
2	100W280L	24,63	7,39	3,33	134
3	50W200L	12,8	6,69	1,91	70
4	50W280L	13,89	6,08	2,28	66
5	50W200L1A	13,7	6,75	2,03	117
6	50W200L2A	14,5	7,79	1,86	115
7	50W280L1A	16,54	8,53	1,94	140
8	50W280L2A	18,25	9,02	2,02	141
9	100W200L1A	26,46	9,45	2,8	275
10	100W200L2A	29,15	9,89	2,95	271
11	100W280L1A	35,57	8,62	4,13	342
12	100W280L2A	44,12	8,94	4,94	353
13	100W280L3A	50,67	9,45	5,36	481
14	50W280L3A	23,45	5,52	4,25	178
15	50W200L1F	11,61	5,88	1,97	81
16	50W200L2F	9,67	4,25	2,28	42
17	50W200L1S	10,79	5,20	2,08	73
18	50W200L2S	8,66	8,06	1,07	57
19	50W280L1F	12,88	5,40	2,39	64
20	50W280L2F	11,58	5,20	2,23	61
21	50W280L1S	12,15	6,43	1,89	71
22	50W280L2S	10,02	5,88	1,7	70
23	100W200L1F	18,74	7,51	2,5	183
24	100W200L2F	15,44	9,89	1,56	140
25	100W200L1S	17,52	7,07	2,48	159
26	100W200L2S	14,18	8,14	1,74	112
27	100W280L2F	20,49	7,19	2,85	202
28	100W280L1F	22,64	7,39	3,06	193
29	100W280L2S	18,82	7,98	2,36	175
30	100W280L1S	21,34	8,62	2,48	199

6.2. CFRP şeritlerde birim deformasyonlar

Deneyisel çalışmada CFRP şeritlerdeki birim deformasyonların takibi amacıyla şerit orta eksenine şerit yapışma boyu 200 mm olan deney elemanlarında 6 adet, şerit yapışma boyu 280 mm olan deney elemanlarında ise 8 adet birim deformasyon ölçer yerleştirilmiştir. Birim deformasyon ölçerler CFRP şerit ortak

ekseni üzerine yüklü kenardan beton yüzeyine yapışmanın başladığı noktadan başlayarak 40 mm arayla yapıştırılmıştır. CFRP şeritlerin üzerine yapıştırılan birim deformasyon ölçerlerden alınan değerler Çizelge 5.2'de verilmiştir. CFRP şeritlerden oluşan maksimum birim deformasyon değerleri ile ankraj, kesme ve eğilme çatlaklarına en yakın noktalardaki birim deformasyon değerleri Çizelge 6.2'de koyu olarak belirtilmiştir.

Çizelge 6.2. CFRP şeritlerde ölçülen birim deformasyon değerleri

100W200L		100W280L		50W200L		50W280L		50W200L1A		50W200L2A	
Yüklü Kenardan Uzaklık (mm)	Birim Deformasyon (mm/mm)	Yüklü Kenardan Uzaklık (mm)	Birim Deformasyon (mm/mm)	Yüklü Kenardan Uzaklık (mm)	Birim Deformasyon (mm/mm)	Yüklü Kenardan Uzaklık (mm)	Birim Deformasyon (mm/mm)	Yüklü Kenardan Uzaklık (mm)	Birim Deformasyon (mm/mm)	Yüklü Kenardan Uzaklık (mm)	Birim Deformasyon (mm/mm)
0	0,0042	0	0,0087	0	0,0061	0	0,007	0	0,007	0	0,0077
40	0,0022	40	0,003	40	0,0027	40	0,004	40	0,0015	40	0,0025
80	0,001	80	0,0029	80	0,00077	80	0,0007	80	0,0017	80	0,0011
120	0,00014	120	0,00038	120	0,0001	120	0,0001	120	0,001	120	0,0018
160	0,00005	160	0,00005	160	0,00002	160	0,00006	160	0,0005	160	0,00095
200	0,00003	200	0,00003	200	0,000012	200	0,00004	200	0,0001	200	0,00022
		240	0,000016			240	0,00003				
		280	0,000023			280	0,0002				
50W280L1A		50W280L2A		100W200L1A		100W200L2A		100W280L1A		100W280L2A	
Yüklü Kenardan Uzaklık (mm)	Birim Deformasyon (mm/mm)	Yüklü Kenardan Uzaklık (mm)	Birim Deformasyon (mm/mm)	Yüklü Kenardan Uzaklık (mm)	Birim Deformasyon (mm/mm)	Yüklü Kenardan Uzaklık (mm)	Birim Deformasyon (mm/mm)	Yüklü Kenardan Uzaklık (mm)	Birim Deformasyon (mm/mm)	Yüklü Kenardan Uzaklık (mm)	Birim Deformasyon (mm/mm)
0	0,0081	0	0,0079	0	0,0057	0	0,0056	0	0,005	0	0,005
40	0,0013	40	0,0057	40	0,0042	40	0,003	40	0,004	40	0,002
80	0,002	80	0,003	80	0,0014	80	0,0014	80	0,003	80	0,003
120	0,0016	120	0,0015	120	0,0015	120	0,003	120	0,0039	120	0,0021
160	0,00078	160	0,0014	160	0,0004	160	0,001	160	0,0005	160	0,0016
200	0,00012	200	0,0021	200	0,00003	200	0,0001	200	0,00009	200	0,0027
240	0,00008	240	0,00096					240	0,00002	240	0,001
280	0,00006	280	0,00033					280	4,88E-06	280	0,00034

Çizelge 6.2. (Devam) CFRP şeritlerde ölçülen birim deformasyon değerleri

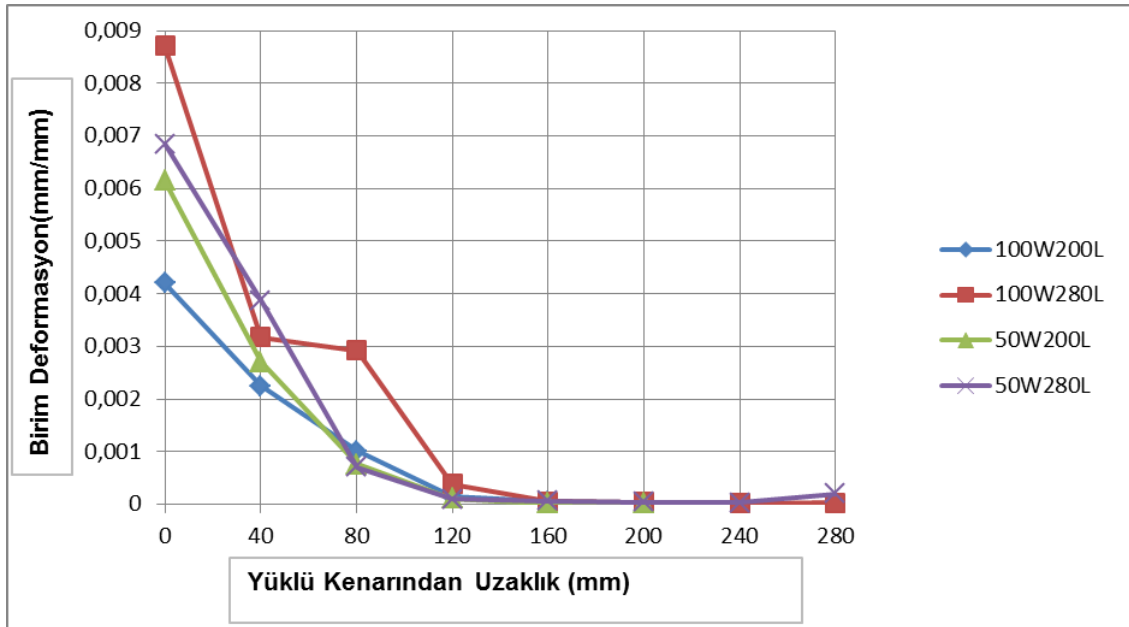
100W280L3A		50W280L3A		50W200L1F		50W200L2F		50W200L1S		50W200L2S	
Yüklü Kenardan Uzaklık (mm)	Birim Deformasyon (mm/mm)	Yüklü Kenardan Uzaklık (mm)	Birim Deformasyon (mm/mm)	Yüklü Kenardan Uzaklık (mm)	Birim Deformasyon (mm/mm)	Yüklü Kenardan Uzaklık (mm)	Birim Deformasyon (mm/mm)	Yüklü Kenardan Uzaklık (mm)	Birim Deformasyon (mm/mm)	Yüklü Kenardan Uzaklık (mm)	Birim Deformasyon (mm/mm)
0	0,006	0	0,007	0	0,0078	0	0,0094	0	0,0059	0	0,0052
40	0,004	40	0,004	28,57	0,0093	28,57	0,005	28,57	0,0041	28,57	0,0025
80	0,001	80	0,0022	57,17	0,0083	57,17	0,0059	57,17	0,0025	57,17	0,0035
120	0,003	120	0,003	85,77	0,0072	85,77	0,001	85,77	0,0008	85,77	0,00093
160	0,003	160	0,0029	114,37	0,0089	114,37	0,0012	114,37	0,0036	114,37	0,0007
200	0,001	200	0,0012	142,97	0,0077	142,97	0,0038	142,97	0,0025	142,97	0,0021
240	0,002	240	0,002	171,57	0,002	171,57	0,00084	171,57	0,0016	171,57	0,00091
280	0,00034	280	0,0007	200	0,002	200	6,82922E-06	200	9,756E-06	200	0,00017
50W280L1F		50W280L2F		50W280L1S		50W280L2S		100W200L1F		100W200L2F	
Yüklü Kenardan Uzaklık (mm)	Birim Deformasyon (mm/mm)	Yüklü Kenardan Uzaklık (mm)	Birim Deformasyon (mm/mm)	Yüklü Kenardan Uzaklık (mm)	Birim Deformasyon (mm/mm)	Yüklü Kenardan Uzaklık (mm)	Birim Deformasyon (mm/mm)	Yüklü Kenardan Uzaklık (mm)	Birim Deformasyon (mm/mm)	Yüklü Kenardan Uzaklık (mm)	Birim Deformasyon (mm/mm)
0	0,0096	0	0,0091	0	0,0061	0	0,0054	0	0,0045	0	0,0061
40	0,0053	40	0,0044	40	0,00013	40	0,0025	40	0,0018	40	0,0034
80	0,0037	80	0,0063	80	0,000038	80	0,0033	80	0,0029	80	0,0028
120	0,0051	120	0,0025	120	0,0033	120	0,0015	120	0,0019	120	0,001
160	0,0057	160	0,0032	160	6,82922E-06	160	0,0009	160	0,00087	160	0,0027
200	0,00253	200	0,0055	200	9,756E-06	200	0,003	200	0,00025	200	0,00087
240	0,00096	240	0,0015	240	4,87802E-06	240	0,0008				
280	1,95122E-06	280	0,00012	280	6,82922E-06	280	0,00014				

Çizelge 6.2. (Devam) CFRP şeritlerde ölçülen birim deformasyon değerleri

100W200L1S		100W200L2S		100W280L2F		100W280L1F		100W280L2S		100W280L1S	
Yüklü Kenardan Uzaklık (mm)	Birim Deformasyon (mm/mm)	Yüklü Kenardan Uzaklık (mm)	Birim Deformasyon (mm/mm)	Yüklü Kenardan Uzaklık (mm)	Birim Deformasyon (mm/mm)	Yüklü Kenardan Uzaklık (mm)	Birim Deformasyon (mm/mm)	Yüklü Kenardan Uzaklık (mm)	Birim Deformasyon (mm/mm)	Yüklü Kenardan Uzaklık (mm)	Birim Deformasyon (mm/mm)
0	0,0048	0	0,0039	0	0,005	0	0,004	0	0,007	0	0,0059
40	0,0029	40	0,0023	40	0,0019	40	0,0025	40	0,0039	40	0,0035
80	0,0019	80	0,002	80	0,0029	80	0,0012	80	0,0051	80	0,0019
120	0,0022	120	0,0008	120	0,0018	120	0,0026	120	0,0029	120	0,0038
160	0,00084	160	0,0018	160	0,00093	160	0,0019	160	0,0017	160	0,0033
200	0,00024	200	0,00051	200	0,0021	200	0,0011	200	0,0038	200	0,0015
				240	0,00085	240	0,0008	240	0,0012	240	0,00096
				280	0,00021	280	0,00012	280	0,0005	280	0,00012

Deneysel çalışma kapsamında yapılan tüm deneylerde CFRP şeritlerdeki maksimum birim deformasyon CFRP şeritlerin beton yüzeyine yapıştığı yüklü kenara en yakın noktadan ölçülmüştür. Yüklü kenardan uzaklaştıkça birim deformasyon değeri düşmüştür. Ancak ankrajlı deney elemanlarında ankrajın CFRP şeridin hareketini durdurduğu için ankraj uygulanan noktalarda birim deformasyon değeri tekrar yükselmiştir.

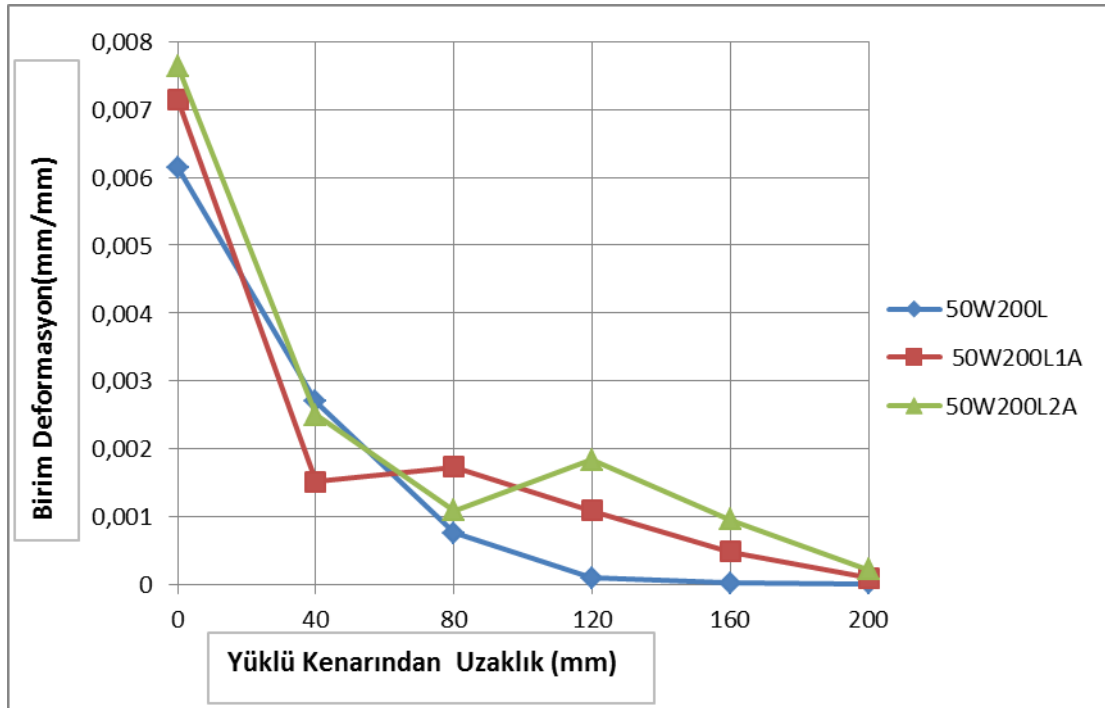
Referans deney elemanlarından ölçülen maksimum birim deformasyon değerlerinin ortalaması 0,0065 mm/mm olarak hesaplanmıştır. Referans deney elemanlarına ait birim deformasyon grafikleri Şekil 6.10'da verilmiştir.



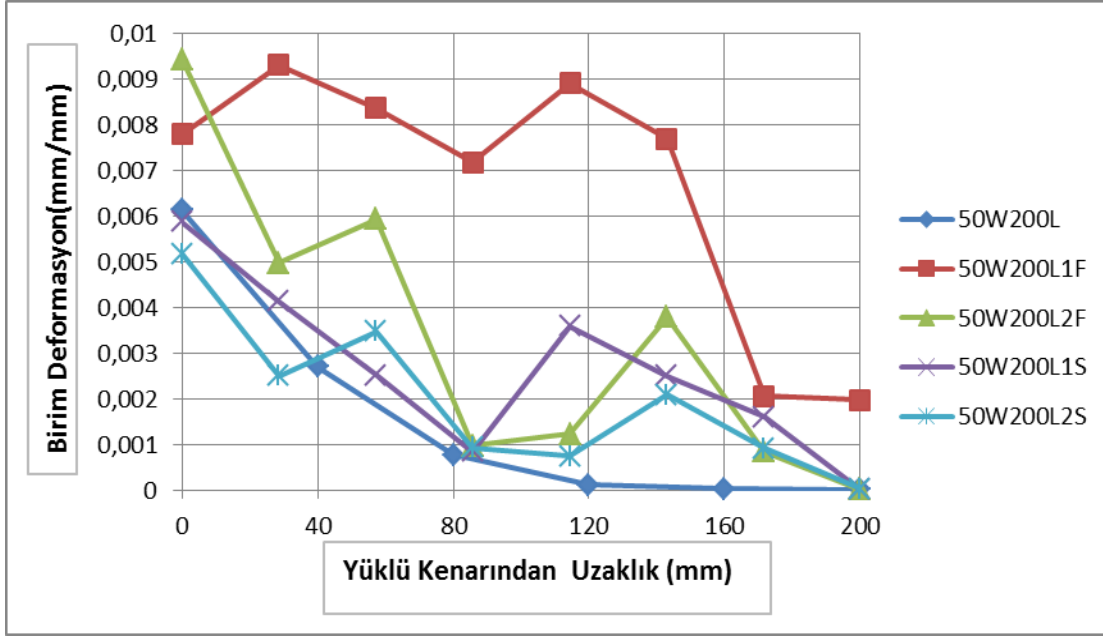
Şekil 6.10. Referans deney elemanları birim deformasyon - mesafe karşılaştırma grafikleri

Ankrajlı deney elemanlarında ankrajın etkisiyle oluşan maksimum birim deformasyon artmıştır. 50W200L referans deney elemanında maksimum birim deformasyon 0,0061 mm/mm iken ankraj uygulaması yapılan 50W200L1A ve 50W2002A deney elemanlarından ölçülen maksimum birim deformasyon değerlerinin ortalaması yaklaşık %20 artarak ortalama 0,0074 mm/mm hesaplanmıştır.

Beton yüzeyinde eğilme çatlağına sahip 50W200L1F ve 50W200L2F deney elemanlarında maksimum birim deformasyon değeri yaklaşık %41 artarak ortalama 0,0086 mm/mm hesaplanmıştır. Ancak kesme çatlağına sahip 50W200L1S ve 50W200L2S deney elemanlarında maksimum birim deformasyon değeri yaklaşık %10 azalarak 0,0056 mm/mm olarak hesaplanmıştır. 50 mm şerit genişliği 200 mm şerit yapışma boyuna sahip deney elemanlarına ait birim deformasyon grafikleri Şekil 6.11 ve Şekil 6.12 'de verilmiştir.



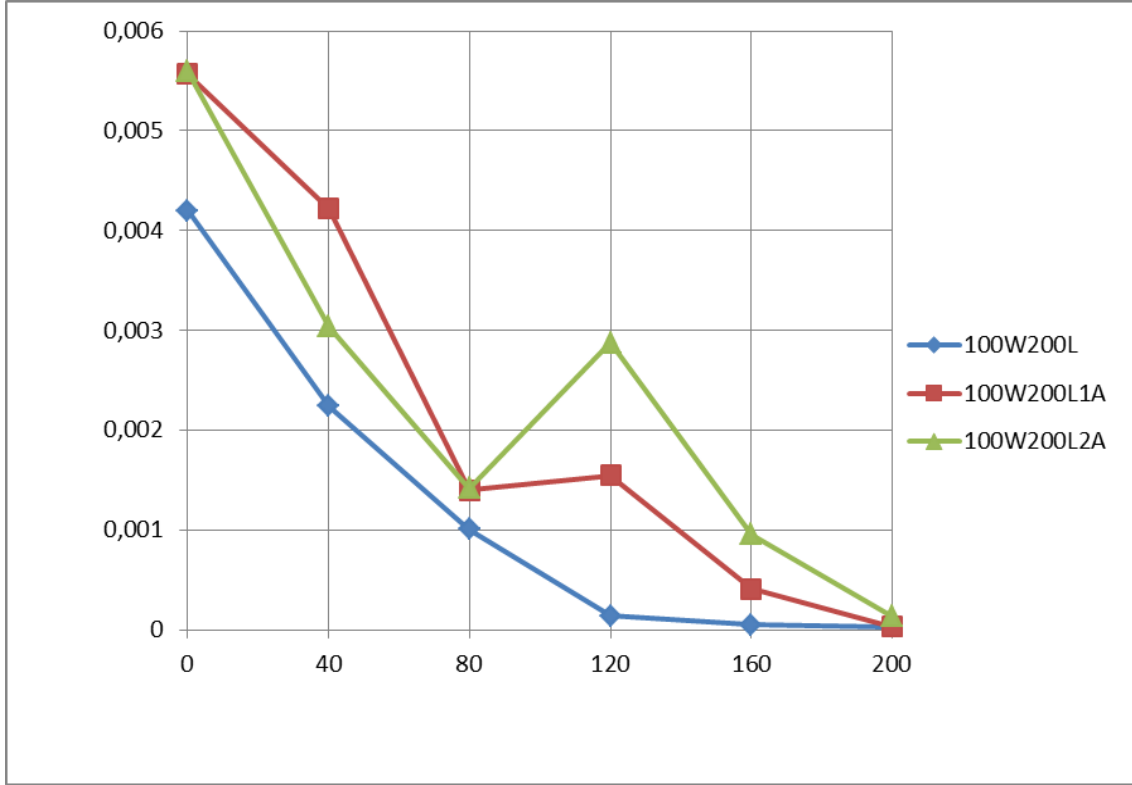
Şekil 6.11. 50W200L, 50W200L1A ve 50W200L2A birim deformasyon - mesafe karşılaştırma grafikleri



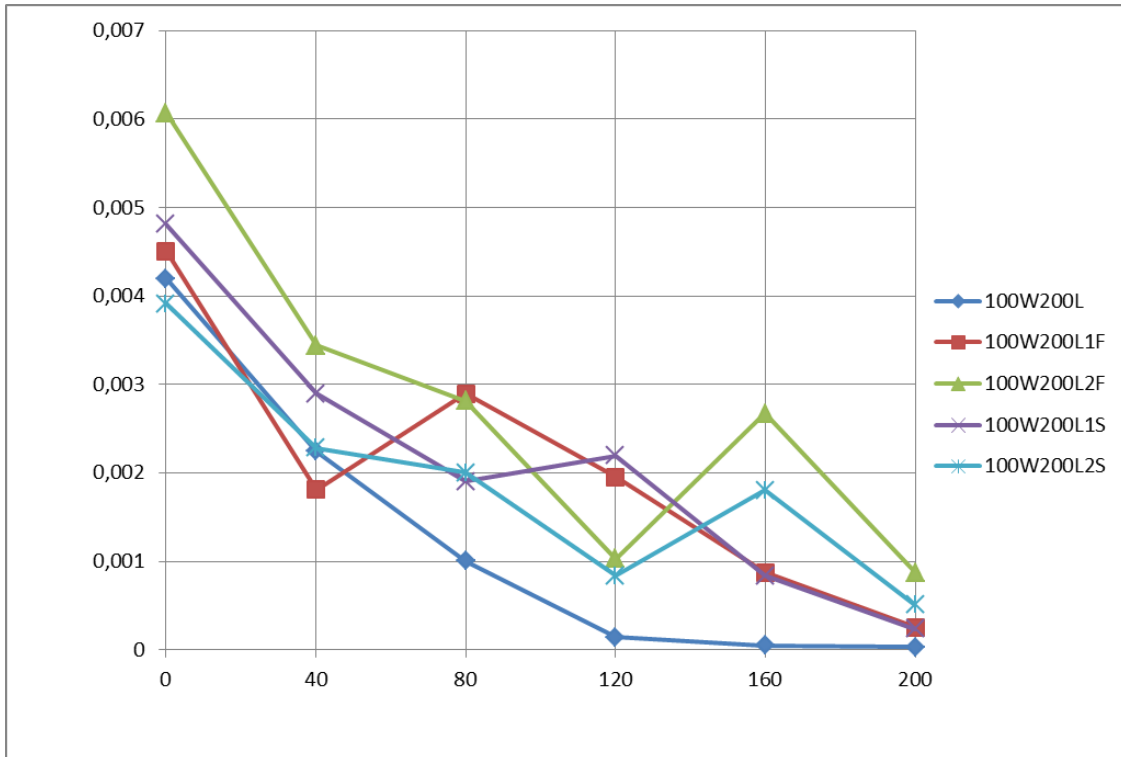
Şekil 6.12. 50W200L, 50W200L1F, 50W200L2F, 50W200L1S ve 50W200L2S deney elemanları yük-deplasman karşılaştırma grafikleri

100W200L referans deney elemanında maksimum birim deformasyon 0,0042 mm/mm iken ankraj uygulaması yapılan 100W200L1A ve 100W200L2A deney elemanlarından ölçülen birim deformasyon değerlerinin ortalaması yaklaşık %33 artarak ortalama 0,0056 mm/mm hesaplanmıştır.

Beton yüzeyinde eğilme çatlığına sahip 100W200L1F ve 100W200L2F deney elemanlarında maksimum birim deformasyon değeri yaklaşık %26 artarak ortalama 0,0053 mm/mm hesaplanmıştır. Kesme çatlığına sahip 100W200L1S ve 100W200L2S deney elemanlarında maksimum birim deformasyon değeri yaklaşık %3 artarak 0,0058 mm/mm olarak hesaplanmıştır. 100 mm şerit genişliği 200 mm şerit yapışma boyuna sahip deney elemanlarına ait birim deformasyon grafikleri Şekil 6.13 ve Şekil 6.14 'de verilmiştir.



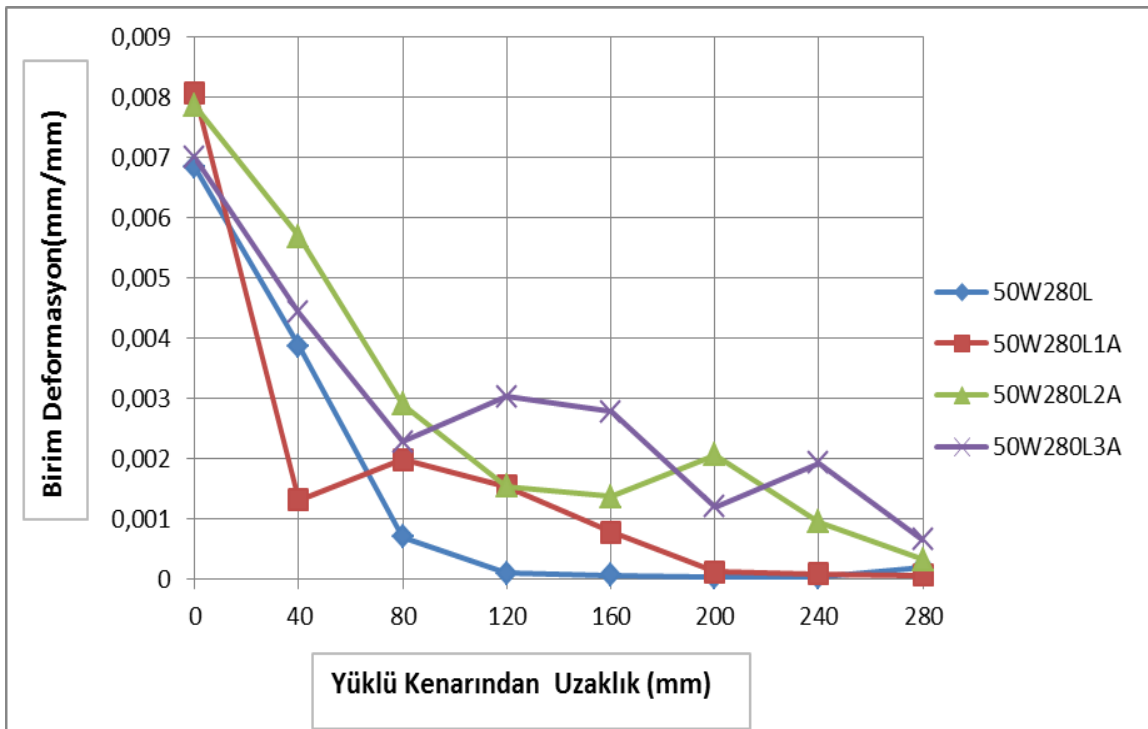
Şekil 6.13. 100W200L, 100W200L1A ve 100W200L2A birim deformasyon - mesafe karşılaştırma grafikleri



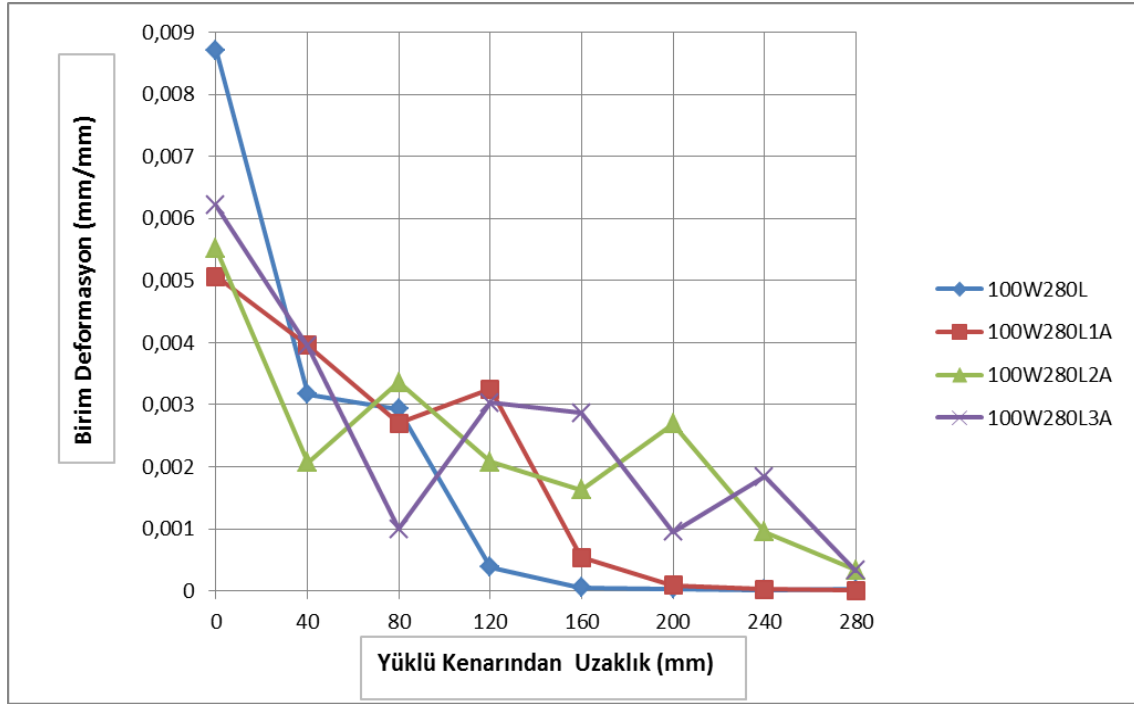
Şekil 6.14. 100W200L, 100W200L1F, 100W200L2F, 100W200L1S ve 100W200L2S deney elemanları yük-deplasman karşılaştırma grafikleri

50W280L referans deney elemanında maksimum birim deformasyon 0,0070 mm/mm iken ankraj uygulaması yapılan 50W280L1A, 50W2802A ve 50W2803A deney elemanlarından ölçülen birim deformasyon değerlerinin ortalaması yaklaşık %10 artarak 0,0077 mm/mm hesaplanmıştır.

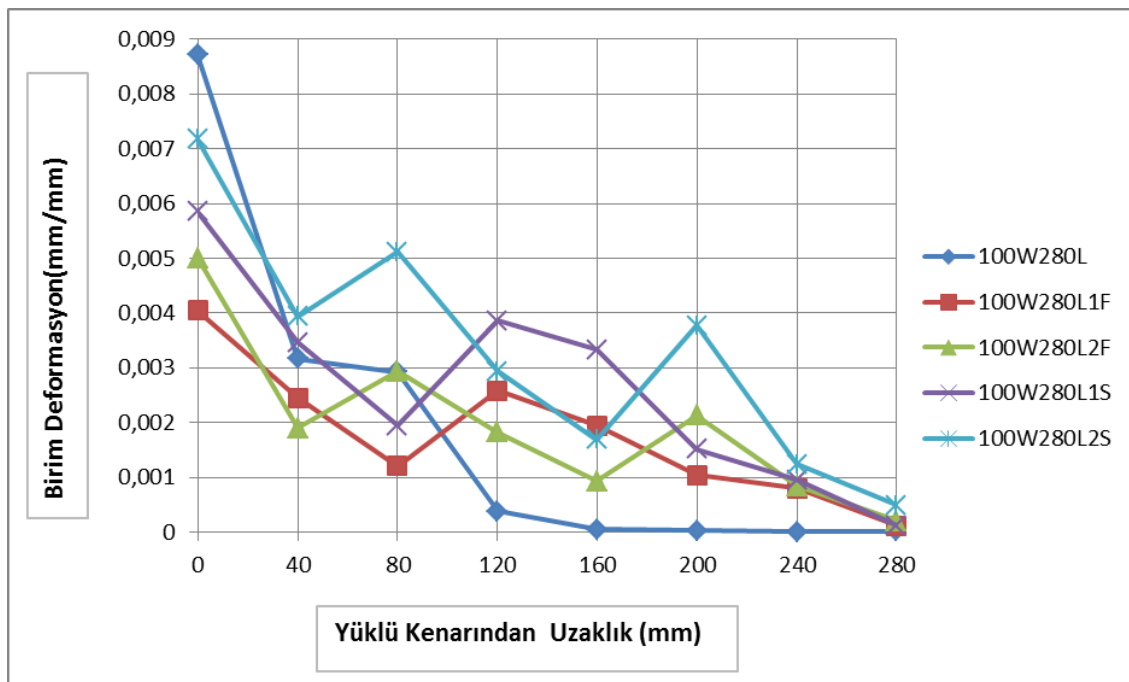
Beton yüzeyinde eğilme çatlağına sahip 50W280L1F ve 50W280L2F deney elemanlarında maksimum birim deformasyon değeri yaklaşık %33 artarak ortalama 0,0094 mm/mm hesaplanmıştır. Ancak kesme çatlağına sahip 50W200L1S ve 50W200L2S deney elemanlarında maksimum birim deformasyon değeri yaklaşık %18 azalarak 0,0058 mm/mm olarak hesaplanmıştır. 50 mm şerit genişliği 200 mm şerit yapışma boyuna sahip deney elemanlarına ait birim deformasyon grafikleri Şekil 6.15 ve Şekil 6.16 'da verilmiştir.



Şekil 6.15. 50W280L, 50W280L1A ve 50W280L2A birim deformasyon - mesafe karşılaştırma grafikleri



Şekil 6.17. 100W280L, 100W280L1A ve 100W280L2A birim deformasyon - mesafe karşılaştırma grafikleri



Şekil 6.18. 100W280L, 100W280L1F, 100W280L2F, 100W280L1S ve 100W280L2S deney elemanları yük-deplasman karşılaştırma grafikleri

7. SONUÇLARIN ANALİTİK HESAPLAMALARLA KARŞILAŞTIRILMASI

Bu bölümde literatürde yaygın olarak kullanılan Van Gamert, Ceng&Teng, CNR, Sato, Iso, Yang, Madea, Khalifa, Tanaka ve Hiroyuki ve Wu tarafından geliştirilmiş olan eşitliklerle elde edilen sonuçlar ile deney sonuçları karşılaştırılacak ve değerlendirilecektir. Deney elemanlarının göçme yükleri Eşitlik 7.1-7.31 kullanılarak hesaplanmıştır [18].

Hesaplanan değerler ile deneysel verilerin karşılaştırılması Çizelge 7.1'de verilmiştir.

Van gamert Modeli

$$\beta_w = \sqrt{\frac{1,5 * \left(2 - \frac{bf}{bm}\right)}{1 + \frac{bf}{bm}}} \quad (7.1)$$

$$\Gamma_m = 1,8 * \beta_w * f_t \quad (7.2)$$

CNR Modeli

$$K_b = \sqrt{\frac{3 - \left(\frac{bf}{bm}\right)}{1 + \left(\frac{bf}{bm}\right)}} \quad (7.3)$$

$$\Gamma_{f.m} = K G_m . K_b . \sqrt{f_c' * f_{ct}} \quad (7.4)$$

$$F_{max.th.m} = bf . \sqrt{2 * E_f * t_f * \Gamma} \quad (7.5)$$

Çing ve Tang Modeli

$$L_e = \sqrt{(E_f x t_f) / (\sqrt{f_c'})} \quad (6.6)$$

$$\beta_p = \sqrt{\frac{2 - \left(\frac{bf}{bm}\right)}{1 + \left(\frac{bf}{bm}\right)}} \quad (7.7)$$

$$P_{cal} = \alpha * \beta_p * \beta_1 * L_e * b_f * \sqrt{f_c'} \quad (7.8)$$

Sato Modeli

$$\Gamma_u = 2,68 \cdot 10^{-5} \cdot (f'_c)^{0,2} \cdot E_p \cdot t_p \quad (7.9)$$

$$P_u = \Gamma_u \cdot L_e \cdot (b_p + 7,4) \quad (7.10)$$

$$L_e = 1,89 \cdot (E_p \cdot t_p)^{0,4} \quad (7.11)$$

$$\text{Eğer } L > L_e : L_e = L \quad (7.12)$$

Iso Modeli

$$\Gamma_u = 0,93 \cdot (f'_c)^{0,44} \quad (7.13)$$

$$L_e = 0,125 \cdot (E_p \cdot t_p)^{0,57} \quad L > L_e : L_e = L \quad (7.14)$$

$$P_u = \Gamma_u \cdot L_e \cdot b_p \quad (7.15)$$

Yang Modeli

$$P_u = (0,5 + 0,08 \sqrt{0,01 \cdot E_p \cdot t_p / f_t \cdot b_b}) \cdot L_e \cdot \Gamma_u \quad (7.16)$$

$$L_e = 100 \text{ mm} \quad (7.17)$$

$$\Gamma_u = 0,5 \cdot f_t \quad (7.18)$$

Maeda Modeli

$$\Gamma_u = (110,20 \cdot 10^{-6}) \cdot E_f \cdot t \quad (7.19)$$

$$L_e = e^{6,134 - 0,58 \ln(E_f \cdot t_f)} \quad (7.20)$$

$$P_u = \Gamma_u \cdot L_e \cdot b_p \quad (7.21)$$

Khafia Modeli

$$\Gamma_u = (110,20 \cdot 10^{-6}) \cdot (f'_c / 42) \cdot E_f \cdot t \quad (7.22)$$

$$L_e = e^{6,134 - 0,58 \ln(E_f \cdot t_f)} \quad (7.23)$$

$$P_u = \Gamma_u \cdot L_e \cdot b_p \quad (7.24)$$

Tanaka ve Sato Modeli

$$\Gamma_u = 6,13 \cdot \ln(L) \quad (7.25)$$

$$P_u = \Gamma_u \cdot L \cdot b_p \quad (7.26)$$

Hiroyuki ve Wu Modeli

$$\Gamma_u = 0,27 \cdot L - 0,669 \quad (7.27)$$

$$P_u = \Gamma_u \cdot L \cdot b_p \quad (7.28)$$

Ankraj Etkisinin Hesabı

$$P_u \cdot s_{uj} = K_{saj} \cdot P_u \quad (7.29)$$

$$K_{saj} = A \left(\frac{L_{end}}{L_{eff}} \right) + B \quad A = 0.7 \quad B = 1 \quad (7.30)$$

$$0.22 < \frac{L_{end}}{L_{eff}} < 1.76 \quad (6.31)$$

Eşitliklerde kullanılan terimler aşağıda verilmiştir.

β_p, β_w : Kiriş ve CFRP şerit genişliği düzeltme katsayısı

b_1 : CFRP şerit etkili yapıştırma boyu düzeltme katsayısı

b_m : Kiriş genişliği

b_f, b_p : CFRP şerit genişliği

L_{CFRP} : CFRP şerit yapıştırma boyu

L_e : Etkili CFRP şerit boyu

f_c : Beton basınç dayanımı

f_{ct}, f_t : Beton çekme dayanımı

P_{cal}, P_u : Elemanların hesaplanan göçme yükü

K_{Gm} : CNR yöntemde göçme enerjisinin katsayısı

α : Cheng and Teng [12] deneylerindeki regresyon katsayısı

$\Gamma_{f,m}$: Göçme Enerji

E_f, E_p : CFRP elastisite Modülü

t_f, t_p : CFRP kalınlığı

Çizelge 7.1. Deneysel sonuçlar ile analitik verilerin karşılaştırılması

	Deney Elemanı	Deneysel Göçme Yükü (kN)	CNR	*Oran	Çing ve Ting	*Oran	Sato	*Oran	Iso	*Oran	Yang	*Oran
1	100W200L	20,19	13,82	1,46	21,50	0,94	17,82	1,13	16,33	1,24	18,32	1,10
2	100W280L	24,63	13,82	1,78	21,50	1,15	17,82	1,38	16,33	1,51	18,32	1,34
3	50W200L	12,8	7,32	1,75	13,06	0,98	9,52	1,34	8,16	1,57	9,16	1,40
4	50W280L	13,89	7,32	1,90	13,06	1,06	9,52	1,46	8,16	1,70	9,16	1,52
5	50W200L1A	13,7	14,19	0,97	25,34	0,54	15,33	0,89	18,20	0,75	15,57	0,88
6	50W200L2A	14,5	16,31	0,89	29,13	0,50	17,72	0,82	18,20	0,80	18,13	0,80
7	50W280L1A	16,54	16,31	1,01	25,34	0,65	17,72	0,93	18,20	0,91	18,13	0,91
8	50W280L2A	18,25	16,31	1,12	29,13	0,63	17,72	1,03	18,20	1,00	18,13	1,01
9	100W200L1A	26,46	26,81	0,99	41,70	0,63	28,69	0,92	36,41	0,73	31,14	0,85
10	100W200L2A	29,15	30,82	0,95	47,94	0,61	33,15	0,88	36,41	0,80	31,14	0,94
11	100W280L1A	35,57	30,82	1,15	47,94	0,74	33,15	1,07	36,41	0,98	36,27	0,98
12	100W280L2A	44,12	30,82	1,43	47,94	0,92	33,15	1,33	36,41	1,21	36,27	1,22
13	100W280L3A	50,67	30,82	1,64	47,94	1,06	33,15	1,53	36,41	1,39	36,27	1,40
14	50W280L3A	23,45	16,31	1,44	29,13	0,81	17,72	1,32	18,20	1,29	18,13	1,29
15	50W200L1F	11,61	7,32	1,59	13,06	0,89	9,52	1,22	8,16	1,42	9,16	1,27

Çizelge 7.1. (Devam) Deneysel sonuçlar ile analitik verilerin karşılaştırılması

	Deney Elemanı	Deneysel Göçme Yüğü (kN)	CNR	*Oran	Çine Ting	*Oran	Sato	*Oran	Iso	*Oran	Yang	*Oran
16	50W200L2F	9,67	7,32	1,32	13,06	0,74	9,52	1,02	8,16	1,18	9,16	1,06
17	50W200L1S	10,79	7,32	1,47	13,06	0,83	9,52	1,13	8,16	1,32	9,16	1,18
18	50W200L2S	8,66	7,32	1,18	13,06	0,66	9,52	0,91	8,16	1,06	9,16	0,95
19	50W280L1F	12,88	7,32	1,76	13,06	0,99	9,52	1,35	8,16	1,58	9,16	1,41
20	50W280L2F	11,58	7,32	1,58	13,06	0,89	9,52	1,22	8,16	1,42	9,16	1,26
21	50W280L1S	12,15	7,32	1,66	13,06	0,93	9,52	1,28	8,16	1,49	9,16	1,33
22	50W280L2S	10,02	7,32	1,37	13,06	0,77	9,52	1,05	8,16	1,23	9,16	1,09
23	100W200L1F	18,74	13,82	1,36	21,50	0,87	17,82	1,05	16,33	1,15	18,32	1,02
24	100W200L2F	15,44	13,82	1,12	21,50	0,72	17,82	0,87	16,33	0,95	18,32	0,84
25	100W200L1S	17,52	13,82	1,27	21,50	0,82	17,82	0,98	16,33	1,07	18,32	0,96
26	100W200L2S	14,18	13,82	1,03	21,50	0,66	17,82	0,80	16,33	0,87	18,32	0,77
27	100W280L2F	20,49	13,82	1,48	21,50	0,95	17,82	1,15	16,33	1,26	18,32	1,12
28	100W280L1F	22,64	13,82	1,64	21,50	1,05	17,82	1,27	16,33	1,39	18,32	1,24
29	100W280L2S	18,82	13,82	1,36	21,50	0,88	17,82	1,06	16,33	1,15	18,32	1,03
30	100W280L1S	21,34	13,82	1,54	21,50	0,99	17,82	1,20	16,33	1,31	18,32	1,16

Çizelge 7.1. (Devam) Deneysel sonuçlar ile analitik verilerin karşılaştırılması

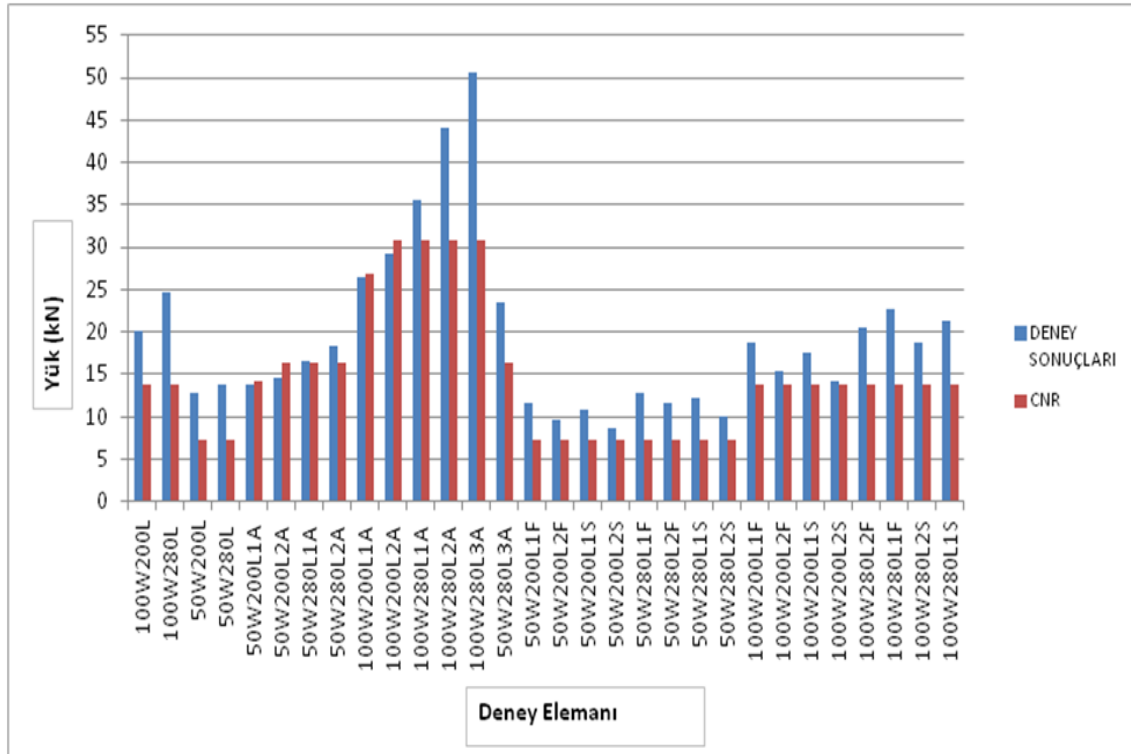
	Deney Elemanı	Deneysel Göçme Yüğü (kN)	Maeda	*Oran	Khalifa	*Oran	Tanaka	*Oran	Hiroyuki	*Oran	Deneysel Gerilme (MPa)	Van Gamert GEMERT	*Oran
1	100W200L	20,19	20,54	0,98	12,25	1,65	16,63	1,21	15,60	1,29	10,10	5,57	1,81
2	100W280L	24,63	20,54	1,20	12,25	2,01	13,87	1,78	17,43	1,41	8,80	5,83	1,51
3	50W200L	12,8	10,27	1,25	6,12	2,09	8,32	1,54	7,80	1,64	12,80	6,95	1,84
4	50W280L	13,89	10,27	1,35	6,12	2,27	6,93	2,00	8,72	1,59	9,92	7,09	1,40
5	50W200L1A	13,7	20,85	0,66	12,43	1,10	14,14	0,97	13,26	1,03	13,70	13,483	1,02
6	50W200L2A	14,5	22,90	0,63	13,66	1,06	16,47	0,88	15,44	0,94	14,50	15,4985	0,94
7	50W280L1A	16,54	22,90	0,72	13,66	1,21	13,73	1,20	17,26	0,96	11,81	15,8107	0,75
8	50W280L2A	18,25	22,90	0,80	13,66	1,34	13,73	1,33	17,26	1,06	13,04	15,8107	0,82
9	100W200L1A	26,46	41,70	0,63	24,86	1,06	28,28	0,94	26,51	1,00	13,23	10,8058	1,22
10	100W200L2A	29,15	45,80	0,64	27,31	1,07	32,93	0,89	30,88	0,94	14,58	12,4211	1,17
11	100W280L1A	35,57	45,80	0,78	27,31	1,30	27,45	1,30	34,52	1,03	12,70	13,0009	0,98
12	100W280L2A	44,12	45,80	0,96	27,31	1,62	27,45	1,61	34,52	1,28	15,76	13,0009	1,21
13	100W280L3A	50,67	45,80	1,11	27,31	1,86	27,45	1,85	34,52	1,47	18,10	13,0009	1,39
14	50W280L3A	23,45	22,90	1,02	13,66	1,72	13,73	1,71	17,26	1,36	16,75	15,8107	1,06
15	50W200L1F	11,61	10,27	1,13	6,12	1,90	8,32	1,40	7,80	1,49	11,61	6,95	1,67

Çizelge 7.1. (Devam) Deneysel sonuçlar ile analitik verilerin karşılaştırılması

	Deney Elemanı	Deneysel Göçme Yüğü (kN)	Maeda	*Oran	Khalifa	*Oran	Tanaka	*Oran	Hiroyuki	*Oran	Deneysel Gerilme (MPa)	Van Gamert GEMERT	*Oran
16	50W200L2F	9,67	10,27	0,94	6,12	1,58	8,32	1,16	7,80	1,24	9,67	6,95	1,39
17	50W200L1S	10,79	10,27	1,05	6,12	1,76	8,32	1,30	7,80	1,38	10,79	6,95	1,55
18	50W200L2S	8,66	10,27	0,84	6,12	1,41	8,32	1,04	7,80	1,11	8,66	6,95	1,25
19	50W280L1F	12,88	10,27	1,25	6,12	2,10	6,93	1,86	8,72	1,48	9,20	7,09	1,30
20	50W280L2F	11,58	10,27	1,13	6,12	1,89	6,93	1,67	8,72	1,33	8,27	7,09	1,17
21	50W280L1S	12,15	10,27	1,18	6,12	1,98	6,93	1,75	8,72	1,39	8,68	7,09	1,22
22	50W280L2S	10,02	10,27	0,98	6,12	1,64	6,93	1,45	8,72	1,15	7,16	7,09	1,01
23	100W200L1F	18,74	20,54	0,91	12,25	1,53	16,63	1,13	15,60	1,20	9,37	5,57	1,68
24	100W200L2F	15,44	20,54	0,75	12,25	1,26	16,63	0,93	15,60	0,99	7,72	5,57	1,39
25	100W200L1S	17,52	20,54	0,85	12,25	1,43	16,63	1,05	15,60	1,12	8,76	5,57	1,57
26	100W200L2S	14,18	20,54	0,69	12,25	1,16	16,63	0,85	15,60	0,91	7,09	5,57	1,27
27	100W280L2F	20,49	20,54	1,00	12,25	1,67	13,87	1,48	17,43	1,18	7,32	5,83	1,26
28	100W280L1F	22,64	20,54	1,10	12,25	1,85	13,87	1,63	17,43	1,30	8,09	5,83	1,39
29	100W280L2S	18,82	20,54	0,92	12,25	1,54	13,87	1,36	17,43	1,08	6,72	5,83	1,15
30	100W280L1S	21,34	20,54	1,04	12,25	1,74	13,87	1,54	17,43	1,22	7,62	5,83	1,31

CNR modeli kullanılarak analitik hesaplamalardan elde edilen taşıma gücü sonuçları deneysel çalışmadan elde edilen taşıma gücü sonuçlarına göre oranı ortalama;

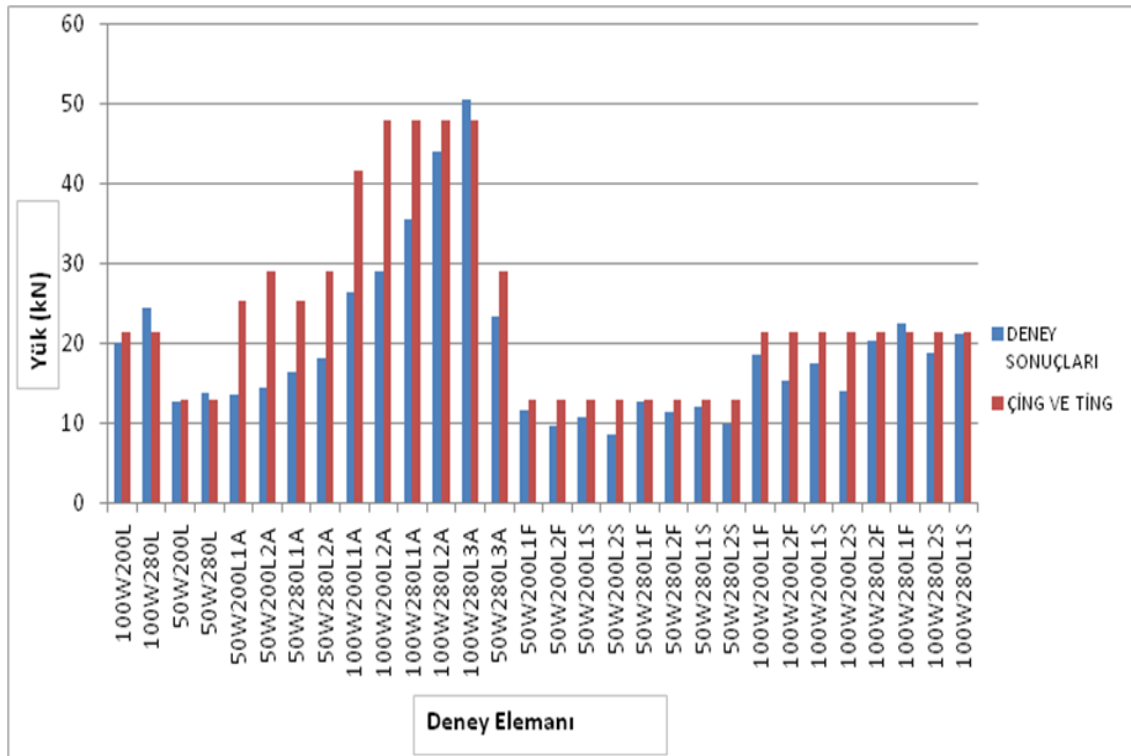
- Referans deney elemanlarında 1,72,
 - 50 mm şerit genişliği olan ankajlı deney elemanlarında 1,08,
 - 100 mm şerit genişliği olan ankrajlı deney elemanlarında ise 1,23,
 - 50 mm şerit genişliği 200 mm yapışma boyu olan eğilme ve kesme çatlaklı deney elemanlarında 1,39,
 - 50 mm şerit genişliği 280 mm yapışma boyu olan eğilme ve kesme çatlaklı deney elemanlarında 1,59,
 - 100 mm şerit genişliği 200 mm yapışma boyu olan eğilme ve kesme çatlaklı deney elemanlarında 1,19,
 - 100 mm şerit genişliği 280 mm yapışma boyu olan eğilme ve kesme çatlaklı deney elemanlarında 1,51,
- olarak hesaplanmıştır (Şekil 7.1).



Şekil 7.1. Deneysel sonuçları ile CNR modeli karşılaştırılması

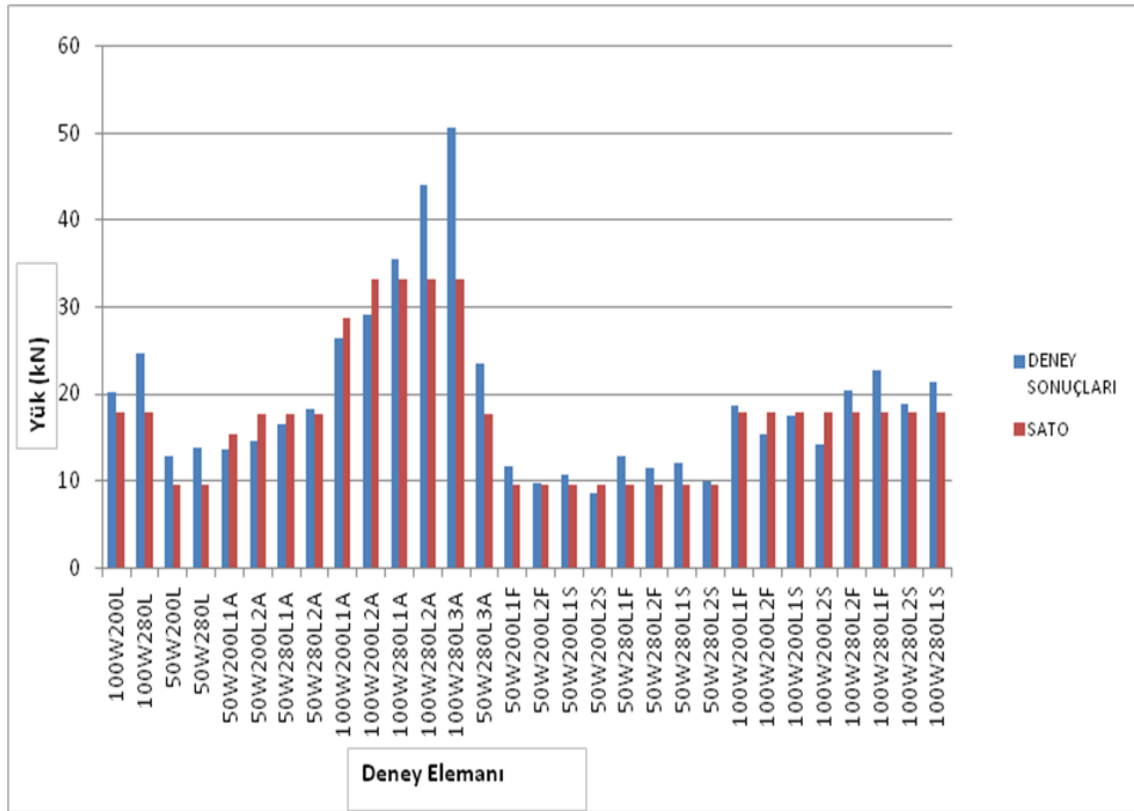
Çing ve Ting modeli kullanılarak analitik hesaplamalardan elde edilen taşıma gücü sonuçları deneysel çalışmadan elde edilen taşıma gücü sonuçlarına göre oranı ortalama;

- Referans deney elemanlarında 1,03,
 - 50 mm şerit genişliği olan ankajlı deney elemanlarında 1,62,
 - 100 mm şerit genişliği olan ankrajlı deney elemanlarında ise 1,79,
 - 50 mm şerit genişliği 200 mm yapışma boyu olan eğilme ve kesme çatlağa sahip deney elemanlarında 1,78,
 - 50 mm şerit genişliği 280 mm yapışma boyu olan eğilme ve kesme çatlağa sahip deney elemanlarında 1,89,
 - 100 mm şerit genişliği 200 mm yapışma boyu olan eğilme ve kesme çatlağa sahip deney elemanlarında 1,77,
 - 100 mm şerit genişliği 280 mm yapışma boyu olan eğilme ve kesme çatlağa sahip deney elemanlarında 1,97,
- olarak hesaplanmıştır (Şekil 7.2).



Şekil 7.2. Deneysel sonuçları ile Çing ve Ting modeli karşılaştırılması

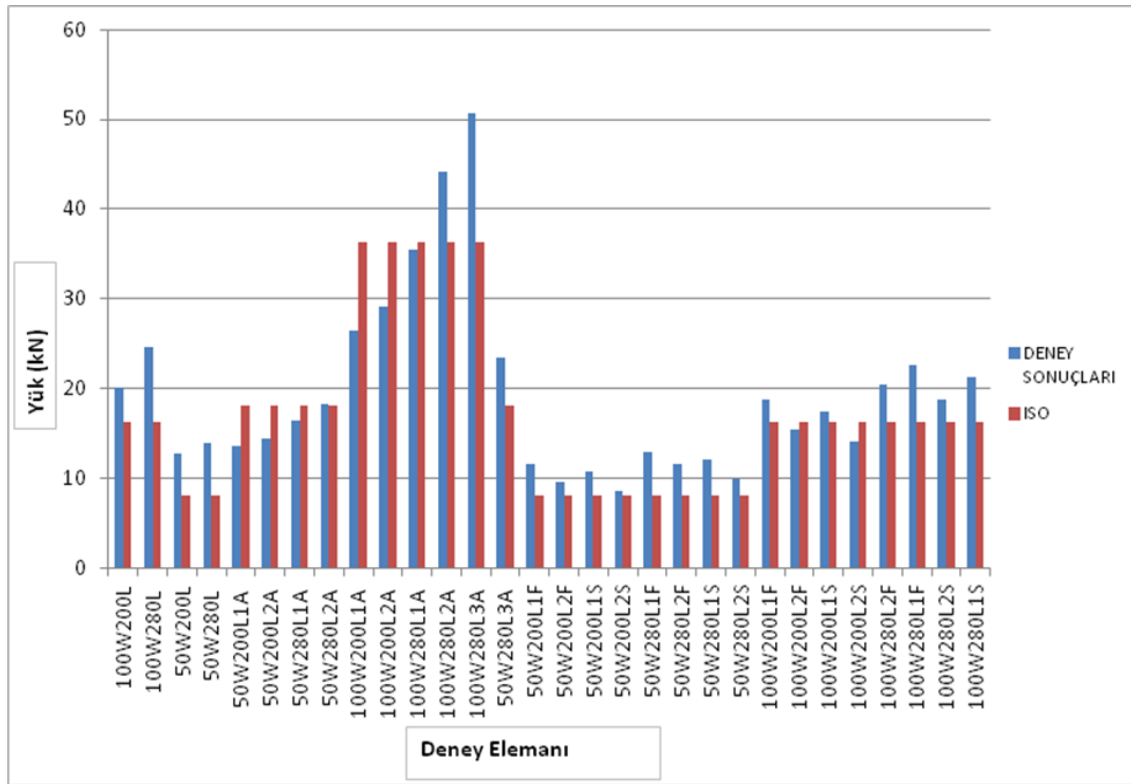
- Sato modeli kullanılarak analitik hesaplamalardan elde edilen taşıma gücü sonuçları deneysel çalışmadan elde edilen taşıma gücü sonuçlarına göre oranı ortalama;
 - Referans deney elemanlarında 1,33,
 - 50 mm şerit genişliği olan ankajlı deney elemanlarında 1,00,
 - 100 mm şerit genişliği olan ankrajlı deney elemanlarında ise 1,15,
 - 50 mm şerit genişliği 200 mm yapışma boyu olan eğilme ve kesme çatlaklı deney elemanlarında 1,07,
 - 50 mm şerit genişliği 280 mm yapışma boyu olan eğilme ve kesme çatlaklı deney elemanlarında 1,22,
 - 100 mm şerit genişliği 200 mm yapışma boyu olan eğilme ve kesme çatlaklı deney elemanlarında 0,92,
 - 100 mm şerit genişliği 280 mm yapışma boyu olan eğilme ve kesme çatlaklı deney elemanlarında 0,117,
- olarak hesaplanmıştır (Şekil 7.3).



Şekil 7.3. Deneysel sonuçları ile Çing ve Ting modeli karşılaştırılması

Iso modeli kullanılarak analitik hesaplamalardan elde edilen taşıma gücü sonuçları deneysel çalışmadan elde edilen taşıma gücü sonuçlarına göre oranı ortalama;

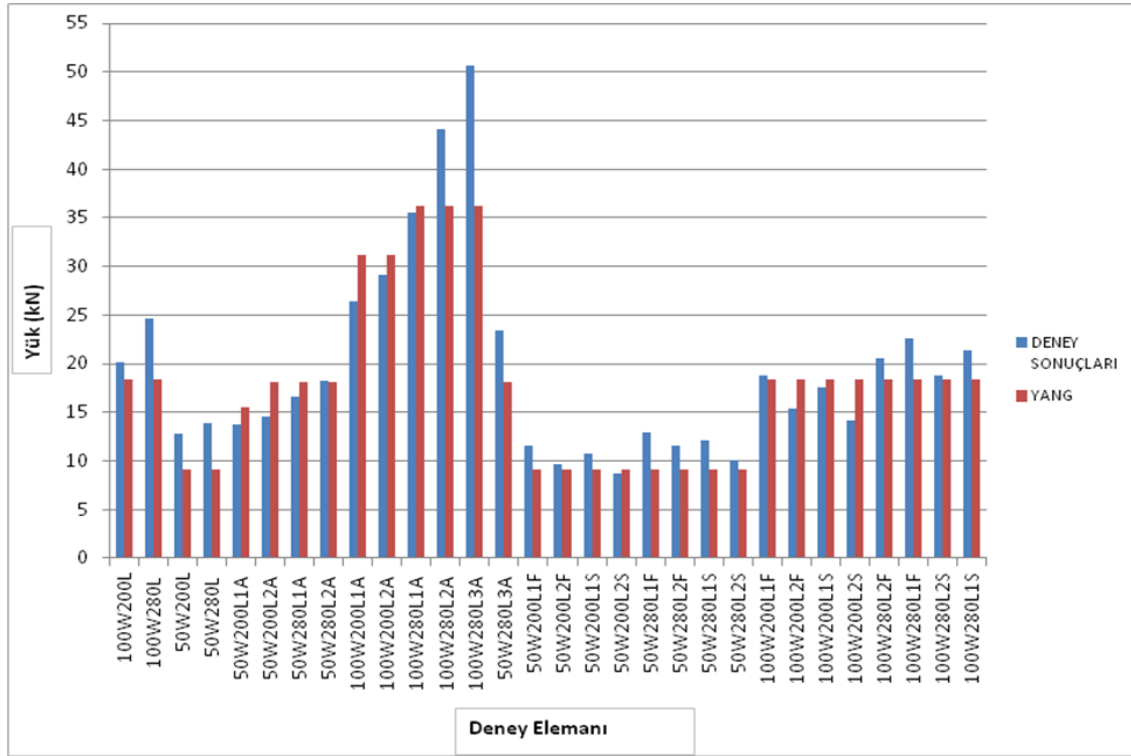
- Referans deney elemanlarında 1,50,
 - 50 mm şerit genişliği olan ankajlı deney elemanlarında 0,95,
 - 100 mm şerit genişliği olan ankrajlı deney elemanlarında ise 1,02,
 - 50 mm şerit genişliği 200 mm yapışma boyu olan eğilme ve kesme çatlağa sahip deney elemanlarında 1,25,
 - 50 mm şerit genişliği 280 mm yapışma boyu olan eğilme ve kesme çatlağa sahip deney elemanlarında 1,43,
 - 100 mm şerit genişliği 200 mm yapışma boyu olan eğilme ve kesme çatlağa sahip deney elemanlarında 1,01,
 - 100 mm şerit genişliği 280 mm yapışma boyu olan eğilme ve kesme çatlağa sahip deney elemanlarında 1,28,
- olarak hesaplanmıştır (Şekil 7.4).



Şekil 7.4. Deneysel sonuçları ile ISO modeli karşılaştırılması

Yang modeli kullanılarak analitik hesaplamalardan elde edilen taşıma gücü sonuçları deneysel çalışmadan elde edilen taşıma gücü sonuçlarına göre oranı ortalama;

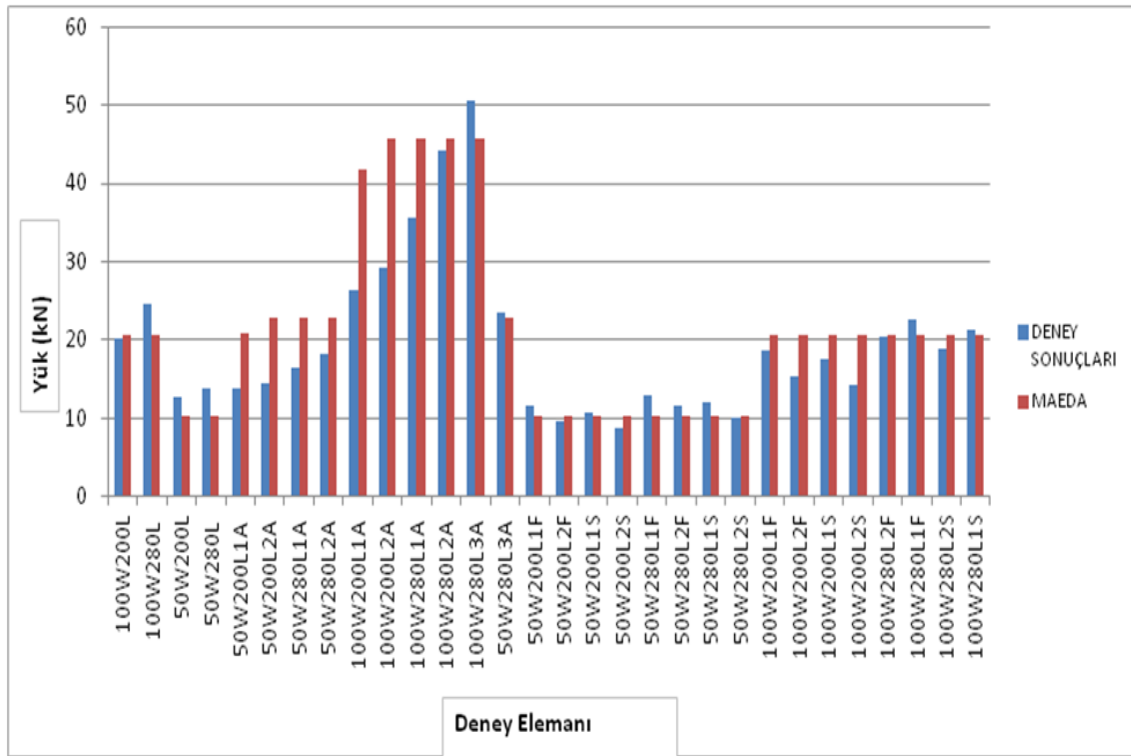
- Referans deney elemanlarında 1,34,
 - 50 mm şerit genişliği olan ankajlı deney elemanlarında 0,98,
 - 100 mm şerit genişliği olan ankrajlı deney elemanlarında ise 1,08,
 - 50 mm şerit genişliği 200 mm yapışma boyu olan eğilme ve kesme çatlağa sahip deney elemanlarında 1,11,
 - 50 mm şerit genişliği 280 mm yapışma boyu olan eğilme ve kesme çatlağa sahip deney elemanlarında 1,27,
 - 100 mm şerit genişliği 200 mm yapışma boyu olan eğilme ve kesme çatlağa sahip deney elemanlarında 0,90,
 - 100 mm şerit genişliği 280 mm yapışma boyu olan eğilme ve kesme çatlağa sahip deney elemanlarında 1,14,
- olarak hesaplanmıştır (Şekil 7.5).



Şekil 7.5. Deney sonuçları ile YANG modeli karşılaştırılması

Maeda modeli kullanılarak analitik hesaplamalardan elde edilen taşıma gücü sonuçları deneysel çalışmadan elde edilen taşıma gücü sonuçlarına göre oranı ortalama;

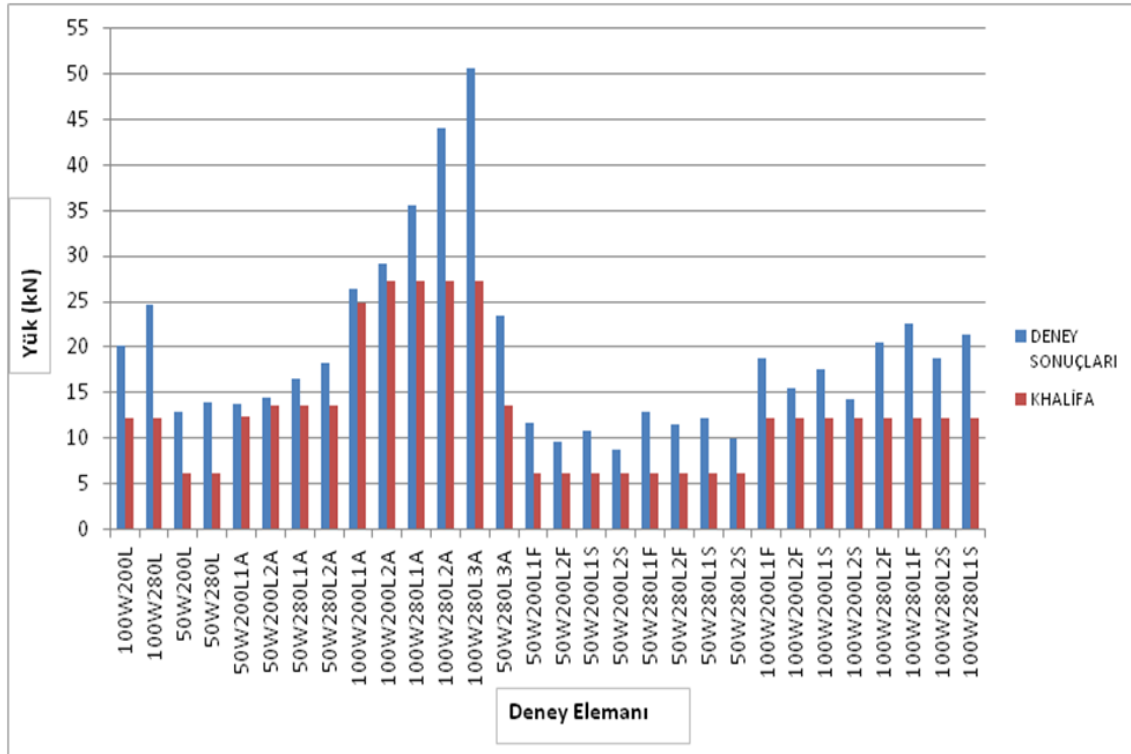
- Referans deney elemanlarında 1,20,
 - 50 mm şerit genişliği olan ankajlı deney elemanlarında 0,77,
 - 100 mm şerit genişliği olan ankrajlı deney elemanlarında ise 0,82,
 - 50 mm şerit genişliği 200 mm yapışma boyu olan eğilme ve kesme çatlağa sahip deney elemanlarında 0,99,
 - 50 mm şerit genişliği 280 mm yapışma boyu olan eğilme ve kesme çatlağa sahip deney elemanlarında 1,14,
 - 100 mm şerit genişliği 200 mm yapışma boyu olan eğilme ve kesme çatlağa sahip deney elemanlarında 0,80,
 - 100 mm şerit genişliği 280 mm yapışma boyu olan eğilme ve kesme çatlağa sahip deney elemanlarında 1,01,
- olarak hesaplanmıştır (Şekil 7.6).



Şekil 7.6. Deneysel sonuçları ile Maeda modeli karşılaştırılması

Khalifa modeli kullanılarak analitik hesaplamalardan elde edilen taşıma gücü sonuçları deneysel çalışmadan elde edilen taşıma gücü sonuçlarına göre oranı ortalama;

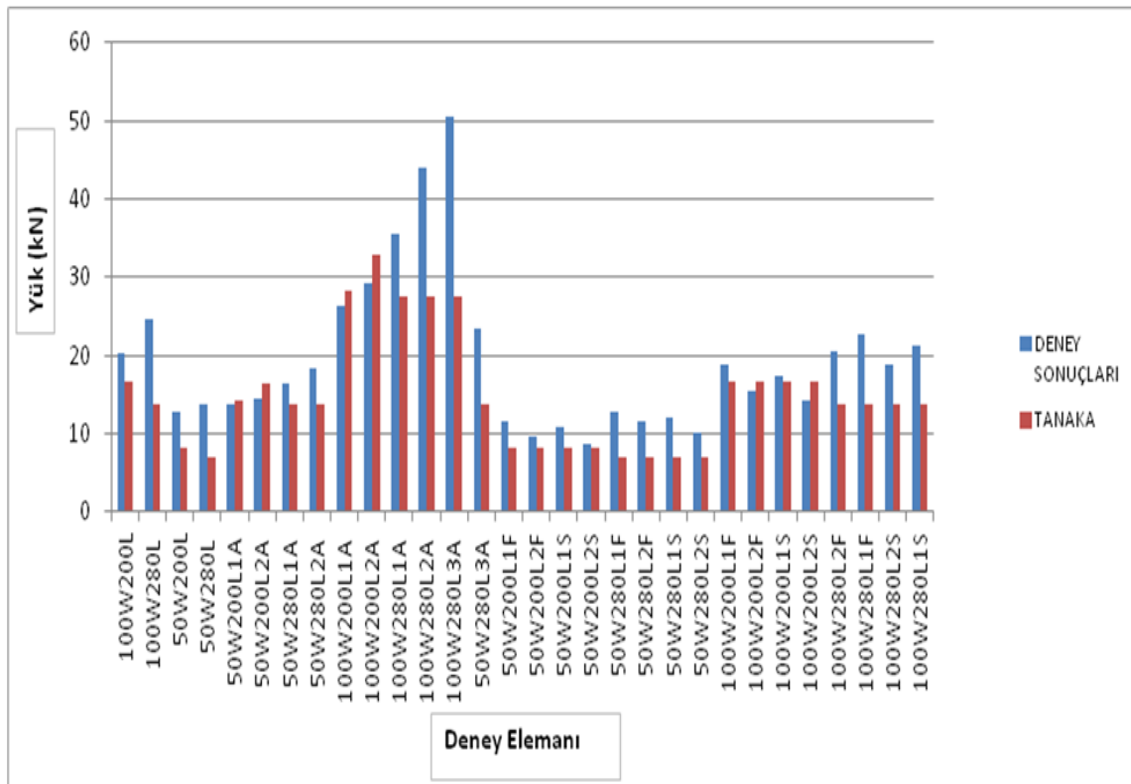
- Referans deney elemanlarında 2,00,
 - 50 mm şerit genişliği olan ankajlı deney elemanlarında 1,29,
 - 100 mm şerit genişliği olan ankrajlı deney elemanlarında ise 1,38,
 - 50 mm şerit genişliği 200 mm yapışma boyu olan eğilme ve kesme çatlağa sahip deney elemanlarında 1,66,
 - 50 mm şerit genişliği 280 mm yapışma boyu olan eğilme ve kesme çatlağa sahip deney elemanlarında 1,90,
 - 100 mm şerit genişliği 200 mm yapışma boyu olan eğilme ve kesme çatlağa sahip deney elemanlarında 1,34,
 - 100 mm şerit genişliği 280 mm yapışma boyu olan eğilme ve kesme çatlağa sahip deney elemanlarında 1,70,
- olarak hesaplanmıştır (Şekil 7.7).



Şekil 7.7. Deney sonuçları ile Khalifa modeli karşılaştırılması

Tanaka modeli kullanılarak analitik hesaplamalardan elde edilen taşıma gücü sonuçları deneysel çalışmadan elde edilen taşıma gücü sonuçlarına göre oranı;

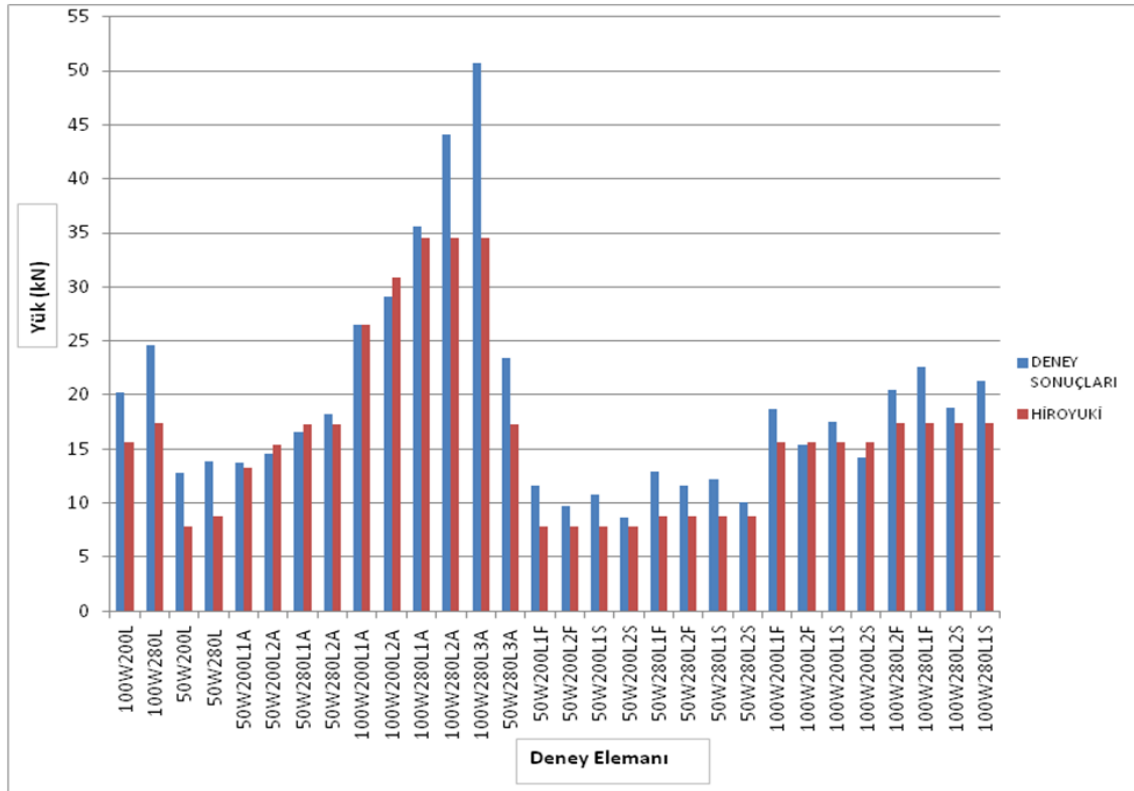
- Referans deney elemanlarında 1,63,
 - 50 mm şerit genişliği olan ankajlı deney elemanlarında 1,22,
 - 100 mm şerit genişliği olan ankrajlı deney elemanlarında ise 1,31,
 - 50 mm şerit genişliği 200 mm yapışma boyu olan eğilme ve kesme çatlağa sahip deney elemanlarında 1,22,
 - 50 mm şerit genişliği 280 mm yapışma boyu olan eğilme ve kesme çatlağa sahip deney elemanlarında 1,68,
 - 100 mm şerit genişliği 200 mm yapışma boyu olan eğilme ve kesme çatlağa sahip deney elemanlarında 0,99,
 - 100 mm şerit genişliği 280 mm yapışma boyu olan eğilme ve kesme çatlağa sahip deney elemanlarında 1,50,
- olarak hesaplanmıştır (Şekil 7.8).



Şekil 7.8. Deneysel sonuçları ile Tanaka modeli karşılaştırılması

Hiroyuki modeli kullanılarak analitik hesaplamalardan elde edilen taşıma gücü sonuçları deneysel çalışmadan elde edilen taşıma gücü sonuçlarına göre oranı;

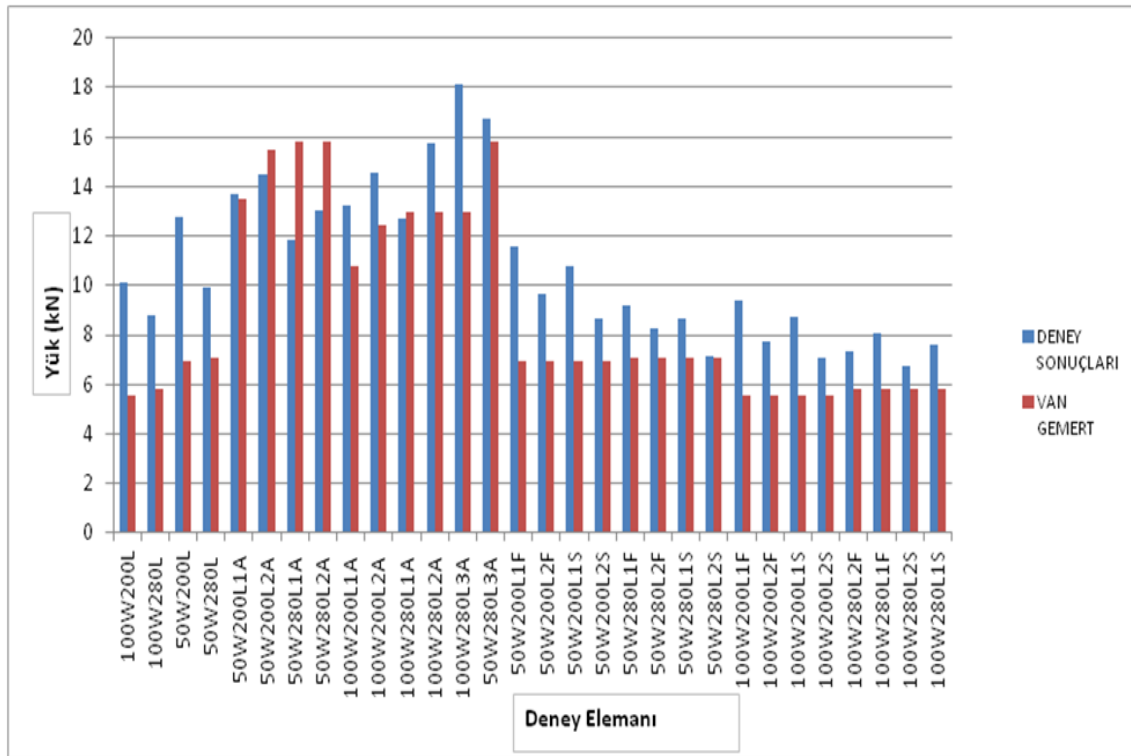
- Referans deney elemanlarında 1,49,
 - 50 mm şerit genişliği olan ankajlı deney elemanlarında 1,07,
 - 100 mm şerit genişliği olan ankrajlı deney elemanlarında ise 1,14,
 - 50 mm şerit genişliği 200 mm yapışma boyu olan eğilme ve kesme çatlağa sahip deney elemanlarında 1,31,
 - 50 mm şerit genişliği 280 mm yapışma boyu olan eğilme ve kesme çatlağa sahip deney elemanlarında 1,34,
 - 100 mm şerit genişliği 200 mm yapışma boyu olan eğilme ve kesme çatlağa sahip deney elemanlarında 1,06,
 - 100 mm şerit genişliği 280 mm yapışma boyu olan eğilme ve kesme çatlağa sahip deney elemanlarında 1,19,
- olarak hesaplanmıştır (Şekil 7.9).



Şekil 7.9. Deney sonuçları ile Hiroyuki modeli karşılaştırılması

Van Gemert modeli kullanılarak analitik hesaplamalardan elde edilen birim gerilme sonuçları deneysel çalışmadan elde edilen birim gerilme sonuçlarına göre oranı ortalama;

- Referans deney elemanlarında 1,64,
 - 50 mm şerit genişliği olan ankajlı deney elemanlarında 0,92,
 - 100 mm şerit genişliği olan ankrajlı deney elemanlarında ise 1,20,
 - 50 mm şerit genişliği 200 mm yapışma boyu olan eğilme ve kesme çatlağa sahip deney elemanlarında 1,47,
 - 50 mm şerit genişliği 280 mm yapışma boyu olan eğilme ve kesme çatlağa sahip deney elemanlarında 1,17,
 - 100 mm şerit genişliği 200 mm yapışma boyu olan eğilme ve kesme çatlağa sahip deney elemanlarında 1,48,
 - 100 mm şerit genişliği 280 mm yapışma boyu olan eğilme ve kesme çatlağa sahip deney elemanlarında 1,28,
- olarak hesaplanmıştır (Şekil 7.10).

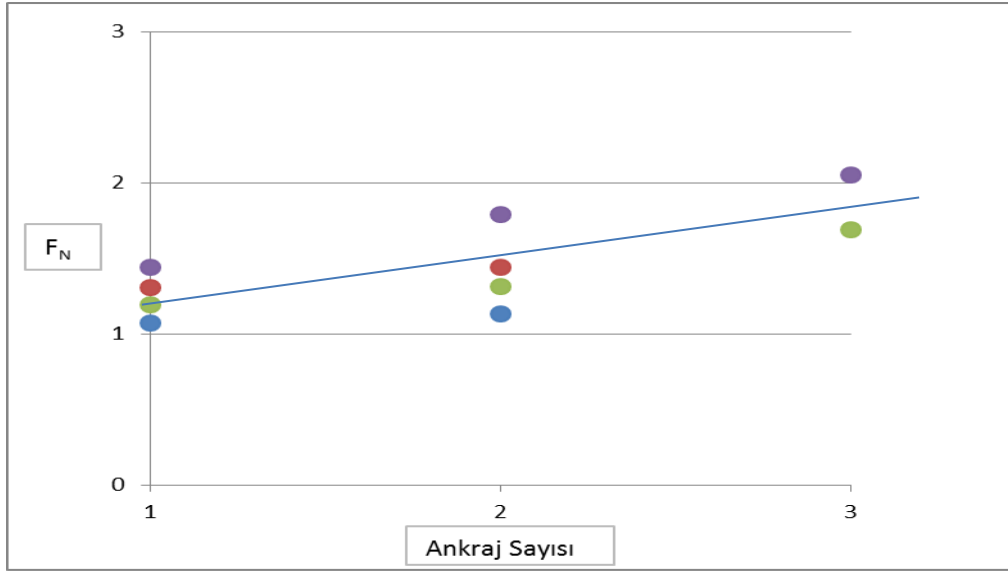


Şekil 7.10. Deney sonuçları ile Van Gemert modeli karşılaştırılması

Van Gamert, Ceng&Teng, CNR, Sato, Iso, Yang, Madea, Khalifa, Tanaka ve Hiroyuki ve Wu tarafından geliştirilmiş olan eşitliklerle referans deney elemanları için elde edilen sonuçlar ile deney sonuçlarının karşılaştırıldığında, Ceng&Teng modeli ile elde edilen sonuçların deney sonuçları ile örtüştüğü görülmüştür. Referans deney elemanlarında deneylerden elde edilen maksimum taşıma kapasitesinin Ceng&Teng modeli ile hesaplanan maksimum taşıma kapasitesine oranı ortalama 1,03 olarak hesaplanmıştır. Van Gamert, CNR, Sato, Iso, Yang, Madea, Khalifa, Tanaka ve Hiroyuki ve Wu modellerinde ise eşitliklerde kullanılan katsayı ve veriler nedeniyle deney sonuçlarına yakın sonuçlar hesaplanmamıştır.

7.1. Bond Slip Model Geliştirilmesi

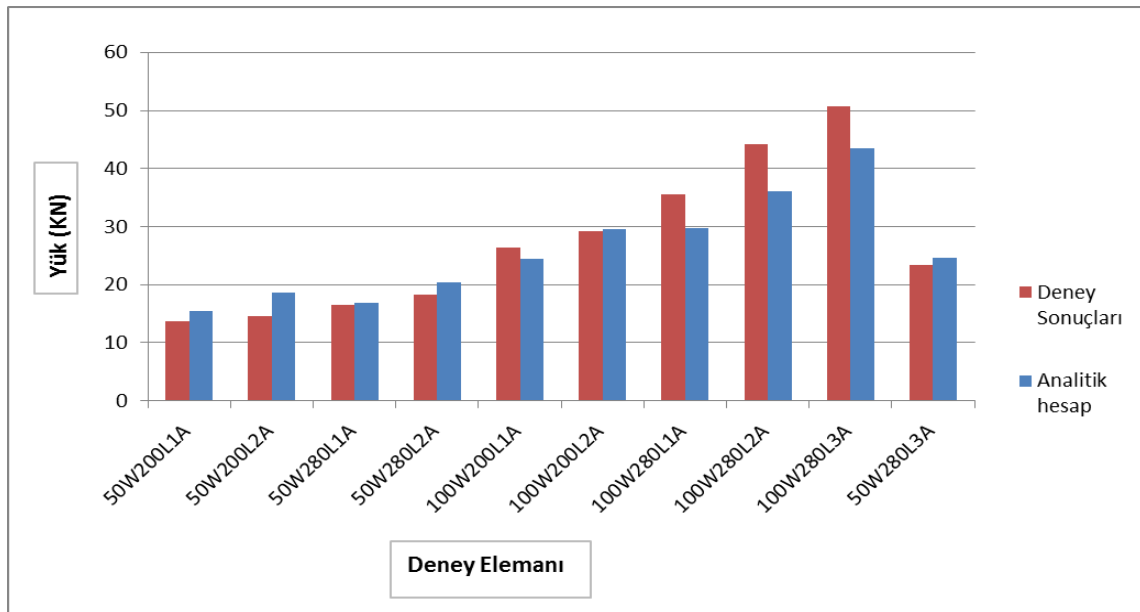
DeneySEL çalışma kapsamında elde edilen veriler ile analitik çalışma sonucu elde edilen veriler kullanılarak ankrajlı deney elemanları için yeni bir bond slip model önerilmiştir. Referans deney elemanlarından elde edilen deneysel sonuçları ile Ceng&Teng modeli ile hesaplanan maksimum yük değerleri oranı ortalama 1,03 olarak hesaplanmıştır. Ancak ankrajlı deney elemanlarında bu oranda bir hassasiyet görülmemiştir. Bu nedenle Ceng&Teng modelinden elde edilen değerlerin deneysel sonuçlarla göre normalize etmek gerekmektedir. Ankrajlı elemanlarda deneylerden elde edilen maksimum yük değerlerinin Ceng&Teng modeli ile hesaplanan referans deney elemanlarına oranlanmasıyla bulunan F_N değerine göre ankraj sayısı artıkça CFRP şeritlerin taşıma kapasitesinin arttığı görülmüştür. Hesaplanan değer doğruluğu ve geçerliliğini sağlamak için her bir işlev için R^2 katsayısını belirlenmiştir. Belirlenen katsayılardan en yakını seçilmiştir. Seçilen R^2 değeri normalize edilmiş maksimum yüklerin %74'üne tekabül etmiştir. Ankraj sayısına göre F_N değerlerinin dağılımı ve R^2 fonksiyonu Şekil 7.11'de verilmiştir.



Şekil 7.11. Ankraj sayısı göre F_N değerinin dağılımı

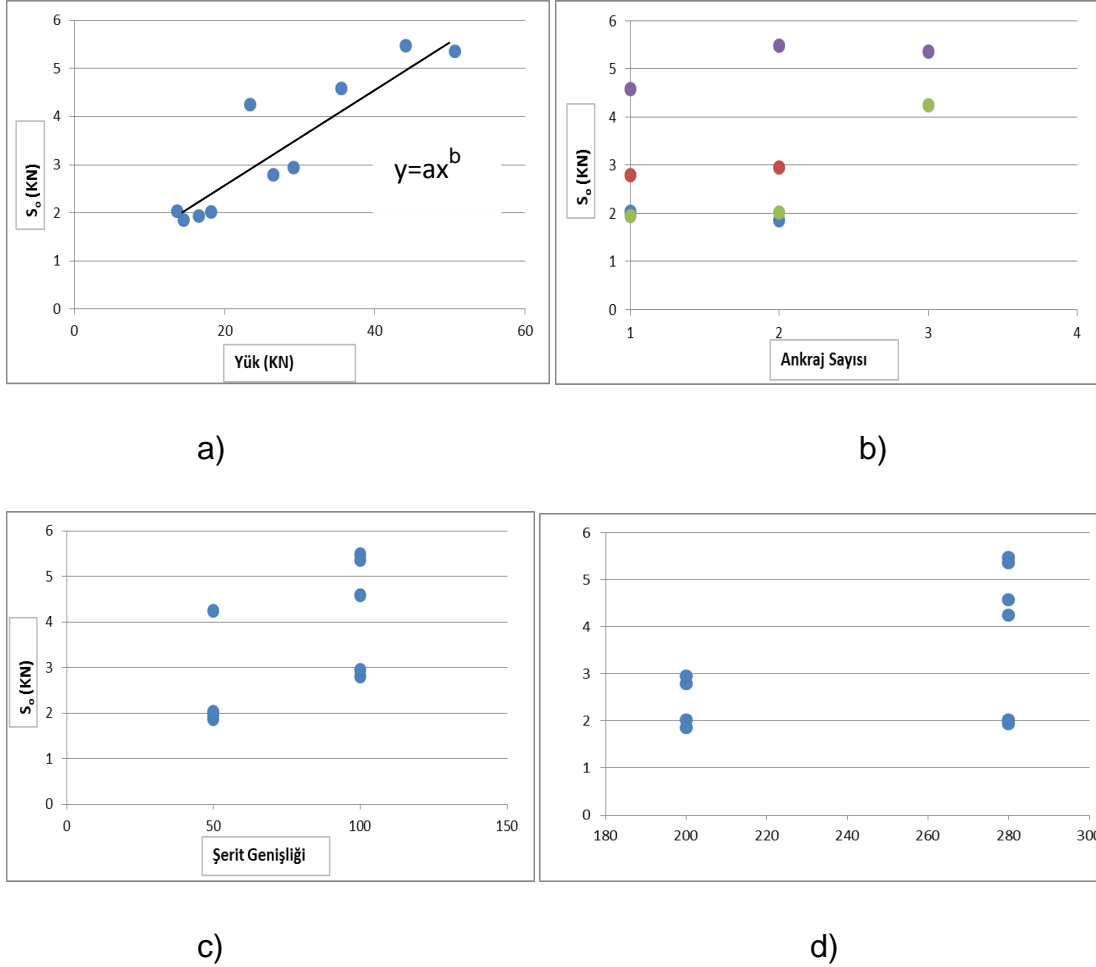
$$F_{max} = Fxe^{0.19N} \quad (7.31)$$

Eşitlik 7.31 'de F ankrajsız deney elemanının taşıdığı maksimum yükü, N deney elemanındaki ankraj sayısı F_{max} ise ankrajlı deney elemanının taşıyabileceği maksimum yükü ifade etmektedir. Eşitlik 7.31 kullanılarak bulunan sonuçlar ile deneylerden elde edilen sonuçların karşılaştırma grafikleri Şekil 7.12'de verilmiştir.



Şekil 7.12. Deney sonuçları ile Eşitlik 6.31'e göre bulunan F_{max} değerlerinin karşılaştırılması

Ankraj uygulaması yapılan test elemanlarının deneylerinden elde edilen yük deplasman grafiklerinden hesaplanan rijitlik değeri üzerindeki ankraj, şerit genişliği ve şerit yapışma boyunun etkisi Şekil 7.13'te gösterilmiştir.



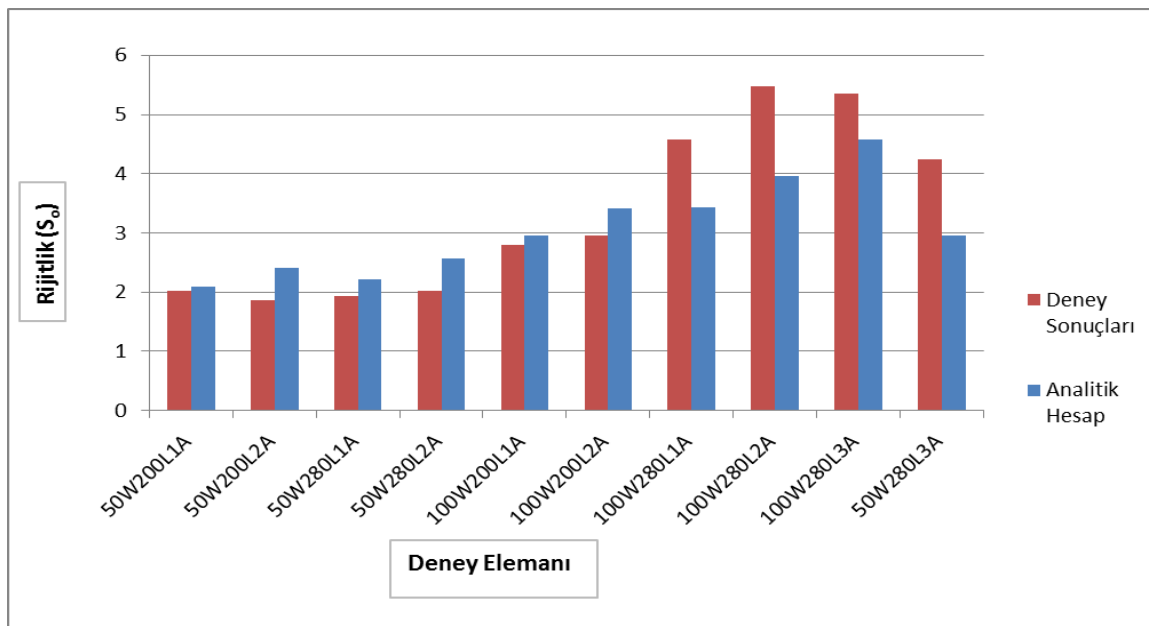
Şekil 7.13. Deney sonuçlarından elde edilen rijitlik (S_o) değeri ile ;
a) Rijitlik-Yük b) Rijitlik-Ankraj Sayısı c) Rijitlik- Şerit Genişliği
d) Rijitlik- Şerit Yapışma Boyu Karşılaştırılması

Rijitlik değeri üzerinde yük doğrudan etkili olduğu görülmüştür. Ancak ankraj sayısı, CFRP şerit genişliği ve şerit yapışma boyunun rijitlik üzerindeki etkisinin görülebilmesi için daha fazla örnekleme ihtiyaç duyulmuştur. Bu nedenle Levenberg-Marquardt modifikasyonları ile Gauss-Newton algoritması kullanılarak MATLAB ile çok değişkenli regresyon analizleri gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen analizler sonucu elde edilen rijitlik (S_o) denklemi Eşitlik 7.32'de verilmiştir.

$$S_0 = axF_{max}^b \quad (7.32)$$

Eşitlik 7.32'deki a ve b sabitlerdir. Fmax eşitlik kullanılarak hesaplanan elemanların taşıma kapasitesini maksimum yükü ifade etmektedir. a ve b sabitleri deneylerden elde edilen So verileri kullanılarak eğri basit eğri uydurma teknikleri kullanılarak Eşitlik 7.33'de verildiği gibi belirlenmiştir. Eşitlik 7.33'de verilen eşitlik kullanılarak bulunan rijitlik değerleri ile deney sonuçlarından elde edilen rijitlik değerlerinin karşılaştırma grafikleri Şekil 7.14'de verilmiştir.

$$S_0 = 0.26F_{max}^{0.76} \quad (7.33)$$



Şekil 7.14. Deney sonuçları ile Eşitlik 6.32'ye göre bulunan So değerlerinin karşılaştırılması

Bir sonraki adım deney elemanlarının taşıma kapasitelerinin normalize edilerek değerlendirilmesidir. Normalize edilmiş taşıma kapasitesi F_{Nres} Eşitlik 7.31'de hesaplanan F_{max} değerinin şerit genişliğinde dikkate alınarak Eşitlik 7.34'de göre hesaplanan F_{res} değerine oranlanmasıyla bulunmuştur

$$F_{res} = F_{max}(3 \times e^{-0.072NW-0.462} F_{max}^{0.822}) \quad (7.34)$$

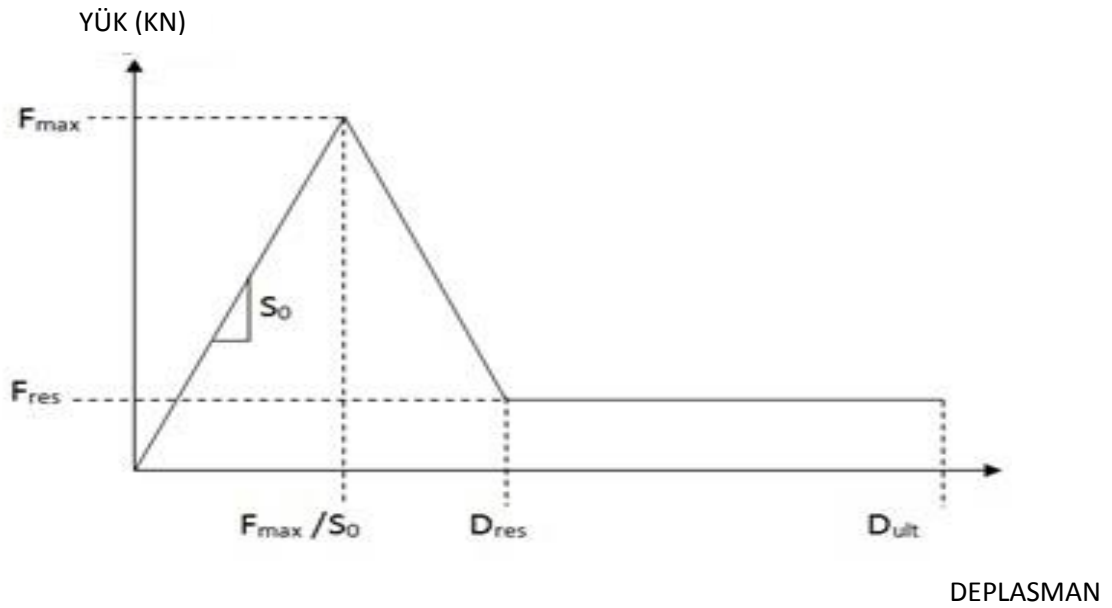
F_{res} değerine karşılık gelen deplasman D_{res} Eşitlik 7.35'de verildiği şekilde hesaplanmıştır.

$$D_{res} = 1.4 \frac{F_{max}}{S_0} \quad (7.35)$$

Son olarak deney elemanlarının maksimum deplasman miktarlarının (D_{ult}) bulabilmesi için öncelikle D_{res} değerinin normalize edilerek D_{Nult} değerleri hesaplanmıştır. Bulunan D_{Nult} değerinde ankraj sayısının doğrudan etkili olduğu görülmüştür. Ancak şerit yapışma boyu ve şerit genişliğinin etkisi tam olarak görülememiştir. Bu nedenle çok değişkenli regrasyon analizleriyle bulunan D_{ult} hesap yöntemi Eşitlik 7.36'da verilmiştir.

$$D_{ult} = \frac{1.0536e^{0.1612N} F_{max}^{1.18135}}{S_0} \quad (7.36)$$

Deneylerden elde edilen veriler ile Ceng&Teng modeli esas alınarak geliştirilen denklemler sonucu önerilen model Şekil 7.15'de verilmiştir.

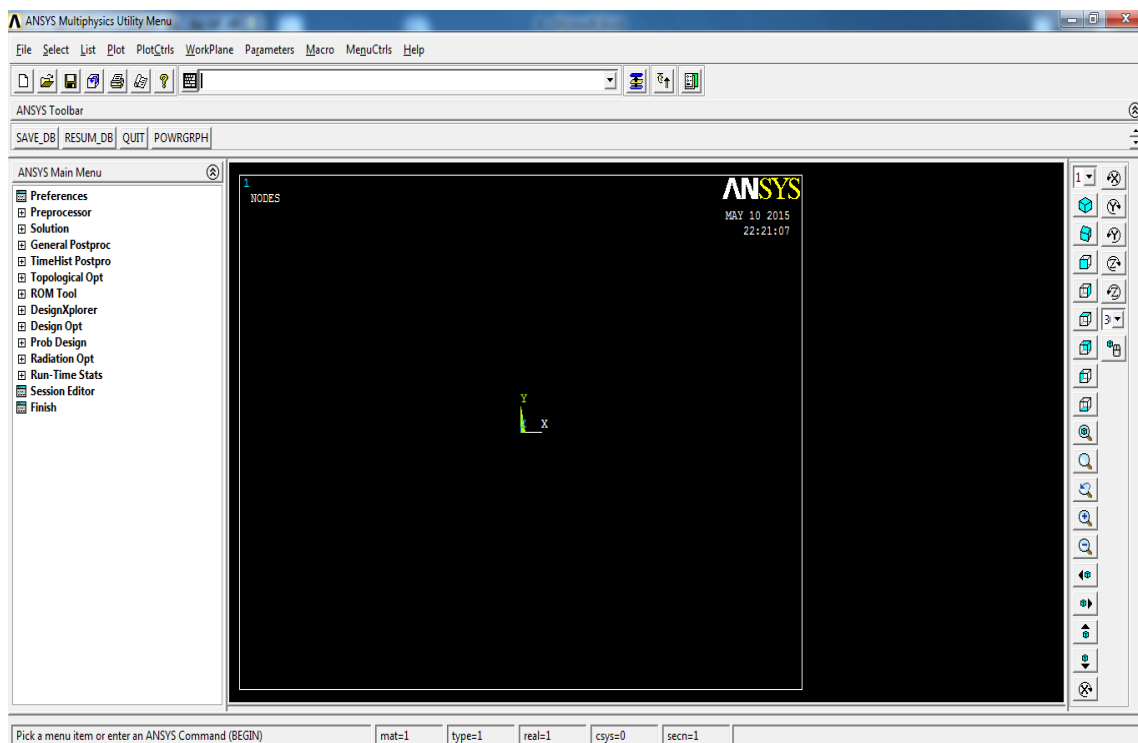


Şekil 7.15. Önerilen bond-slip modeli

Literatürde ankajsız deney elemanlar için bond-slip modeli mevcuttur. Yapılan çalışma ile ankajlı deney elemanları içinde bond-slip modeli geliştirilmiş olup, temel farklılık göçmeden sonra ankajların kalıcı yük tutmayı sağlamasıdır. CFRP şerit genişliği ve şerit yapışma boyunun artırılması ankajların taşıdığı kalıcı yükün artmasına neden olmuştur.

8. ANSYS SONLU ELEMANLAR PROGRAMI

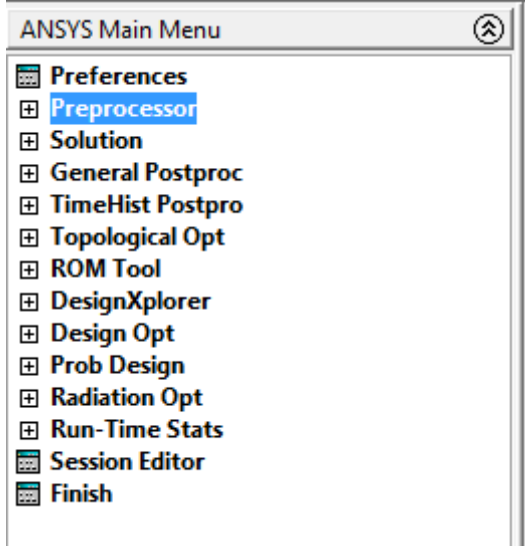
ANSYS çeşitli mekanik problemlerin sonlu elemanlar yöntemiyle çözümünde yaygın olarak kullanılan bir paket programdır. Swanson Analysis Systems tarafından, ilk kez 1971 yılında geliştirilmiştir. Statik ve dinamik çözüm, doğrusal ve doğrusal olmayan yapısal analiz, ısı transferi, akışkanlar problemleri ile akustik ve elektromanyetik problemlerin çözümü kullanıldığı yerler olarak sıralanabilir [19]. ANSYS penceresi Resim 8.1 de görülmektedir.



Resim 8.1. ANSYS penceresi

8.1. ANSYS Yazılımında Ana Menü

ANSYS programında modelleme ile ilgili bütün analiz basamaklarının yapıldığı bölümdür. Tercihler (Preferences), Önışlemci (preprocessor), Çözüm (solution) gibi birçok alt menüden oluşmaktadır. ANSYS yazılımında ana menü Resim 8.2'de verilmiştir.



Resim 8.2. ANSYS yazılımında ana menü

Alt menülerinin bazılarının özellikleri aşağıda açıklanmıştır.

Preferences: Analiz tipinin ve analizde kullanılacak yöntemin belirlendiği kısımdır. Modellemede kullanılacak analiz tipi seçimini sağlar.

Preprocessor: Modelle ile ilgili tüm çalışmalar bu menüde yapılmaktadır. Modelin oluşturulması, malzeme özelliklerinin belirlenmesi, elemanlara ayrılması, mesh edilmesi, sınır şartlarının oluşturulması, yükleme gibi birçok işlem bu kısımda gerçekleştirilmektedir.

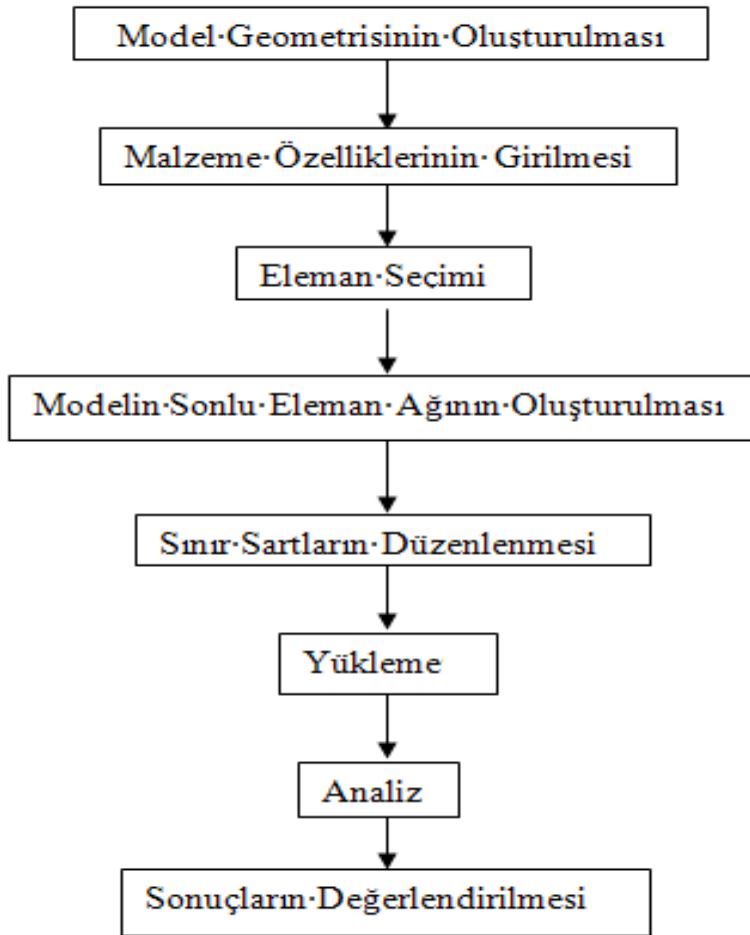
Solution: Analizin yapıldığı menüdür. Ayrıca alt menülerinde yükleme, analiz tipiyle ilgili seçimler yapılabilmektedir.

General Postprocessor: Analiz sonuçlarının değerlendirildiği kısımdır. Modelde istenilen noktalara ait her üç yönde deplasman, gerilme değerlerine bu alt menüden ulaşılmaktadır. Ayrıca yükleme sonunda deforme olmuş model de yine bu menüden görülmektedir.

8.2. ANSYS Yazılımında Analiz Basamakları

Bir sonlu elemanlar programı ile analiz yapılırken öncelikle model geometrisi oluşturularak, model sonlu sayıda elemana bölünür. Bu elemanlar fiziki ortamın

özelliklerini taşıyan küçük birimler gibidir. Bu elemanlar için eleman ve malzeme modelleri kabulleri yapıldıktan sonra sınır şartlar oluşturularak gerekli noktalara yükler etki ettirilir ve analizler yapılarak sonuçlar elde edilir. Ancak burada dikkat edilmesi gereken en önemli noktalardan biri sonlu elemanlar yönteminin düğüm noktalarına bağlı bir yöntem olmasıdır. Yani yapı elemanına etki ettirilecek yükler düğüm noktalarına uygulanır ve analizler sonucunda elde edilen gerilme ve deplasman değerleri düğüm noktalarındaki değerlerdir. ANSYS sonlu elemanlar programında analiz basamakları Şekil 8.1’de verilmiştir.



Şekil 8.1. ANSYS yazılımında analiz basamakları

8.2.1. Model geometrisinin oluşturulması

Analizi yapılacak olan yapı elemanlarının geometrisi oluşturulurken analizin hangi boyutta dikkate alındığı önemlidir. Deney çalışma kapsamında deney elemanlarının modellenmesi ANSYS yazılımında üç boyutlu olarak planlanmıştır.

Beton elemanlar blok olarak, CFRP şeritler ise alan olarak tanımlanmış kalınlığı malzeme özelliklerinden tanımlanmıştır.

8.2.2. Malzeme özelliklerinin girilmesi

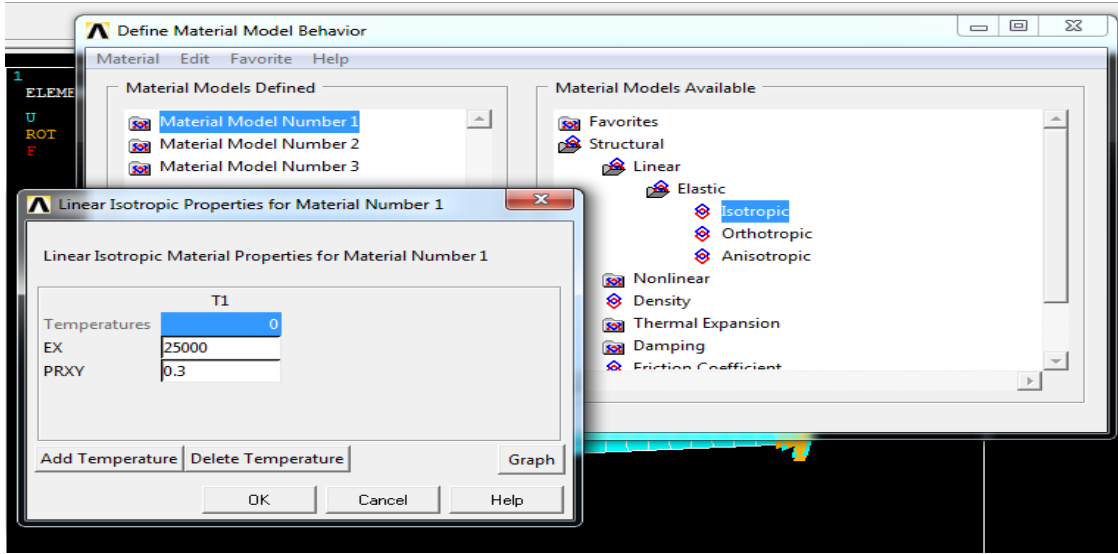
Sonlu analiz yöntemleriyle problemlerinin çözümünde çözümün gerçeğe yakınlığı, malzeme özelliklerinin gerçeğe en yakın şekilde modellenmesine bağlıdır. Çalışma kapsamında beton, epoksi ve CFRP malzeme özellikleri ayrı ayrı tanımlanmıştır.

8.2.3. Malzeme modelleri

Malzeme modeli belirlenmeden önce elemanı oluşturulan malzemelerin mekanik özelliklerinin iyi bilinmesi, sağlıklı bir modelleme için önemlidir. Deney elemanlarını beton, epoksi ve CFRP malzeme özellikleri aşağıda kısaca açıklanmaktadır.

Beton malzeme davranışı

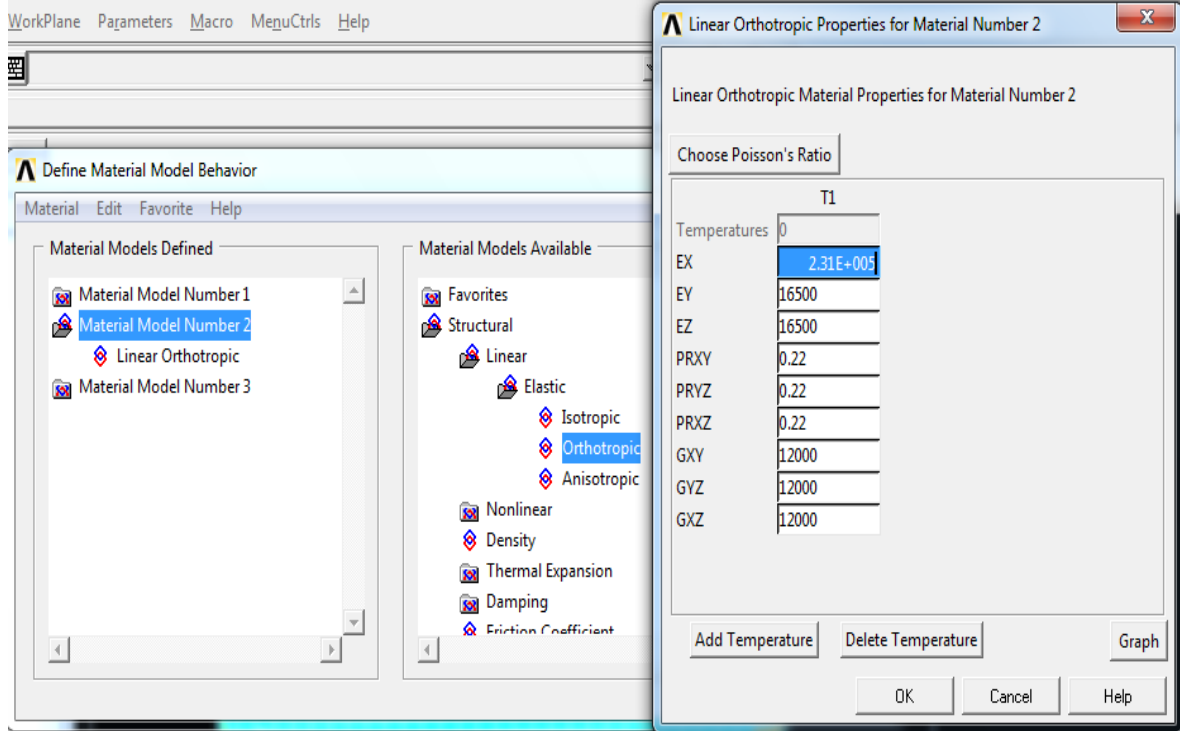
İri ve ince agreganın bağlayıcı madde olarak çimento kullanılarak su ile karıştırılmasıyla elde edilen kompozit yapı malzemesidir. Beton zamana ve yüke göre özellikleri değişen nonlinear bir malzemedir. Literatürde bulunan deneysek çalışmalarda betonun belirli bir yük seviyesine kadar lineer elastik davranış göstermekte, yükün artmasıyla beton yüzeyinde oluşan çatlaklar neticesinde yük taşıma kapasitesinin görülmüştür. ANSYS yazılımında deneysel çalışma kapsamında kullanılan beton elemanlarının davranışının lineer elastik kısımda kalacak şekilde modellenmiştir. Beton malzeme özellikleri Resim 8.3' de görüldüğü gibi ANSYS modelinde kullanılmıştır.



Resim 8.3. Beton malzemesinin özellikleri

CFRP malzeme davranışı

CFRP malzemesinin en önemli özelliği yüksek çekme dayanımına sahip olmasıdır. Ancak CFRP malzemesi liflerini doğrultusuna göre özelliklerinin değişmesi nedeniyle anizotropik bir malzemedir. ANSYS yazılımında deneysel çalışma kapsamında kullanılan CFRP şeritlerinin davranışını lineer elastik kısımda kalacak şekilde modellenmiştir. CFRP malzeme özellikleri Resim 8.4'de görüldüğü gibi ANSYS modelinde kullanılmıştır.



Resim 8.4 CFRP malzemesinin özellikleri

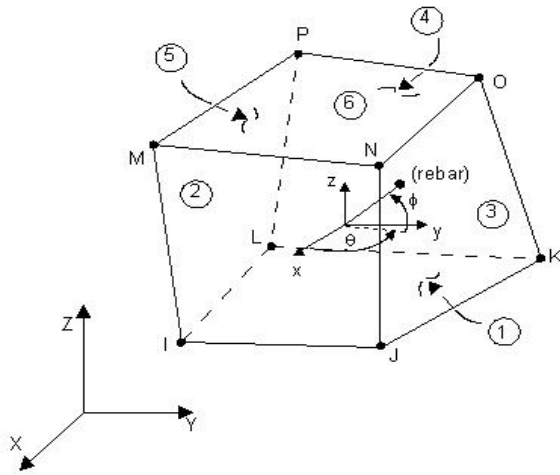
Eleman seçimi

ANSYS eleman kütüphanesinde kontak, kabuk, kiriş ve çubuk elemanlar gibi birçok eleman çeşidi tanımlanmıştır. Yazılımda beton modeli için Solid65 tanımlanmıştır. Literatürde bulunan çalışmaların tamamına yakınında da ANSYS modellemesi için Solid 65 kullanılmıştır. CFRP şeritler için ANSYS kütüphanesinde kabuk elemanlar için kullanılan Shell181 elemanı kullanılmıştır. Kontak eleman olarak ansys yazılımında bulunan Contact Maneger'den yararlanılmıştır. Kontak eleman olarak Conta164 ve Targe170 seçilmiştir.

Modelde kullanılan eleman tiplerinin tanıtımı

Solid65 elemanı

Solid65 elemanı, betonun üç boyutlu modellenmesinde kullanılan, çekmede çatlama basınçta da ezilme yapabilen, her düğüm noktasında üç yönde serbestliğe sahip 8 düğüm noktalı bir elemandır. ANSYS'te beton modellemesi için kullanılan eleman tipi Resim 8.5'de verilmiştir.

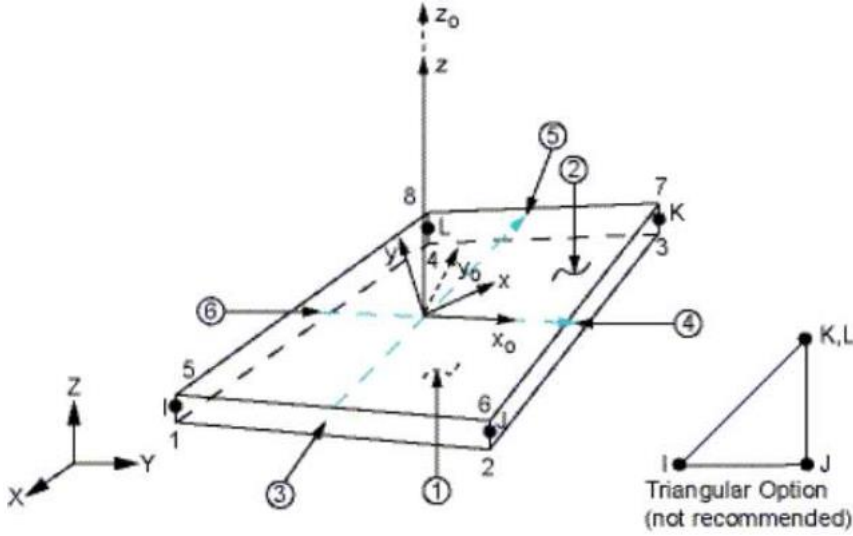


Resim 8.5. ANSYS'te beton modellemesi için kullanılan eleman tipi (Solid65)

Solid65 elemanının en önemli özelliklerinden biri nonlineer malzeme davranışına sahip olmasıdır. Bu şekilde çatlama, ezilme, plastik deformasyon ve sünme davranışları modellenebilmektedir. betonun Ancak bu çalışma kapsamında betonda plastik deformasyon gözlenmesi beklenmediğinden ANSYS programında beton lineer elastik tasarlanmıştır.

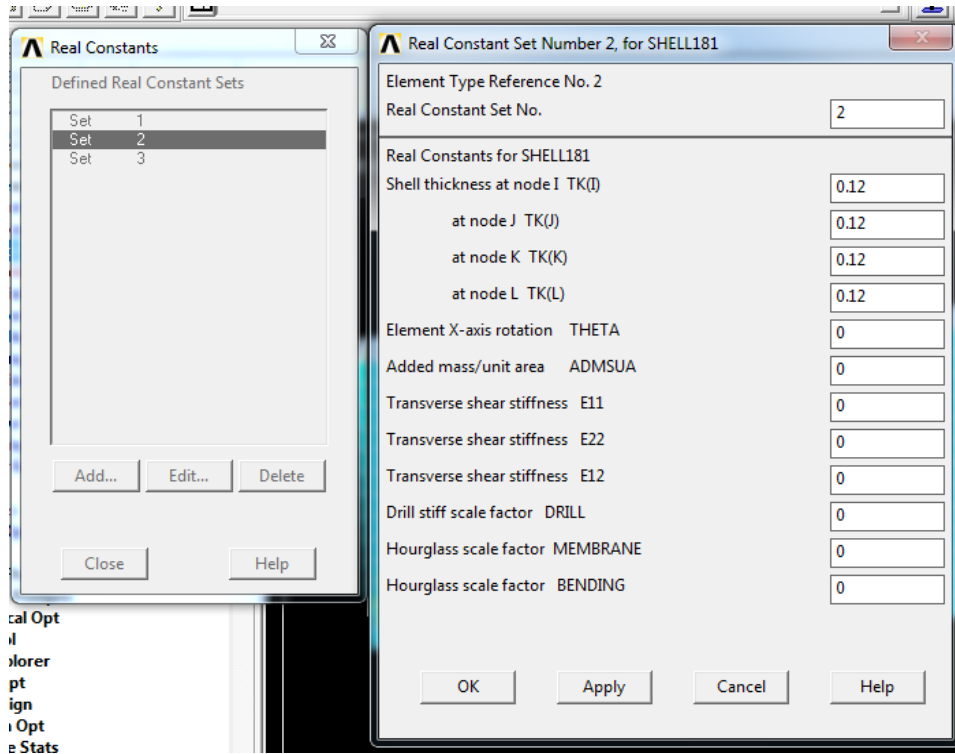
Shell 181 elemanı

SHELL181 geometrik olarak 2 boyutlu fakat yapısal açıdan 3 boyutlu davranış göstermektedirler. Elemanların her düğüm noktasında 6 serbestlik derecesi (x,y,z yer değiştirme ve x,y,z dönme) vardır. İnce cidarlı yapıların modellenmesi için uygundur. Shell181'nin geometrisi Resim 8.6'da verilmiştir.



Resim 8.6. ANSYS'te CFRP modellemesi için kullanılan eleman tipi (Shell181)

CFRP şeritlerin kalınlıkları ANSYS yazılımında Shell181 elemanına real constants sekmesinin altından 0,12 olarak girilmiştir. Girdi ekranı Resim 8.7'de verilmiştir.



Resim 8.7. ANSYS'te Shell181'de eleman kalınlığının girilmesi

Epoksi Malzeme Modelinin Oluşturulması

ANSYS yazılımında Solid 65 ile modeli tanımlanmış beton blok ile Shell181 ile modellenmiş CFRP şeritlerin yapışma modeli contact maneger vasıtasıyla yapılmıştır. Contact maneger yardımıyla beton yüzey ile CFRP şerit yüzeyi arasındaki bağlantı Conta164 ve Targe174 ile sağlanmıştır. Yüzey bağlantılarının ardından epoksi malzemesinin özellikleri ANSYS kütüphanesinde olmaması nedeniyle Bilineer Cohesive Zone Meterials Model (CBDD) çift doğrusal yapışkan bölge malzeme modeli kullanılmıştır. ANSYS ana sayfasında ANSYS komut bölümüne “TB,CZM,3,,CBDD” komutu girilmiştir. Komut satırındaki 3 beton ve CFRP şeritten sonra 3. Malzeme modeli olduğunu göstermiştir. CBDD modeli oluşturulmasından sonra Parameter bölümünden C1’den C6 ya kadar olan CZM parametreleri girilir. CZM parametrelerinin tanımları Çizelge 8.1’de verilmiştir.

Çizelge 8.1. CZM parametre tanımları

Sabit	Tanımı
C1	Maksimum normal temas gerilmesi
C2	Bağ açımı bitimdeki boşluk
C3	Maksimum kesme gerilmesi
C4	CFRP şeritlerin beton yüzeyindeki sıyrılma miktarı
C5	Yapay sönümlleme katsayısı
C6	CFRP şeritlerin teğetsel kayma altında normal basma gerilmesi

ANSYS modelde CZM katsayılarında C3 ve C4 sonuca doğrudan etki etmiştir. C1 normal gerilme çok yüksek bir değer, C5 çok küçük değer alınmıştır. C6 sıfır kabul edilmiştir. C4 değeri deneysel çalışma kapsamında referans deney elemanlarının deplasmanlarına çok yakın değerler girilmiştir. C3 değeri ise deneysel çalışma kapsamında elde edilen maksimum yükün CFRP şerit alanına bölünmesi ile bulunmuştur. Referans deney elemanları için alınan katsayı değerleri Çizelge 8.2’de verilmiştir.

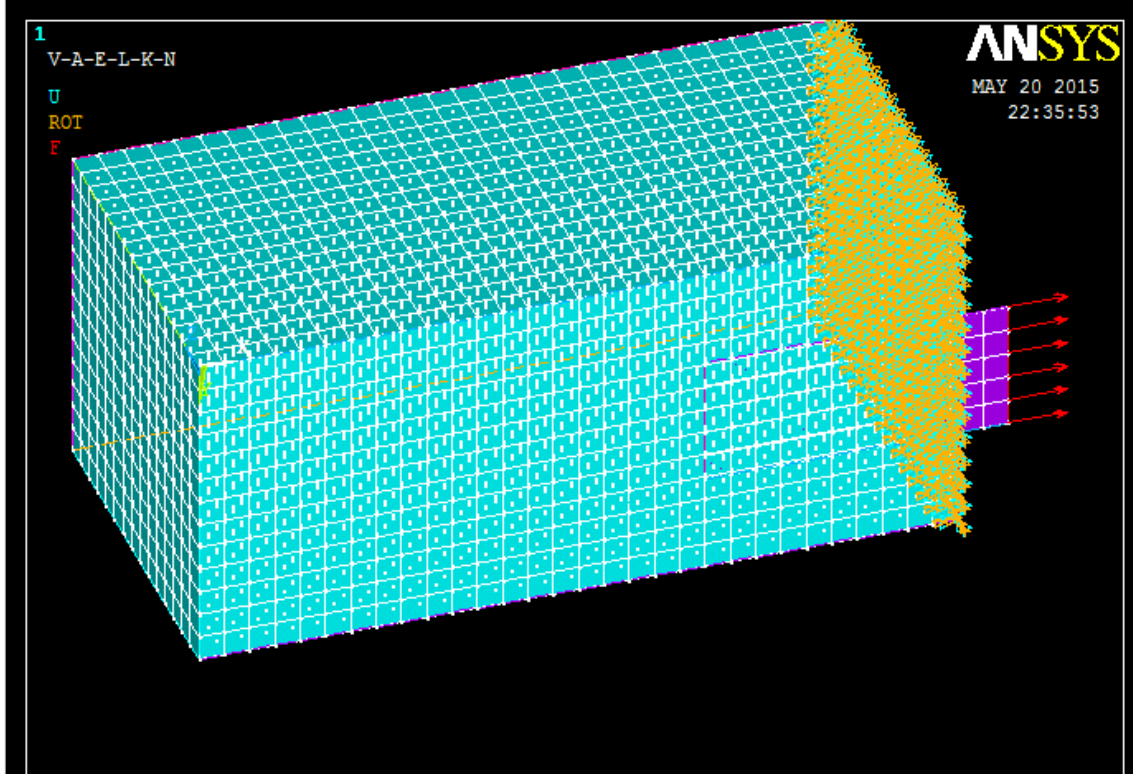
Çizelge 8.2. Referans deney elemanları için kullanılan czm parametreleri

Sabit	50W200L	100W200L	50W280L	100W280L
C1	8020	8020	8020	8020
C2	2	1,8	2	1,8
C3	1,2	1,05	0,93	0,88
C4	8	4	8	8
C5	0,01	0,01	0,01	0,01
C6	0	0	0	0

Czm katsayılarının girilmesinden sonra ANSYS komut satırına "TBDATA,1,C1,C2,C3,C4,C5,C6" komutu girilmiştir. Contact maneger komutu altında Targe170 ve Conta164 elemanlarının model numarası 3 olarak epoksi malzemesi tanımlanmıştır.

8.2.4. Modelin sonlu eleman ağının oluşturulması

Bir tanım aralığını kendinden daha küçük tanım aralıklarına bölme işlemine mesh etme ya da ağ oluşturma denilmektedir. Sonlu elemanlar yönteminde çözümü yapılacak olan yapı elemanları elemanın geometrisine uygun şekilde daha küçük elemanlara bölünmektedir. Ağ oluşturma işleminde dikkat edilmesi gereken önemli noktalardan biri ağ yoğunluğunun belirlenmesidir. Ağ yoğunluğunun yüksek tutulması analiz süresinin gereğinden fazla uzamasına ve bilgisayar kapasitesinin zorlanmasına sebep olmaktadır. Düşük tutulması ise istenilen yük düzeyine ulaşılamamasına neden olabilmektedir. Ayrıca geometri ve yüklemenin değiştiği bölgelerde mesh yoğunluğunun artırılması sonuçların hassasiyeti açısından önemlidir. Mesh işlemi gerçekleştirilirken dikkat edilmesi gereken bir diğer nokta ise mesh sonucu oluşan elemanların boyutları arasında uyum olması gereğidir. Yani eleman boyutları arasındaki fark çok fazla olmamalıdır [20]. Ağ oluşturulmuş deney elemanı Resim 8.8'de verilmiştir.



Resim 8.8. Ağ oluşturulmuş deney elemanı

8.2.5. Sınır şartların düzenlenmesi

Deneysel çalışmada Beton blokta yükün uygulandığı kısımda alan olarak mesnetlenerek betonun x, y ve z yönünde hareketi engellenmiştir.

8.2.6. Yükleme ve analiz

Yükleme

Deneysel çalışmada x, y, ve z doğrultularında hareketi sabitlenen beton blok üzerine yapıştırılan CFRP şerit boş olan ucundan çekme kuvveti uygulanmıştır. Modellemede de beton blok yükün uygulandığı taraftan mesnetlenmiş ve CFRP şeritlerin ucundan çekme kuvveti uygulanmıştır.

Analiz

ANSYS programı altında lineer ve nonlinear analizin yapılabildiği statik yük durumlarının altında gerilme ve yer değiştirmelerin hesaplandığı statik analiz yapılmıştır.

8.3. ANSYS Modelleme ile Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması

ANSYS yazılımında yapılan analizlerinden elde edilen maksimum yük değerlerinin deney sonuçlarına oranı ortalama 1,02 olarak hesaplanmıştır. Deplasman değerlerinde bu oran yaklaşık 1,05 olarak hesaplanmıştır. ANSYS'te yapılan analizlerden elde edilen maksimum yük ve maksimum deplasman değerleri ile deneylerden elde edilen maksimum yük ve maksimum deplasman değerleri Çizelge 8.3'te verilmiştir.

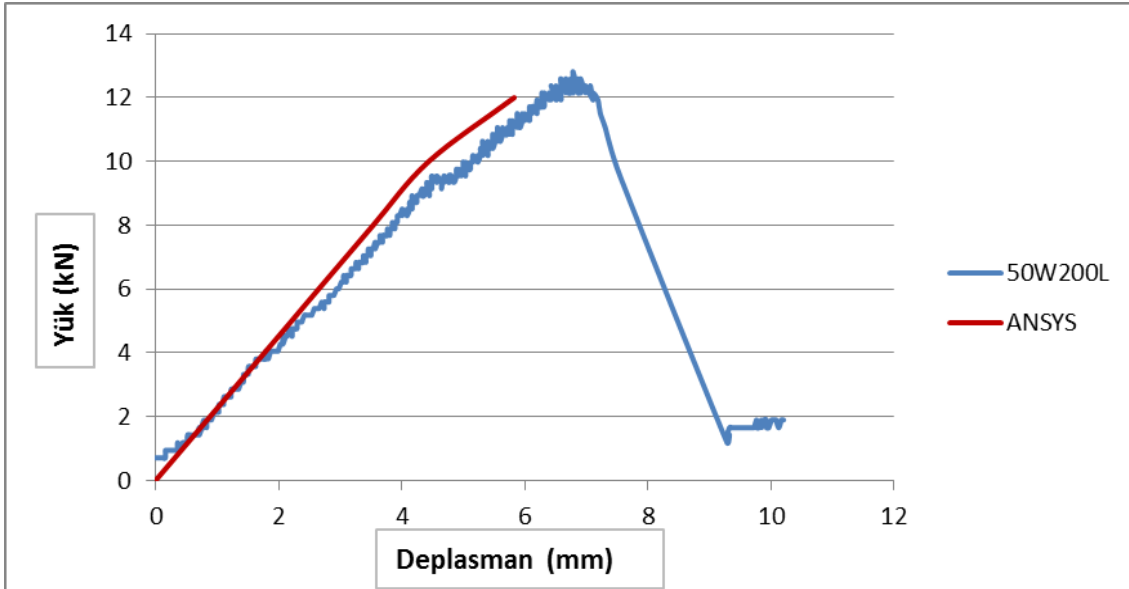
Çizelge 8.3. Deney sonuçları ile ANSYS sonuçlarının karşılaştırılması

DENEY ELEMANI	DENEY SONUÇLARI		ANSYS SONUÇLARI		YÜK ORANI (DENEY / ANSY)	DEP. ORANI (DENEY / ANSY)
	MAK. YÜK.	MAK. DEP	MAK. YÜK.	MAK. DEP		
50W200L	12,8	6,69	12	5,83	1,06	1,15
100W200L	20,19	4,45	21	4,31	0,96	1,04
50W280L	13,89	6,08	12,65	5,88	1,10	1,03
100W280L	23,63	7,39	23,9	7,24	0,99	1,02

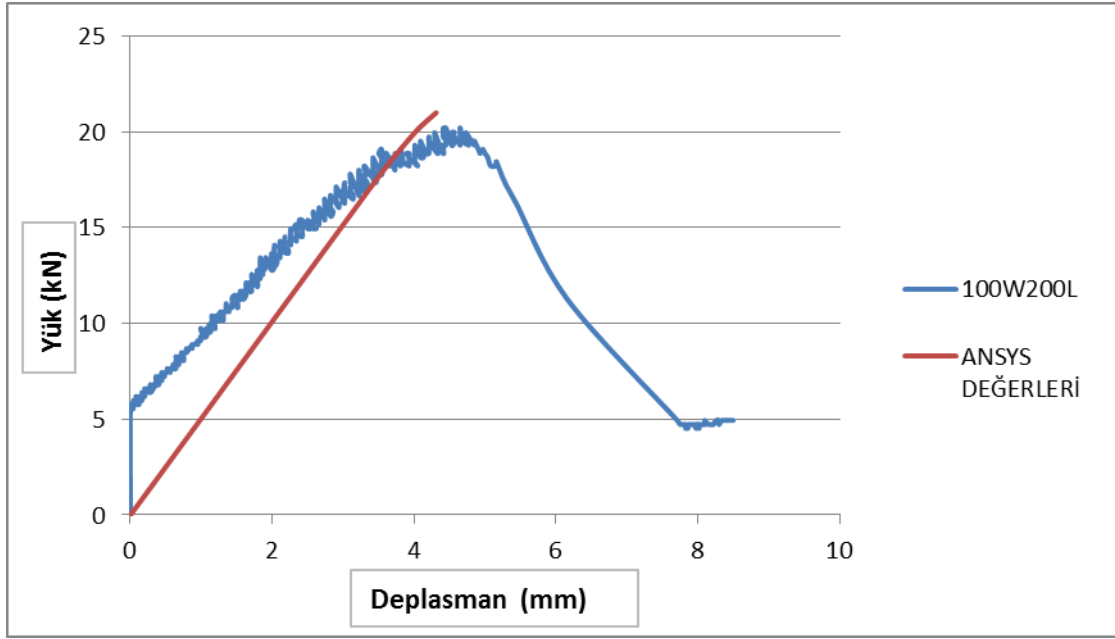
Şekil 8.2 - Şekil 8.5'de referans deney elemanlarında deneysel çalışma sonucu elde edilen yük deplasman grafikleri ile ANSYS modellemesi sonucu elde edilen yük deplasman eğrileri karşılaştırılmalı olarak verilmiştir. Grafikler deney elemanlarının taşıdıkları maksimum yükteki rijitlikleri bakımından incelendiğinde ANSYS modelleme sonucu elde edilen rijitlik değerinin deneylerden elde edilen rijitlik değerinden ortalama %2 fazla çıkmıştır. Rijitlik değerleri Çizelge 8.4'te verilmiştir.

Çizelge 8.4. Deney sonuçları ile ansys rijitlik değerleri

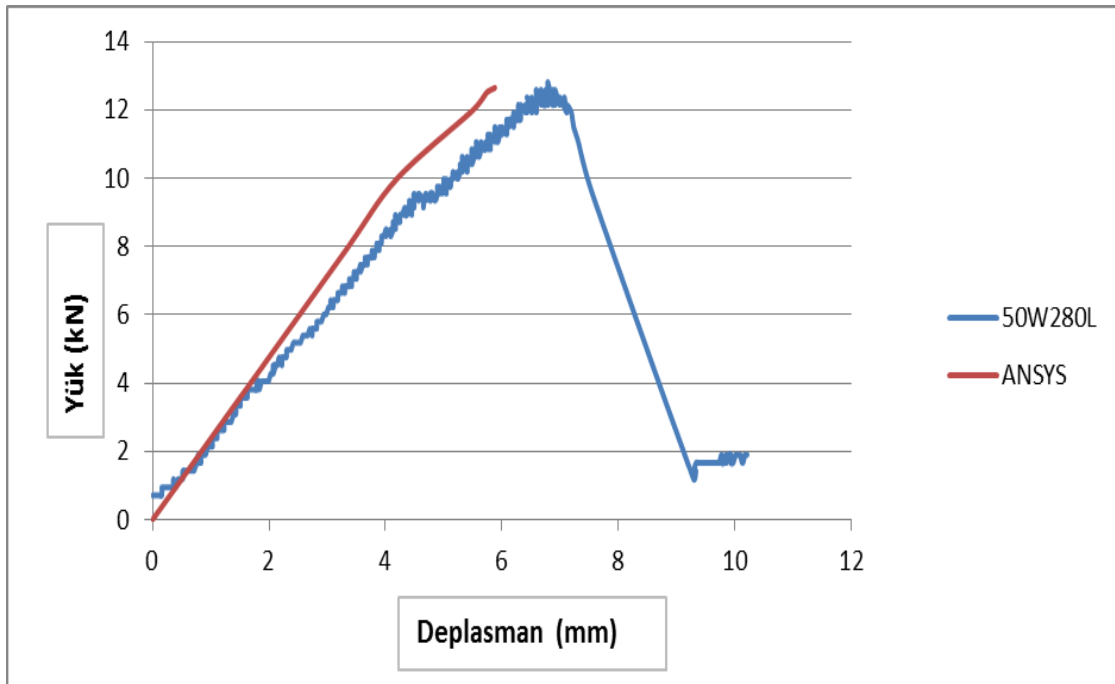
DENEY ELEMANI	MAKSİMUM YÜKTEKİ RİJİTLİK DEĞERLERİ	
	DENEYSEL	ANSYS
50W200L	1,91	2,06
100W200L	4,54	4,87
50W280L	2,28	2,15
100W280L	3,20	3,30



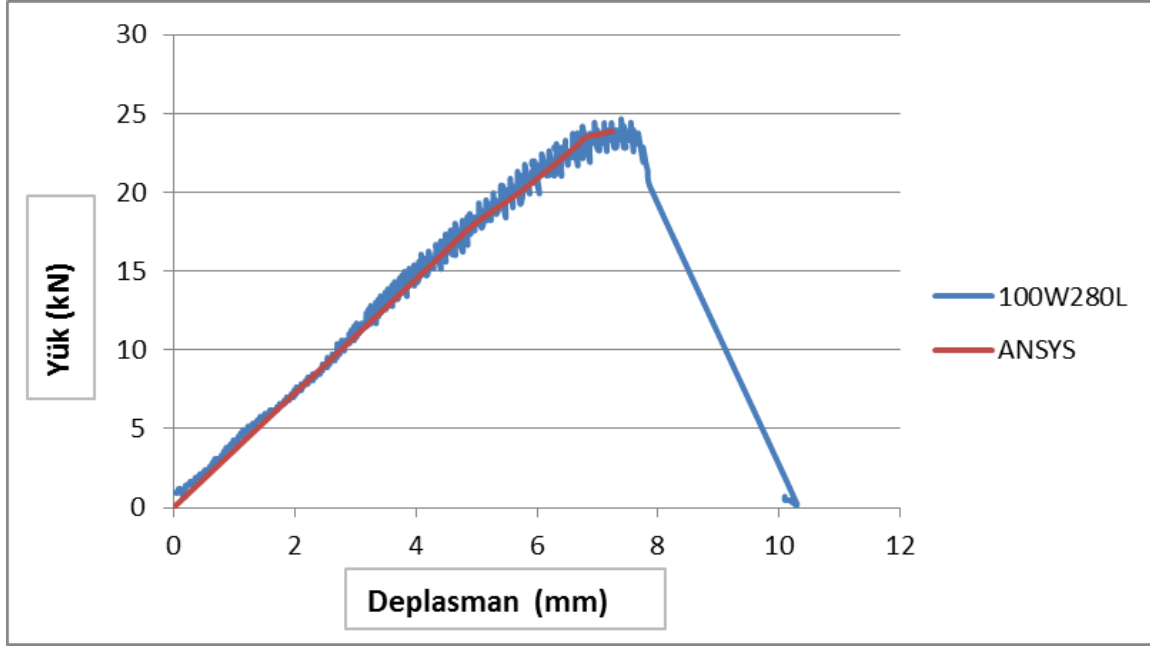
Şekil 8.2. 50W200L deney elemanı deneysel ve ANSYS modeli ile elde edilen yük-deplasman grafiklerinin karşılaştırılması



Şekil 8.3. 100W200L deney elemanı deneysel ve ANSYS modeli ile elde edilen yük deplasman grafiklerinin karşılaştırılması



Şekil 8.4. 50W280L deney elemanının deneysel ve ANSYS modeli ile elde edilen yük-deplasman grafiklerinin karşılaştırılması



Şekil 8.5. 100W280L deney elemanı deneysel ve ANSYS modeli ile elde edilen yük-deplasman grafiklerinin karşılaştırılması

9. SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ VE ÖNERİLER

9.1. Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Bu çalışma kapsamında çatlaksız, eğilme çatlağı ile kesme çatlağına sahip beton yüzeyine yapıştırılan ankrajlı ve ankrajsız CFRP şeritler ile yüzey arasındaki kayma davranışı, bond-slip modeli ve ANSYS yazılımı kullanılarak model oluşturulması ile ilgili bir araştırma yapılmıştır. Deneysel çalışma kapsamında 30 deney yapılmıştır. Farklı şerit genişlikleri ve şerit yapışma boylarına sahip 4 referans deney elemanı, 10 adet farklı sayıda ankraj uygulaması yapılmış deney elemanları ve 16 adet farklı sayıda eğilme ve kesme çatlağına sahip deney elemanı test edilmiştir. Deney sonuçları şerit genişliği, şerit yapışma boyu, ankraj sayısı ile eğilme ve kesme çatlaklı olarak gruplandırılarak karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca literatürde yer alan analitik modellerden elde edilen sonuçlar ve ANSYS yazılımından elde edilen veriler karşılaştırılmıştır.

- ✓ CFRP şeritlerin maksimum taşıma kapasitesinde şerit genişliği, şerit yapışma boyu ve ankraj uygulaması doğrudan etkilidir. Şerit genişliği 100 mm olan referans deney elemanlarının maksimum taşıma kapasiteleri, şerit genişliği 50 mm olan referans deney elemanlarına göre ortalama %68 daha fazla ölçülmüştür. Şerit yapışma boyunun 200 mm'den 280 mm'ye çıkarılması referans deney elemanlarının maksimum taşıma kapasitelerinde ortalama %15 artışa neden olmuştur. Maksimum taşıma kapasitesinde, ankraj uygulaması 200 mm şerit yapışma boyu olan deney elemanlarında ortalama %24, 280 mm şerit yapışma boyu olan deney elemanlarında ortalama %58 artışa neden olmuştur.
- ✓ Ankrajsız deney elemanlarında göçme, CFRP şeritlerin yüzeyden sıyrılması sonucu olmuştur. Uygulanan ankraj sayesinde CFRP şeritlerin beton yüzeyinden sıyrılmaları engellenmiş, CFRP şeritlerin kopması sonucu göçme gerçekleşmiştir.
- ✓ Eğilme ve Kesme çatlağına sahip deney elemanlarının maksimum taşıma kapasitelerinde azalma görülmüştür. Maksimum taşıma kapasitesi; referans deney elemanlarına göre eğilme, çatlağına sahip deney elemanlarında ortalama

%17, kesme çatlağına sahip deney elemanlarında ise ortalama % 28 oranında azalmıştır.

- ✓ CFRP şerit altında kalan kesme çatlağının alanının eğilme çatlağından fazla olması sonucu taşıma kapasitesindeki azalma, kesme çatlağına sahip deney elemanlarında daha fazla olmuştur.
- ✓ Analitik çalışma sonucu elde edilen veriler deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Referans deney elemanlarında Chen Teng modeli kullanılarak hesaplanan maksimum yük değerleri ile deney elemanlarından elde edilen maksimum yük değerlerinin ortalaması 1,03 olarak hesaplanmıştır. Ancak ankajlı deney elemanlarında bu oranda bir hassasiyet görülmemiştir. Referans deney elemanları için Chen Teng modeli ile elde edilen sonuçlar kullanılarak ankajlı deney elemanları için bond-slip model geliştirilmiştir.
- ✓ Deneysel çalışma kapsamında elde edilen Yük-Deplasman grafikleri kullanılarak deney elemanlarının maksimum yükteki rijitlik değerleri hesaplanarak karşılaştırılmıştır. Referans deney elemanlarında Şerit genişliğinin artışı rijitliğin artmasına neden olmuştur. 100 mm şerit genişliğine sahip referans deney elemanlarında rijitlik değeri 50 mm şerit genişliğine sahip referans deney elemanlarının rijitliğine göre ortalama %53 daha fazla hesaplanmıştır.
- ✓ Deneysel çalışma kapsamında yapılan tüm deneylerde, CFRP şeritlerdeki maksimum birim deformasyon, CFRP şeritlerin beton yüzeyine yapıştığı yüklü kenara en yakın noktadan ölçülmüştür. Yüklü kenardan uzaklaştıkça birim deformasyon değeri azalmıştır. Ancak ankajlı deney elemanlarında ankrajın CFRP şeridin hareketini durdurduğu için ankraj uygulanan noktalarda birim deformasyon değeri tekrar yükselmiştir.
- ✓ Referans deney elemanları ANSYS programında modellenmiştir. Modelleme sonucu ANSYS programından elde edilen sonuçların deney sonuçlarına oranı ortalama 1,02 olarak hesaplanmıştır.

9.2. Öneriler

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar ışığında aşağıdaki öneriler sunulmuştur.

- ✓ CFRP şerit uçlarının sabitlenmesi sünek eğilme davranışının elde edilebilmesi için önem taşımaktadır. Uygulamada hassas işçilik yöntemin başarısı için önemli etkindir.
- ✓ CFRP şeritlerin beton yüzeyinden erken soyulmasının engellenmesi için ankraj dışındaki tekniklerde araştırılmalıdır. Şerit uçlarının CFRP kumaşlar yapıştırılarak beton yüzeyine sabitlenmesi uygulamada önemli kolaylıklar sağlayacaktır.
- ✓ Deneysel çalışmalar bilgisayar programları ile oluşturulan modellerle desteklenmelidir.
- ✓ Araştırma kapsamında kullanılan güçlendirme tekniğinin, beton dayanımı düşük elemanlar üzerindeki etkinliği araştırılmalıdır.

KAYNAKLAR

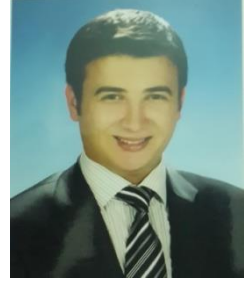
- 1 Anıl, Ö., Belgin, Ç. (2010). Anchorages Effects on CFRP-to-Concrete Bond-Strength. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 29(4):539-557.
- 2 Anıl, Ö., Belgin, Ç. (2009). Review of Bond-Strength Models and Application on CFRP to-Concrete Bonded Joints Across Crack. *Science and Engineering of Composite Materials*, 15(2):141-158.
- 3 Anıl, Ö., Belgin, Ç., Kara, ME. (2010) Experimental Investigation on CFRP to Concrete Bonded Joints Across Crack. Techno Press, *Structural Engineering and Mechanics*, 35(1): 1-18
4. Jia, M. (2003). "Finite Element Modeling of Reinforced Concrete Beams Strengthened with FRP Composite Sheets", Master Tezi, *The University of Alabama in Huntsville*, 4, 20, 22, 27-29, 60.
5. Akyüz, U., Özdemir, G. (2004), "Mechanical properties of CFRP anchorages" *13th World Conference on Earthquake Engineering Vancouver, Canada*, 1-6
6. Bencardino, F., Spadea, G., Swamy, R.N. (2006), "The problem of shear in RC beams strengthened with CFRP laminates", *Construction and Building Materials*, 1-10
7. Barros, J.A.O., Dias, S.J.E. (2006), "Near surface mounted CFRP laminates for shear strengthening of concrete beams", *Cement & Concrete Composites*, 276-292
8. Camlı, S. U., Binici, B. (2007) "Strength of carbon fiber reinforced polymers bonded to concrete and masonry" *Construction and Building Materials* 21 1431–1446
9. Francesca, C., Marisa, P., Stjin, M., Luc, T. (2008), "Debonding strength and anchorage devices for reinforced concrete elements strengthened with FRP sheets", *Construction and Building Materials*, 1-10
10. Sayed-Ahmed, E.Y., Bakay, R., ve Shrive, N.G. (2009). Bond Strength of FRP Laminates to Concrete: State-of-the-Art Review. *Electronic Journal of Structural Engineering*, 46-61
11. Fawzia, S., Zhao X-L, ve Al-Mahaidi R., (2010) Bond–slip models for double strap joints strengthened by CFRP *Composite Structures* 92 2137–2145
12. Zhang, H.W. ve Smith, S.T. (2011). FRP-to-concrete joint assemblages anchored with multiple FRP anchors. *Composite Structures*, 403-414

13. Al-Mahaidi, R., Kalfat, R. (2011). Investigation into CFRP plate end anchorage utilising uni-directional fabric Wrap, *Composite Structures* 93 (2011) 821–830
14. Bilotta, A. Ludovico, M.D., Nigro E. (2011). FRP-to-concrete interface debonding: Experimental calibration of a capacity model. *Composites: Part B* 42 1539–1553
15. Jumaat, M.Z., Rahman, M.M.* and Rahman, M.A. (2011). Review on bonding techniques of CFRP in strengthening concrete structures. *International Journal of the Physical Sciences Vol. 6(15)*,. 3567-3575
16. Cameron, R. (2012). Strengthening Of Rc Beams With Anchored Frp Laminate, Yüksek Lisans Tezi, Mc Master Üniversitesi.
17. Kotynia, R. (2012). Bond between FRP and concrete in reinforced concrete beams strengthened with near surface mounted and externally bonded reinforcement. *Composite Structures*, 41-54
18. Ko, H. Matthys, S., Palmieri, A., Yuichi Sato Y. (2014) Development of a simplified bond stress–slip model for bonded FRP–concrete interfaces, *Construction and Building Materials* 68, 142–157
19. Stolarski, T., Nakasone, Y., Yoshimoto, S. (2006), “Engineering Analysis With ANSYS Software”, *Elsevier*, 37
20. ANSYS, ANSYS User’s Manual Revision 11.0, *ANSYS, Inc.*, Cannonsburg, Pennsylvania.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı :MERTOĞLU Çelebi
 Uyuğu :T.C.
 Doğum tarihi ve yeri :02.10.1984, Ankara
 Medeni hali :Evli
 Telefon :0(312)325 01 10
 Faks :
 e-mail :cmertoglu@gmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / F.B.E.	2009
Lisans	Kırıkkale Üniversitesi / İnşaat Müh.	2006
Lise	Kanuni Süper Lisesi	2002

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2011-Halen	İlbank A.Ş.	Teknik Uzman
2010-2011	Tübitak Sage	Mühendis
2009-2010	Umut Yapı A.Ş	İhale Uzmanı
2006-2007	Kret İnşaat	Saha Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

Hobiler

Kanun ve yönetmelik incelemek, Futbol oynamak, Gezmek,



GAZİ GELECEKTİR..