
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
Gazi
1926

KESMEYE KARŞI ÇELİK KABLOLARLA GÜÇLENDİRİLMİŞ BETONARME KİRİŞİN DAVRANIŞI

Alperen KOFOĞLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KASIM 2019

Alperen KOFOĞLU tarafından hazırlanan "KESMEYE KARŞI ÇELİK KABLOLARLA GÜÇLENDİRİLMİŞ BETONARME KİRİŞİN DAVRANIŞI" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Bengi AYKAÇ

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum. ……..……..

Başkan: Prof. Dr. Ali İhsan ÜNAY

Mimarlık Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum. ...……

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Mahmut Cem YILMAZ

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum. ...……

Tez Savunma Tarihi: 07/11/2019

Jüri tarafından kabul edilen bu çalışmanın Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

……..…….

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

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

- 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 çalışmasında 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.

Alperen Kofoğlu

07/11/2019

KESMEYE KARŞI ÇELİK KABLOLARLA GÜÇLENDİRİLMİŞ BETONARME KİRİŞİN DAVRANIŞI

(Yüksek Lisans Tezi)

Alperen KOFOĞLU

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Kasım 2019

ÖZET

Kesmeye karşı yetersizliği anlaşılan betonarme kirişlerin güçlendirme ihtiyacı sıklıkla karşılaşılan bir problemdir. Bu yetersizliğin giderilebilmesi amacıyla, geçmişte pek çok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalarda; güçlendirme işlemi için, betonarme kirişler üzerinde, çelik plakalar, etriyelerle, CRFP şeritler vb. kullanılarak birçok farklı yöntem kullanılmıştır. Bu çalışmada ise, kesmeye karşı yetersizliği anlaşılan betonarme kirişlerin farklı bir yöntemle güçlendirilmesi hedeflenmiştir. Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yapı Mekaniği Laboratuvarında yapılmış olan bu çalışmada; betonarme kirişlere dışarıdan etriye ile sargılama yapılmamış, bunun yerine kirişlerin güçlendirilmesi, çelik kablolar vasıtasıyla dışarıdan sargı yapılarak sağlanmaya çalışılmıştır. Yapılan çalışmada çelik kabloların, sargı donatısı olarak etkinliği araştırılmaktadır. Yöntemin pratikliği ve kısa sürede uygulanabilirliği de en büyük avantajlarından biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu deneylerde, iki referans elemanı diğerleri ise çelik kablolarla güçlendirilmiş deney elemanı olmak üzere toplamda on iki numune üzerinden, hedeflenen çalışmanın değerlendirilmesi yapılmıştır. Bütün deney elemanları, yeterli rijitliğe sahip betonarme bir duvara bir ucundan sabitlenip, tersinir yükler (deprem) altında test edilmişlerdir. Yapılan deneyler çok donatılı ve az donatılı olmak üzere iki farklı gruptan oluşmaktadır. Referans elemanlarda etriye aralıkları yeterli olup, herhangi bir güçlendirme işlemi yapılmamıştır. Güçlendirilen numuneler ise referans deney elemanı ile aynı boyuta ve boyuna donatı miktarına sahiptir. Etriye çapı aynı tutulmuş fakat, aralıkları (yetersiz olabilmesi için) daha seyrek aralıklarla yapılmıştır. Betonarme kirişi dışarıdan sargılamak amacıyla da 4 mm çapında çelik kablo kullanılmıştır. Yapılan sargılamanın üzeri de nitelikli veya niteliksiz sıva ile kapatılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda; referans eleman ile güçlendirilmiş elemanın yük- deplasman grafiğine bakıldığında, davranış bakımından olumlu sonuçlar elde edildiği gözlenmiştir. Elde edilen olumlu veriler ışığında, devam etmekte olan çalışmanın, gelecekte yapılacak olan güçlendirme işlemlerine önemli katkılar sağlayacağı düşünülmektedir.

Bilim Kodu	:	91102
Anahtar Kelimeler	:	Betonarme Kiriş, Çelik Kablo, Güçlendirme
Sayfa Adedi	:	89
Danışman	:	Doç. Dr. Bengi AYKAÇ

BEHAVIOUR OF REINFORCED CONCRETE BEAMS STRENTHENED WITH WIRE ROPE

(M. Sc. Thesis)

Alperen KOFOĞLU

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

November 2019

ABSTRACT

Need for reinforcement concrete beams which are understood to be insufficient against cutting is a frequent problem. Many studies have been done in the past to overcome this deficiency. In these studies; for reinforcement process, on reinforced concrete beams, many different methods have been used such as steel plates, stirrups, cfrp strips etc. In this study, it is aimed to reinforce the concrete beams which are understood to be insufficient against cutting with a different method. In this study, which was conducted in Gazi University, Faculty of Engineering, Building Mechanics Laboratory; reinforced concrete beams were not wrapped with external stirrups instead steel cables were used. In this study, the effectiveness of continuous steel cables as winding reinforcement is investigated. Practicality and short-term applicability of the method is one of the biggest advantages. In these experiments, a total of twelve samples, two reference elements and the other one reinforced with steel cables, were evaluated. All the test elements were fixed to a concrete wall of sufficient rigidity and tested under reversible loads (earthquake). The experiments consisted of two different groups, which are very reinforced and less reinforced. The stirrup spacing of the reference elements is sufficient and no reinforcement is performed. The reinforced samples have the same dimensions and the amount of longitudinal reinforcement as the reference test element. The diameter of the stirrup was kept the same, but the intervals (to be insufficient) were made less frequently. A 4 mm diameter steel cable is also used for winding concrete beam from the outside. The dressing is also covered with qualified or unqualified plaster. As a result of the experiments; when the load-displacement graph of the reference element and the reinforced element were examined, it was observed that positive results were obtained in terms of behavior. In the light of the positive data obtained, it is thought that the ongoing study will make significant contributions to the future reinforcement operations.

Science Code	:	91102
Key Words	:	Reinforced Concrete Beam, Steel Cable, Strengthening
Page Number	:	89
Supervisor	:	Assoc. Prof. Dr. Bengi AYKAÇ

TEŞEKKÜR

Tüm sıkıntılı sürece rağmen beni maddi ve manevi her koşulda destekleyen babam, Mehmet KOFOĞLU'na ve annem, Ayşe Hamide KOFOĞLU'na çok teşekkür ediyorum.

Yüksek Lisans ders, tez ve deneysel çalışma süreci boyunca sabırlı ve anlayışlı davranışlarından dolayı eşim Berika KOFOĞLU'na ne kadar teşekkür etsem azdır.

Yüksek lisansın ders döneminde çok özverili ve yardımsever davranışlarından dolayı rahmetli eski şantiye şefim Celil ÖZAYDIN'ı rahmetle anıyor ve çok teşekkür ediyorum.

Deneysel çalışma boyunca benden yardımlarını esirgemeyen ve laboratuvar sürecinin tüm sıkıntılarına karşı benimle birlikte olan arkadaşlarım Recep KUZU, Engin Özgür ŞAHİN ve Volkan AKGÜN'e çok teşekkür ediyorum.

Yüksek lisans süreci boyunca her türlü yardımını esirgemeyen hocam Bengi AYKAÇ ve Sabahattin AYKAÇ'a çok teşekkür ediyorum.

Deney numunelerinin hazırlanmasında malzemelerini kullanmama izin verdiği ve işçiliğinde yardımlarını esirgemediği için Usta İnşaat ve Özşeras İnşaat'a teşekkür ediyorum.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iv

ABSTRACT v

TEŞEKKÜR vi

İÇİNDEKİLER vii

ÇİZELGELERİN LİSTESİ ix

ŞEKİLLERİN LİSTESİ x

RESİMLERİN LİSTESİ xii

SİMGELER VE KISALTMALAR xiv

1. GİRİŞ 1

2. ÇALIŞMANIN AMACI VE KAPSAMI 3

2.1. Amaç 3

2.2. Kapsam 3

3. GEÇMİŞTEKİ ÇALIŞMALAR 5

4. DENEYSEL ÇALIŞMA 7

4.1. Deney Elemanları 7

4.2. Malzeme Özellikleri 11

4.3. Çelik Kabloların Kirişe Sargılanması ve Uygulama Tekniği 11

4.4. Nitelikli ve Niteliksiz Sıvanın Uygulanması 12

4.5. Deney Düzeni 13

4.5.1. Askı düzeni 13

4.5.2. Yükleme düzeni 13

4.5.3. Ölçüm düzeni 14

4.6. Deneyler 15

4.6.1. MRB numunesi (Referans kirişi) 16

4.6.2. MUP numunesi 17

Sayfa

4.6.3. MPB numunesi 20
4.6.4. MPL numunesi 22
4.6.5. MPBC numunesi 25
4.6.6. MPLC numunesi 29
4.6.7. HRB numunesi (Referans kişiri) 33
4.6.8. Hup numunesi 34
4.6.9. HPB numunesi 37
4.6.10. HPL numunesi 40
4.6.11. HPBC numunesi 43
4.6.12. HPLC numunesi 47
5. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ 51
5.1. Genel Değerlendirme 51
5.2. Taşıma Gücü Karşılaştırması 51
5.2.1. Az donatılı numunelerin taşıma gücü 51
5.2.2. Çok donatılı numunelerin taşıma gücü 52
5.3. Zarf Eğrileri 53
5.3.1. Az donatılı numunelerin karşılaştırmaları 53
5.3.2. Çok donatılı numunelerin karşılaştırılması 65
5.4. Süneklik 77
5.5. Enerji Tüketimi 78
5.6. Eğilme Rijitliği 80
6. SONUÇ VE ÖNERİLER 85
KAYNAKLAR 87
ÖZGEÇMİŞ 89

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 2.1. Deney numunelerinin özellikleri 4

Çizelge 5.1. Az donatılı numunelerin ileri yönlü akma ve maksimum yük karşılaştırması 51

Çizelge 5.2. Az donatılı numunelerin geri yönlü akma ve maksimum yük karşılaştırması 52

Çizelge 5.3. Çok donatılı numunelerin ileri yönlü akma ve maksimum yük karşılaştırması 52

Çizelge 5.4. Çok donatılı numunelerin geri yönlü akma ve maksimum yük karşılaştırması 52

Çizelge 5.5. Az donatılı deney numunelerinin süneklikleri 78

Çizelge 5.6. Çok donatılı deney numunelerinin süneklikleri 78

Çizelge 5.6. Az donatılı deney numunelerinin enerji tüketimleri 78

Çizelge 5.7. Çok donatılı deney numunelerinin enerji tüketimleri 79

Çizelge 5.8. Az donatılı numunelerin eğilme rijitliği 81

Çizelge 5.9. Çok donatılı numunelerin eğilme rijitliği 82

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 4.1. MRB deney elemanı 9

Şekil 4.2. HRB deney elemanı 9

Şekil 4.3. Az donatılı güçlendirilecek deney elemanları 10

Şekil 4.4. Çok donatılı güçlendirilecek deney elemanları 10

Şekil 4.5. Betonarme kirişin güçlü duvara tutturulduğu sistem 13

Şekil 4.6. Yükleme düzeni 14

Şekil 4.7. Ölçüm düzeni 15

Şekil 4.8. MRB numunesi yük-deplasman grafiği 17

Şekil 4.9. MUP numunesi yük deplasman grafiği 20

Şekil 4.10. MPB numunesi yük-deplasman grafiği 22

Şekil 4.11. MPL numunesi yük-deplasman grafiği 25

Şekil 4.12. MPBC numunesi yük-deplasman grafiği 29

Şekil 4.13. MPLC numunesi yük-deplasman grafiği 33

Şekil 4.14. HRB numunesi yük-deplasman grafiği 34

Şekil 4.15. HUP numunesi yük-deplasman grafiği 37

Şekil 4.16. HPB numunesi yük-deplasman grafiği 40

Şekil 4.17. HPL numunesi yük-deplasman ilişkisi 43

Şekil 4.18. HPBC numune yük-deplasman grafiği 47

Şekil 4.19. HPLC numunesi yük-deplasman grafiği 50

Şekil 5.1. MRB-MUP-MPB-MPBC-MPL-MPLC zarf eğrileri karşılaştırması 54

Şekil 5.2. MRB-MUP zarf eğrileri karşılaştırması 55

Şekil 5.3. MRB-MPB zarf eğrileri karşılaştırması 56

Şekil 5.4. MRB-MPL zarf eğrileri karşılatırması 57

Şekil 5.5. MRB-MPBC zarf eğrileri karşılaştırması 58

Şekil 5.6. MRB-MPLC zarf eğrileri karşılatırması 59

Şekil **Sayfa**

Şekil 5.7. MRB-MPB-MUP zarf eğrileri karşılaştırması..... 60

Şekil 5.8. MPB-MPL zarf eğrileri karşılatırması..... 61

Şekil 5.9. MPBC-MPLC zarf eğrileri karşılatırması 62

Şekil 5.10. MPB-MPBC zarf eğrileri karşılaştırması 63

Şekil 5.11. MPL-MPLC zarf eğrileri karşılatırması 64

Şekil 5.12. MUP-MPB zarf eğrileri karşılatırması 65

Şekil 5.13. HRB-HUP-HPB-HPBC-HPL-HPLC zarf eğrileri karşılaştırılması 66

Şekil 5.14. HRB-HUP zarf eğrileri karşılaştırması..... 67

Şekil 5.15. HRB-HPB zarf eğrileri karşılaştırması..... 68

Şekil 5.16. HRB-HPL zarf eğrileri karşılaştırması 69

Şekil 5.17. HRB-HPBC zarf eğrileri karşılaştırması 70

Şekil 5.18. HRB-HPLC zarf eğrileri karşılaştırması 71

Şekil 5.19. HRB-HUP-HPB zarf eğrileri karşılaştırması..... 72

Şekil 5.20. HPB-HPL zarf eğrileri karşılaştırması..... 73

Şekil 5.21. HPBC-HPLC zarf eğrileri karşılaştırması 74

Şekil 5.22. HPB-HPBC zarf eğrileri karşılaştırması..... 75

Şekil 5.23. HPL-HPLC zarf eğrileri karşılaştırması 76

Şekil 5.24. HUP-HPB zarf eğrileri karşılatırması..... 77

Şekil 5.25. Az donatılı numunelerin enerji tüketimleri..... 79

Şekil 5.26. Çok donatılı numunelerin enerji tüketimleri..... 80

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim **Sayfa**

Resim 4.1. Çelik kablo üzerine kelepçe uygulaması 12

Resim 4.2. Sıva uygulanmış betonarme kiriş..... 12

Resim 4.3. MUP numunesi 1. çevrim sonu çatlak görünümü 18

Resim 4.4. MUP numunesi kirişin son durumu..... 19

Resim 4.5. MPB numunesi 1. çevrim sonu çatlak görünümü..... 21

Resim 4.6. MPL numunesi akma yüklemesi 23

Resim 4.7. Kelepçe hizası boyunca uzananan çatlaklar 24

Resim 4.8. MPBC numunesi akma yüklemesi..... 26

Resim 4.9. MPBC numunesi kablo kesimi 27

Resim 4.10. MPBC numunesi +85 mm deplasman durumu..... 28

Resim 4.11. MPLC numunesi 1. çevrim sonu çatlak düzeni 30

Resim 4.12. MPLC numunesi kablo kesimi 31

Resim 4.13. MPLC numunesi kopan çelik kablo 32

Resim 4.14. HUP numunesi 1. çevrim sonu çatlak düzeni..... 35

Resim 4.15. 90 mm deplasman yüklemesi..... 36

Resim 4.16. HPB numunesi 1. çevrim sonu çatlak düzeni 38

Resim 4.17. Sıva-beton kenetlenme probleminden ötürü dökülmeler..... 39

Resim 4.18. HPL numunesi 1. çevrim sonu çatlak görüntüsü 41

Resim 4.19. HPL numunesi kopan çelik kablo..... 42

Resim 4.20. HPL numunesi 5. çevrimde kopan çelik kabloyla oluşan kirişin davranışı 42

Resim 4.21. HPBC numunesi 1. çevrim sonu çatlak görüntüsü 44

Resim 4.22. HPBC numunesi kablo kesilmeden önce çatlak görüntüsü 45

Resim 4.23. HPBC numunesi kesilen kablo görüntüsü 45

Resim 4.24. HPBC numunesi aderans problemi..... 46

Resim 4.25. HPLC numunesi 1. çevrim sonu çatlak görüntüsü 48

Resim **Sayfa**

Resim 4.26. HPLC numunesi kesilen kablo görüntüsü 49

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	**Açıklamalar**
kN	Kilonewton
mm	Milimetre
Ø	Donatı ve Kablo Çapı
h	Kiriş yüksekliği
P_y	Akma yükü
P_u	Maksimum yük

Kısaltmalar	**Açıklamalar**
CFRP	Karbon-fiber takviyeli polimer
LVDT	Elektronik deplasman ölçerler

1. GİRİŞ

Yapı elemanlarının davranış parametrelerinin iyileştirilmesi güçlendirme başlığı adı altında toplanabilir. Yapının uzun süre kullanımı, kullanım şeklinin değişmesi, deprem vb. gibi dış etkenler sebebiyle yapı elemanlarında davranış bozuklukları ortaya çıkabilir. Bu da elemanlarda ek yükler oluşmasına ve yapı elemanının fazladan zorlanmasına yol açabilir. Bu gibi durumlarda yapı elemanlarında güçlendirme ihtiyacı hissedilir. Bununla birlikte yatay taşıyıcı eleman olan kirişlerde de güçlendirme ihtiyacı meydana gelir. Sorunun ne olduğuna bağlı olarak bu güçlendirmenin çok acil yapılması gerekebilir. Bu zamana kadar yapılan çalışmaların her birinin avantajları ve dezavantajları olmasından dolayı güçlendirmeyi iyileştirmek için birçok çalışma yapılmıştır. Bu yöntemlerden sıkça kullanılabilenlerinden örnek verilecek olursa;

Bu yöntemlerden bir tanesi betonarme kirişe çeşitli kimyasal yapıştırıcılar ile çelik plaka yapıştırılarak yapılan bir güçelendirme yöntemdir. Çelik plakanın sıyrılma problemi için ekstra önlemler alınmış ve başarılı olunmuştur. Bu yöntemle birlikte kirişte dayanımda iyileştirme olmasına rağmen yeterli süneklik elde edilememiştir.

Sıkça kullanılabilen ve en çok bilinen yöntemlerden bir tanesi beton kesitini büyüterek yeni bir betonarme katman ekleme yöntemidir. Bu yöntemde betonarme kirişin çekme ve/veya basınç bölgesinin paspayı beton katmanı kırılarak alt ve üst eğilme donatılarına yeni donatılar kaynaklanarak betonla kapatılır. Bu yöntem gerekli davranış parametrelerini sergilemesine rağmen yapım zorluğu bakımından erken güçlendirme ihtiyacı için problem teşkil etmektedir. En büyük zorluğu kirişin altındaki katmanda betonun sıkışmasını sağlamaktır.

Başka bir onarım veya güçlendirme yöntemi karbon fiber lif kumaşları kirişin etrafına yapıştırarak yapılan yöntemdir. Bu yöntemde de dayanım açısından olumlu gelişmeler olmasına rağmen betonarme kirişte süneklik probleminin ortaya çıktığı gözlemlenmiştir. Yapılan araştırmalar sonucunda betonarme kirişte gevrek kırılmalar gözlemlenmiştir. Ayrıca farklı bir problem de ülkemize yurtdışından gelen bu karbon fiber liflerin maliyetinin yüksek olmasıdır.

Yapılan bu çalışmada olaya farklı bir bakış açısı getirip maliyeti belirli seviyede tutmaya çalışarak davranış parametrelerini iyileştirirken aynı zamanda uygulamanın pratik olmasının sağlanabilirliği araştırılacaktır. Eğilmeye karşı yeterince dayanımı olan fakat kesmeye karşı yetersiz hazırlanan on adet numune ve iki adet referans numunesi mevcuttur. Kesmeye karşı güçlendirilen betonarme kirişlere çelik kablolarla kesintisiz sargılama yapılmıştır. Betonarme kirişlere tersinir yükleme yapılmıştır. Yapılan deney sonucu kirişin; yük-deplasman grafiği, rijitliği, sünekliği ve enerji tüketimi incelenmiştir.

2. ÇALIŞMANIN AMACI VE KAPSAMI

2.1. Amaç

Güçlendirme yaparken öncelikli olarak bakılan parametreler kirişin dayanımı, sünekliği, enerji yutma kapasitesidir. Hazırlanan numuneler eğilme dayanımına karşı güçlü ancak etriyeleri seyrek yapılarak kesmeye dayanımına karşı zayıf yapılmıştır. Yapılan numuneler günümüz inşaatlarında yapılan uygulama ile aynı olması bakımından etriye köşeleri yüz otuz beş derece değil doksan derece olarak yapılmıştır. Sonuçta ortaya çıkan numune hem istenildiği gibi kesmeye karşı zorlanabilecek hemde günümüz inşaatlarında yapılan uygulama gibi olması sebebebiyle sonuçları gerçekçi şekilde ortaya koyabilecektir. Daha sonrasında yapılacak güçlendirme işleminde betona dışardan yapılan kesintisiz çelik kablo sargısının kesme kuvveti alması hedeflenmiştir. Deney numunelerine yapılan yükleme tersinir olarak yapılacaktır. Yapılacak bu güçlendirmenin pratik ve hızlı uygulanabilir olması sebebiyle erken ve acil betonarme kiriş güçlendirme işlemlerinde kullanılması öngörülmektedir. Çalışmada çelik kabloların kesme kuvveti dayanımına, sünekliğe, rijitliğe ve enerji yutma kapasitesine etkisi, çelik kablo üstüne yapılan sıvanın betonarme kirişin dayanım ve davranışına etkisi, çelik kablolara atılan kelepçelerin betonarme kirişin dayanım ve davranışına etkisi, yapılan sıvanın niteliğinin betonarme kiriş dayanım ve davranışına etkisi, yükleme anında çelik kablonun bir yerden kopmasının dayanım ve davranışa etkisi de incelenmiştir.

2.2. Kapsam

Laboratuvardaki imkanlar göz önüne alınarak 1 adet az donatılı numunelerin referansı, 5 adet az donatılı güçlendirilecek numune ve 1 adet çok donatılı numunelerin referansı, 5 adet çok donatılı güçlendirilecek deney numunesi tasarlanmıştır. 12 adet numunenin hepsi deprem yükleri altında incelenmiştir. Deney elemanlarının özellikleri aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Çizelge 2.1. Deney numunelerinin özellikleri

NO	KOD	ÇEKME DONATISI	BASINÇ DONATISI	MEVCUT ETRİYE	KABLO SARGISI	SARGI ÜSTÜ SIVA	EMNİYET KİLİDİ	KABLOYU YAPAY KOPARMA
1	MRB	3Ø20	3Ø20	Ø8/10	YOK	YOK	YOK	YOK
2	MUP	3Ø20	3Ø20	Ø8/30	Ø4/10	Niteliksiz	YOK	YOK
3	MPB	3Ø20	3Ø20	Ø8/30	Ø4/10	Nitelikli	YOK	YOK
4	MPL	3Ø20	3Ø20	Ø8/30	Ø4/10	Nitelikli	VAR	YOK
5	MPBC	3Ø20	3Ø20	Ø8/30	Ø4/10	Nitelikli	YOK	VAR
6	MPLC	3Ø20	3Ø20	Ø8/30	Ø4/10	Nitelikli	VAR	VAR
7	HRB	4Ø20	4Ø20	Ø8/8	YOK	YOK	YOK	YOK
8	HUP	4Ø20	4Ø20	Ø8/30	Ø5/10	Niteliksiz	YOK	YOK
9	HPB	4Ø20	4Ø20	Ø8/30	Ø5/10	Nitelikli	YOK	YOK
10	HPL	4Ø20	4Ø20	Ø8/30	Ø5/10	Nitelikli	VAR	YOK
11	HPBC	4Ø20	4Ø20	Ø8/30	Ø5/10	Nitelikli	YOK	VAR
12	HPLC	4Ø20	4Ø20	Ø8/30	Ø5/10	Nitelikli	VAR	VAR

3. GEÇMİŞTEKİ ÇALIŞMALAR

Kiriş güçlendirmesinde 3 adet probleme göre güçlendirme yapılmaktadır. Bunlar, sadece kesmeye karşı, sadece eğilmeye karşı ve eğilme ve kesmeye karşı birlikte güçlendirmelerdir. Yapıtığımız çalışmada kirişlerimizi sadece kesmeye karşı güçlendirdiğimiz için geçmişteki çalışmalarda da sadece kesmeye karşı yapılan güçlendirmelerden bahsedilecektir. Kesmeye karşı yapılan güçlendirme teknikleride CFRP ve dışardan kelepçeleme yöntemlerinden bahsedilecektir. Yaptığımız çalışma geçmiş litaratürde uygulaması yapılmayan, ilk defa kullanılacak olan bir yöntem olacaktır. Bu konularda yapılan çalışmalardan bazıları aşağıda özetlenmiştir.

Li, Diagan ve Delmas tarafından 2001 yılında yapılan çalışmada betonarme kirişleri kesmeye karşı CFRP şeritleri epoksi yardımı ile yapıştırararak güçlendirmişlerdir. Deneyde etriyelerin aralıkları ve CFRP liflerin yapıştırılma miktarları değiştirilerek farklı kombinasyonlar üretilmiştir. Deney sonucu olarak CFRP liflerin güçlendirmeye olan katkısının betonarme kirişin eğilme ve kesme donatısı miktarına bağlı olarak değiştiği görülmüştür. Betonarme kirişteki kesme donatısı yani etriye miktarı azaldıkça CFRP liflerin kesmeye katkısın arttığı gözlemlenmiştir. Aynı zamanda CFRP liflerin yapışma alanını artırdıkça kesmeye olan katkısında arttığı saptanmıştır. Bulunan sonuçlarında analitik hesaplarla örtüştüğü görülmüştür [1].

Eray Özbek tarafından 2008 yılında yapılacak çalışmada T kesitli betonarma kirişlerde yeterli dayanımın yanında yeterli sünekliliğinde sağlanması hedeflenmiştir. Çalışma iki bölümde yapılmış. Çalışmanın birinci bölümünde delikli düz levhalarla güçlendirilmiş kirişlere sünekliliğinde yeterli düzeyde olabilemesi için uç yan levha ve bulonlarla desteklenmiştir. Çalışmanın ikinci bölümünde kesmeye karşı yetersiz olan kirişler ayrıca kesmeye karşıda güçlendirilmiştir. Çalışmasında 7 deney numunesi sadece eğilmeye, 7 numunesi eğilme ve kesmeye karşı güçlendirilecek şekilde toplamda 14 numune bulunmaktadır. Deney yüklemesi monolitik yükleme şeklinde olmuştur. Sadece eğilmeye karşı güçlendirilen numunelerde değişkenler; levha tipi, yapıştırıcı varlığı, basınç levhasının varlığı şeklindedir. Eğilme ve kesmeye karşı güçlendirilen numunelerde değişkenler kesmeye karşı alınan güçlendirmeye ek olarak birinci bölümde uygulanan değişkenler ile yapılmıştır. Uygulanan bu güçlendirme tekniği ile dayanımda 3 kat artış gözlemlenmiş ve sünekliğinde ciddi derecede arttığı görülmüştür [2].

Do-Young Moon ve arkadaşları çalışmasında CFRP çubukları harç tabakasıyla birlikte yerleştirerek güçlendirme yapmıştır. Son zamanlarda güçlendirmede sıklıkla dışarıdan plaka yapıştırma kullanılmış. Buna karşın bu çalışmada CFRP çubukları dışarıdan yüksek dayanımlı harç ile güçlendirilerek deney numuneleri test edilmiştir. Deney sonucunda güçlendirilmiş kirişlerin güçlendirilmemiş kirişlere göre dayanım, rijitlik, yük taşıma kapasitesi bakımından daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir [3].

Deniz Acar tarafında 2014 yılında yapılan çalışmada, CFRP ile yapılan güçlendirmelerde yeterli dayanıma ulaşılması fakat yeterli sünekliğin oluşmaması problemini ele almıştır. Bunun için CFRP kumuşları birlikte sünekliğe ciddi katkısının olacağı düşünülüp çelik levha da kullanışmıştır. Deney elemanları; bir adet yalın kiriş, iki adet referans kirişi ve sekiz adet güçlendirilmiş kiriş olmak üzere toplamda onbir elemandır. Deney sonuçları dayanım, rijitlik, enerji tüketimi ve süneklik açısından karşılaştırılmıştır. Deney sonuçlarına göre CFRP kumaşların kopmasından sonra kirişler çelik levha ile bir miktar daha yük almış ve bu sayede daha sünek davranmıştır [4].

Nazik KH. Hasan tarafından yapılan çalışmada kesmeye karşı yetersiz olan betonarme kirişlerin dışardan kelepçele güçlendirilmesi hedeflenmiştir. Yapılan deney elemanları tersinir yükler altında test edilmiştir. Kesmeye karşı yetersiz olan numuneler yapılan bu güçlendirme yönteminden sonra kiriş, kesmeye karşı güçlenip eğilme davranışı sergilemiştir [5].

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

4.1. Deney Elemanları

Deney programı yapılırken, numune sayıları ve donatıları miktarları seçiminde mevcut laboratuvar koşulları çerçevesinde uygulanabilir ve olası değişik etkenleri gözlemleyebileceğimiz şekilde numune boyutları ve donatısı seçilip, program yapılmıştır. Deney numunesi sayısı on ikidir. Güçlendirme yapılacak numuneler iki grup halinde oluşturulup bu gruplar çok (HRB, HUP, HPB, HPBC, HPL, HPLC) ve az (MRB, MUP, MPB, MPBC, MPL, MPLC) donatılı olarak yapılmıştır. İki grup içerisinde birer adet referans kirişi (MRB, HRB) olmak üzere, beşer adet güçlendirme yapılacak kirişler mevcuttur. Deney elemanlarının isimlerindeki kelimeler M: normal donatı, H: çok donatı, R: referans, P: sıvanmış, U: sıvanmamış B: kiriş, L: kelepçe, C: kablo kesimi, anlamlarını ifade etmektedir.

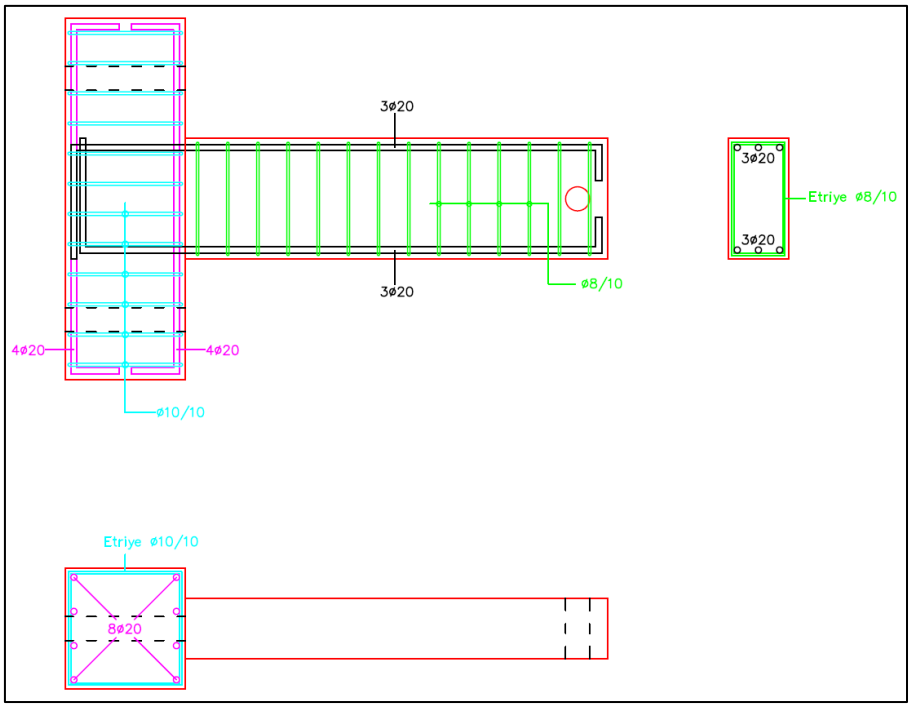
MRB az eğilme donatılı, tam etriyeli referans numunesidir. MUP Ø4 çelik kablo sargılı ve çelik kablo üzeri niteliksiz sıva ile kapatılmış az eğilme donatılı, eksik etriyeli numune, MPB Ø4 çelik kablo sargılı ve çelik kablo üzeri dayanımlı sıva ile kapatılmış az eğilme donatılı, eksik etriyeli numune, MPL Ø4 çelik kablo sargılı, çelik kablolarda kelepçe bulunduran ve çelik kablo üzeri dayanımlı sıva ile kapatılmış az eğilme donatılı, eksik etriyeli numune, MPBC Ø4 çelik kablo sargılı, çelik kablo üzeri dayanımlı sıva ile kapatılmış ve deney esnasında çelik kablo koparılacak az eğilme donatılı, eksik etriyeli numune,MPLC Ø4 çelik kablo sargılı, çelik kablolarda kelepçe bulunduran, çelik kablo üzeri dayanımlı sıva ile kapatılmış ve deney esnasında çelik kablo koparılacak az eğilme donatılı, eksik etriyeli numune, HRB çok eğilme donatılı, tam etriyeli referans numunesidir. HUP Ø5 çelik kablo sargılı ve çelik kablo üzeri niteliksiz sıva ile kapatılmış çok eğilme donatılı, eksik etriyeli numune, HPB Ø5 çelik kablo sargılı ve çelik kablo üzeri dayanımlı sıva ile kapatılmış çok eğilme donatılı, eksik etriyeli numune, HPL Ø5 çelik kablo sargılı, çelik kablolarda kelepçe bulunduran ve çelik kablo üzeri dayanımlı sıva ile kapatılmış çok eğilme donatılı, eksik etriyeli numune, HPBC Ø5 çelik kablo sargılı, çelik kablo üzeri dayanımlı sıva ile kapatılmış ve deney esnasında çelik kablo koparılacak çok eğilme donatılı, eksik etriyeli numune, HPLC Ø5 çelik kablo sargılı, çelik kablolarda kelepçe bulunduran, çelik kablo üzeri

dayanımlı sıva ile kapatılmış ve deney esnasında çelik kablo koparılacak çok eğilme donatılı, eksik etriyeli numunedir.

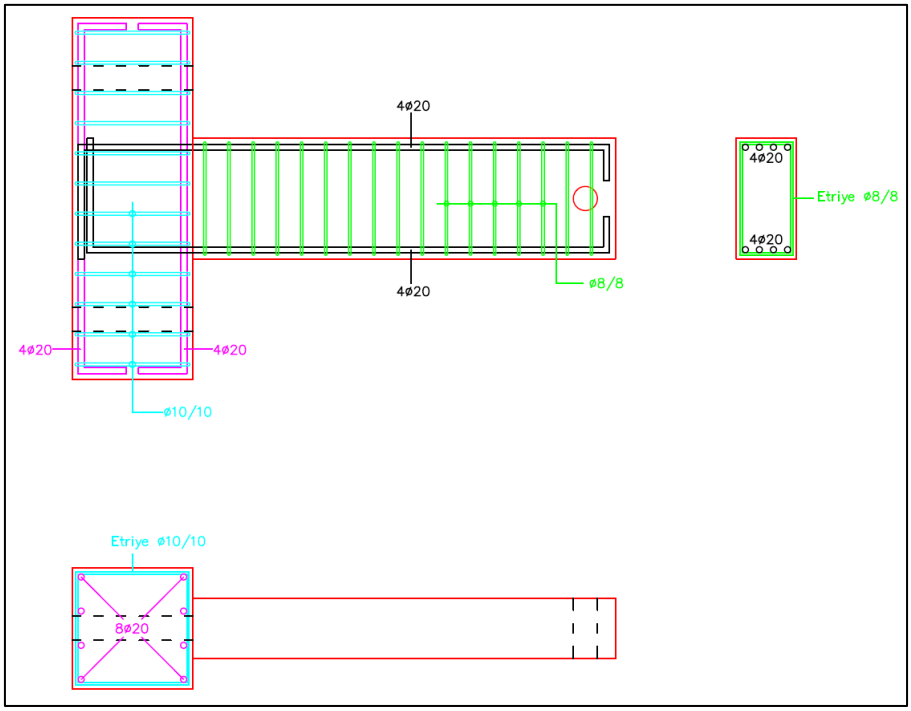
Yapılan deneylerden alınacak sonuçların gerçeği daha fazla yansıtması için ölçeğin 1/1 olmasına karar verilmiştir. Kiriş rijit bloğa bağlıdır. Rijit blok boyutları 40 x 40 cm kesitinde 120 cm boyundadır. Kiriş, rijit bloğa bağlı 20 x 40 cm kesitinde ve 140 cm boyundadır. Tüm kirişlerde nervüllü S420 çeliği kullanılmıştır. Yapılan deneylerde kesmeye karşı güçlendirme test edileceği için eğilmeye karşı yeterince güçlü donatı seçimleri yapılmıştır. Güçlendirmenin yapılacağı deney elemanları üzerinde ise kesmeye karşı yetersiz olması için etriyeler Ø8/30 cm yapılıp gerçeği daha iyi yansıtması açısından da gönyeleri 90 derece yapılmıştır.

Az donatılı ve çok donatılı olmak üzere iki tür kiriş mevcuttur. Her türde altışar adet kiriş mevcuttur. Bu altışar adet kirişlerin birer tanesi referans kirişidir. Az donatılı kirişlerin referans kirişinde; 3Ø20 çekme donatısı, 3Ø20 basınç ve Ø8/8 cm etriyeler mevcuttur. Az donatılı kirişlerin geri kalan beş kirişte standart 3Ø20 çekme donatısı, 3Ø20 basınç donatısı ve Ø8/30 cm etriyeler mevcuttur. Çok donatılı kirişlerin referans kirişinde; 4Ø20 çekme donatısı, 4Ø20 basınç ve Ø8/10 cm etriyeler mevcuttur. Çok donatılı kirişlerin geri kalan beş kirişte standart 3Ø20 çekme donatısı, 3Ø20 basınç donatısı ve Ø8/30 cm etriyeler mevcuttur.

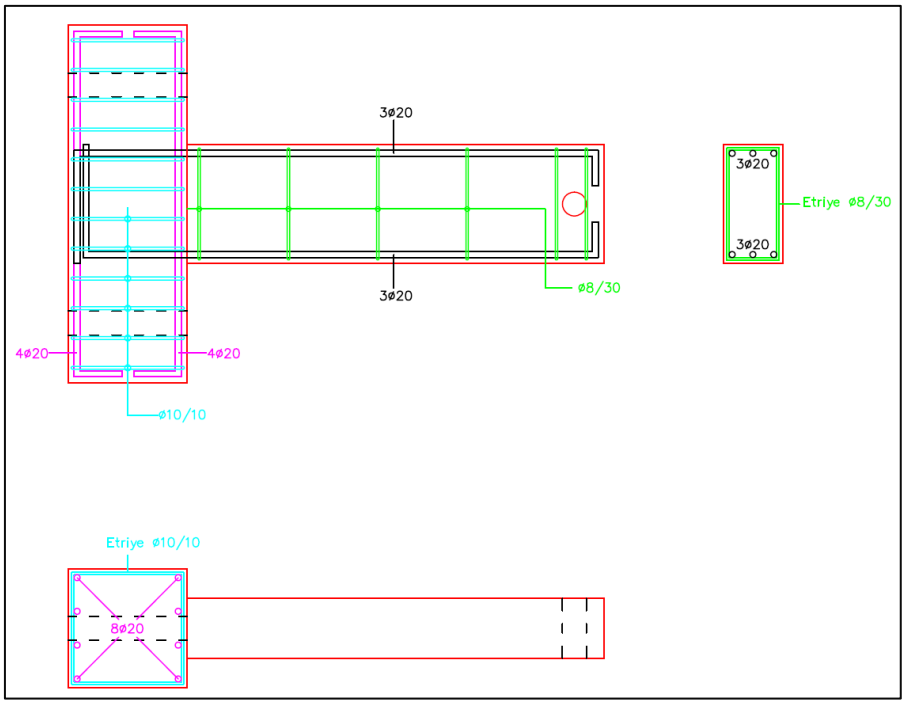
Yapılan güçlendirmelerde az donatılı elemanlar Ø4, çok donatılı elemanlar Ø5 çapında çelik kablolar ile kesintisiz sargı yapılarak güçlendirilmiştir. Yapılan bu sargılamaya ek çelik kablonun üstüne yapılan sıva türünün etkiside incelenmiştir. Ayrıca ekstra olarak çelik kablolara koyulan kelepçelerin etkisinede bakılmıştır. Son olarak da yapılan bu kelepçeli ve kelepçesiz güçlendirmelerde deney esnasında kablonun kopması durumunda kirişin davranışının ne kadar değişeceğide araştırılmıştır.



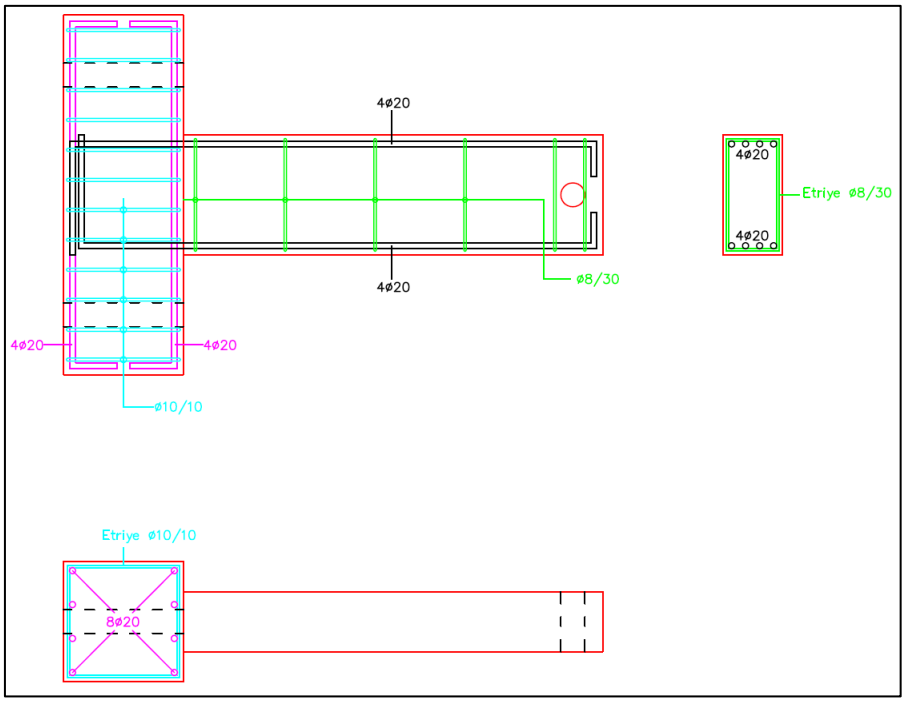
Şekil 4.1. MRB deney elemanı



Şekil 4.2. HRB deney elemanı



Şekil 4.3. Az donatılı güçlendirilecek deney elemanları



Şekil 4.4. Çok donatılı güçlendirilecek deney elemanları

4.2. Malzeme Özellikleri

Yapılan deney numunelerinde kullanılan malzemelerin aynı özelliği göstermesi deney sonuçlarını doğru olarak değerlendirmek için önemlidir. Alınan demirler aynı yerden tek seferde temin edilmiştir. Kullanılan demir standart S420 inşaat demiridir. Ayrıca kullanılan demirlere Gazi Üniversitesi Yapı Mekaniği laboratuvarında da çekme testi yapılmıştır.

Dökülen beton hazır betondur. Dökülen betonun C25 ‘tir. 12 numune 3 farklı seferde dökülmüştür. Her dökümde numune alınıp 1 Gazi Üniversitesi Yapı Mekaniği laboratuvarında test edilmiştir.

Çelik kablolar tek seferde temin edilmiştir. Çelik kablonun standartları üretici firmadan alınmış aynı zamanda Gazi Üniversitesi Yapı Mekaniği laboratuvarında çelik kabloya çekme testide yapılmıştır.

4.3. Çelik Kabloların Kirişe Sargılanması ve Uygulama Tekniği

Çelik kablo sargılaması yapmadan önce çelik kablonun geçeceği yerler betonarme kirişin dört köşesinde ölçü alınarak tam olarak belirlenen köşelerden kablo çapı kadar kalınlıkta beton kesilir. Bu sayede kablonun yükleme esnasında hareket etmesi engellenmiş olunur. Daha sonra çok gergin bir şekilde kesintisiz sargılama yapılır. Kesintisiz yapılan çelik kablonun başında ve sonunda betonarme kiriş etrafında iki tur attırılır ve iki tane halat kilidi atılarak kablonun açılması engellenir. Sargılama yapıldıktan sonra kelepçeli numunelerde deney esnasında çelik kablonun kopması durumunda kablonun açılmasını engellemek amacıyla betonarme kirişin uzun kenarında çelik kabloya kelepçe atılır.



Resim 4.1. Çelik kablo üzerine kelepçe uygulaması

4.4. Nitelikli ve Niteliksiz Sıvanın Uygulanması

Sıvanın betona daha iyi tutunabilmesi için uygulama yapılmadan önce betonarme kirişin tüm yüzeylerine brüt beton astarı rulo ile sürülmüştür. Brüt beton astarı sürüldükten sonra tüm yüzeyler kapatılacak şekilde 1 cm kalınlıkta sıva uygulaması yapılır. Nitelikli sıvanın dayanım kazanması 1 hafta beklenilip sonrasında deney yapılmıştır. Niteliksiz sıva için kuruduktan hemen sonra deney yapılmıştır.

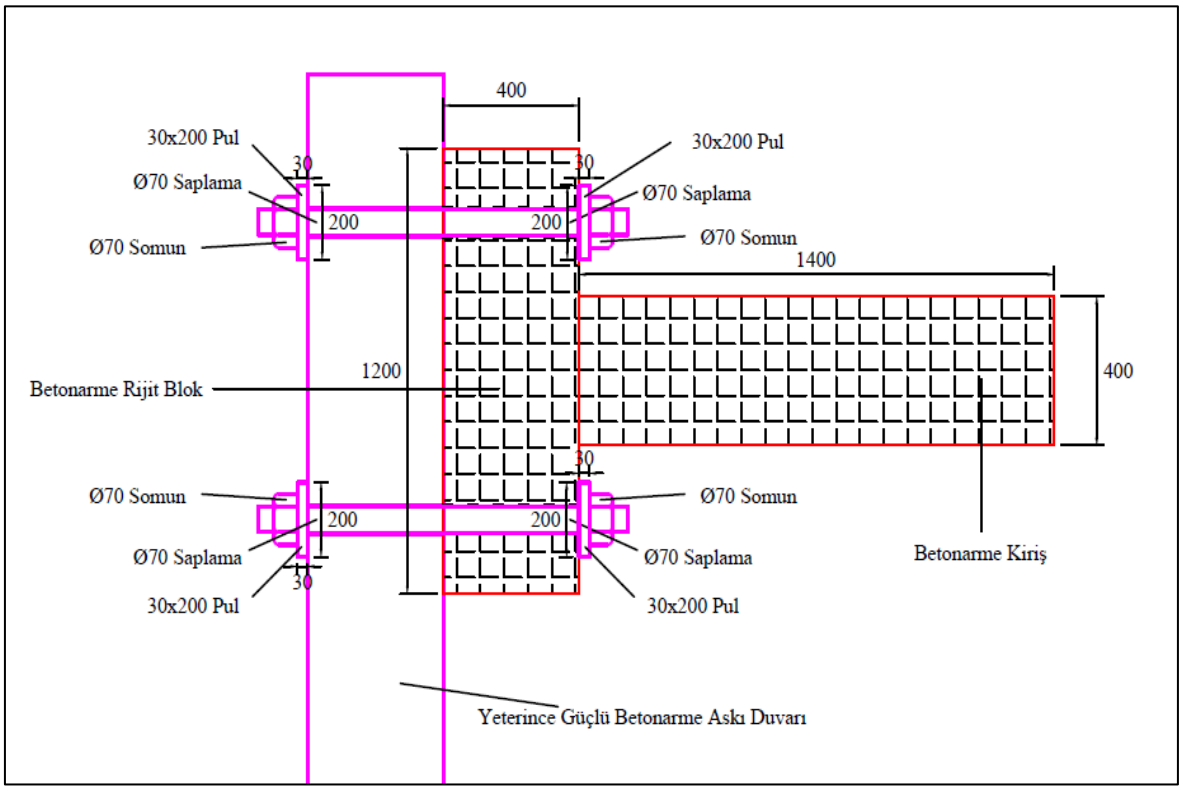


Resim 4.2. Sıva uygulanmış betonarme kiriş

4.5. Deney Düzeni

4.5.1. Askı düzeni

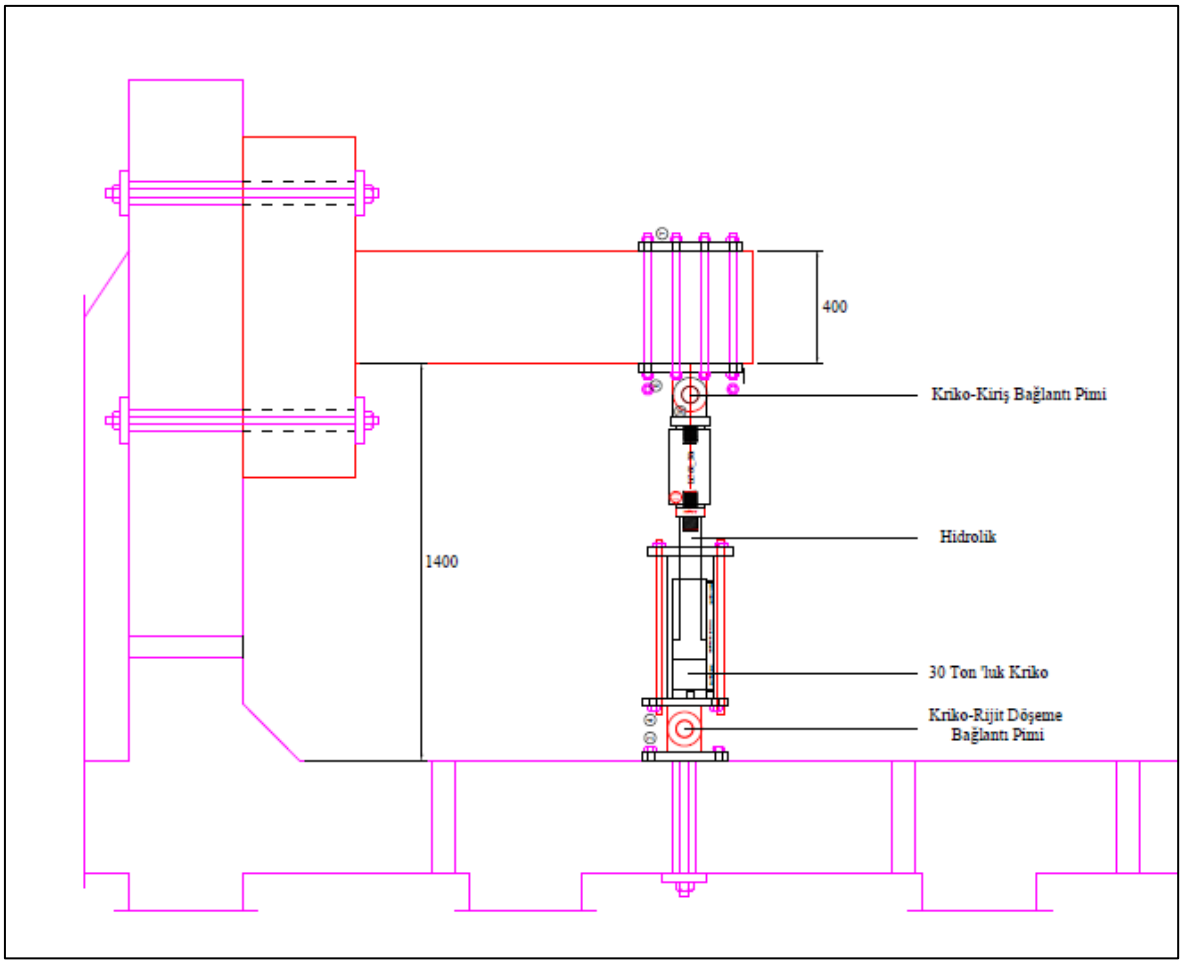
Yapılan deneyler Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünün Yapı mekaniği laboratuvarında yapılmıştır. Deney elemanlarının güçlü duvar ve güçlü döşeme bağlantıları 70 mm çapında saplamalar ile iki tarafından da pul ve somunla sıkıştırılarak yapılmıştır. Yük, betonarme kirişin ucundan hidrolik kriko ile tersinir olarak verilmiştir.



Şekil 4.5. Betonarme kirişin güçlü duvara tutturulduğu sistem

4.5.2. Yükleme düzeni

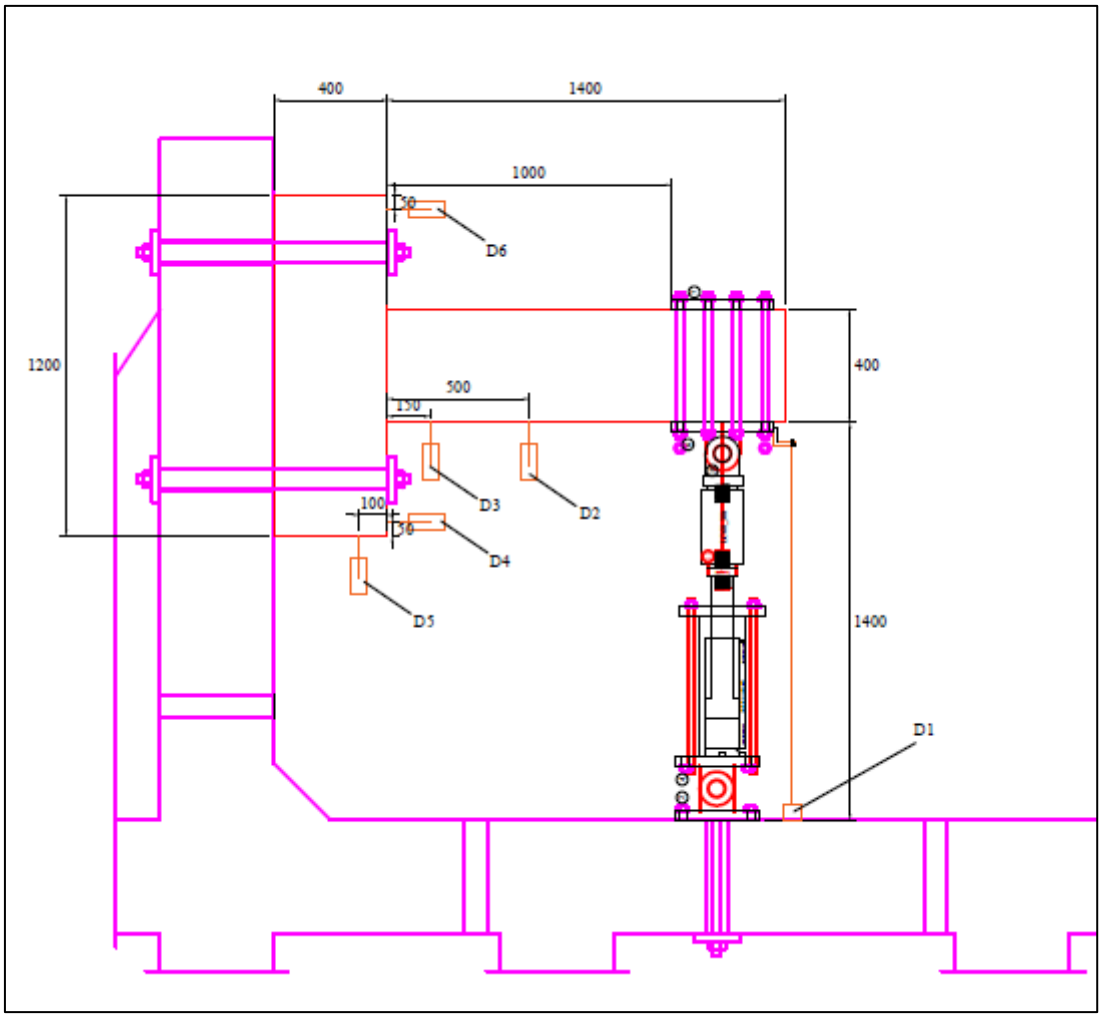
Deney elamanları betonarme kirişler konsol olacak şekilde yükleme düzeni oluşturulmuştur. Yapılan deneyde ilk olarak kiriş tersinir yüklenerek iki yöndede akma sınırına kadar yüklenmiştir. Daha sonrasında deplasman kontrollü olarak akma sınırındaki deplasman değerine 15 mm ekleyerek deney yüklemesi tersinir olarak devam ettirilmiştir. Toplamda ileri ve geri olmak üzere 12 çevrim yapılması hedeflenmiştir. Yapılan yüklemeler 30 Ton kapasiteli hidrolik kriko ile yapılmıştır. Yükleme düzeni şekilde detaylı olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Yükleme düzeni

4.5.3. Ölçüm düzeni

Deneylerde farklı yön ve doğrultudaki deplasmanları ölçebilmek için elektronik deplasman ölçerler (LVDT) kullanılmıştır. LVDT'den alınan sonuçlar anlık olarak bilgisayardan takip edilmiş ve kaydedilmiştir. Deney elemanlarında 6 adet LVDT kullanılmıştır. Her LVDT'ye "D" ile başlayan ve sonunda numarası olan bir ad verilmiştir. Deney elemanından alınan ölçümlerde D1: kiriş uç deplasmanını, D2 ve D3: , D4 ve D6: rijit blok dönmesini, D5: düşey yönde rijit ötelenmeyi görebilmek için kullanılmıştır.



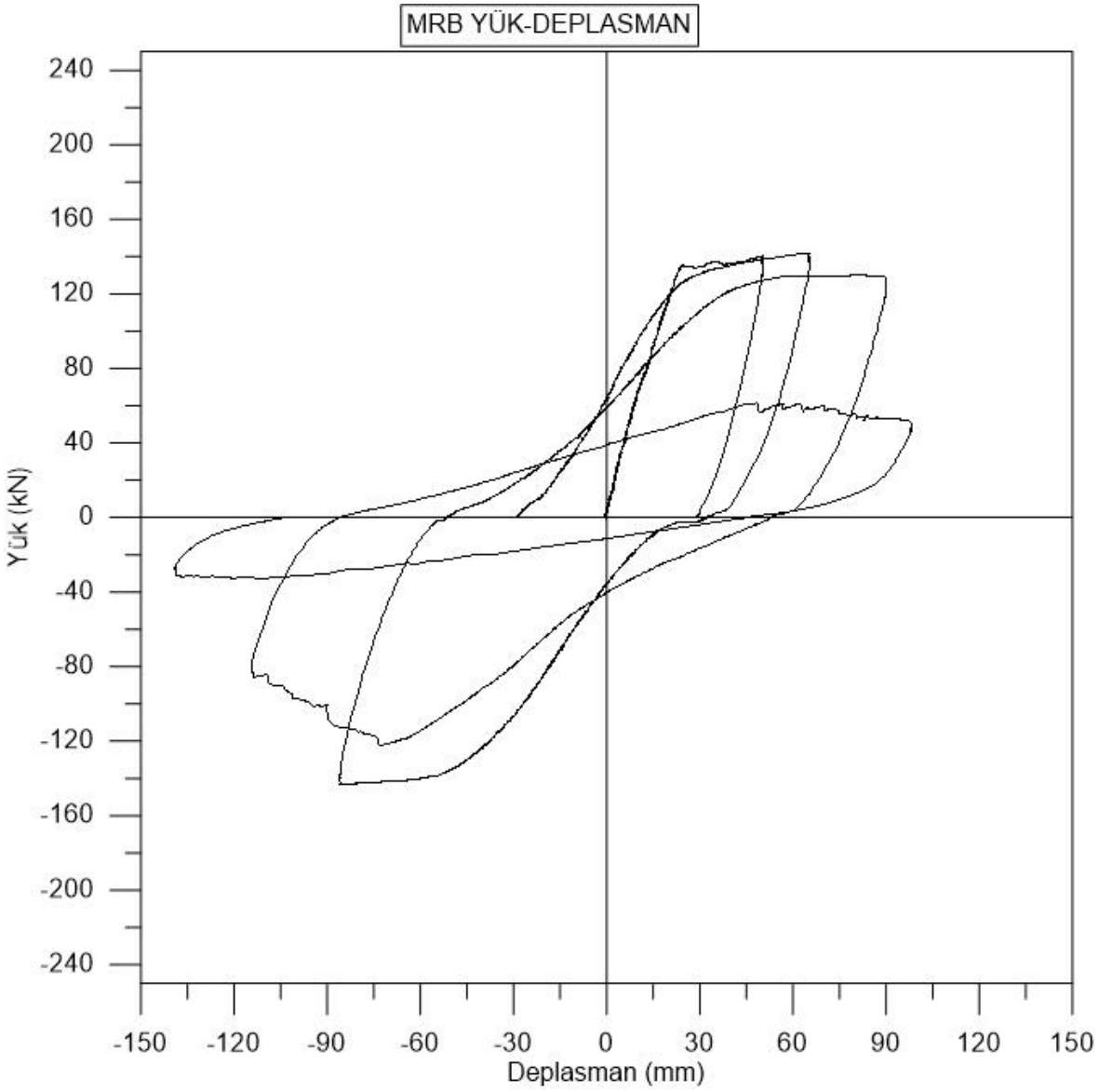
Şekil 4.7. Ölçüm düzeni

4.6. Deneyler

Özellikleri bölüm 4.1'de detaylı olarak açıklanan deney elemanlarının sırasıyla askı düzeninin, yükleme düzeninin oluşturulması ve ölçüm aletleri olan LVDT'lerin bağlanması ile hazır hale getirilmiştir. Deneyler; öncelikle kirişin her iki yönde de akma dayanımına kadar gidip daha sonra akma dayanımına karşılık gelen deplasman değerini her seferinde 15 mm artırarak tersinir yükleme şeklinde yapılacaktır. Toplamda 6 çevrim yapılması hedeflenmiştir. Bu çevrimlerin her biri tersinir yapılan farklı yönde ve aynı deplasman değerindeki okumalardır. Yapılan yükleme ve deplasman değerleri anlık olarak bağlı bilgisayardan okunmuş ve yük-deplasman grafiği anlık olarak takip edilmiştir.

4.6.1. MRB numunesi (Referans kirişi)

Yüklenmeye başlandıktan sonra ilk çatlak 40 kN yük değerinde rijit bloktan 30 cm açıklığında kılcal olarak görüldü. 70 kN yük değerinde rijit bloktan 20 cm ileride 0,2 mm genişliğinde eğilme çatlağı görüldü. 90 kN yük değerinde rijit bloktan 45 cm uzaklığında 0,3 mm genişliğinde kesme çatlağı görüldü. Referans numunesi ileri yönde 135 kN yük, 25 mm deplasman değerinde akma değeri referansına sahip oldu. Daha sonra deplasman kontrollü olarak ileri yönde 50 mm deplasman değerine doğru yüklenmeye devam edildi. 50 mm deplasmandaki yük 137 kN olarak ölçüldü. Kirişte eğilme davranışının hakim olduğu gözlemlendi. Geri yöndeki akma değerine doğru kriko boşaltılmaya başlandı. Geri yöne doğru giderken 0 mm deplasman değerinde ilk kesme çatlağı oluştu. Daha sonrasında geri yönde giderken deplasmanın azaldığı fakat yük değerinin 4 kN değerinde takılı kaldığı gözlemlendi. Yük takıldığı halde deney numunesi yüklenmeye devam etti. Bu şekilde -50 mm deplasmana kadar yüklenme yapıldı fakat yükün hala 4 kN değerini gösterdiği gözlemlendi. Daha sonra kriko boşaltılmaya başlandı. -50 mm değerinden 75 mm değerine doğru yüklenmeye başlandı. Bu süreç devam ederken -25 mm değerinde yük tekrar okunmaya başlandı. Sıfır deplasman değerine gelince kayıt durduruldu ve yeni kayıt tekrardan kaydedilmeye başlandı. Daha sonra ileri yönde 141 kN yük, 75 mm deplasman değeri ve geri yönde -143 kN yük, -75 mm deplasman değeri ölçüldü. Son çevrim olan +100 mm deplasman değerinde 119 kN yük değeri okundu. Son çevrimin geri yönlü referansı ise -80 kN yük, -100 mm deplasman olarak ölçüldü ve deney sonlandırıldı.



Şekil 4.8. MRB numunesi yük-deplasman grafiği

4.6.2. MUP numunesi

Yüklemeye başladıktan sonra ilk çatlak 40 kN yük değerinden rijit bloktan 13 cm uzakta kılcal çatlak olarak görüldü. 80 kN yük değerinde rijit bloktan 30 cm ileride kesme çatlağı görüldü. 90 kN yük değerinde rijit bloktan 60 cm uzaklıkta yaklaşık 75 derecelik açı kesme çatlağı görüldü. 1. çevrimin ileri yönlü akma referansı 134 kN yük, 25 mm deplasman olarak görüldü. 1. çevirmin geri yönlü akma yüklemesine giderken ilk çatlak -40 kN yük değerinde görüldü. -100 kN yük değerinde kirişin 50 cm üst ucundan başlayıp kirişin sol alt noktasına kadar uzanan kesme çatlağı görüldü. 1. çevrimin geri yönlü referansı -134 kN yük, 25 mm deplasman olarak görüldü.



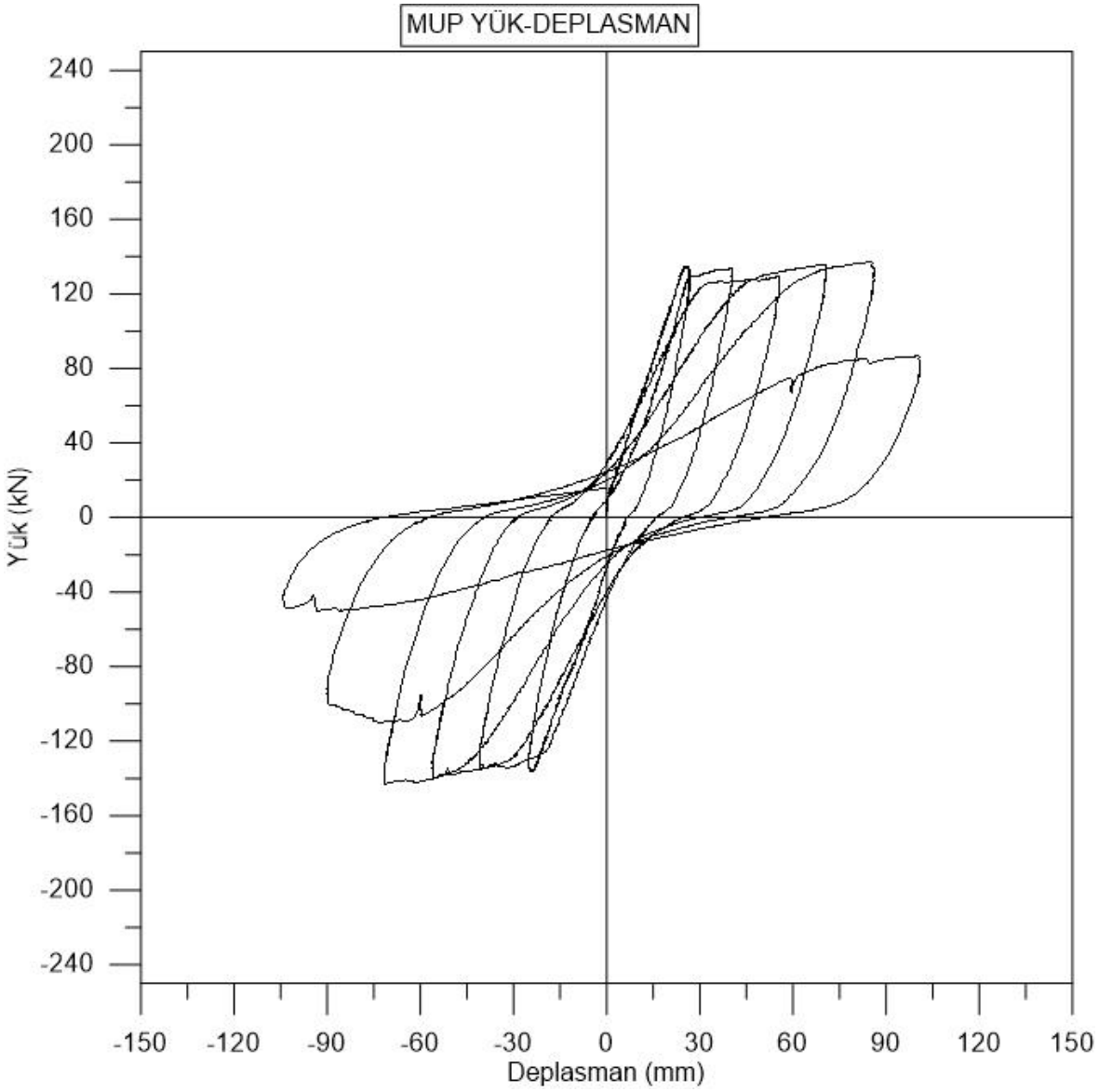
Resim 4.3. MUP numunesi 1. çevrim sonu çatlak görünümü

2. çevrimin ileri yönlü referansı 132 kN yük, 40 mm deplasman değerleri olarak ölçüldü. Eski çatlakların genişliğinin artması dışında farklı bir gelişme olmadı. 2. çevrimin geri yönlü referansı -132 kN yük, -40 mm deplasman olarak ölçüldü. Maksimum kesme çatlağı genişliği 2.5 mm olarak ölçüldü. 3. Çevrimin ileri yönlü referansı 129 kN yük, 55 mm deplasman olarak ölçüldü. Çelik kablo üstündeki sıva yavaş yavaş dökülmeye başladı. Dökülen sıvanın arkadasında gözüken halat son derece gergin durumda ve yük taşıyor. 3. çevrimin geri yönlü referansı -139 kN yük, -55 mm deplasman olarak ölçüldü. Sıvada dökülmeler devam etti. Bu çevrimin sonunda sıva arkasında gözüken halat son derece gergin olarak görüldü ve yük taşıdığı tespit edildi. 4. çevrimin ileri yönlü referansı 135 kN yük, 70 mm deplasman olarak ölçüldü. Plastik mafsal rijit bloktan 20-25 cm dolaylarında oluşmuş olarak görüldü. 4. Çevrimin geri yönlü referansı -140 kN yük, -70 mm deplasman olarak ölçüldü. Sıvada dökülmelerin devam ettiği gözlemlendi. Çelik kablolar son derece gergin olarak gözlemlendi. 5. çevrimde ileri yönlü referansı 136 kN yük, 85 mm deplasman olarak ölçüldü. Yükte herhangi bir düşme gözlemlenmedi. Çelik kablolar son derece gergin olarak gözlemlendi. 5. çevrimin geri yönlü referansı -102 kN yük, -85 mm deplasman olarak ölçüldü. Kirişte çok ciddi kayma deformasyonları ve ezilmeler gözlemlendi. 6. çevrimin referansları 86 kN yük, 100 mm deplasman ve -48 kN yük, -100 mm deplasman olarak

ölçüldü. Kiriş ağır hasarlı olarak gözlemlendi ve deney sonlandırıldı. Mup numunesi yük deplasman grafiği aşağıda verildi.



Resim 4.4. MUP numunesi kirişin son durumu



Şekil 4.9. MUP numunesi yük deplasman grafiği

4.6.3. MPB numunesi

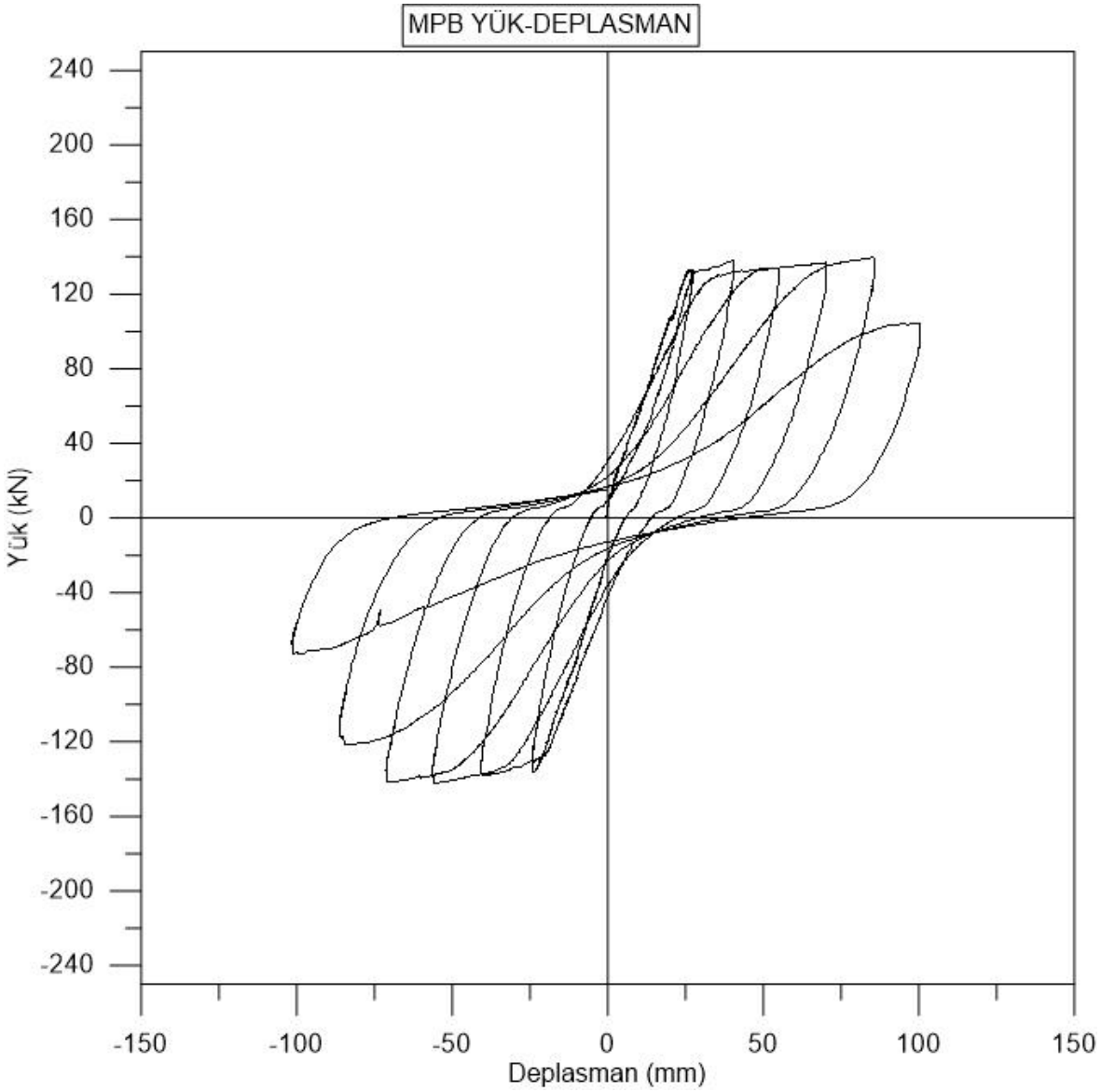
Yüklemeye başlandıktan sonra ilk çatlak 40 kN yük değerinde rijit bloktan 12 cm uzaklıkta eğilme şeklinde kılcal çatlak olarak oluştu. 50 kN yük değerinde 2. eğilme çatlağı rijit bloktan 30 cm uzakta oluştu. 55 kN yük değerinde 3. eğilme çatlağı rijit bloktan 72 cm uzakta oluştu. 100 kN değerinden sonra 3 adet kesme çatlağı oluştu. 1. Çevrimin ileri yönlü referansı olan akma dayanımı 133 kN, akma deplasmanı ise 26 mm olarak görüldü. 1. çevrimin geri yönlü akma dayanımına doğru yükleme yapılırken rijit bloğa yakın ilk 15 cm içerisinde eğilme çatlakları oluştu. Oluşan kesme çatlağı genişliği ise 1 mm olarak ölçüldü. 1. çevrimin geri yönlü akma dayanımı -136 kN yük, 25 mm deplasman olarak görüldü.



Resim 4.5. MPB numunesi 1. çevrim sonu çatlak görünümü

2. çevrimin ileri yönlü yüklemesi sonunda belirgin bir hasar ve yeni çatlak oluşmadı. Akma referansları 135 kN yük, 40 mm deplasman olarak görüldü. 2. çevrimin geri yönlü referansına giderken 110 kN da ana kesme çatlağı genişliği 2 mm olarak ölçüldü. Sol alt köşeden başlayıp 70 cm düşey çizgisinin üst ucuna kadar gittiği gözlemlendi. Açısı yaklaşık 40 derece olarak ölçüldü. 130 kN yükte 2. kesme çatlağının genişliği artmaya başladı. Bu çatlak 40 cm düşey çizgisinin üst ucundan başlayıp sol alt köşeye kadar uzandığı gözlemlendi. 2. çevrimin geri yönlü referansları -135 kN yük, -40 mm deplasman olarak ölçüldü. 3. Çevrimin referansları; 130 kN yük, 55 mm deplasman ve -140 kN yük, -55 mm deplasman olarak ölçüldü. 3. Çevrimin sonunda sıvada dökülme yaşanmadı, mevcut çatlak genişlikleri arttı. 4. çevrimin referansları; 135 kN yük, 70 mm deplasman ve -140 kN yük, -70 mm deplasman olarak ölçüldü. 4. Çevrimin içerisinde sıvada dökülmeler yaşandı. Dökülen sıvanın altında kalan kabloların çok gergin olduğu ve yük taşıdığı gözlemlendi. 5. çevrimin referansları; 137 kN yük, 85 mm deplasman ve -120 kN yük, -85 mm deplasman olarak gözlemlendi. İlk defa 5. çevrimde yük kaybı yaşandığı gözlemlendi ve sıvada ciddi kopmalar olduğu gözlemlendi. 6. çevrimin referansları 101 kN yük, 100 mm deplasman ve

-70 kN yük, -100 mm deplasman olarak gözlemlendi ve deney sonlandırıldı. Mpb numunesi yük deplasman grafiği aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 4.10. MPB numunesi yük-deplasman grafiği

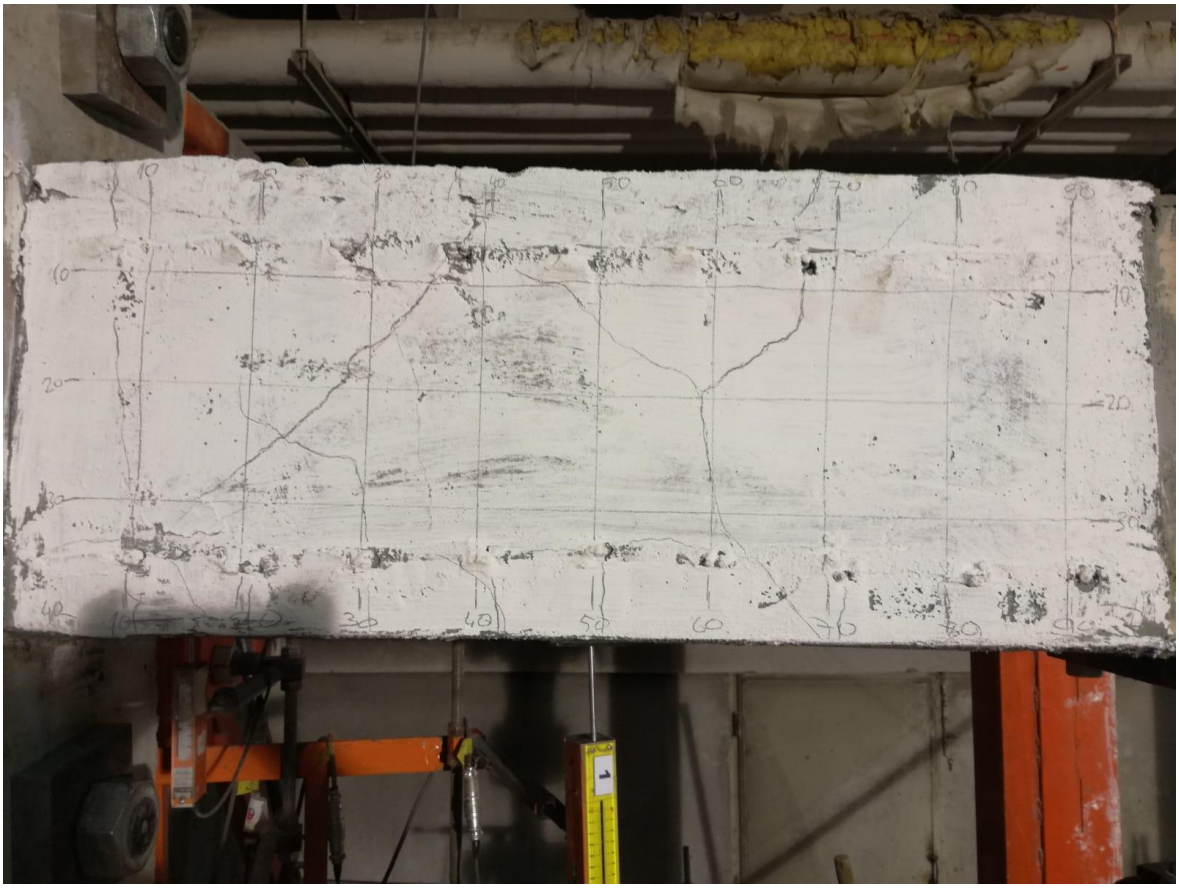
4.6.4. MPL numunesi

Yüklenmeye başladıktan sonra ilk çatlak, 50 kN yük değerinde alt yüze yakın boyu 3 cm olan kılcal çatlak oluştu. 60 kN yük değerinde alt yüzün rijit bloğa 20 cm uzaklığında boyu 3 cm olan 2. kılcal çatlak oluştu. 65 kN yük değerinde rijit bloğa 50 cm uzaklıkta başka bir kılcak çatlak oluştu. 90 kN yük değerinde rijit bloğa 35 cm uzaklıkta boyu 20 cm olan kılcal eğilme çatlağı oluştu. 140 kN yük, 35 mm deplasman değerinde kiriş akma dayanımına ulaştı. Bu yüke kadar gelinirken belirgin bir kesme çatlağı oluşmadı.



Resim 4.6. MPL numunesi akma yüklemesi

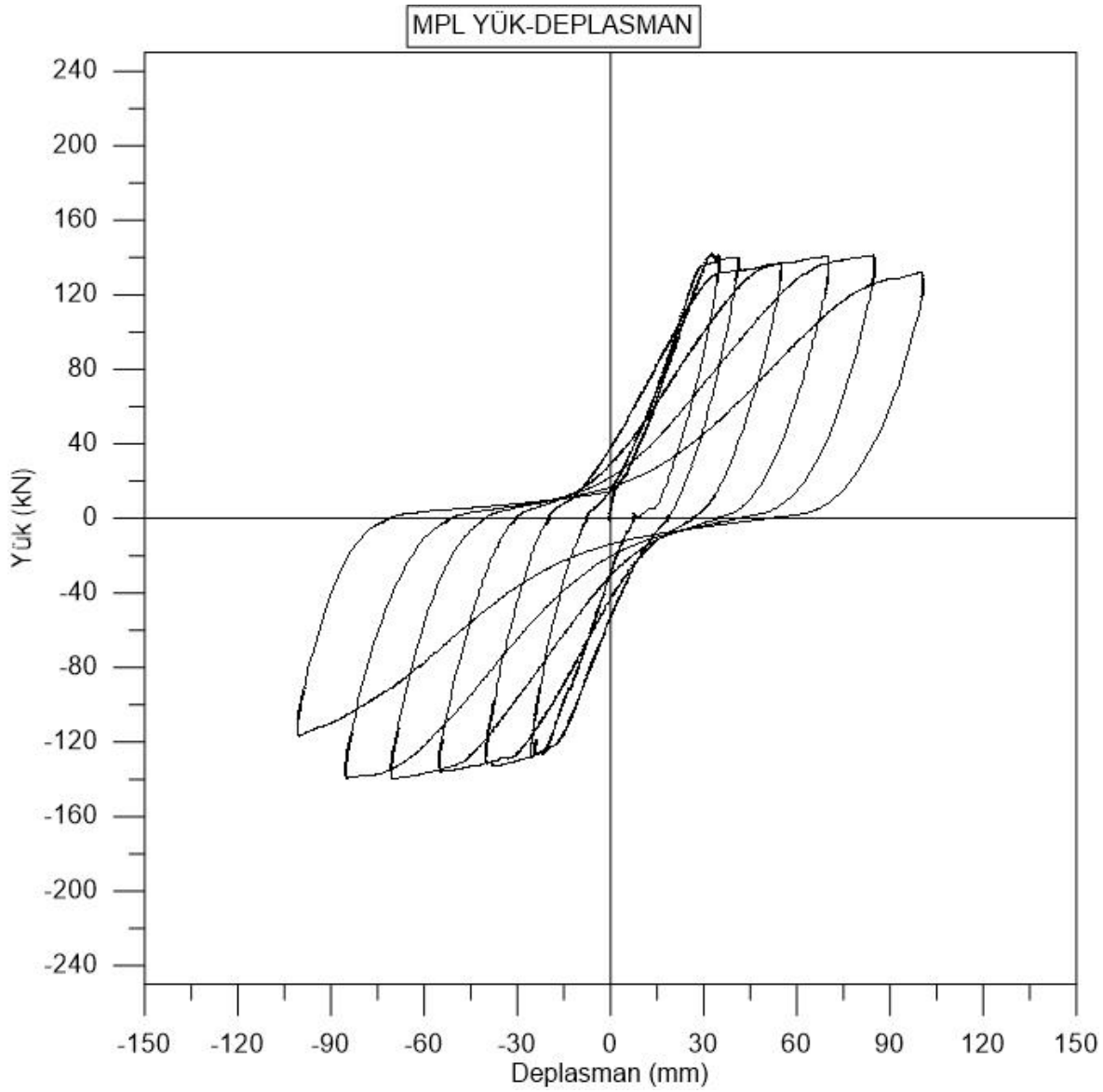
İleri yönlü akma değerine ulaşıldıktan sonra kriko boşaltılıp ters yönde akma dayanımına gidildi. Ters yönde akma dayanımına giderken -65 kN yük değerinde üst yüzün rijit bloğa 7 cm uzağında eğilme çatlağı oluştu. -95 kN yük değerinde kesme çatlağı oluştu. Oluşan kesme çatlağı 40 cm düşey doğrultunun üst ucundan başlayıp 45 derece ile kiriş alt yüzünü buldu. Kesme çatlağı genişliği 0.8 mm olarak ölçüldü. -125 kN yük, -25 mm deplasman değerinde kiriş ters yönde 1. çevrimde akma dayanımına ulaştı. Akma sonrası kelepçeler hizası boyunca yatay yönde çatlaklar görüldü. Bu kelepçelerin yük aldığını gösteriyor. Aynı zamanda rijit blokta uzunluğu 30 cm, genişiliği 2 mm olan ayrılma görüldü.



Resim 4.7. Kelepçe hizası boyunca uzananan çatlaklar

2. çevrime ait referanslar 139 kN yük, 40 mm deplasman olarak ölçüldü. Mevcutta kirişte 1 tane bulunan ana kesme çatlağı genişli 2 mm olarak ölçüldü. 2. Çevrime ait aşağı yönlü referanslar -130 kN yük, -40 mm deplasman olarak ölçüldü. Ana kesme çatlağı genişliği 3 mm olarak ölçüldü. 3. çevrimde 70 kN da sıvada dökülmeler başladı. 100 kN yükte ana kesme çatlağı genişliği sıvada 3.5 mm civarında ölçüldü fakat bu çatlak genişliğinin ana betonda da aynı genişlikte olduğu bilinmiyor. Aynı zamanda kelepçe hizası boyunca uzanan çatlak genişliği 1 mm genişliği buldu. 3. Çevirimde ileri yönlü referans değeri 136 kN yük, 55 mm deplasman değeri ölçüldü. 3. çevrimin geri yönlü yüklemesinde -65 kN da nitelikli sıvada dökülmeler oldu ve referansı -138 kN yük, -70 mm deplasman olarak ölçüldü. 4. Çevrimde ileri yönlü referans 138 kN yük, 70 mm deplasman olarak görüldü. Kayma deformasyonları bu sırada belirginleşti. Başka herhangi bir yeni gelişme olmadı. 4. çevrimde geri yönlü referans -138 kN yük, -70 mm deplasman olarak ölçüldü. 5. çevrimin ileri yönlü referansı 139 kN yük, 85 mm deplasman olarak ölçüldü. Sıvada yaşanan dökülmeler neticesinde ana betondaki çatlak genişliğinin sıvadaki çatlak genişliği kadar büyük olmadığı gözlemlendi. Sıva ile beton arasında tam yapışma olmadığı için çatlaklarda rölatif hareketler gözlemlendi. Kelepçe boyunca uzanan çatlaklar, kelepçeler yük almaya devam ettiği için

daha da belirginleşti. 5. Çevrimin geri yönlü referansı -138 kN yük, -85 mm deplasman olarak ölçüldü. 5. çevrimin sonuna kadar herhangi bir yük kaybı yaşanmadı. 6. çevrimin ileri yönlü referansı 129 kN yük, 100 mm deplasman olarak görüldü. 6. çevrimin geri yönlü referansı -115 kN yük, -100 mm deplasman olarak görüldü ve deney sonlandırıldı. Mpl numunesi yük deplasman grafiği aşağıda verilmiştir.

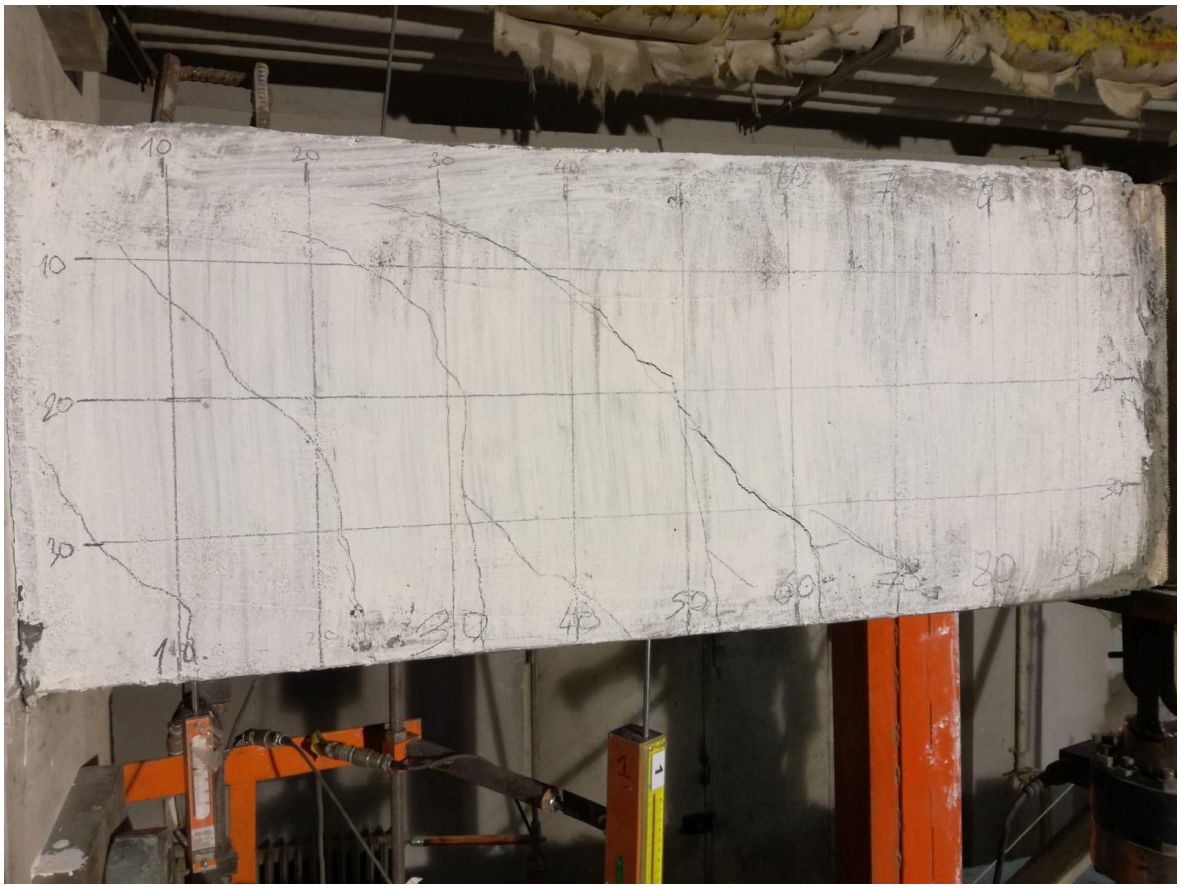


Şekil 4.11. MPL numunesi yük-deplasman grafiği

4.6.5. MPBC numunesi

Yüklenmeye başladıktan sonra ilk çatlak, 40 kN yük değerinde ilk kılcal eğilme çatlağı olarak oluştu. 50 kN yük değerinde başka bir kılcal eğilme çatlağı daha oluştu. 80 kN da ilk kesme çatlağı oluştu. Çatlak genişliği 0,4 mm ve açısı 135 derece olarak görüldü. 100 kN

yükleme değerine gelindiğinde kesme çatlağı genişliği 0,8 mm oldu ve ilk oluşan eğilme çatlağı rijit bloğa doğru hareket etti. 130 kN yük, 25 mm deplasman değerinde betonarme kiriş akma değerine ulaştı.



Resim 4.8. MPBC numunesi akma yüklemesi

İleri yönlü yüklemede akma değerine gelindikten sonra kriko boşaltılıp ters yönde akma dayanımı tespit edildi. Akma dayanımına doğru giderken 60 kN değerinde ilk eğilme çatlağı görüldü. 75 kN değerinde kısmi olarak ilk kılcal kesme çatlağı tespit edildi. -130 kN yük, -25 mm deplasman değerinde betonarme kiriş akma dayanımına ulaştı. Deformasyon kontrollü gidilen yüklemede 2. çevrime ait referanslar 132 kN yük, 40 mm deplasman ve -132 kN yük, -40 mm deplasman olarak ölçüldü. Bu durumda ana kesme çatlağı genişliği 3 mm olarak ölçüldü. 3. çevrimde yapılan yüklemelerden sonra ana kesme çatlağının tam ortasından çelik kablo kesimi kontrollü olarak yapılacak. 3. çevrim referansları; 129 kN yük 55 mm deplasman ve -134 kN yük, -55 mm deplasman olarak ölçüldü. Ana kesmen çatlağı yatay alt yüzün 10 cm düşey çizgisinde başlayıp, 50 cm düşey çizgisinin üst ucunun 4 cm altında bitiyor. Açısı yaklaşık 45 derece ve çatlak genişliği 2.5 mm. 3. çevrimin sonundan sonra ana kesme çatlağının ortasından çelik kablo kesimi yapıldı.



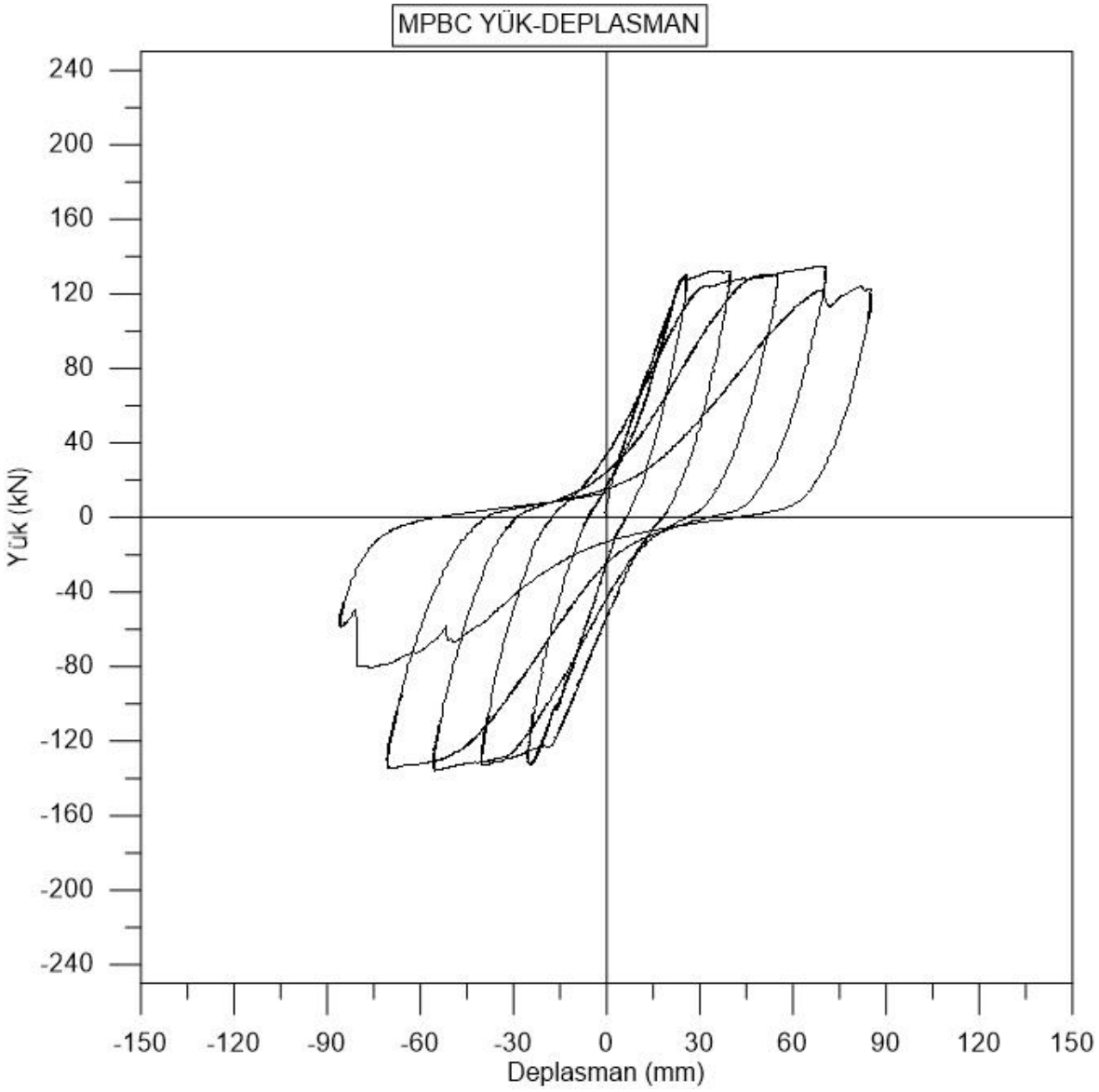
Resim 4.9. MPBC numunesi kablo kesimi

4. çevrimde referanslar 132 kN yük, 70 mm deplasman ve -132 kN yük, -70 mm deplasman olarak ölçüldü. Henüz kablo kopması sonucu herhangi bir yük kaybı yaşanmadı. Kesilen kablonun sağındaki ve solundaki kabloların hala son derece gergin olduğu gözlemlendi. Kablo kesimi yapılmasına rağmen çelik kablonun gerginliğini korumasının nedeni kablonun köşelerde yaptığı sürtünme kuvvetinin kabloyu bırakmamasıdır. 5. çevrimdeki referans 120 kN yük, 85 mm deplasmanda kesilen kablonun sağındaki ve solundaki çelik kablolar hala gerginliğini koruyor. Gergin olması yük hala yük aldığının bir göstergesidir.



Resim 4.10. MPBC numunesi +85 mm deplasman durumu

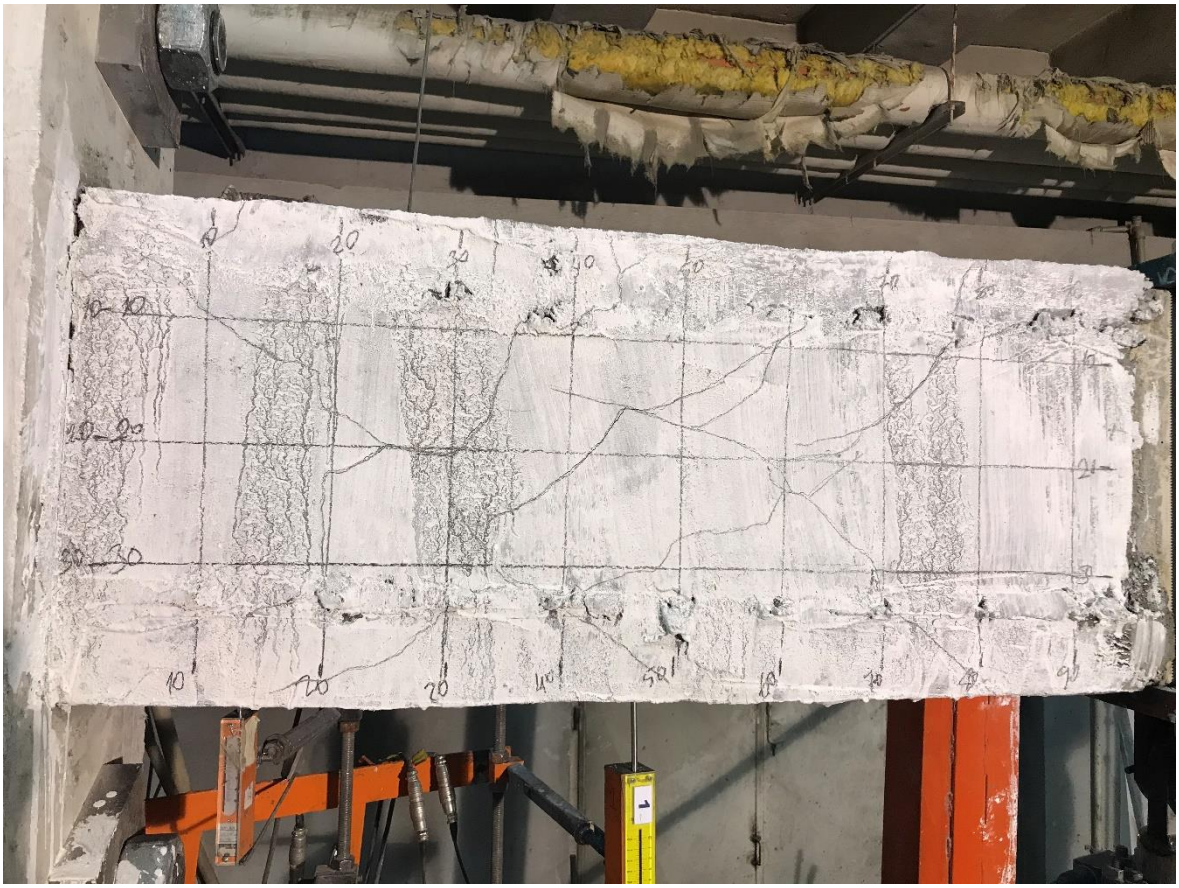
5. çevrimin sonuna giderken etriye köşesinde açılma yaşandı ve ani yük kaybı oldu. Referans ise -80 kN yük, -85 mm deplasman ölçüldü ve deney sonlandırıldı. Mpbc numunesi yük deplasman grafiği aşağıda verilmiştir.



Şekil 4.12. MPBC numunesi yük-deplasman grafiği

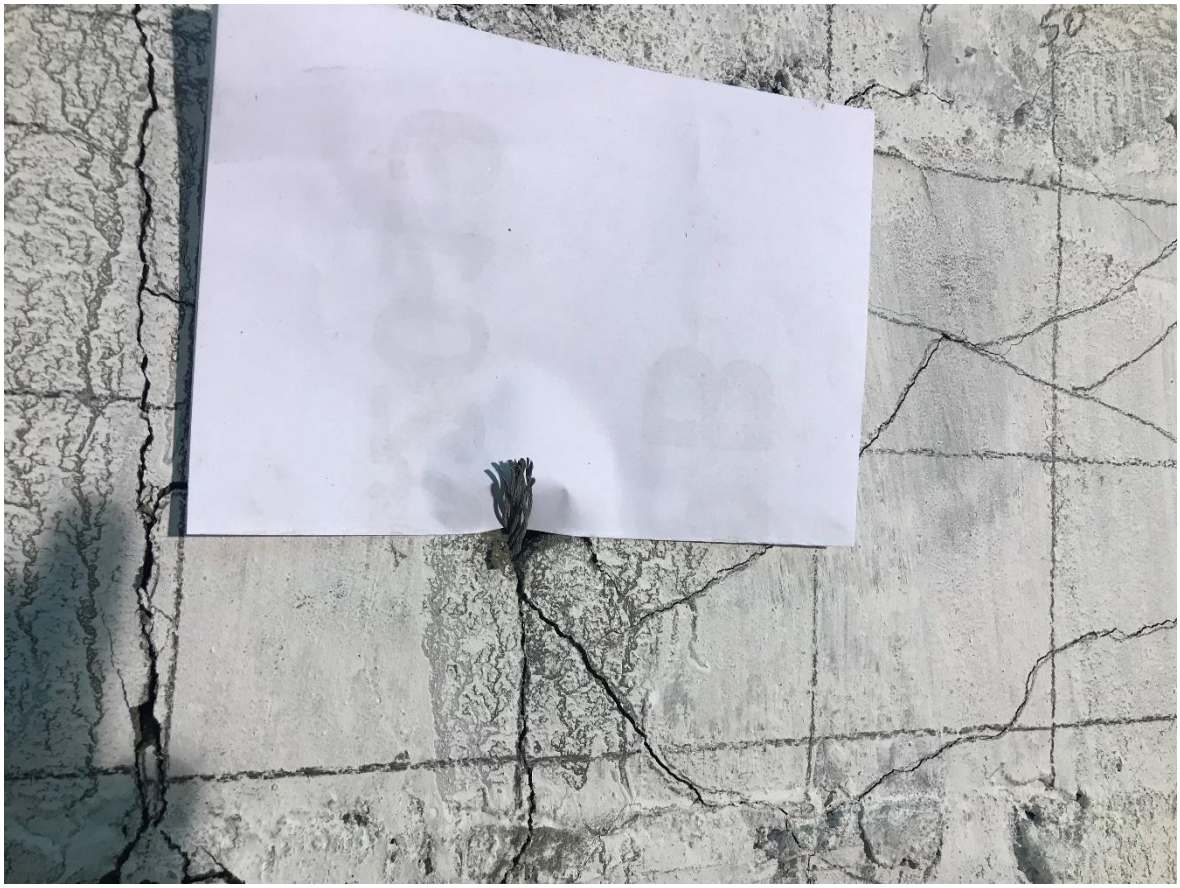
4.6.6. MPLC numunesi

Yüklemeye başladıktan sonra ilk çatlak 80 kN yük değerinde kesme çatlağı şeklinde görüldü. 90 kN yük değerinde 2. kesme çatlağı görüldü. Kesme çatlaklarının ilki 10 cm düşey doğrusunun üstünden başlayıp 135 derece ile 50 cm düşey çizgisinin altına doğru ilerledi. Diğeri ise 80 cm düşey çizgisinin altından başlayıp 40 cm düşey çizgisinin üstünün 12 cm altına kadar ilerledi. Çatlak genişliği 0,3 mm olarak ölçüldü. 1. çevrimin ileri yönlü referansı 133 kN yük, 25 mm deplasman olarak ölçüldü. 1. çevrimin geri yönlü referansı -134 kN yük, -25 mm deplasman olarak ölçüldü.



Resim 4.11. MPLC numunesi 1. çevrim sonu çatlak düzeni

2. çevrimin sonunda çatlak dağılımında gelişme olmayıp çatlak genişliklerinin arttığı gözlemlendi. Çatlak genişlikleri yaklaşık 0,5 mm olarak ölçüldü. 2. çevrimin referansları 133 kN yük, 40 mm deplasman ve -135 kN yük, -40 mm deplasman olarak ölçüldü. Referans yüklerinde herhangi bir düşme olmadığı gözlemlendi. 3. çevrimin referansları 130 kN yük, 55 mm deplasman ve -136 kN yük, -55 mm deplasman olarak ölçüldü. 3. Çevrimin içerisinde rijit bloğa yakın sıvada dökülmeler gözlemlendi. Ana kesme çatlağının genişliği 2,5 mm olarak ölçüldü. 3. çevrimin sonundan sonra ana kesme çatlağının ortasından çelik kablo kesimi yapıldı.



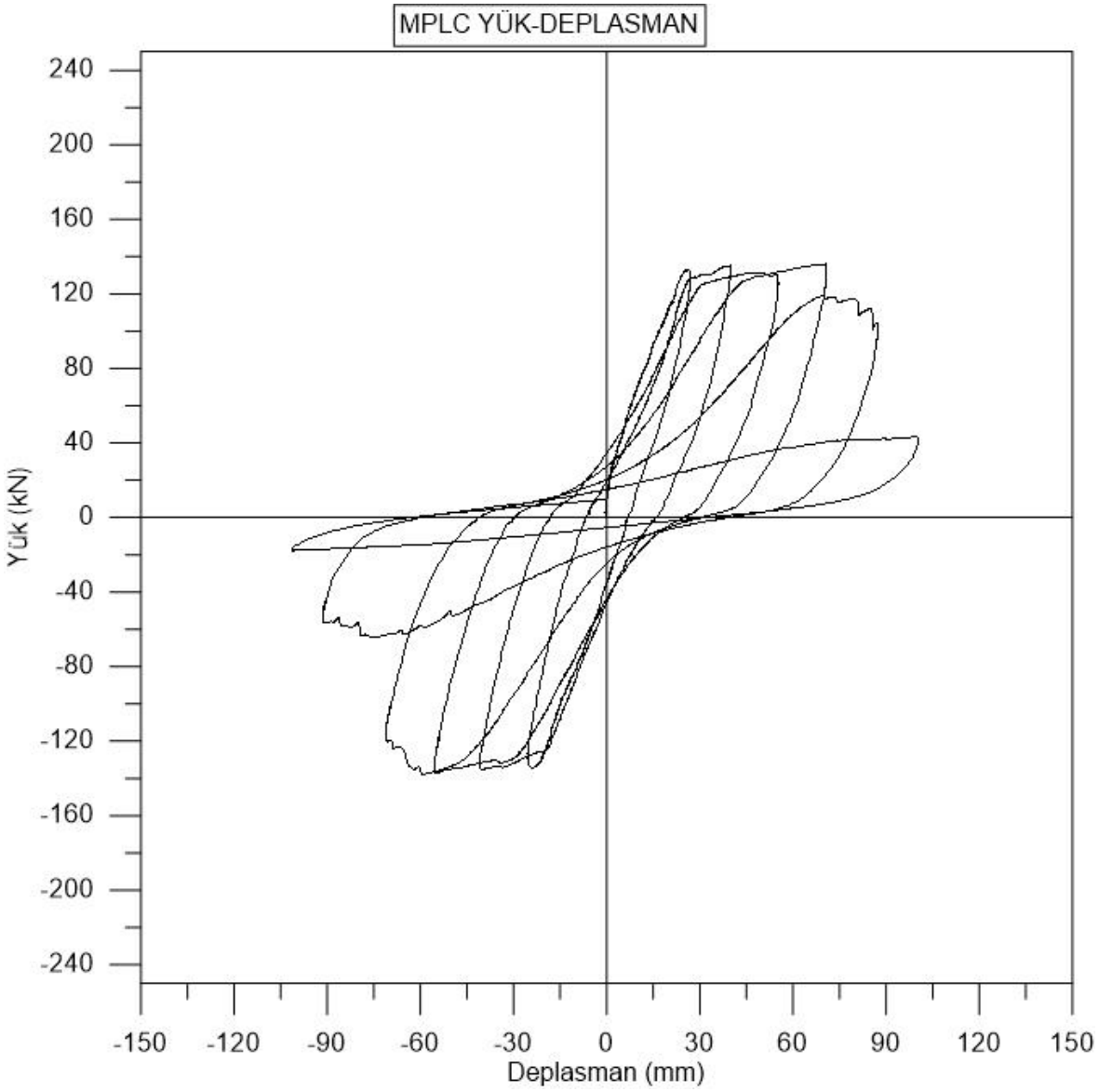
Resim 4.12. MPLC numunesi kablo kesimi

Kablo kesildikten sonra yapılan 4. çevrimin ileri yönlü yüklemesinin referansı 15 kN yük, 70 mm deplasman olarak ölçüldü. kesilen çelik kablonun sağı ve solundaki çelik halat sargılamalarının hala gergin durumda olduğu gözlemlendi. 4. çevrimin geri yönlü referansı -120 kN yük, -70 mm deplasman olarak ölçüldü. İlk kez 4. çevrimin aşağı yönlü yüklemesinde yükte düşüş yaşandığı ve sıvada dökülmelerin devam ettiği gözlemlendi. 5. çevrimin ileri yönlü yüklemesinde 5. sıra çelik kabloda kopma gözlemlendi. Kopma, kiriş hazırlanırken köşelere yapılan kablonun geçeği kanalın tam yuvarlak olarak açılmayıp, çelik kablonun yük almasıyla birlikte köşede ezilip kopmanın yaşandığı gözlemlendi.



Resim 4.13. MPLC numunesi kopan çelik kablo

5. çevrimin geri yönlü referansı -68 kN yük, -90 mm deplasman olarak ölçüldü. -85 mm olması gereken referansın -90 mm olmasının nedeni betonun içerisindeki 90 derece hazırlanan etriyenin açılıp ani deplasman kaybının yaşmasından dolayı olduğu gözlemlendi. 6. çevrimin referansları 43 kN yük, 100 mm deplasman ve -18 kN yük, -100 mm deplasman olarak ölçüldü ve deney sonlandırıldı. MPLC numunesi yük deplasman grafiği aşağıda verilmiştir.

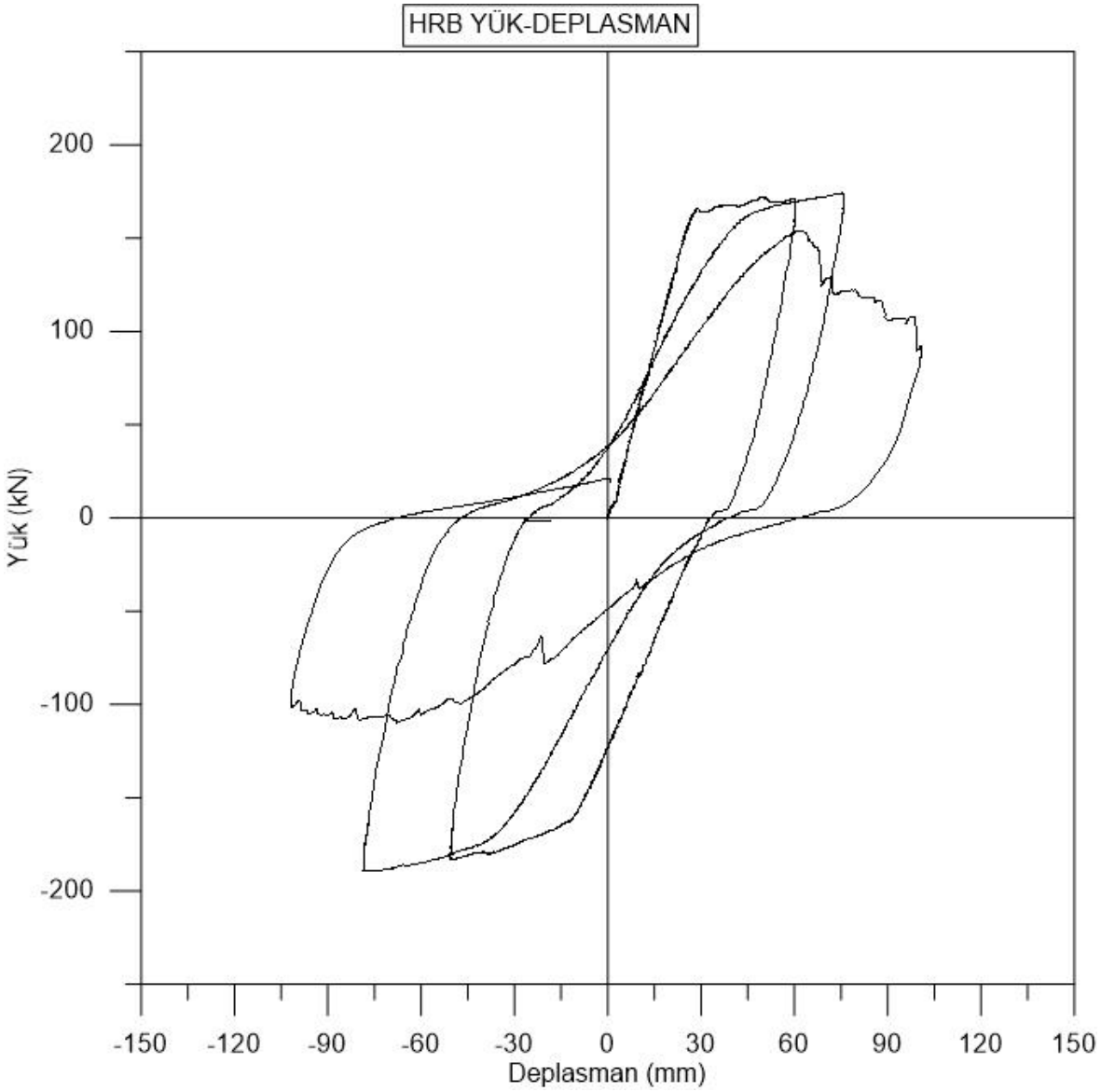


Şekil 4.13. MPLC numunesi yük-deplasman grafiği

4.6.7. HRB numunesi (Referans kişiri)

Yüklenmeye başlandıktan sonra ilk olarak ileri yönde akma dayanımını ölçüldü. İleri yönde akma referansı 165 kN yük, 30 mm deplasman olarak ölçüldü. Sonrasında 60 mm deplasman referansına doğru yüklemeye devam edildi. 60 mm deplasmandaki yük değeri 169 kN yük olarak ölçüldü. Daha sonrasında kriko boşaltıldı ve geri yöndeki akma ve -50 mm deplasman değerlerinin referansları ölçüldü. Bu referanslar sırasıyla -180 kN yük, -37 mm deplasman ve - 183 kN yük, -50 mm deplasman olarak ölçüldü. Bir diğer çevrimde 75 mm ve -75 mm deplasman değerlerine gidildi. Bu referansların yük değerleri sırasıyla 174 kN yük ve -189 kN yük olarak ölçüldü. Son çevrimde 100 mm ve -100 mm deplasman değerlerinin yük

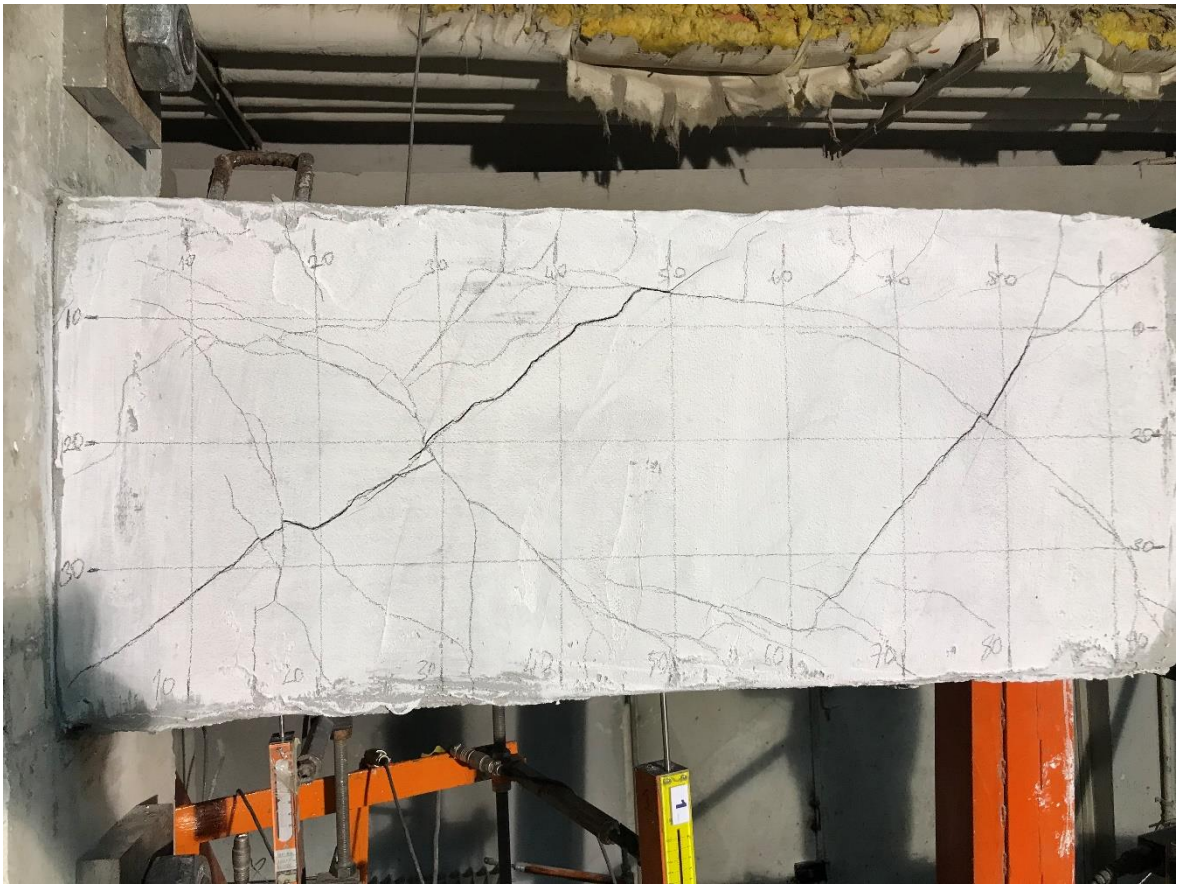
değerleri ölçüldü. Son çevrimin yük değerleri sırasıyla 89 kN ve -98 kN yük olarak ölçüldü ve deney sonlandırıldı. HRB numunesi yük deplasman grafiği aşağıda verilmiştir.



Şekil 4.14. HRB numunesi yük-deplasman grafiği

4.6.8. Hup numunesi

Yüklenmeye başladıktan sonra ilk çatlak 50 kN yük değerinde kılcal kesme çatlağı şeklinde oluştu. Daha sonra 100 kN yük değerinde başka bir kesme çatlağı oluştu. 1. Çevrimin ileri yönlü referansı 164 kN yük, 30 mm deplasman olarak ölçüldü. 1. çevrimin geri yönlü referansı -188 kN yük, -30 mm deplasman olarak ölçüldü. İleri ve geri yönlü yük farklılıklarının nedeni şu an tespit edilemedi.



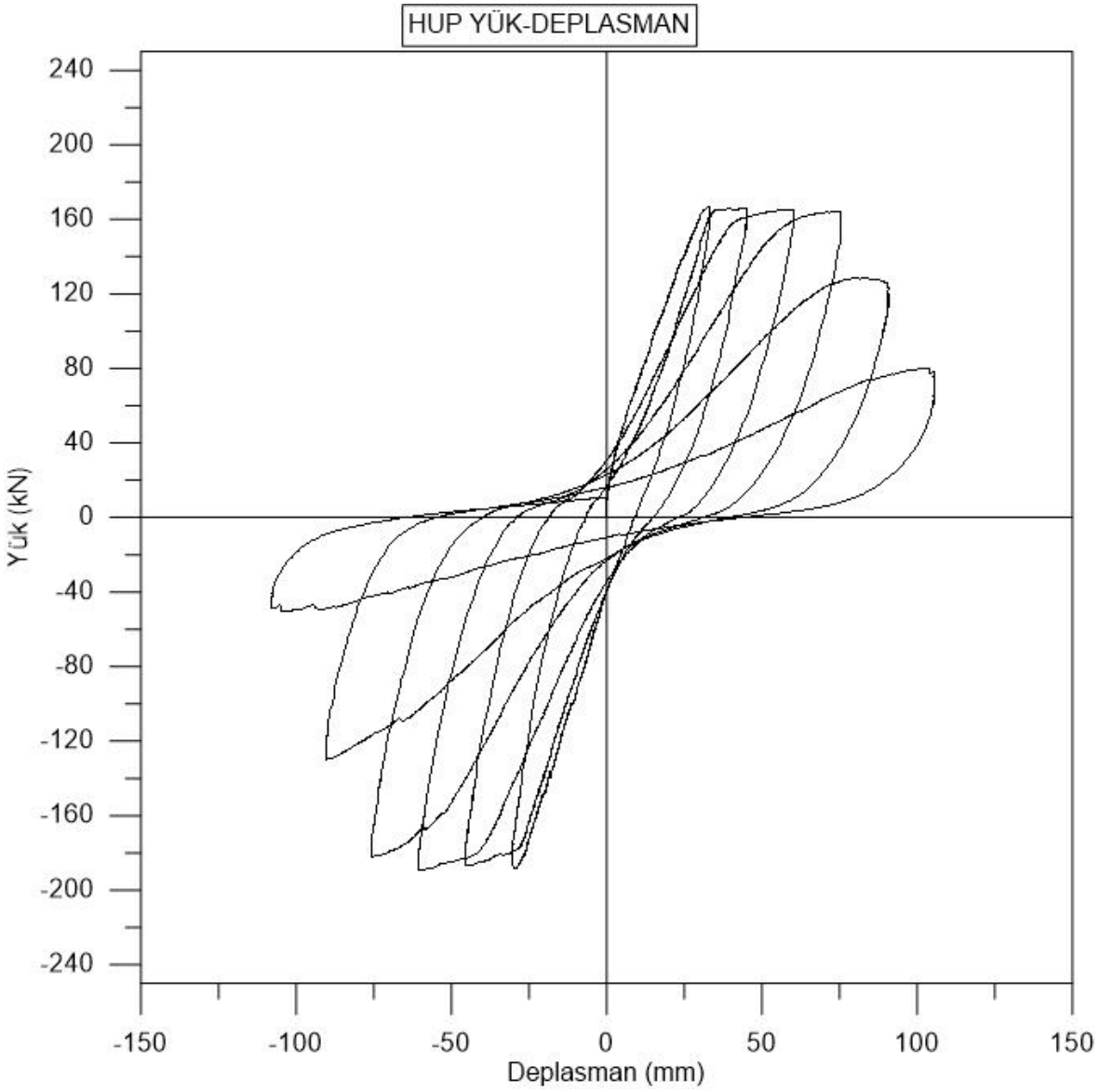
Resim 4.14. HUP numunesi 1. çevrim sonu çatlak düzeni

2. çevrimin referansları 165 kN yük, 45 mm deplasman ve -186 kN yük, -45 mm deplasman olarak ölçüldü. Oluşan çatlakların içerisinden gözüktüğü kadarıyla sıva üstündeki çatlaklar ile asıl beton yüzeyindeki çatlakların aynı genişlikte olmadığı tespit edildi. Çatlaklarda rölatif hareketler gözlemlendi. 3. çevrimin referansları 165 kN yük, 60 mm deplasman ve -189 kN yük, -60 mm deplasman olarak ölçüldü. 3. çevrimin sonunda aderans çatlakları ve sıvada dökülmeler gözlemlendi. 4. çevrimin referansları 163 kN yük, 75 mm deplasman ve -183 kN yük, -75 mm deplasman olarak ölçüldü ve yeniden 4. çevrimin sonunda aderans çatlakları ve sıvada dökülmeler gözlemlendi. 5. çevrimin yukarı yönlü referansı 125 kN yük, 90 mm deplasman olarak ölçüldü. Sonrasında yapılan ölçümlerde kirişin iç demir kafesinin muhtemel beton dökümü esnasında yukarı yöne doğru kaydığı gözlemlendi. Alt boy demirin en dış betona uzaklığı 5 cm olarak ölçüldü. Kısaca alt yüzün 3 cm olması gereken paspayının 5 cm olduğu gözlemlendi ve ileri ve geri yöndeki yük değişiklerinin bu nedenle olduğu saptandı.



Resim 4.15. 90 mm deplasman yüklemesi

5. çevrimin geri yönlü referansı -130 kN yük, -90 mm deplasman olarak ölçüldü. 5. çevrimin sonunda sıvada ciddi dökülmeler gözlemlendi. Çatlak genişlikleri 8 mm olarak ölçüldü. Çelik kabloların son derece gergin ve yük taşadığı gözlemlendi. 6. çevrimin referansları 78 kN yük, 105 mm deplasman ve -49 kN yük, -105 mm deplasman olarak ölçüldü ve deney sonlandırıldı. Hup numunesi yük deplasman grafiği aşağıda verilmiştir.



Şekil 4.15. HUP numunesi yük-deplasman grafiği

4.6.9. HPB numunesi

Yüklemeye başladıktan sonra ilk çatlak 40 kN yükte kılcal eğilme çatlağı olarak gözlemlendi. 60 kN yük değerinden başka bir kılcal eğilme çatlağı gözlemlendi. 90 kN yük değerinde 3 tane kılcal kesme çatlağının aynı anda oluştuğu gözlemlendi. Maksimum çatlak genişliği 0.4 mm olarak ölçüldü. 130 kN yük değerinde maksimum çatlak genişliği 1 mm olarak kesme çatlağında görüldü. 150 kN yük değerinde ana kesme çatlağı genişliği 2 mm olarak ölçüldü. Daha sonrasında 1. Çevrimin referansları 175 kN yük, 30 mm deplasman ve -176 kN yük, -30 mm deplasman olarak ölçüldü.



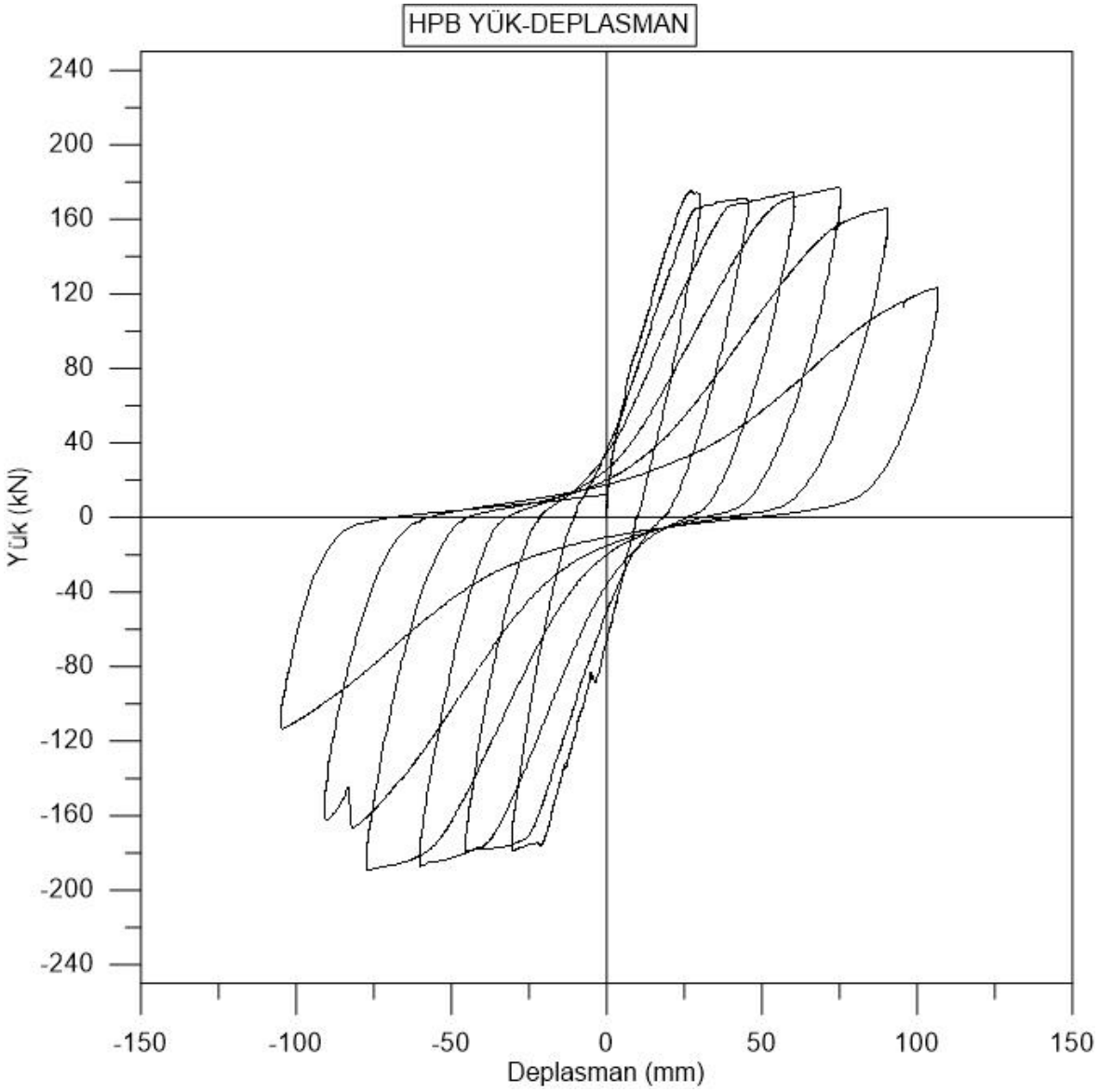
Resim 4.16. HPB numunesi 1. çevrim sonu çatlak düzeni

2. çevrimin referansları 170 kN yük, 45 mm deplasman ve -179 kN yük, -45 mm deplasman olarak ölçüldü. Yeni çatlağın oluşmadığı, çatlak genişliklerinin arttığı gözlemlendi. 3. çevrimin referansları 170 kN yük, 60 mm deplasman ve -184 kN yük, -60 mm deplasman olarak ölçüldü. Çatlak genişlikleri 4 mm olarak ölçüldü ve sıvada dökülmelerin yaşandığı gözlemlendi. 4. çevrimin referansları 174 kN yük, 75 mm deplasman ve -183 kN yük, -75 mm deplasman olarak ölçüldü. Sıva ile beton arasında tam kenetlenme olmadığı için sıvadaki çatlak genişliği ile betondaki çatlak genişliğinin aynı olmadığı gözlemlendi. Sıvada ilk 10 cm içerisinde dökülmeler yaşandı. Halatların son derece gergin olduğu ve yük taşıdığı gözlemlendi.



Resim 4.17. Sıva-beton kenetlenme probleminden ötürü dökülmeler

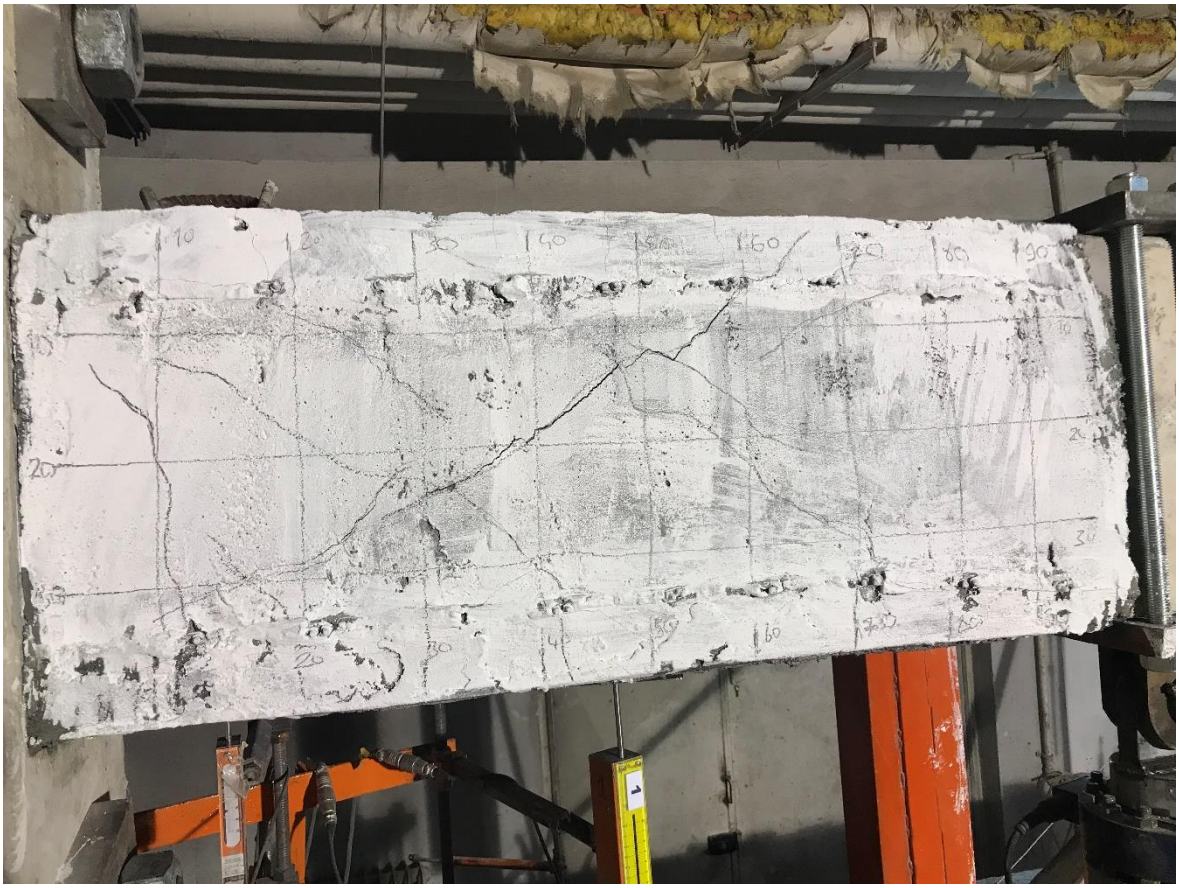
5. çevrimin referansları 163 kN yük, 90 mm deplasman ve -163 kN yük, -90 mm deplasman olarak ölçüldü. Çatlak genişliğinin 20 mm olduğu gözlemlendi ve bu zamana kadar yapılan tüm deneylerde çelik kabloda tel tel ayrışma hiç gözükmedi. 6. çevrimin referansları 121 kN yük, 105 mm deplasman, 110 kN yük -105 mm deplasman olarak ölçüldü ve deney sonlandırıldı. HPB numunesi yük deplasman grafiği aşağıda verilmiştir.



Şekil 4.16. HPB numunesi yük-deplasman grafiği

4.6.10. HPL numunesi

Yüklemeye başladıktan sonra ilk çatlak 40 kN yükte kılcal kesme çatlağı olarak gözlemlendi. 70 kN yük değerinden başka bir kılcal kesme çatlağı gözlemlendi. 90 kN yük değerinde başka bir tane daha kılcal kesme çatlağının oluştuğu gözlemlendi. Maksimum çatlak genişliği 0.4 mm olarak ölçüldü. Ana kesme çatlağı 1. çevrimin geri yönlü yüklemesinde oluştu. Oluşan kesme çatlağı yaklaşık düşey 70 cm çizgisinin üst ucundan başlayıp 25 cm düşey çizgisinin altına kadar devam edecen bir çatlak olarak gözlemlendi. Çatlak genişliği 0.4 mm olarak ölçüldü. 1. çevrimin referansları 177 kN yük, 30 mm deplasman ve -181 kN yük, -30 mm deplasman olarak ölçüldü.



Resim 4.18. HPL numunesi 1. çevrim sonu çatlak görüntüsü

2. çevrimin referansları 174 kN yük, 45 mm deplasman ve -182 kN yük, -45 mm deplasman olarak ölçüldü. Yeni çatlaklar oluşmadı, mevcut çatlakların genişliğinde artış gözlemlendi. 3. çevriminin referansları 173 kN yük, 60 mm deplasman ve-189 kN yük, -60 mm deplasman olarak ölçüldü. 3 tane ana kesme çatlağının mevcut olduğu gözlemlendi. Bu çatlakların genişliğinin 4 mm olduğu ölçüldü. Sıvada dökülmelerin başladığı gözlemlendi. Ana eğilme çatlağının genişliği 6 mm olarak ölçüldü. 4. çevrimin referansları 177 kN yük, 75 mm deplasman ve -190 kN yük, -75 mm deplasman olarak ölçüldü. Sıvada dökülmeler devam etti ve çatlak genişliklerinin 8 mm'ye kadar ulaştığı gözlemlendi. 5. Çevrimin ileri yönlü yüklemesi yapılırken kelepçenin çelik kabloya bağladığı yerde çelik kabloda kopma olduğu gözlemlendi. Kopma nedenin kelepçenin çok sıkılmış olmasından kaynaklı olduğu görüldü. Halatta kopma olmasından ötürü bir anda kirişte çok derin kesme çatlağı oluştu. Kesme çatlağı genişliği yaklaşık 2 cm olarak ölçüldü.

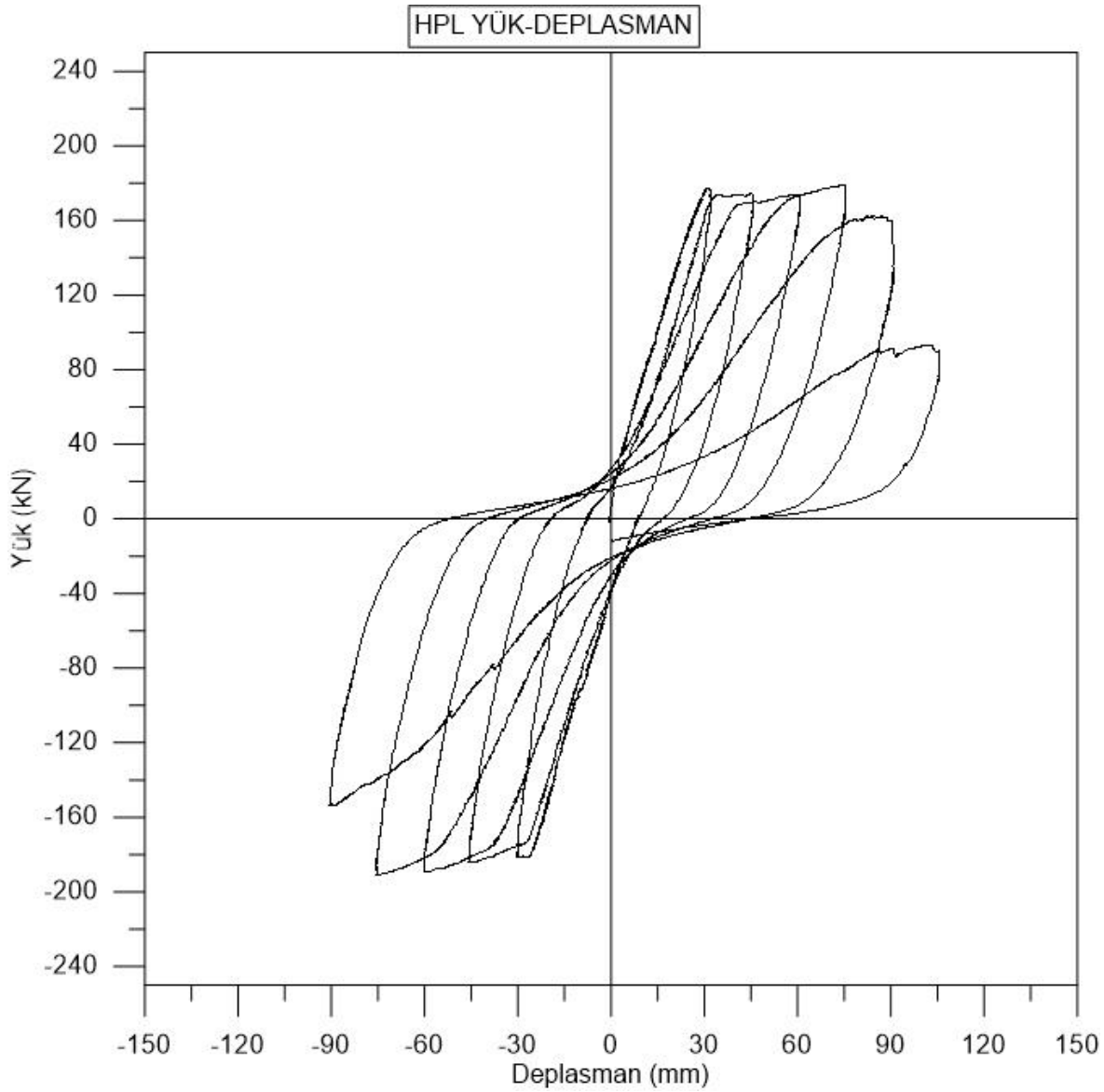


Resim 4.19. HPL numunesi kopan çelik kablo



Resim 4.20. HPL numunesi 5. çevrimde kopan çelik kabloyla oluşan kirişin davranışı

5. çevrimin aşağı yönlü yüklemesinde referansı -152 kN yük, -90 mm deplasman olarak ölçüldü. Kopan çelik kablodan sonra yükte düşüş gözlemlendi. Kopan çelik kablonun sağındaki ve solundaki halatlarda gevşeme ve sıyrılma olmadı. 6. Çevrimin referansı 89 kN yük, 105 mm deplasman olarak ölçüldü ve deney sonlandırıldı. HPL numunesi yük deplasman grafiği aşağıda verilmiştir.



Şekil 4.17. HPL numunesi yük-deplasman ilişkisi

4.6.11. HPBC numunesi

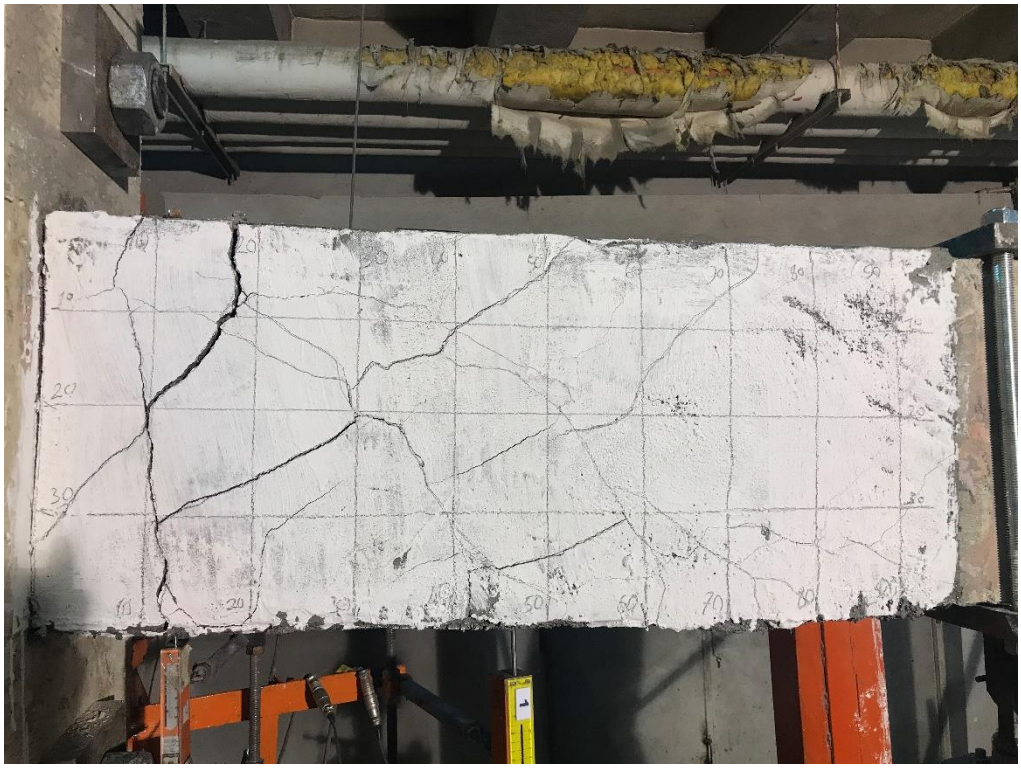
Yüklemeye başladıktan sonra ilk çatlak 50 kN yük değerinde oluştu. İlk 20 cm de eğilme çatlakları, 50 cm ve 70 cm düşey çizgisinin olduğu bölgelerde kesme 135 derece kesme çatlaklarının olduğu gözlemlendi. İlk çevrimin ileri yöndeki referansı 177 kN yük, 30 mm

deplasman olarak ölçüldü. İlk çevrimin geri yöndeki referansı -182 kN yük, -30 mm deplasman olarak ölçüldü. Maksimum çatlak genişliği kesme çatlağında ve 1 mm olarak ölçüldü. -110 kN değerinde aniden mevcutta bulunan kesme çatlağının genişliği arttı. Bu çatlak 18 cm düşey doğrusunun üst ucundan 10 cm uzunluğunda aşağı inip daha sonrasında rijit bölgeye doğru 45 derece açı ile ilerlediği gözlemlendi.



Resim 4.21. HPBC numunesi 1. çevrim sonu çatlak görüntüsü

2. çevrimin referansları 173 kN yük, 45 mm deplasman ve -178 kN yük, -45 mm deplasman olarak ölçüldü. 2. çevrimin içerisinde mevcutta bulunan çatlakların genişliği arttı. Çatlak genişliği 3 mm olarak ölçüldü. 3. çevrimin referansları 171 kN yük, 60 mm deplasman ve -182 kN yük, -60 mm deplasman olarak ölçüldü. 2 adet ana kesme çatlağı mevcut olarak gözlemlendi. Bu numunede de sıva ve betondaki çatlak genişliklerinin aynı olmadığı gözlemlendi. Çatlağın en büyük olduğu yerin içinden geçen çelik kablo kesilmedi. Kesilmeme nedeni bu çatlağın kabloya paralel olmasından ötürü çok yük almadığının düşünülmesi oldu. Bu nedenle diğer ana kesme çatlağının tam ortasından kablo kesimi yapıldu. Çelik kablo kesilmeden önçe yük sıfırlandı, sonrasında kablo kesildi.



Resim 4.22. HPBC numunesi kablo kesilmeden önce çatlak görüntüsü



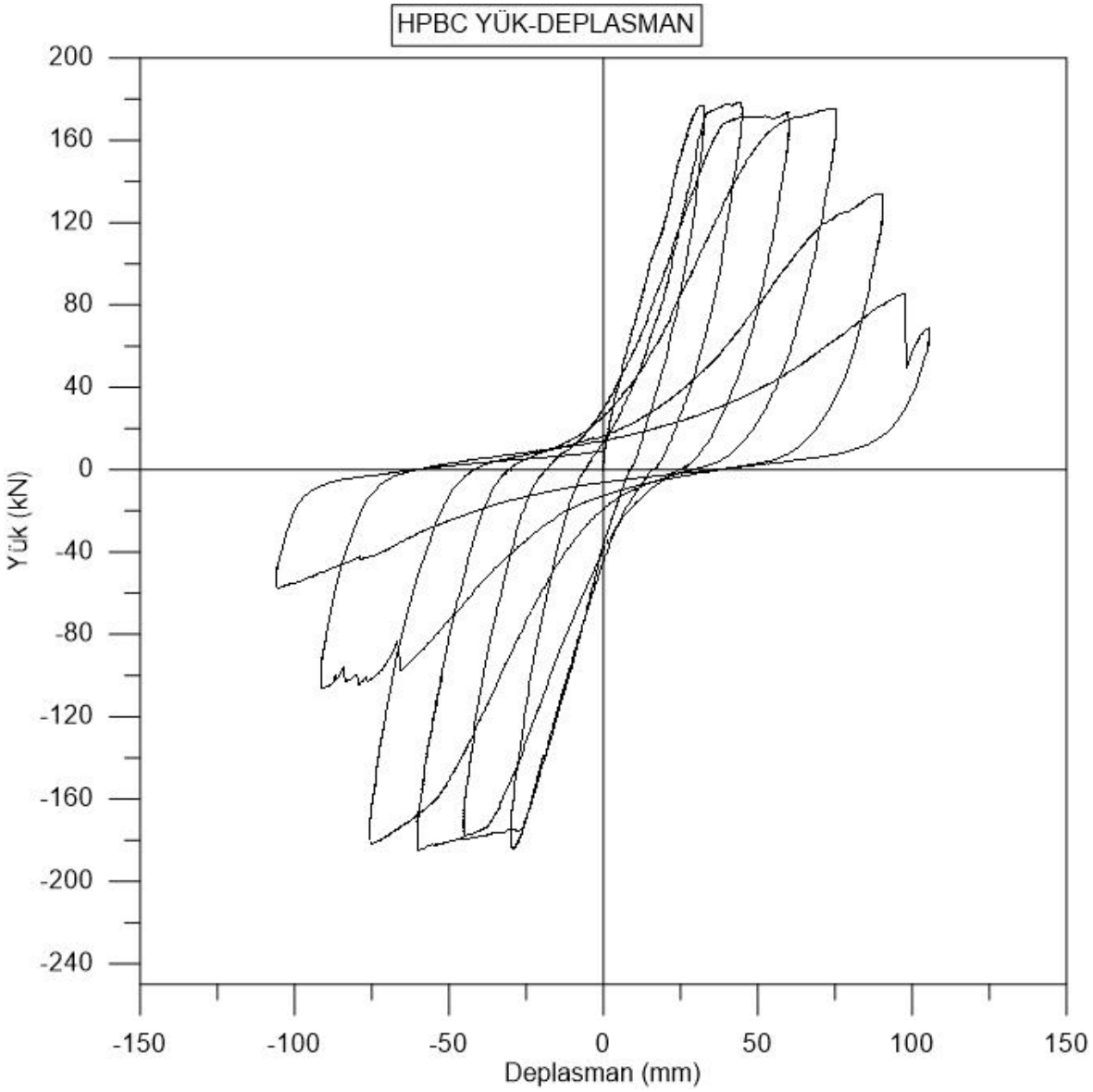
Resim 4.23. HPBC numunesi kesilen kablo görüntüsü

4. çevrimin referansları 172 kN yük, 75 mm deplasman ve -180 kN yük, -75 mm deplasman olarak ölçüldü. 4. çevrimin içerisinde 60 mm deplasman civarında çelik kabloda geri çekilme gözlemlendi. Kablonun kesilmiş olmasına rağmen yükte kayıp yaşanmadı. Kesilen kablonun tamamen boşalmamasının nedeni olarak sürtünme kuvvetiyle birlikte betona tutunmasıdır. 5. Çevrimin referansları 131 kN yük, 90 mm deplasman ve -103 kN yük, -90 mm deplasman olarak ölçüldü. 5. çevrimin ileri yönlü yüklemesinde kesilen kablonun sağındaki ve solundaki kablolarda gevşedi ve bununla birlikte çok ciddi aderans problemi oluşmaya başladı.



Resim 4.24. HPBC numunesi aderans problemi

6. çevrim referansları 67 kN yük, 105 mm deplasman ve -56 kN yük, -105 mm deplasman olarak ölçüldü ve deney sonlandırıldı. Mpbc numunesi yük deplasman grafiği aşağıda verilmiştir.

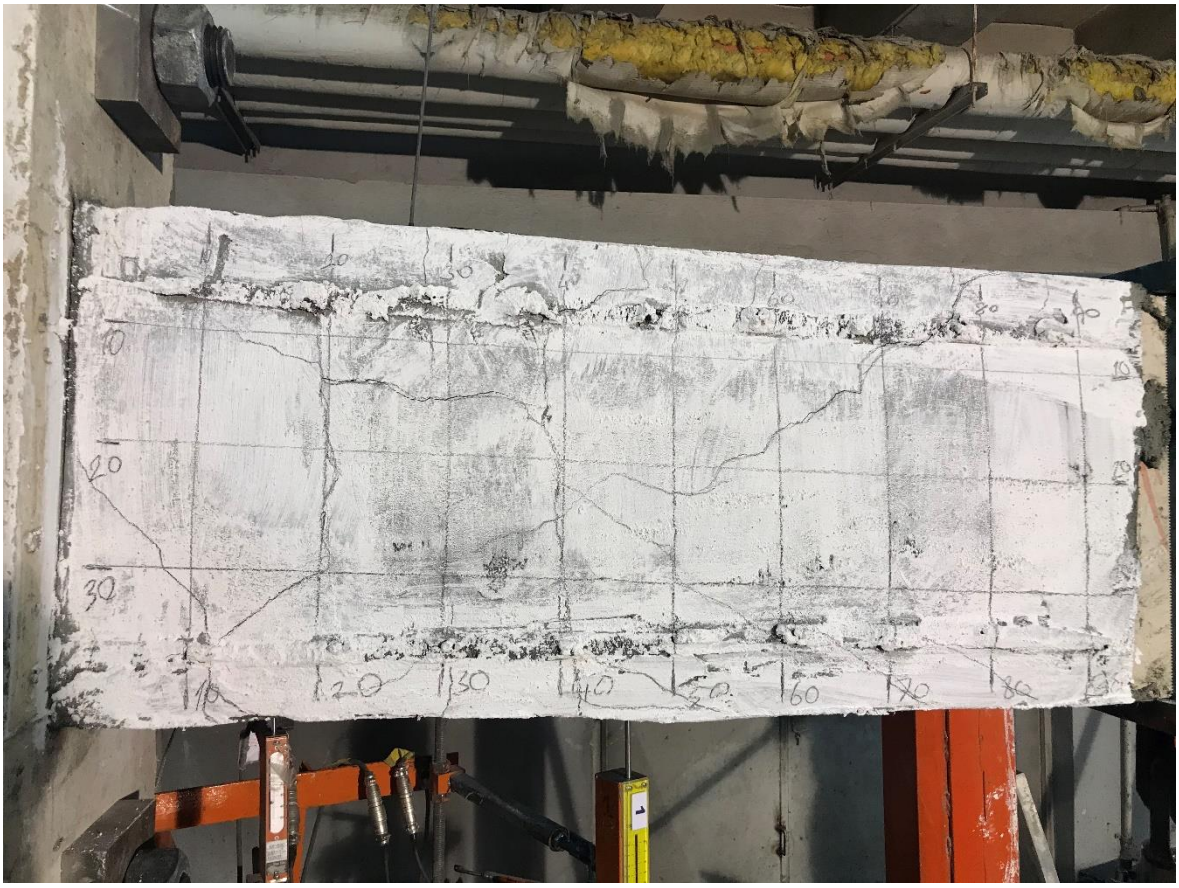


Şekil 4.18. HPBC numune yük-deplasman grafiği

4.6.12. HPLC numunesi

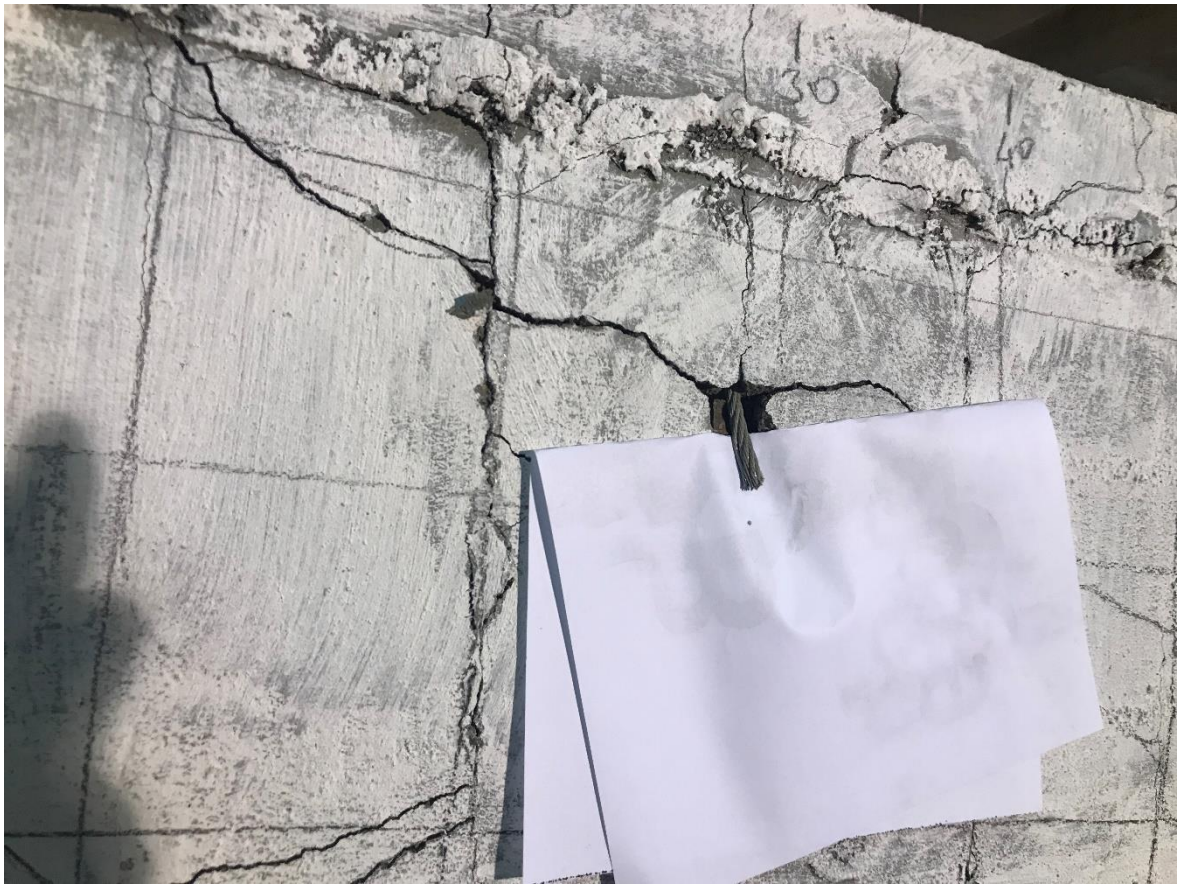
Yüklenmeye başlandıktan sonra ilk kılcal eğilme çatlakları 75 kN yük değerinde oluşmaya başladı. Rijit blok yüzeyinde eğilme çatlağı oluştu. Oluşan çatlağın genişliği 0,4 mm olarak ölçüldü. İlk çevrimin ileri yönlü referansı 180 kN yük, 30 mm deplasman değerinde gerçekleşti. Maksimum çatlak genişliği 1.5 mm olduğu ölçüldü. Bu değer aynı zamanda kirişin akma dayanımdır. İlk çevrimin geri yönlü referansı -176 kN yük, -30 mm deplasman olarak ölçüldü. 2 tane ana çatlak dışında çok anlamlı çatlak gözlenemedi. 1 tanesi kesme çatlağı olarak görüldü. Bu çatlak 80 cm düşey çizgisinin üst ucundan başlayıp 30 derece açı

ile aşağı giden bir çatlak olarak gözlemlendi. Diğer çatlak eğilme çatlağı olarak görüldü. Rijit blok üzerinde boyu 35 cm olan bir çatlak olarak gözlemlendi.



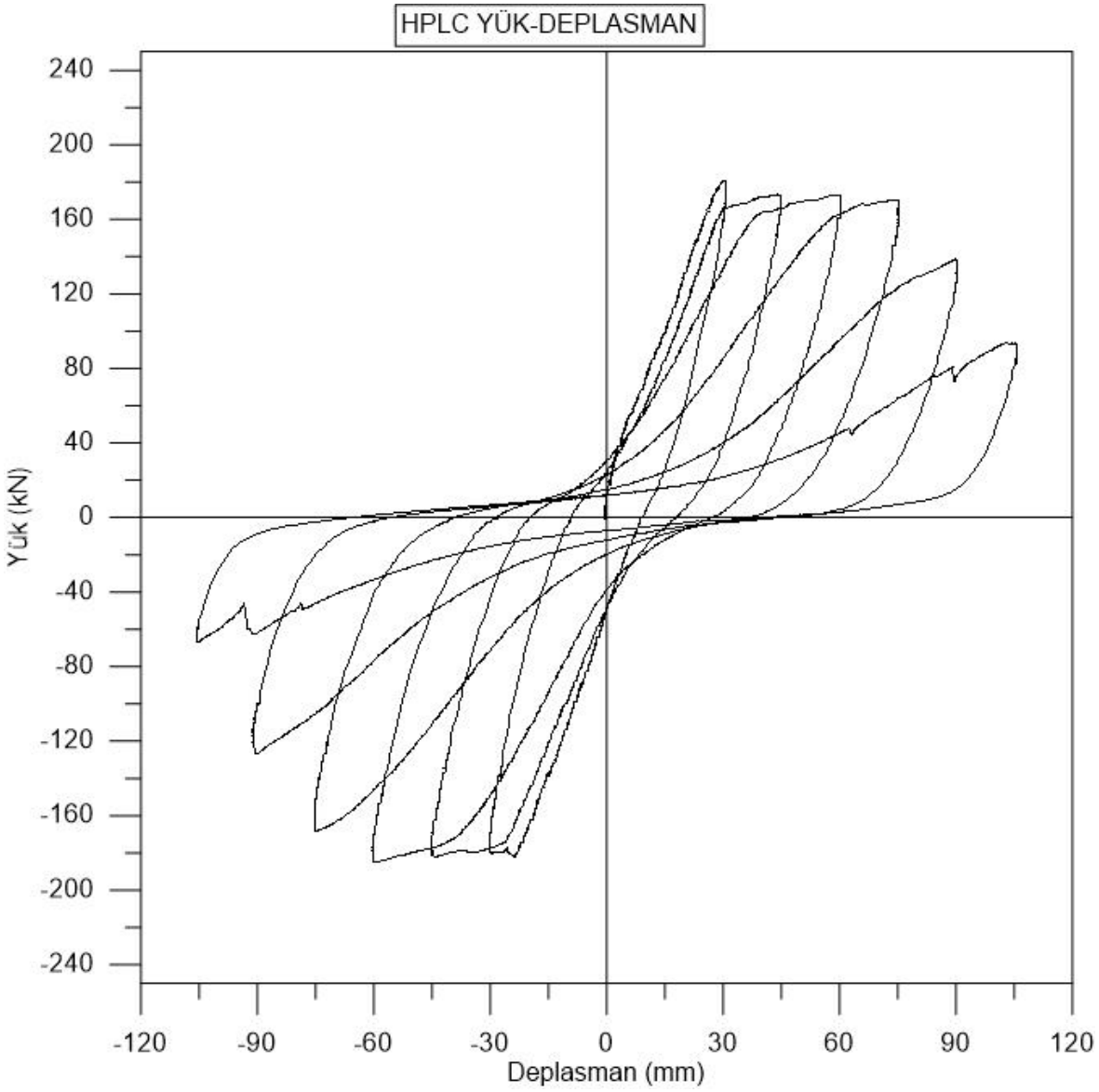
Resim 4.25. HPLC numunesi 1. çevrim sonu çatlak görüntüsü

2. çevrimin referansları 173 kN yük, 45 mm deplasman ve -179 kN yük, -45 mm deplasman olarak ölçüldü. 2. çevrimin sonunda üst kısımda aderans çatlağı olabilecek çatlaklar gözlemlendi. Sıva üzerinde oluşan çatlak genişlikleri ile betonun kendisinde oluşan çatlak genişliğinin aynı seviyede olmadığı gözlemlendi. Maksimum çatlak genişliğinin 1.5 mm civarında olduğu gözlemlendi. 3. Çevrimin referansları 172 kN yük, 60 mm deplasman ve -183 kN yük, -60 mm deplasman olarak ölçüldü. Sıvada yüzeyden oynamalar olduğu gözlemlendi. Çatlakların anlamsız olmasının nedeni olarak sıvada yüzeyden oynamaların neden olduğu tespit edildi. Yükü sıfır değerine getirip kablo koparma işlemi yapıldı.



Resim 4.26. HPLC numunesi kesilen kablo görüntüsü

4. çevrimin referansları 169 kN yük, 75 mm deplasman ve -170 kN yük, -75 mm deplasman değeri olarak ölçüldü. 4. çevrimin ileri yönlü yüklemesinde koparılan halatın kendi uçlarında dahi gevşeme yaşanmadığı gözlemlendi. Sıvada dökülmeler yaşanmadığı için herhangi bir şekilde kablolarda gevşeme yaşanmadı. 4. çevrimin geri yönlü yüklemesinde sıvada dökülmeler olduğu gözlemlendi. Koparılmış kablonun sağında ve solundaki kabloların son derece gergin olduğu gözlemlendi. 2. Çevrimin sonunda bahsedilen aderans çatlağı olabilecek çatlakların kelepçe yüzünden oluşmuş olduğu tespit edildi. 5. çevrimin referansları 136 kN yük, 90 mm deplasman ve -126 kN yük, -90 mm deplasman olarak ölçüldü. 5. Çevrimin sonunda kayma deformasyonları çok belirginleşti. 6. Çevrimin referansları 93 kn yük, 105 mm deplasman ve -66 kN yük, 105 mm deplasman olarak ölçüldü ve deney sonlandırıldı. Hplc deney numunesinin yük deplasman grafiği aşağıda verilmiştir.



Şekil 4.19. HPLC numunesi yük-deplasman grafiği

5. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

5.1. Genel Değerlendirme

Bu bölümde, bölüm 4'te anlatılan deneylerin sonuçlarının yük deplasman grafikleri incelenerek taşıma güçleri yönünden değerlendirmesi yapılmıştır. Ayrıca yük deplasman grafiklerinden alınan akma ve maksimum taşıma yükleri, referans numuneleri ile kıyaslanmıştır.

5.2. Taşıma Gücü Karşılaştırması

Bu bölümde deney numunelerinin taşıma yükleri ve akma yükleri, referans ile kıyaslanıp, referansa göre nasıl davranış sergilediği çizelgelerde sayısal verilerle gösterilip yorumlanmıştır.

5.2.1. Az donatılı numunelerin taşıma gücü

Çizelge 5.1. Az donatılı numunelerin ileri yönlü akma ve maksimum yük karşılaştırması

Eleman Adı	Py (kN)	Pu (kN)	$\frac{Py(referans)}{Py(numune)}$	$\frac{Pu(referans)}{Pu(numune)}$
Mrb(referans)	135	142	1	1
Mup	134	136	1,01	1,04
Mpb	133	139	1,01	1,02
Mpl	140	142	0,96	1
Mpbc	130	135	1,03	1,05
Mplc	133	136	1,01	1,04

Çizelge 5.2. Az donatılı numunelerin geri yönlü akma ve maksimum yük karşılaştırması

Eleman Adı	Py (kN)	Pu (kN)	$\frac{Py(referans)}{Py(numune)}$	$\frac{Pu(referans)}{Pu(numune)}$
Mrb(referans)	135	143	1	1
Mup	136	143	0,99	1
Mpb	138	142	0,97	1,01
Mpl	125	139	1,08	1,02
Mpbc	130	136	1,03	1,05
Mplc	134	137	1,01	1,04

5.2.2. Çok donatılı numunelerin taşıma gücü

Çizelge 5.3. Çok donatılı numunelerin ileri yönlü akma ve maksimum yük karşılaştırması

Eleman Adı	Py (kN)	Pu (kN)	$\frac{Py(referans)}{Py(numune)}$	$\frac{Pu(referans)}{Pu(numune)}$
Hrb(referans)	167	174	1	1
Hup	164	166	1,02	1,04
Hpb	175	177	0,95	0,98
Hpl	177	178	0,94	0,97
Hpbc	177	178	0,94	0,97
Hplc	180	180	0,92	0,96

Çizelge 5.4. Çok donatılı numunelerin geri yönlü akma ve maksimum yük karşılaştırması

Eleman Adı	Py (kN)	Pu (kN)	$\frac{Py(referans)}{Py(numune)}$	$\frac{Pu(referans)}{Pu(numune)}$
Hrb(referans)	183	189	1	1
Hup	188	189	0,97	1
Hpb	178	189	1,02	1
Hpl	181	191	1,01	0,98
Hpbc	182	185	1	1,02
Hplc	181	185	1,01	1,02

Çizelge 5.1, çizelge 5.2, çizelge 5.3 ve çizelge 5.4'te görüldüğü üzere ileri ve geri yönlü maksimum taşıma yükleri ve akma yükleri çok ciddi yük farkı olmaksızın, referans ve güçlendirilmiş numunulerde aynı değerlerde ölçülmüştür. Buradan anlaşıldığı üzere eksik etriyeleri, kesmeye karşı dayanımsız olan güçlendirilmiş numuneler güçlendirildikten sonra kesmeye karşı yeteri dayanıma sahip olan referans numunesi ile aynı seviyede taşıma gücüne ve kesme dayanımına sahip davranış sergilemiştir.

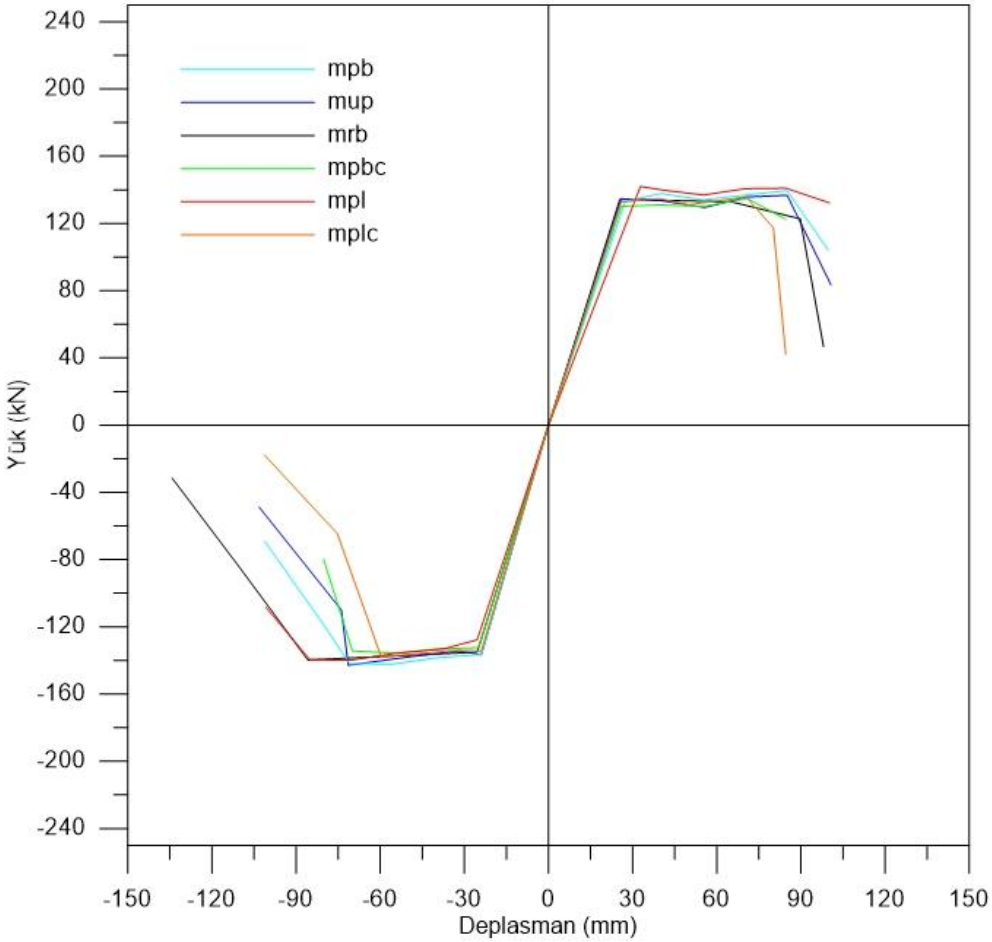
Güçlendirilmiş numuneler aynı zaman akma dayanımı açısından da referans ile benzer davranış sergilemiştir. Sonuç olarak dışardan yapılan çelik kablo sargılaması kesme yükünü artıracak şekilde davranıp, kirişin taşıma gücünü ve ileri çevrimlerde de yeteri kadar dayanımı artırmıştır. Deney numunelerin yük deplasman grafikleri incelenerek; betonarme kirişlerde yaşanan tersinir yüklemelerde yük kaybı problemini güçlendirilmiş kirişler, referans numunesine göre daha sonraki çevrimlerde yaşamıştır. Bu ise kesintisiz çelik kablo sargısının etriye gibi kesme yükü taşıdığını hatta çelik kabloda kopma söz konusu olmadığı sürece etriyenin köşelerden açılma problemini yaşamayacağından ötürü davranışının ciddi derecede iyileştireceğini gösteriyor.

5.3. Zarf Eğrileri

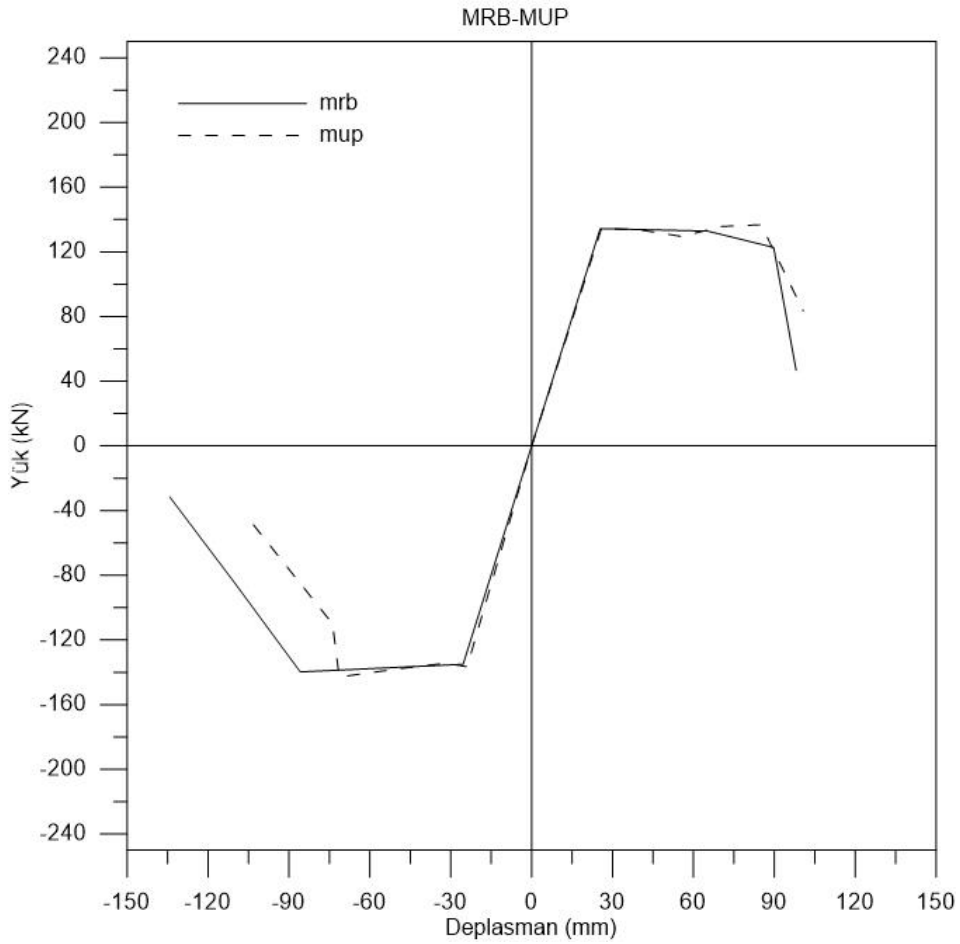
5.3.1. Az donatılı numunelerin karşılaştırmaları

Bu grupta biri referans olmak üzere 6 tane deney elemanı test edilmiştir. Bu gruptaki bütün elemanların (MRB, MUP, MPB, MPBC, MPL, MPLC) eğilme donatıları çekme için 3Ø20, basınç için 3Ø20 olarak tasarlanmıştır. Etriye olarak ise, sadece referans elemanı olan (MRB) deney elemanında Ø8/10 kadar donatı yerleştirilmiştir. Diğer elemanlara ise; kesme açısından yetersiz olabilmesi için aynı donatı çapında fakat seyrek aralıklarla (Ø8/30) etriye yerleştirildiği daha önce anlatılmıştı. Yine bu grupta referans eleman dışında kablo sargısı olarak 10 cm ara ile Ø4'lük donatı kullanılmıştı, fakat burada hatırlanacağı üzere bazı elemanlarda nitelikli, bazılarında niteliksiz sıva kullanılmış, bazı elemanlarda emniyet kilidi kullanılmış, bazılarında kullanılmamış. Yine bazı elemanlarda kablo yapay olarak kopartılırken, bazılarında kopartılmadığından bahsedilmişti. Aşağıdaki grafikte (6 deney elemanının üst üste çizildiği) genel olarak 5 deney elemanının referans deney elemanı MRB'ye göre davranışları mukayese edilmiştir. Aşağıdaki grafikte de görüleceği üzere

güçlendirilmiş 5 deney elemanının davranışlarının referans numunesine benzediği görülmektedir.

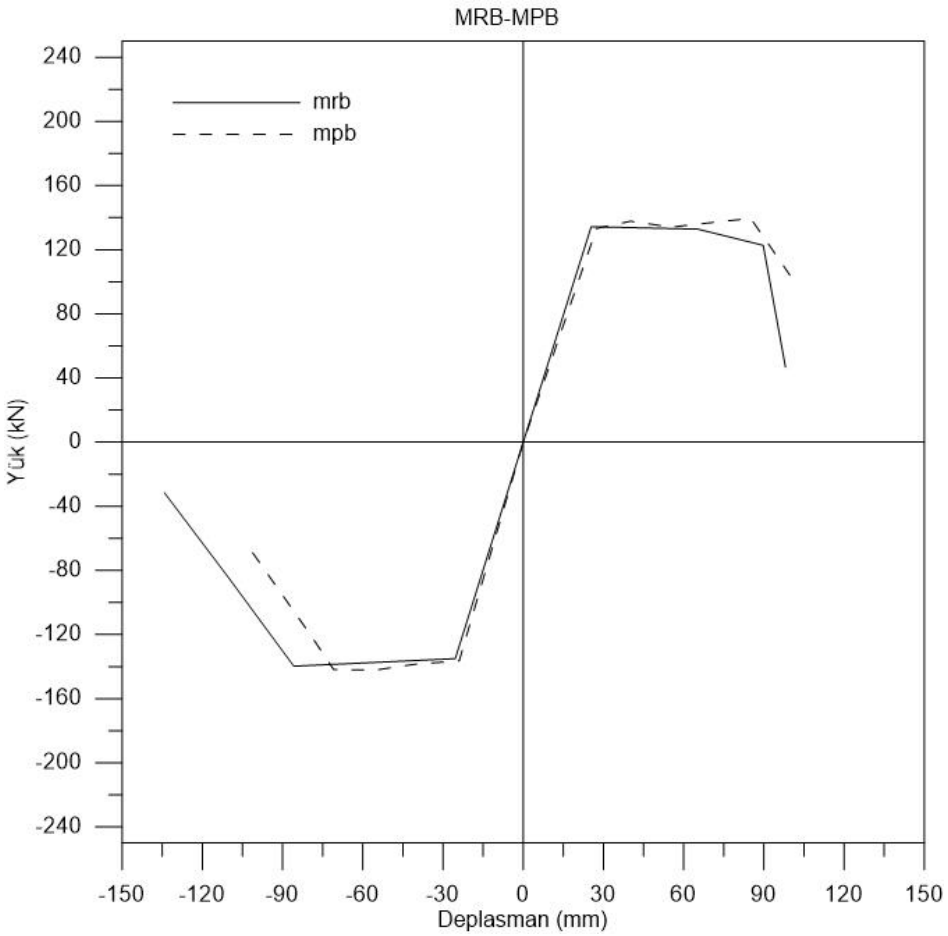


Şekil 5.1. MRB-MUP-MPB-MPBC-MPL-MPLC zarf eğrileri karşılaştırması



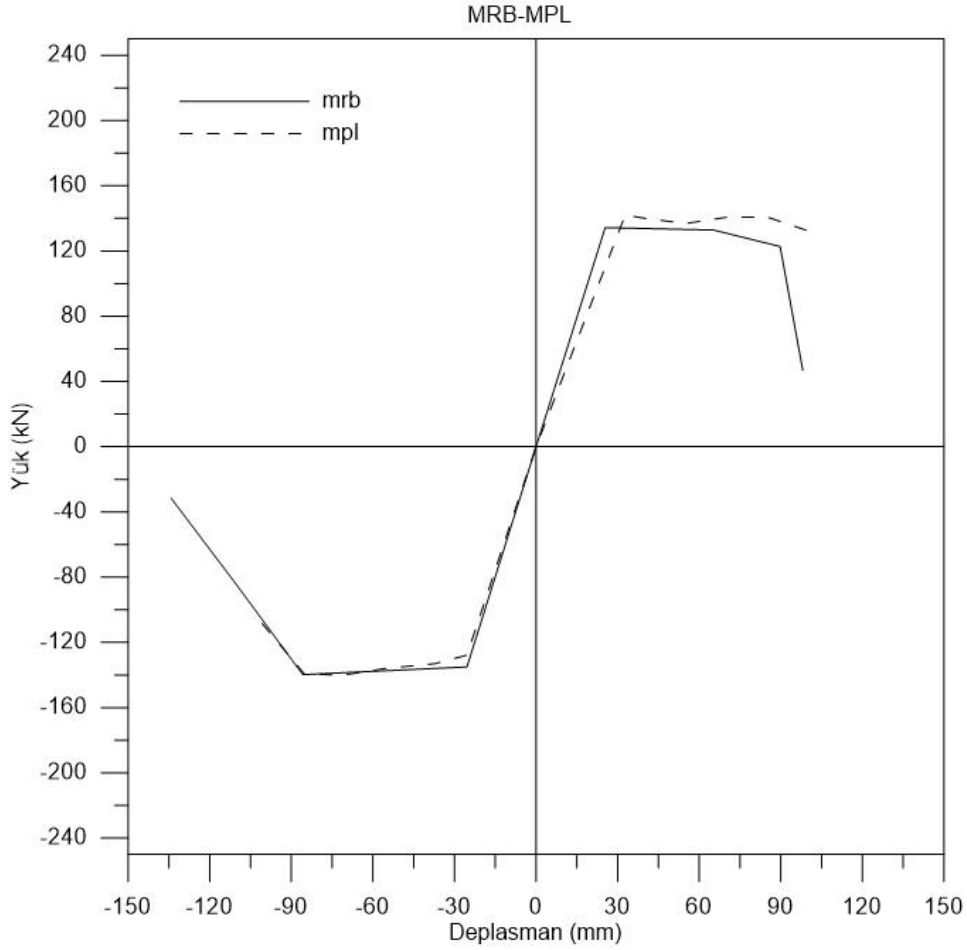
Şekil 5.2. MRB-MUP zarf eğrileri karşılaştırması

Bilindiği üzere MRB referans elemanı iken MUP güçlendirilmiş deney elemanıydı. Bu deney elemanının diğer güçlendirilmiş deney elemanlarından farkı sargı üzerinde kullanılan niteliksiz sıvaydı. Yukarıdaki grafiğe bakıldığı zaman iki deney elemanının yük-deplasman zarf eğrilerinin neredeyse üst üste oturduğu görülmektedir. Grafiğe bakıldığı zaman sargı donatısının çok etkin bir biçimde devreye girdiği gözlemlenmektedir. İleri çevrimlerde güçlendirilmiş elemanın referans elemanına göre dayanımında çok az bir artış yaptığı da görülmektedir.



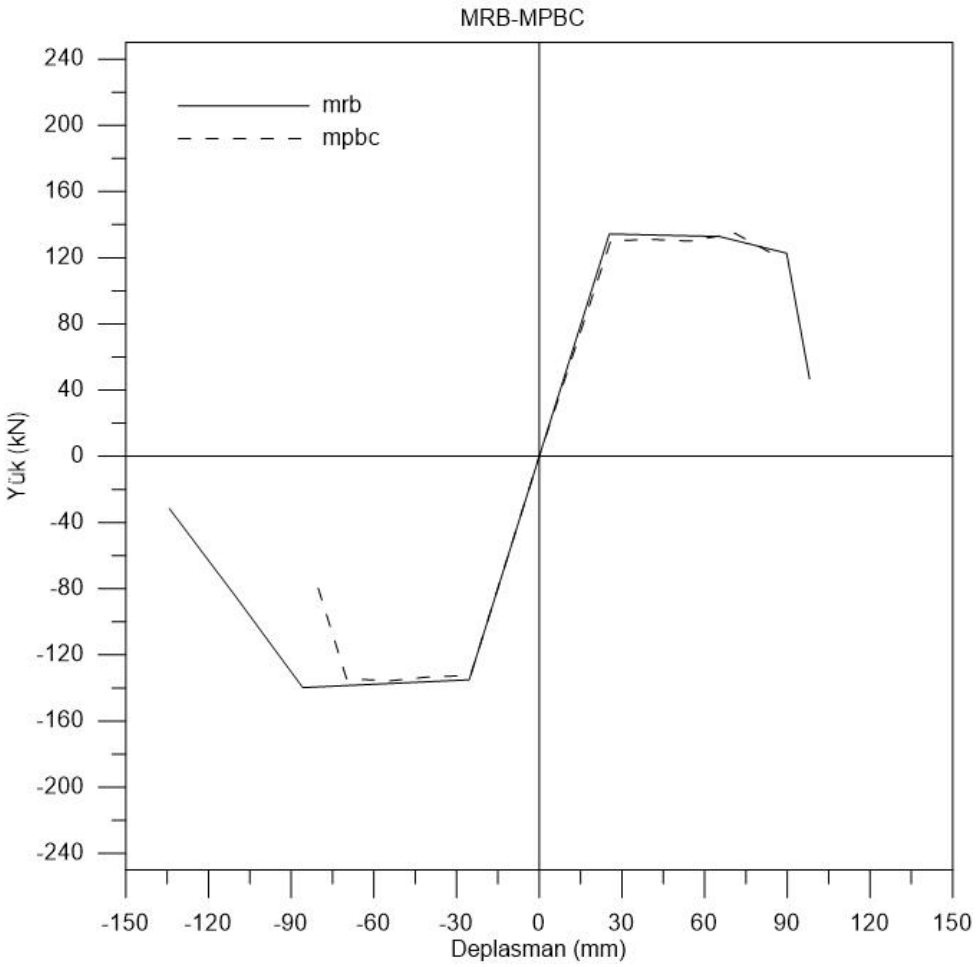
Şekil 5.3. MRB-MPB zarf eğrileri karşılaştırması

Bu deney elemanının diğer güçlendirilmiş deney elemanlarından farkı sargı üzerinde kullanılan nitelikli sıvaydı. Yukarıdaki grafiğe bakıldığı zaman iki deney elemanının yük-deplasman zarf eğrilerinin neredeyse üst üste oturduğu görülmektedir. Grafiğe bakıldığı zaman sargı donatısının çok etkin bir biçimde devreye girdiği gözlemlenmektedir. İleri çevrimlerde güçlendirilmiş elemanın referans elemanına göre dayanımında çok az bir artış yaptığı da görülmektedir.



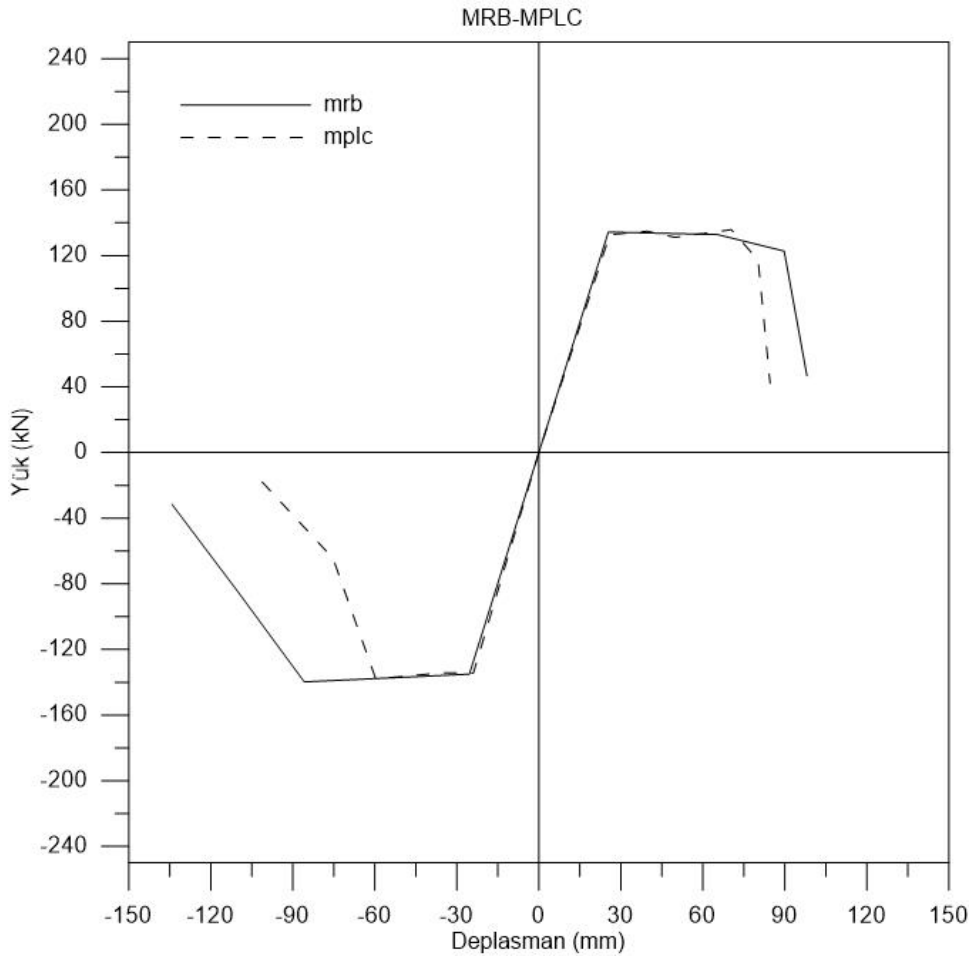
Şekil 5.4. MRB-MPL zarf eğrileri karşılatırması

Bu deney elemanının diğer güçlendirilmiş deney elemanlarından farkı sargı üzerinde kullanılan nitelikli sıva ve ayrıca kelepçe kullanılmasıdır. Grafikten görüleceği üzere güçlendirilmiş numune referans(MRB) numunesine göre biraz daha fazla yük değerine ulaşıyor. Ayrıca ileri çevrimlerde referans numunesinde yaşanan düşüş güçlendirilmiş numunede daha geç yaşanmıştır.



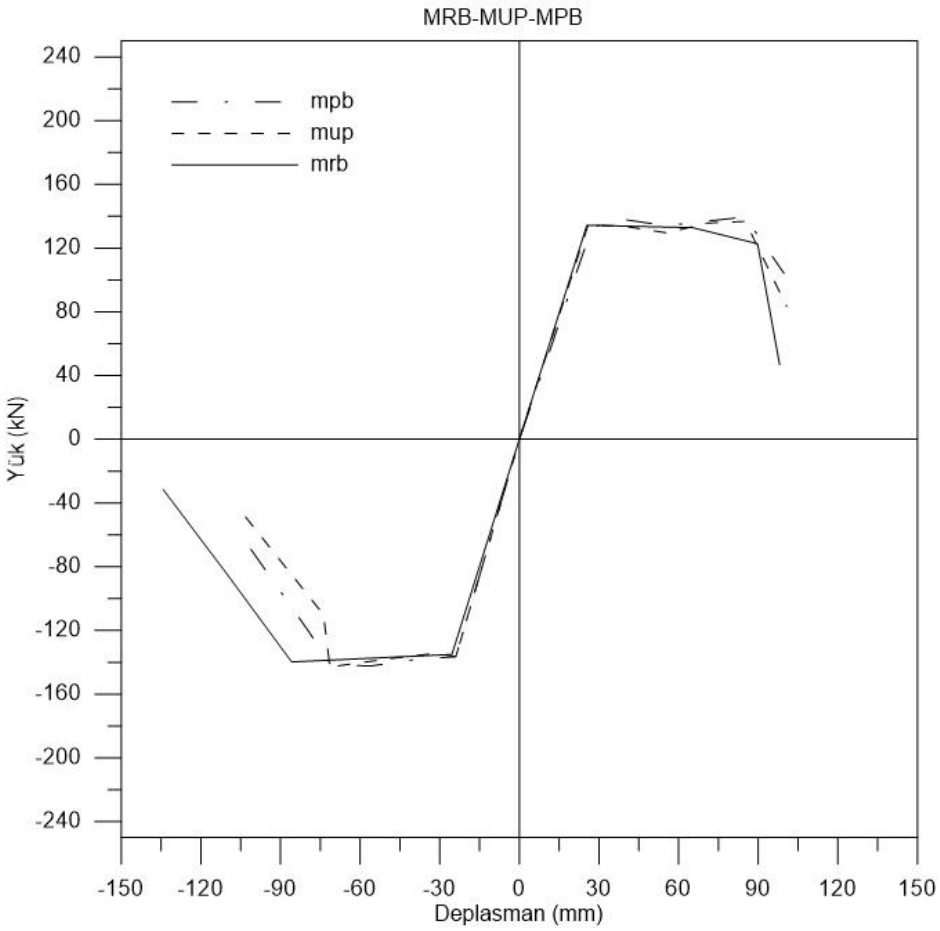
Şekil 5.5. MRB-MPBC zarf eğrileri karşılaştırması

Bu deney elemanının diğer güçlendirilmiş deney elemanlarından farkı sargı üzerinde kullanılan nitelikli sıva ve yapay olarak kablonun koparılmasıydı. Yukarıdaki grafiğe bakıldığı zaman iki deney elemanının yük-deplasman zarf eğrilerinin neredeyse üst üste oturduğu görülmektedir. Sargıyı yapay olarak koparmak yükte ani bir düşüş yaşatmamıştır. Ani düşüş olmamasının nedeni yapılan pahlardan geçen kablonun sürtünme kuvveti ile hareket etmemesi ve yük almaya devam etmesidir.



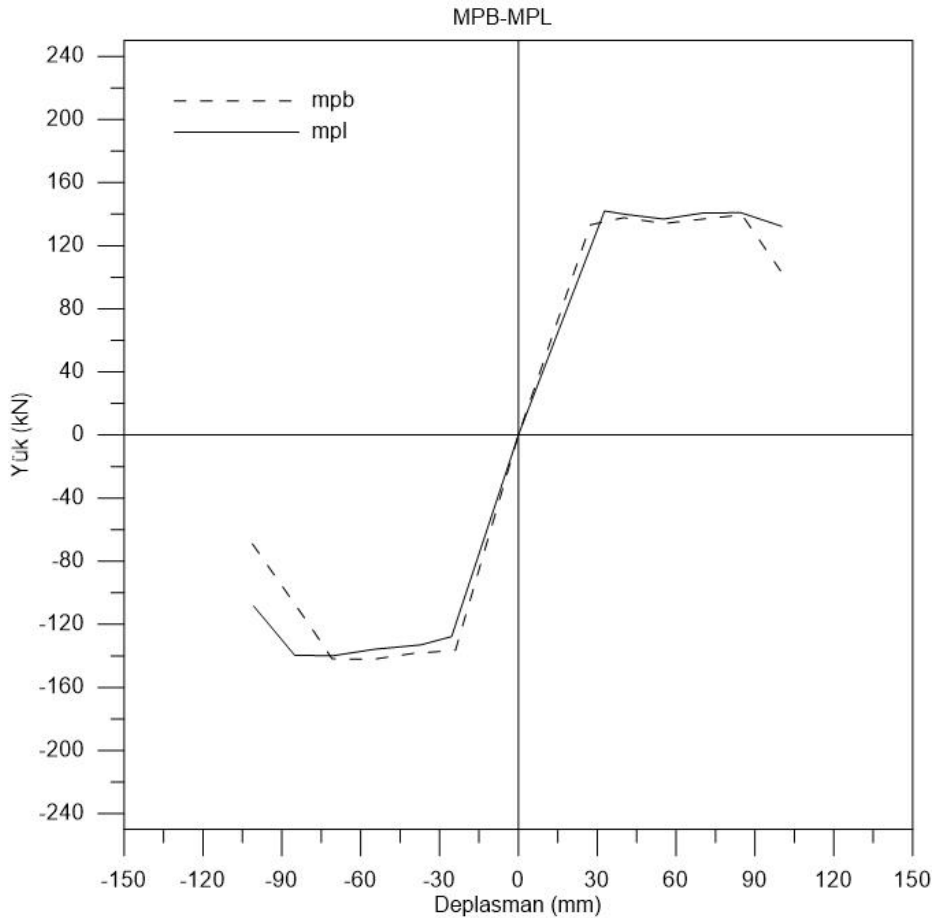
Şekil 5.6. MRB-MPLC zarf eğrileri karşılatırması

Bu deney elemanının diğer güçlendirilmiş deney elemanlarından farkı sargı üzerinde kullanılan nitelikli sıva, kullanılan kelepçe ve yapay olarak kablonun koparılmasıydı. Yukarıdaki grafiğe bakıldığı zaman iki deney elemanının yük-deplasman zarf eğrilerinin neredeyse üst üste oturduğu görülmektedir. Sargıyı yapay olarak koparmak yükte ani bir düşüş yaşatmamıştır. İleri çevrimlerde referans numunesin daha fazla deplasman değerinde yük almaya devam ettiği de görülmektedir.



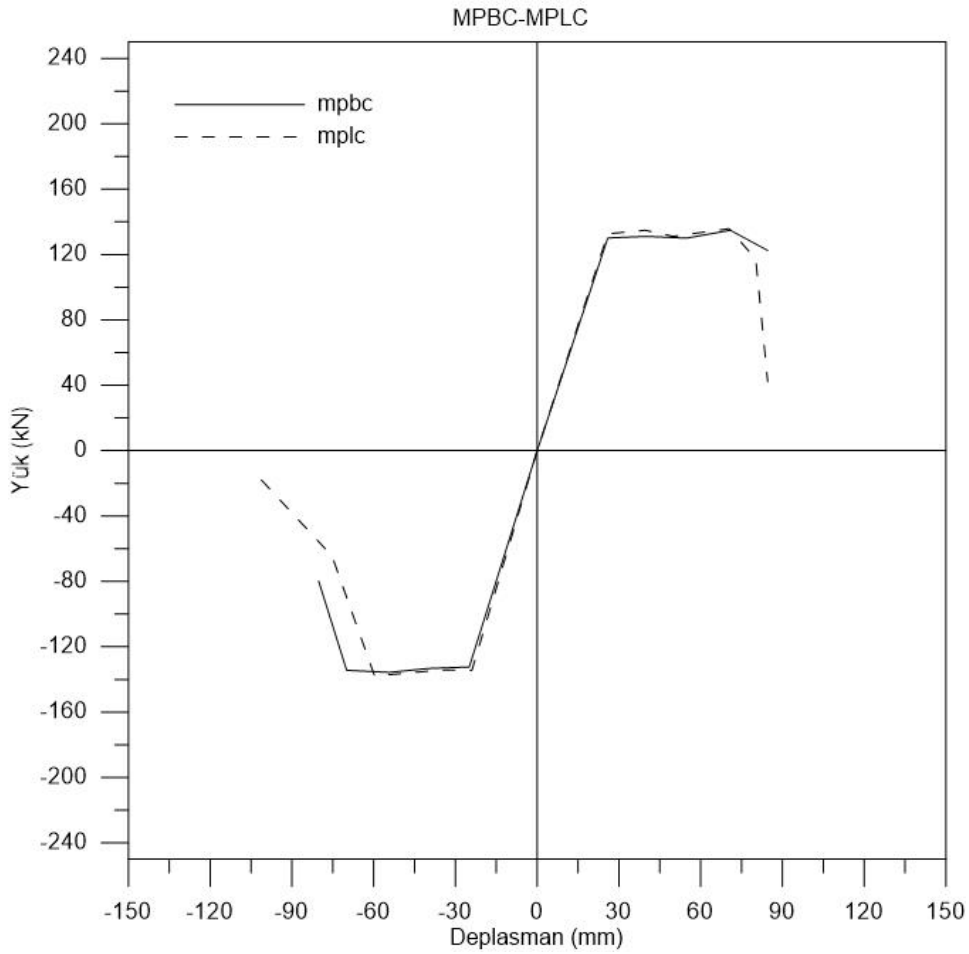
Şekil 5.7. MRB-MPB-MUP zarf eğrileri karşılaştırması

Bu deney elemanlarının diğer güçlendirilmiş deney elemanlarından farkı sargı üzerinde kullanılan nitelikli sıva, niteliksiz sıva kullanılmasıdır. Yukarıdaki grafiğe bakıldığı zaman üç deney elemanının da yük-deplasman zarf eğrilerinin neredeyse üst üste oturduğu görülmektedir. İleri deplasmanlarda referans numunesinde yaşanan yük düşmesi güçlendirilmiş numunelerde yaşanmamaktadır.



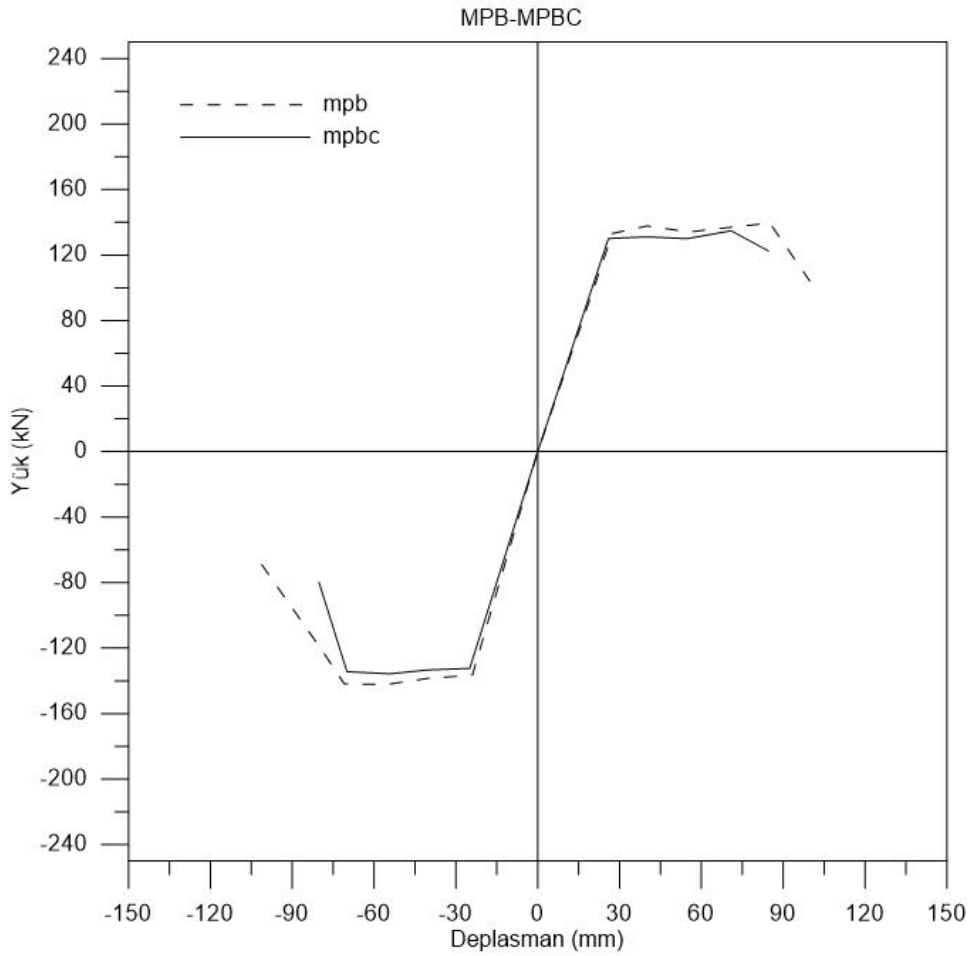
Şekil 5.8. MPB-MPL zarf eğrileri karşılatırması

Bu deney elemanlarının diğer güçlendirilmiş deney elemanlarından farkı, sargı üzerinde kullanılan kelepçedir. MPB numunesinde kelepçe yok, MPL numunesinde kelepçe vardır. Yukarıdaki grafiğe bakıldığı zaman iki deney elemanının da yük-deplasman zarf eğrilerinin neredeyse üst üste oturduğu görülmektedir. Kelepçelerin tam olarak amacına hizmet edemediği görülmektedir. Kelepçelerde sıyrılma problemi yaşanmadığı için kelepçeli numune ile kelepçesiz numune yük deplasman grafikleri arasında farklılıklar oluşmuyor. Kelepçenin betona sabitlenmesi durumunda bir miktar yük artışları gözlemlenebilir.



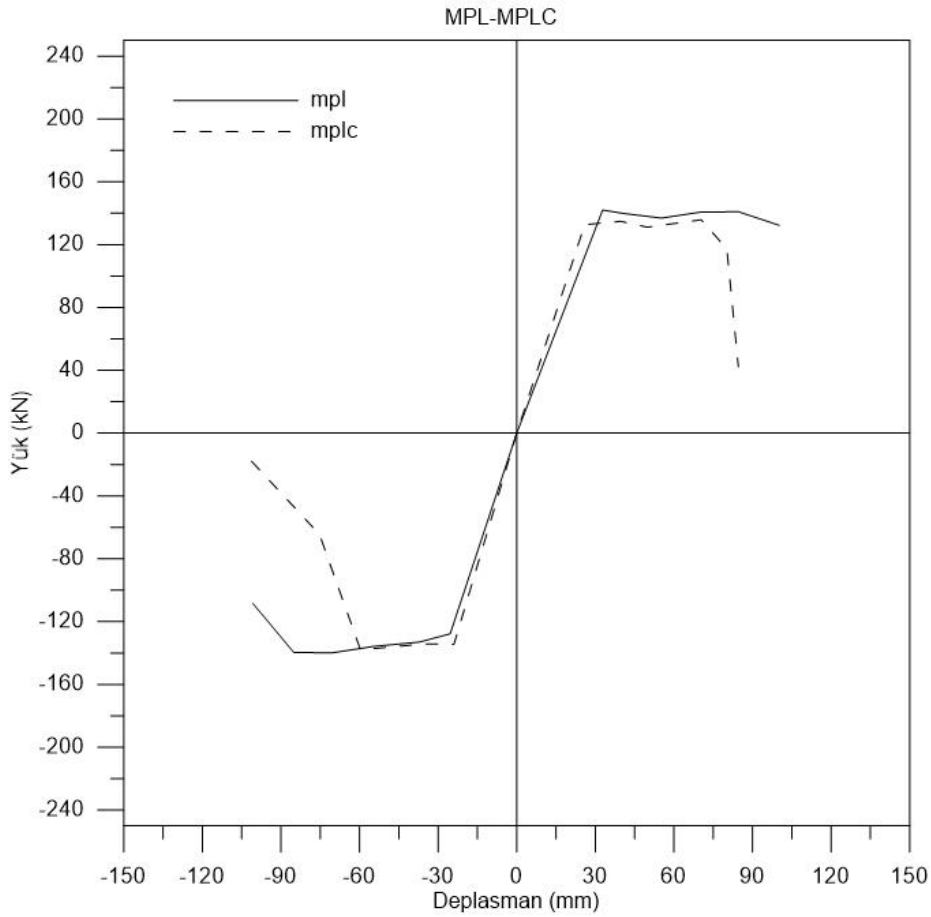
Şekil 5.9. MPBC-MPLC zarf eğrileri karşılatırması

Bu deney elemanlarının diğer güçlendirilmiş deney elemanlarından farkı kelepçeli ve kelepçesiz numunelerin ikisinde de yapay koparmanın olması durumudur. MPBC numunesinde betonun çok dağılmasından ötürü 6. çevrime gidilememiştir. 6. çevrim harici yukarıdaki grafiğe bakıldığı zaman iki deney elemanının da yük-deplasman zarf eğrilerinin neredeyse üst üste oturduğu görülmektedir. Kablo kesminden sonra, kablonun sıyrılmamasından ötürü kelepçelerin tam olarak amacına hizmet edemediği yeniden görülmektedir.



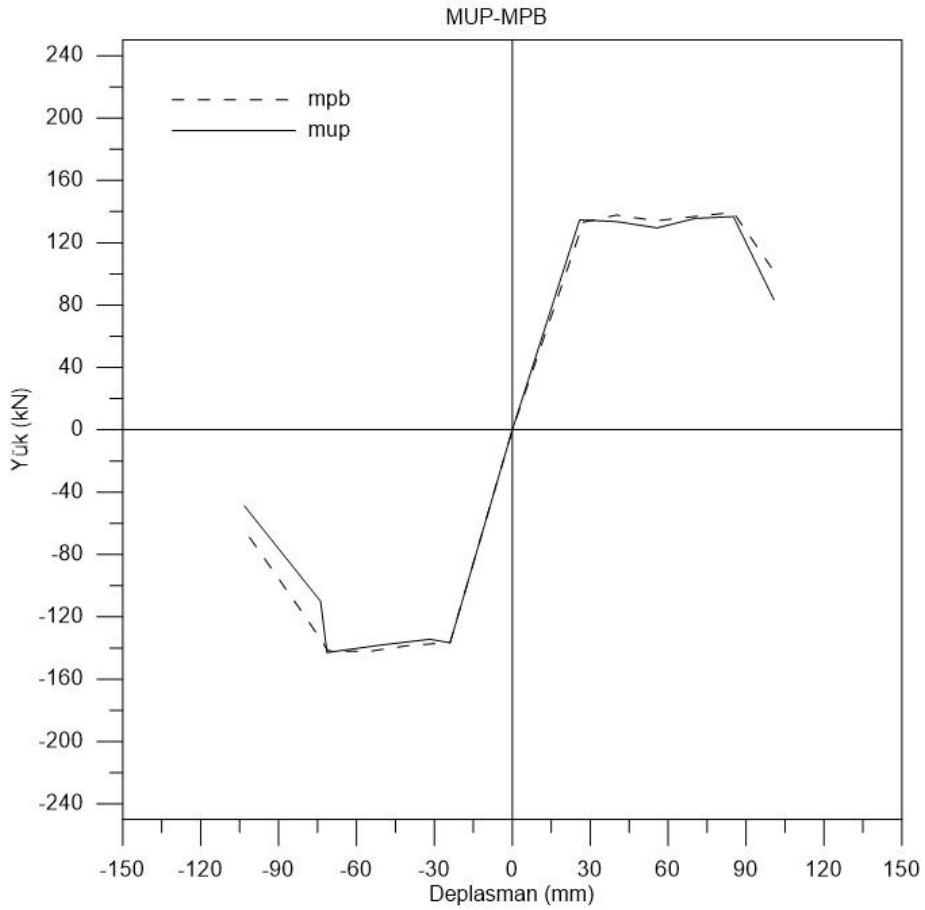
Şekil 5.10. MPB-MPBC zarf eğrileri karşılaştırması

Bu deney elemanlarının diğer güçlendirilmiş deney elemanlarından farkı nitelikli sıva ile güçlendirme ve yapay koparma durumudur. MPBC numunesinde betonun çok dağılmasından ötürü 6. çevrime gidilememiştir. 6. çevrim harici yukarıdaki grafiğe bakıldığı zaman iki deney elemanının da yük-deplasman zarf eğrilerinin neredeyse üst üste oturduğu görülmektedir. Kablo kesiminden sonra, kablonun sıyrılmamasından ötürü kelepçelerin tam olarak amacına hizmet edemediği yeniden görülmektedir.



Şekil 5.11. MPL-MPLC zarf eğrileri karşılatırması

Bu deney elemanlarının diğer güçlendirilmiş deney elemanlarından farkı niteliki sıva ile güçlendirme yapılan kelepçeli numune ve bu numunenin kablosunun yapay koparma durumudur. MPLC numunesinde kablonun kesilmesinden sonra sıvanında dökülmesiyle birlikte kablonun açıldığı ve yükte ciddi düşüş yaşandığı gözlemlenmektedir. Aynı zamanda köşe pahın düzgün açılmamasından ötürü 5. çevrimde kablonun köşede kopması durumu da vardır yeniden yükte ciddi düşüşlere yok açmıştır.



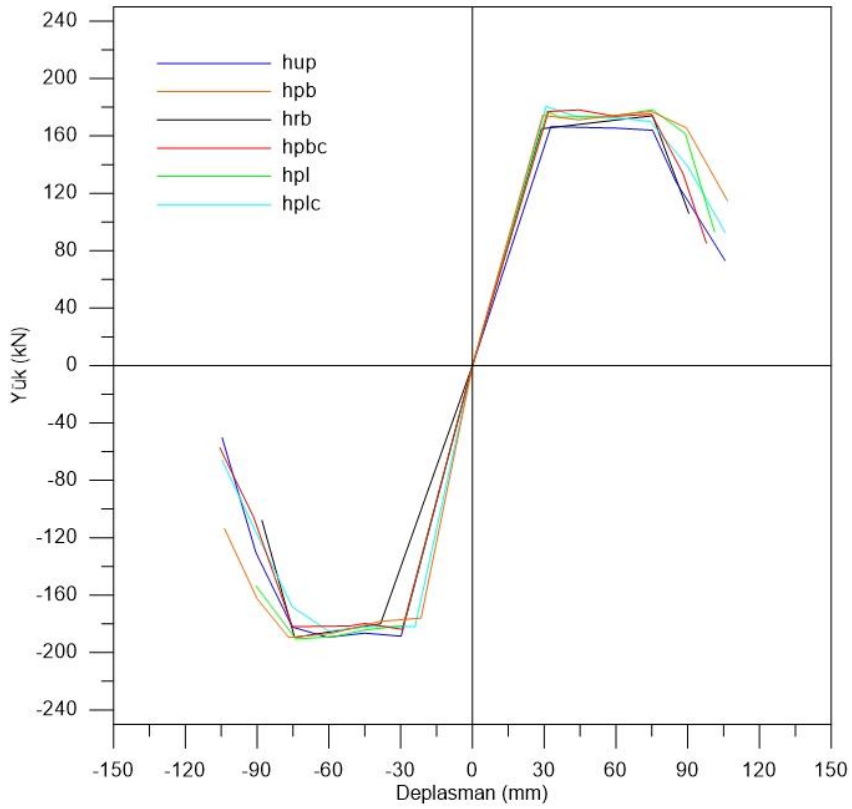
Şekil 5.12. MUP-MPB zarf eğrileri karşılatırması

Bu deney elemanlarının diğer güçlendirilmiş deney elemanlarından farkı MUP numunesinin niteliksiz MPB numunesinin nitelikli sıva ile sıvanmış olmasıdır. Yukarıdaki grafiğe bakıldığı zaman iki deney elemanının yük-deplasman zarf eğrilerinin neredeyse üst üste oturduğu görülmektedir.

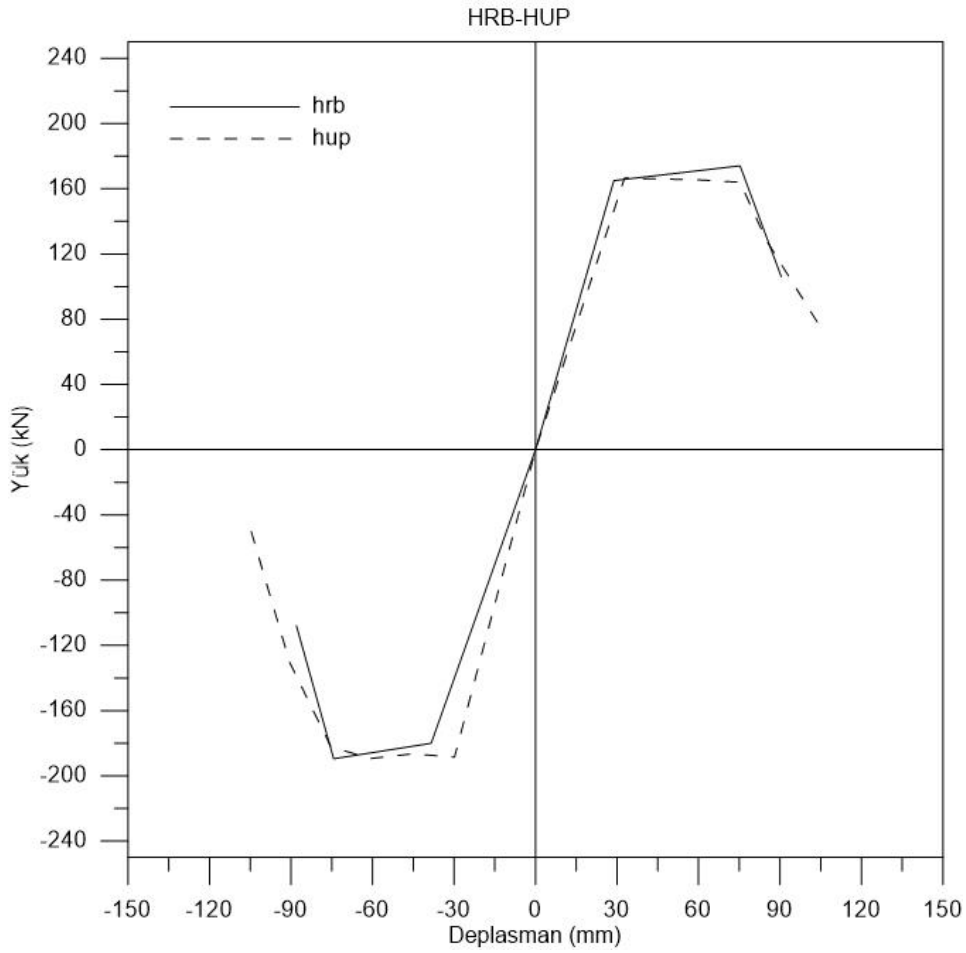
5.3.2. Çok donatılı numunelerin karşılaştırılması

Bu grupta biri referans olmak üzere 6 tane deney elemanı test edilmiştir. Bu gruptaki bütün elemanların (HRB, HUP, HPB, HPBC, HPL, HPLC) eğilme donatıları çekme için 4Ø20, basınç için 4Ø20 olarak tasarlanmıştır. Etriye olarak ise, sadece referans elemanı olan (HRB) deney elemanında Ø8/8 kadar donatı yerleştirilmiştir. Diğer elemanlara ise; kesme açısından yetersiz olabilmesi için aynı donatı çapında fakat seyrek aralıklarla (Ø8/30) etriye yerleştirildiği daha önce anlatılmıştı. Yine bu grupta referans eleman dışında kablo sargısı olarak 10 cm ara ile Ø5'lİk donatı kullanılmıştı, fakat burada hatırlanacağı üzere bazı elemanlarda nitelikli, bazılarında niteliksiz sıva kullanılmış, bazı elemanlarda emniyet kilidi

kullanılmış, bazılarında kullanılmamış. Yine bazı elemanlarda kablo yapay olarak kopartılırken, bazılarında kopartılmadığından bahsedilmişti. Aşağıdaki grafikte (6 deney elemanının üst üste çizildiği) genel olarak 5 deney elemanının referans deney elemanı HRB'ye göre davranışları mukayese edilmiştir. Aşağıdaki grafikte de görüleceği üzere güçlendirilmiş 5 deney elemanının davranışlarının referans numunesine benzediği görülmektedir.

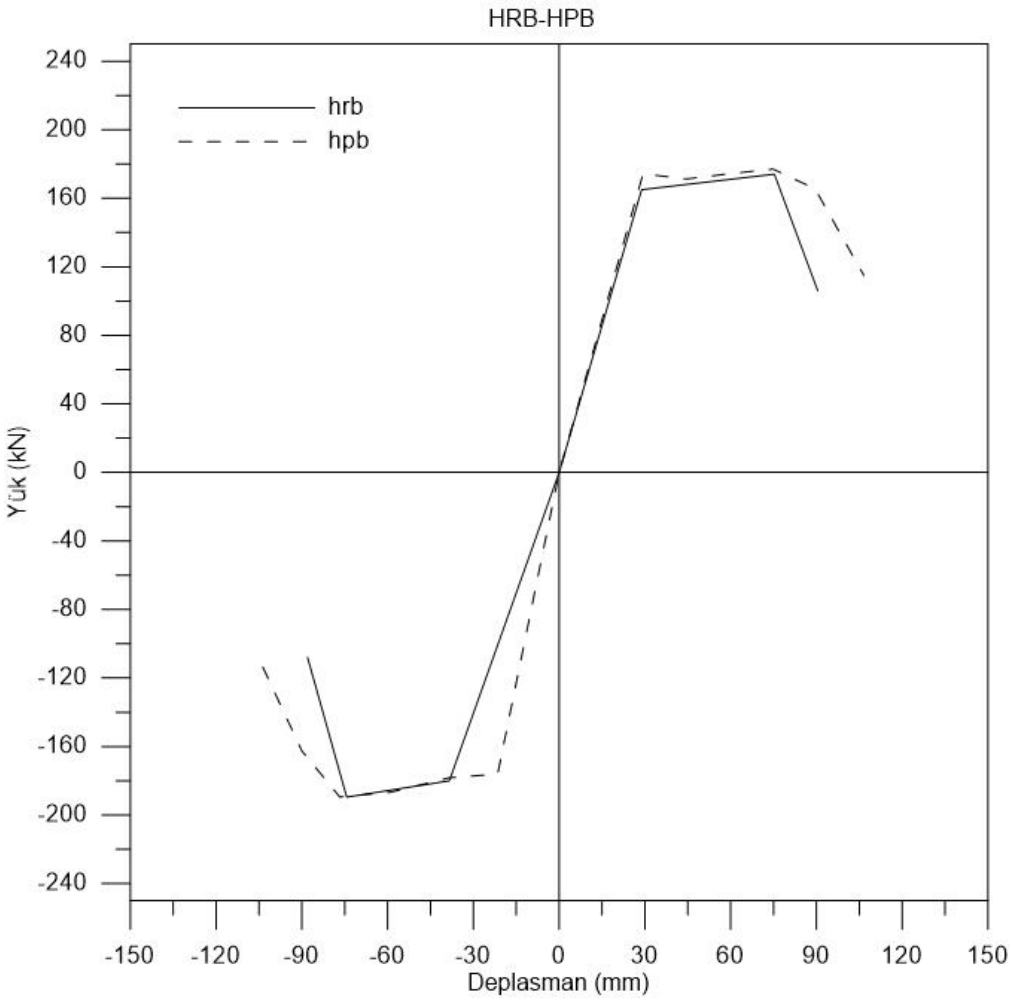


Şekil 5.13. HRB-HUP-HPB-HPBC-HPL-HPLC zarf eğrileri karşılaştırması



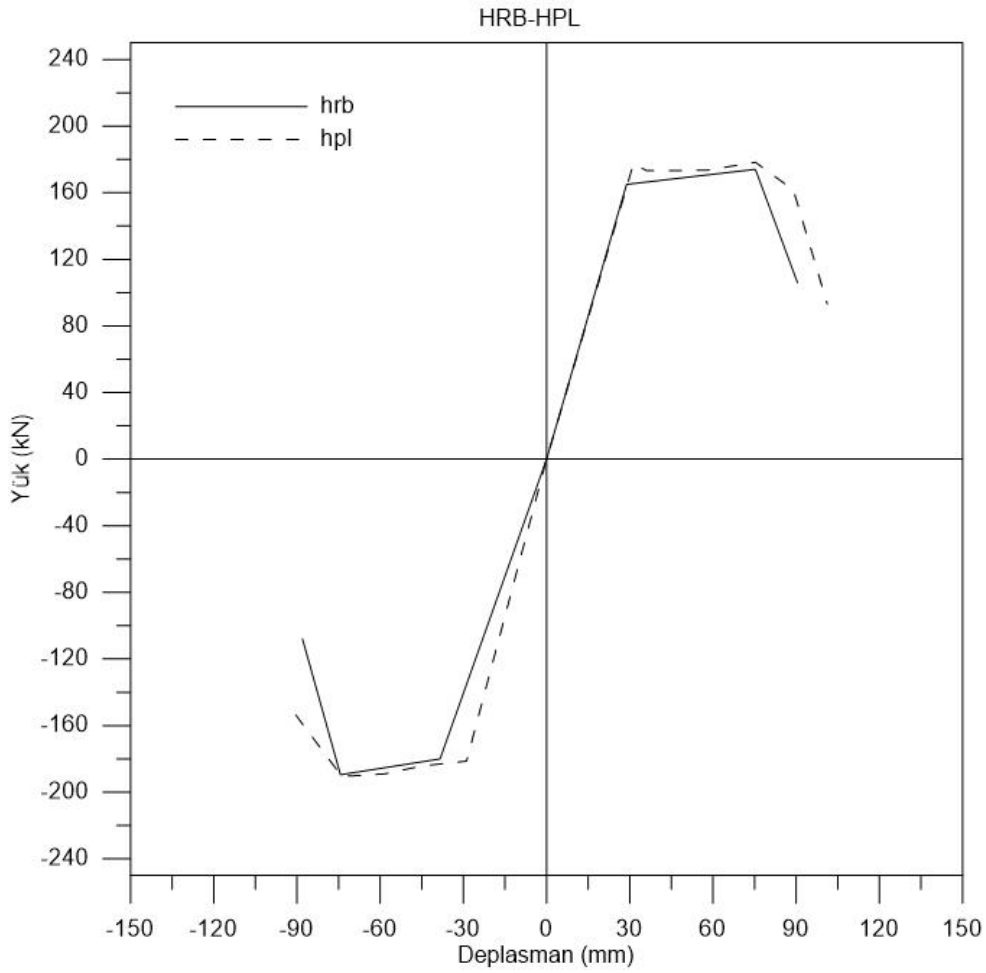
Şekil 5.14. HRB-HUP zarf eğrileri karşılaştırması

Bilindiği üzere HRB referans elemanı iken HUP güçlendirilmiş deney elemanıydı. Bu deney elemanının diğer güçlendirilmiş deney elemanlarından farkı sargı üzerinde kullanılan niteliksiz sıvaydı. Yukarıdaki grafiğe bakıldığı zaman iki deney elemanının yük-deplasman zarf eğrilerinin çok benzer olduğu gözlemlenmektedir. Grafiğe bakıldığı zaman sargı donatısının çok etkin bir biçimde devreye girdiği gözlemlenmektedir. İleri çevrimlerde güçlendirilmiş elemanın referans elemanına göre dayanımında çok az bir artış yaptığı da görülmektedir.



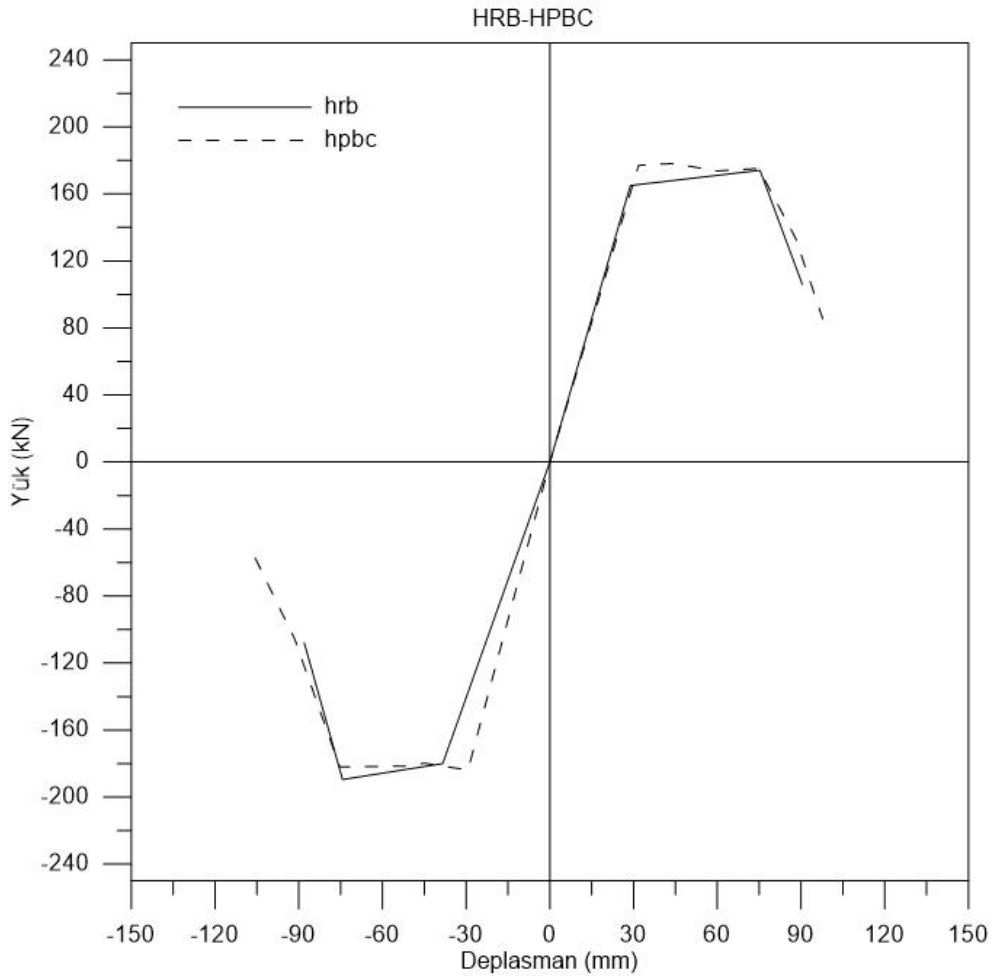
Şekil 5.15. HRB-HPB zarf eğrileri karşılaştırması

Bu deney elemanının diğer güçlendirilmiş deney elemanlarından farkı sargı üzerinde kullanılan nitelikli sıvaydı. Yukarıdaki grafiğe bakıldığı zaman iki deney elemanının yük-deplasman zarf eğrilerinin neredeyse üst üste oturduğu görülmektedir. Grafiğe bakıldığı zaman sargı donatısının çok etkin bir biçimde yük taşıdığı gözlemlenmektedir. Güçlendirilmiş numunenin de yüksek deplasman değerlerinde daha iyi yük taşıdığı da gözlemlenmektedir.



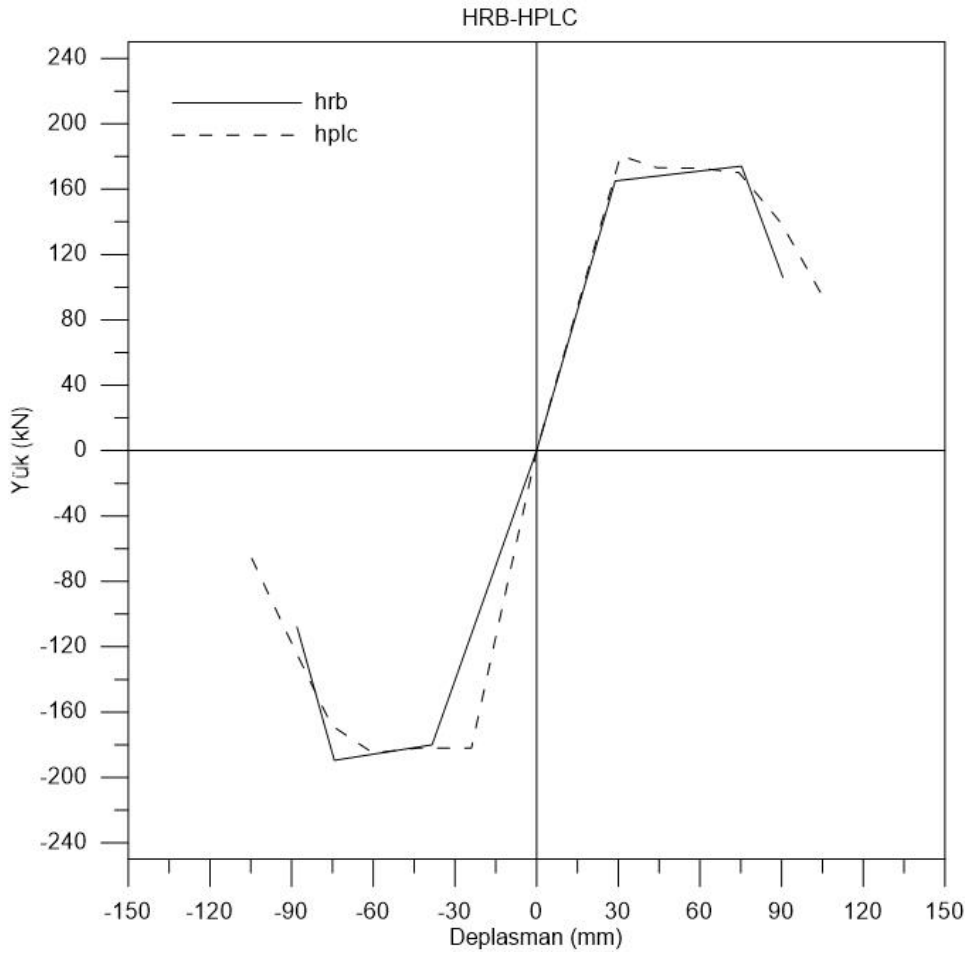
Şekil 5.16. HRB-HPL zarf eğrileri karşılaştırması

Bu deney elemanlarının diğer güçlendirilmiş deney elemanlarından farkı, sargı üzerinde kullanılan kelepçedir. HPB numunesinde kelepçe yok, HPL numunesinde kelepçe olmasıdır. Yukarıdaki grafiğe bakıldığı zaman iki deney elemanının da yük-deplasman zarf eğrilerinin neredeyse üst üste oturduğu görülmektedir. Kelepçelerin tam olarak amacına hizmet edemediği görülmektedir. Kelepçelerde sıyrılma problemi yaşanmadığı için kelepçeli numune ile kelepçesiz numune yük deplasman grafikleri arasında farklılıklar oluşmuyor. Az donatılı numunelerde söylendiği gibi kelepçenin betona sabitlenmesi durumunda bir miktar yük artışları gözlemlenebilir.



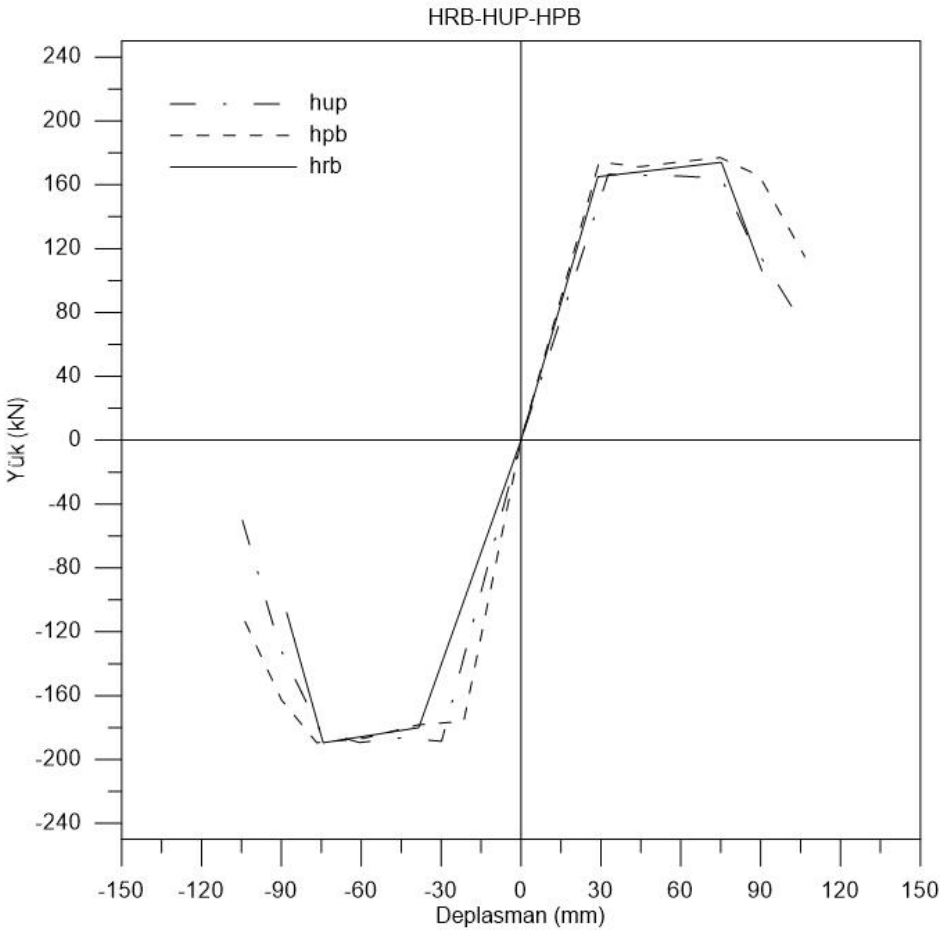
Şekil 5.17. HRB-HPBC zarf eğrileri karşılaştırması

Bu deney elemanının diğer güçlendirilmiş deney elemanlarından farkı, sargı üzerinde kullanılan nitelikli sıva ve yapay olarak kablonun koparılmasıydı. Yukarıdaki grafiğe bakıldığı zaman iki deney elemanının yük-deplasman zarf eğrilerinin neredeyse üst üste oturduğu görülmektedir. İlk çevrimlerde güçlendirilmiş numunenin daha fazla yük taşıdığı görülmektedir. Sargıyı yapay olarak koparmak yükte ani bir düşüş yaşatmamıştır. Ani düşüş olmamasının nedeni yapılan pahlardan geçen kablonun sürtünme kuvveti ile hareket etmemesi ve yük almaya devam etmesidir.



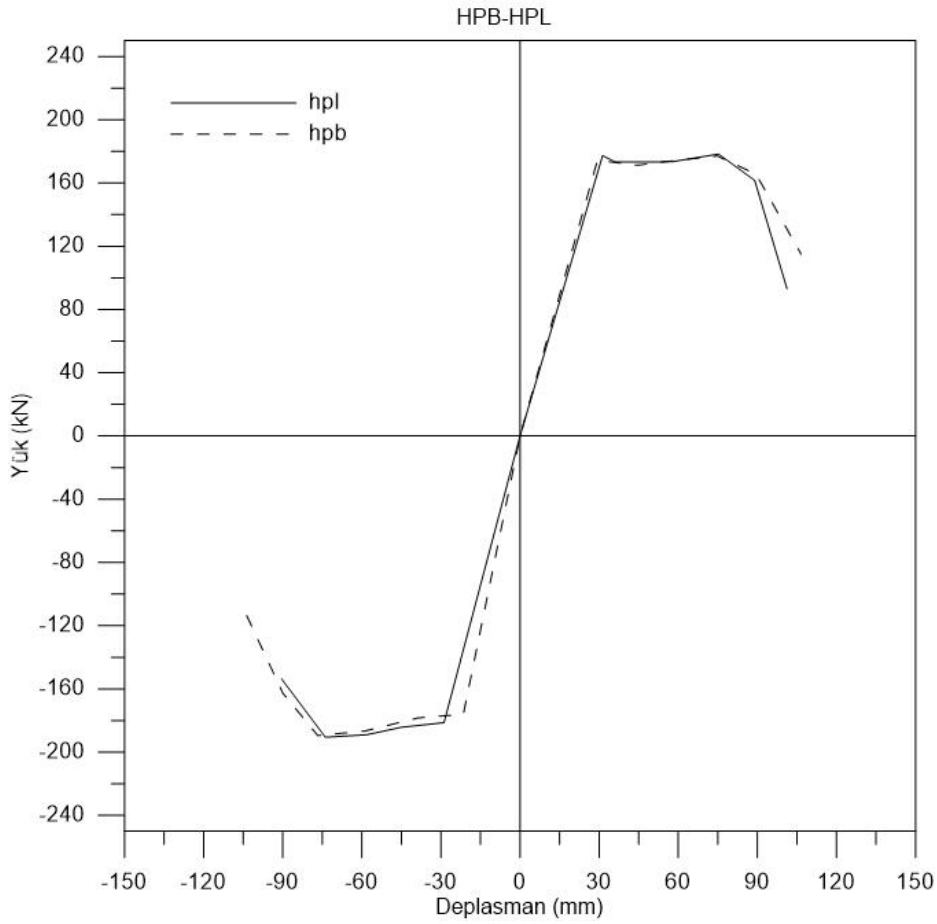
Şekil 5.18. HRB-HPLC zarf eğrileri karşılaştırması

Bu deney elemanının diğer güçlendirilmiş deney elemanlarından farkı sargı üzerinde kullanılan nitelikli sıva, kullanılan kelepçe ve yapay olarak kablonun koparılmasıydı. Yukarıdaki grafiğe bakıldığı zaman iki deney elemanının ileri çevrimde yük-deplasman zarf eğrilerinin neredeyse üst üste oturduğu, geri çevrimde de güçlendirilmiş numunenin referansa göre akma dayanımında daha az deformasyon yaptığı görülmektedir. Güçlendirilmiş numune geri çevrimde yük değerinin düşmesine daha düşük deplasmanda ulaşmıştır. Bunun nedeni kablonun zamanla yükleme altında gevşemesi olmuştur.



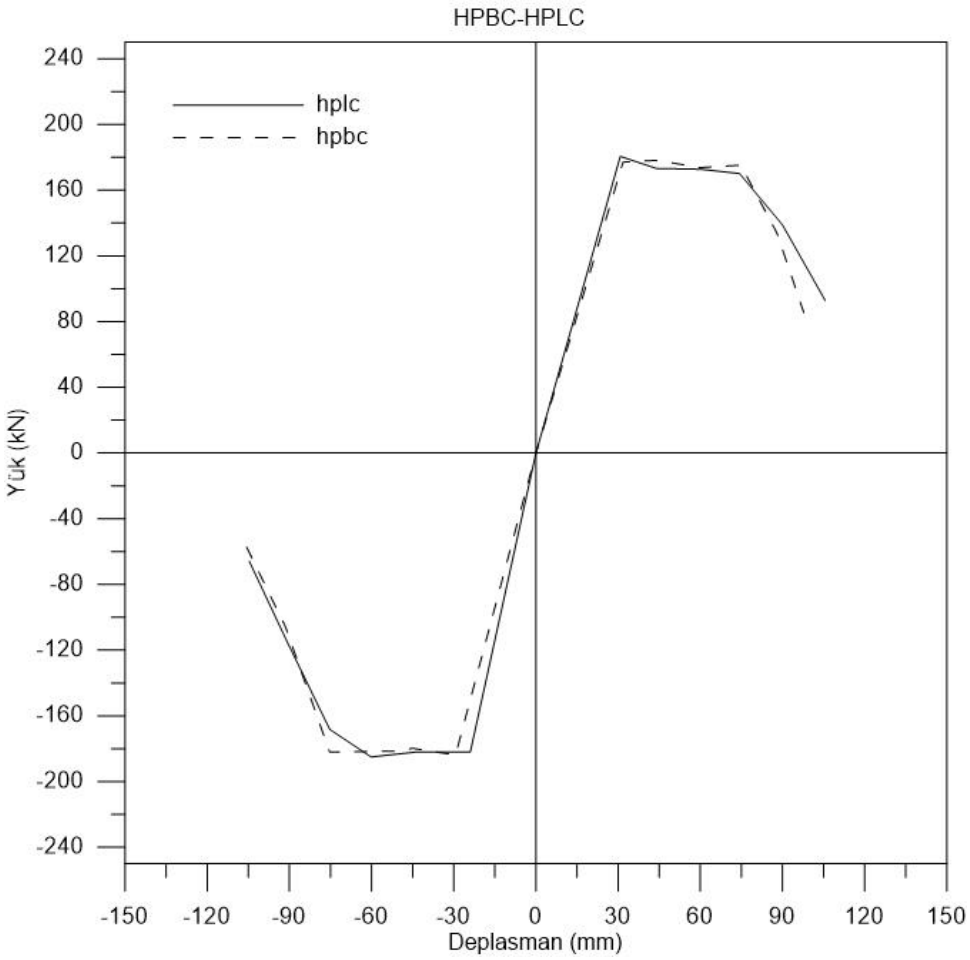
Şekil 5.19. HRB-HUP-HPB zarf eğrileri karşılaştırması

Bu deney elemanlarının diğer güçlendirilmiş deney elemanlarından farkı sargı üzerinde kullanılan nitelikli sıva, niteliksiz sıva kullanılmasıdır. Yukarıdaki grafiğe bakıldığı zaman üç deney elemanının da yük-deplasman zarf eğrilerinin çok benzer davranışlar sergilediği görülmektedir. Nitelikli sıva ile güçlendirilmiş HPB numunesin, referans numunesi olan HRB ve niteliksiz sıva ile güçlendirilmiş HUP numunesine göre daha büyük deplasmanlarda yük düşmesine başladığı ve daha yüksek dayanımlara ulaştığı gözlemlenmiştir.



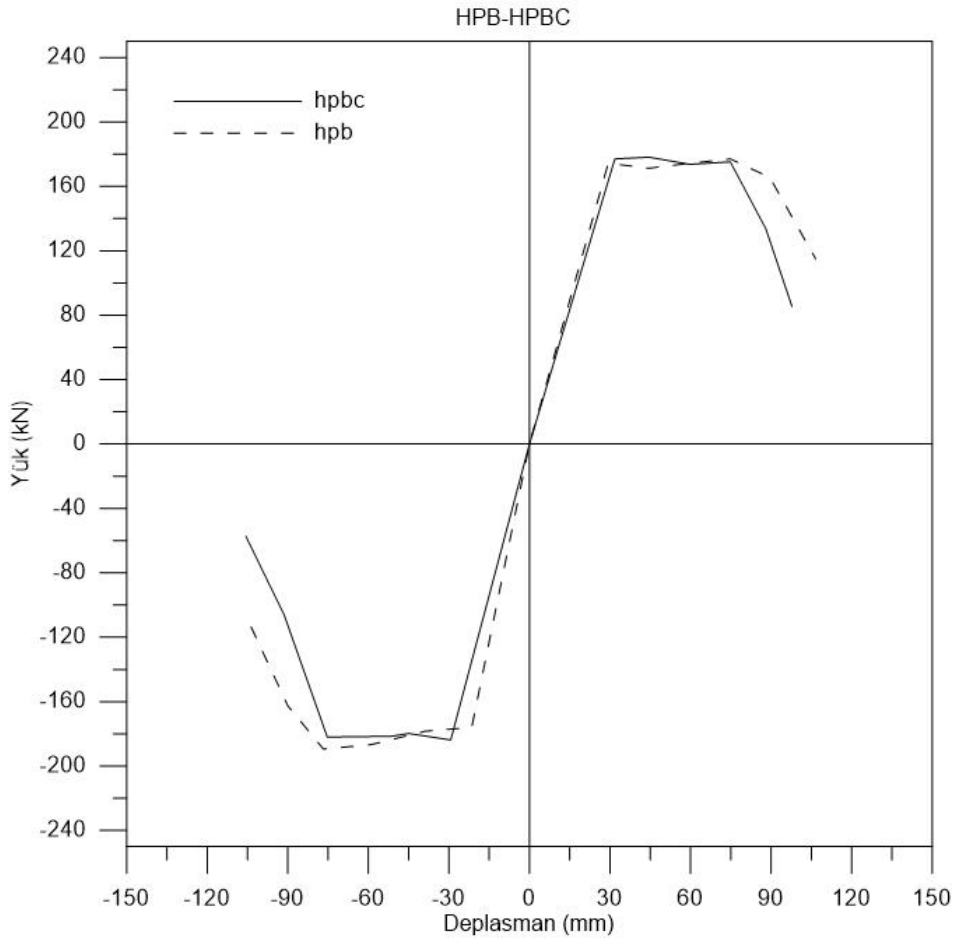
Şekil 5.20. HPB-HPL zarf eğrileri karşılaştırması

Bu deney elemanlarının diğer güçlendirilmiş deney elemanlarından farkı, sargı üzerinde kullanılan kelepçedir. HPB numunesinde kelepçe yok, HPL numunesinde kelepçe vardır. Yukarıdaki grafiğe bakıldığı zaman iki deney elemanının da yük-deplasman zarf eğrilerinin neredeyse üst üste oturduğu görülmektedir. Kelepçelerin tam olarak amacına hizmet edemediği görülmektedir. Kelepçelerde sıyrılma problemi yaşanmadığı için kelepçeli numune ile kelepçesiz numune yük deplasman grafikleri arasında farklılıklar oluşmuyor.



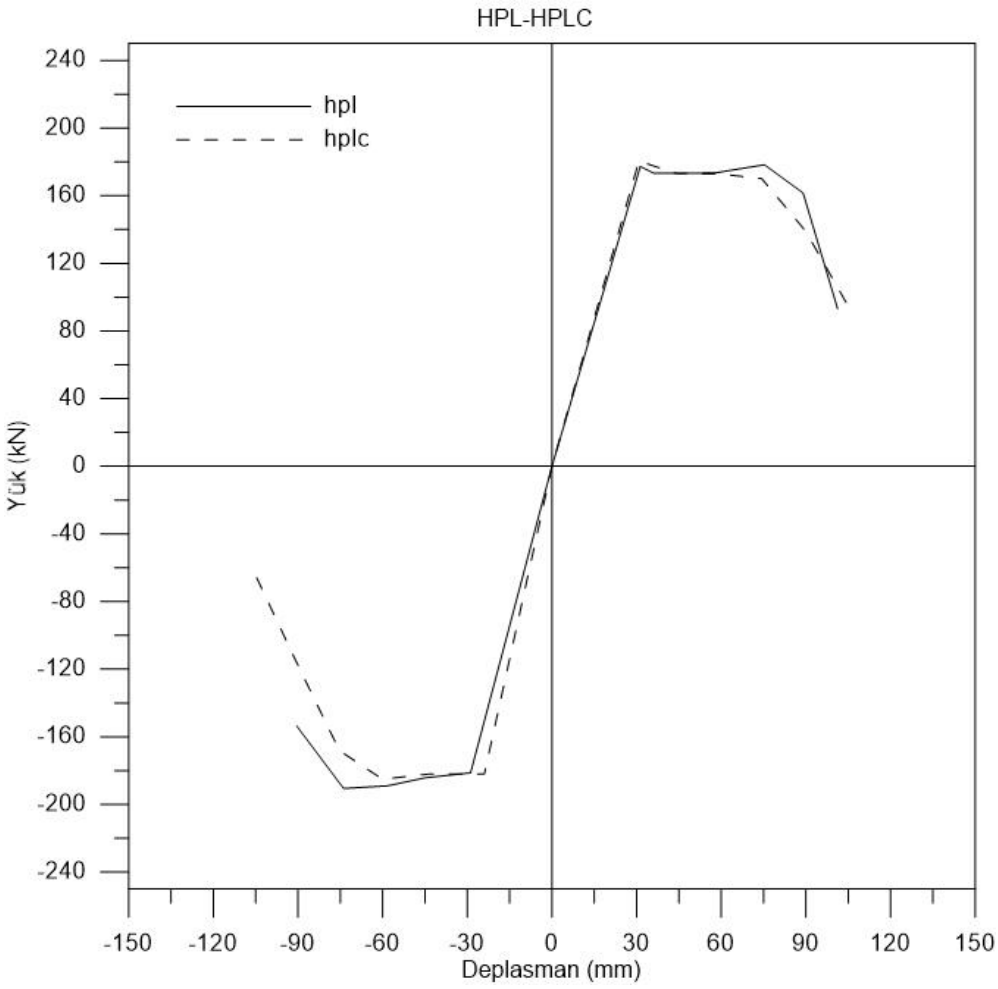
Şekil 5.21. HPBC-HPLC zarf eğrileri karşılaştırması

Bu deney elemanlarının diğer güçlendirilmiş deney elemanlarından farkı kelepçeli ve kelepçesiz numunelerin ikisinde de yapay koparmanın olması durumudur. 6. çevrim harici yukarıdaki grafiğe bakıldığı zaman iki deney elemanının da yük-deplasman zarf eğrilerinin neredeyse üst üste oturduğu görülmektedir. Kablo kesiminden sonra, kablonun sıyrılmamasından ötürü kelepçelerin tam olarak amacına hizmet edemediği yeniden görülmektedir.



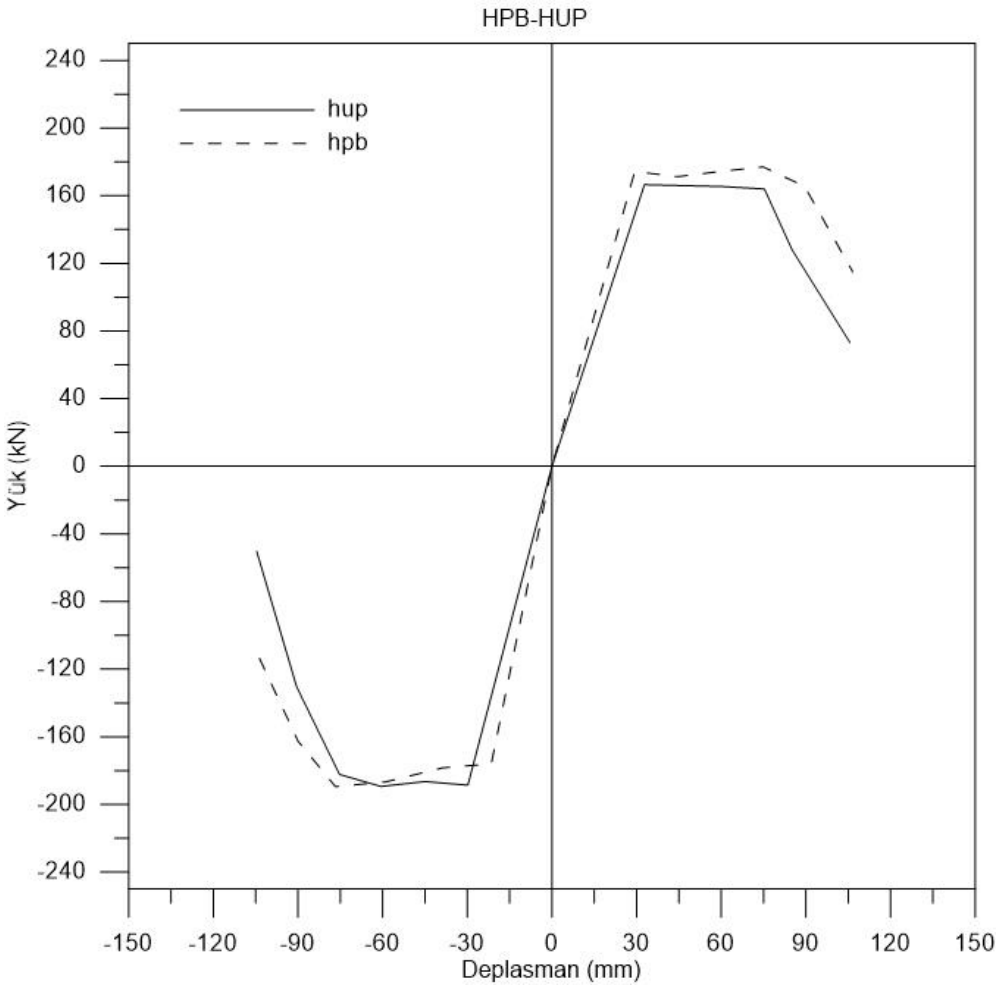
Şekil 5.22. HPB-HPBC zarf eğrileri karşılaştırması

Bu deney elemanlarının diğer güçlendirilmiş deney elemanlarından farkı nitelikli sıva ile güçlendirme ve yapay koparma durumudur. 6. çevrim harici yukarıdaki grafiğe bakıldığı zaman iki deney elemanının da yük-deplasman zarf eğrilerinin neredeyse üst üste oturduğu görülmektedir. Kablonun kesildiği HPBC numunesinin yük düşüşüne daha erken deplasman değerinde başladığı görülmektedir.



Şekil 5.23. HPL-HPLC zarf eğrileri karşılaştırması

Bu deney elemanlarının diğer güçlendirilmiş deney elemanlarından farkı niteliki sıva ile güçlendirme yapılan kelepçeli numune ve bu numunenin kablosunun yapay koparmanın olmasıdır. Yukarıdaki grafiğe bakıldığı zaman iki deney elemanının da yük-deplasman zarf eğrilerinin neredeyse üst üste oturduğu görülmektedir. Kablo koparıldıktan sonra sürtünme kuvveti ile kablo betona tutunmaya devam ettiği için yük deplasman zarf eğrileri arasında herhangi bir fark olmamıştır.



Şekil 5.24. HUP-HPB zarf eğrileri karşılatırması

Bu deney elemanının diğer güçlendirilmiş deney elemanlarından farkı HUP numunesinin niteliksiz, HPB numunesinin nitelikli sıva ile güçlendirmesidir. Yukarıdaki grafiğe bakıldığı zaman nitelikli sıva ile güçlendirilmiş HPB numunesi, niteliksiz sıva ile güçlendirilen HUP numunesine göre daha fazla yük taşımıştır ve yük düşüşüne daha büyük deplasaman değerlerinde ulaşmıştır.

5.4. Süneklik

Tüm deney elemanları yukarıda gösterildiği üzere referans kadar dayanıma ulaştı. Dayanım kadar önemli bir konuda bu yükü ne kadar koruyabildiği yani ne kadar sünek davradığıdır. Bu çalışmada süneklik oranı zarf eğrileri üzerinde ulaşılan en büyük yükün %15 dayanım kaybettiği noktadaki deplasman değerinin, akma anındaki deplasman değerine oranı olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.5. Az donatılı deney numunelerinin süneklikleri

Numuneler	İleri Çevrim	Geri Çevrim	$\frac{\text{Numune}_{\text{ileri}}}{\text{Referans}_{\text{ileri}}}$	$\frac{\text{Numune}_{\text{geri}}}{\text{Referans}_{\text{geri}}}$
MRB	3,60	3,84	1,00	1,00
MPB	3,46	3,36	0,96	0,88
MPBC	4,00	2,78	1,11	0,72
MPL	3,58	3,88	0,99	1,01
MPLC	3,04	2,48	0,84	0,65
MUP	3,41	3,00	0,95	0,78

Çizelge 5.6. Çok donatılı deney numunelerinin süneklikleri

Numuneler	İleri Çevrim	Geri Çevrim	$\frac{\text{Numune}_{\text{ileri}}}{\text{Referans}_{\text{ileri}}}$	$\frac{\text{Numune}_{\text{geri}}}{\text{Referans}_{\text{geri}}}$
HRB	2,83	2,16	1,00	1,00
HPB	3,10	4,23	1,10	1,96
HPBC	2,58	2,86	0,91	1,33
HPL	2,88	3,17	1,02	1,47
HPLC	2,63	3,20	0,93	1,48
HUP	2,50	2,83	0,88	1,31

Çok donatılı referans numunesi(HRB) az donatılı referans numunesine göre daha az sünek davranış göstermiştir.

5.5. Enerji Tüketimi

Enerji tüketimleri her çevrim için yük deplasman eğrisi altında alan hesaplanarak bulunmuştur. Bu alanlar kümülatif toplanarak hesaplanmıştır.

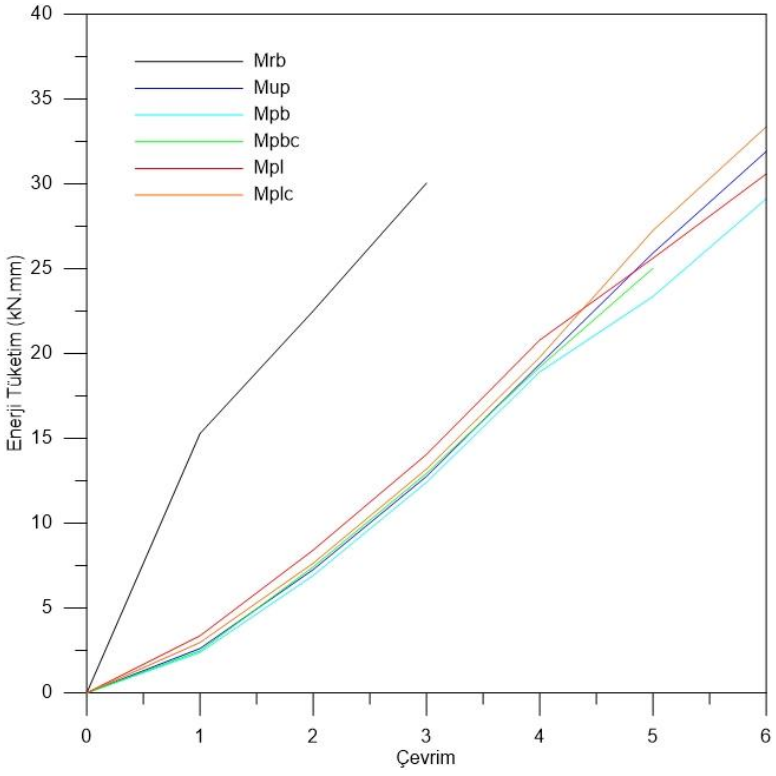
Çizelge 5.6. Az donatılı deney numunelerinin enerji tüketimleri

Numuneler	E1	E2	E3	E4	E5	E6
MRB	15,29	22,52	30,05			
MUP	2,62	7,27	12,76	19,38	25,93	31,92
MPB	2,38	6,93	12,42	18,92	23,37	29,13
MPBC	2,48	7,43	12,94	19,21	25,03	
MPL	3,37	8,42	14,06	20,8	25,62	30,59
MPLC	2,97	7,65	13,2	19,79	27,26	33,37

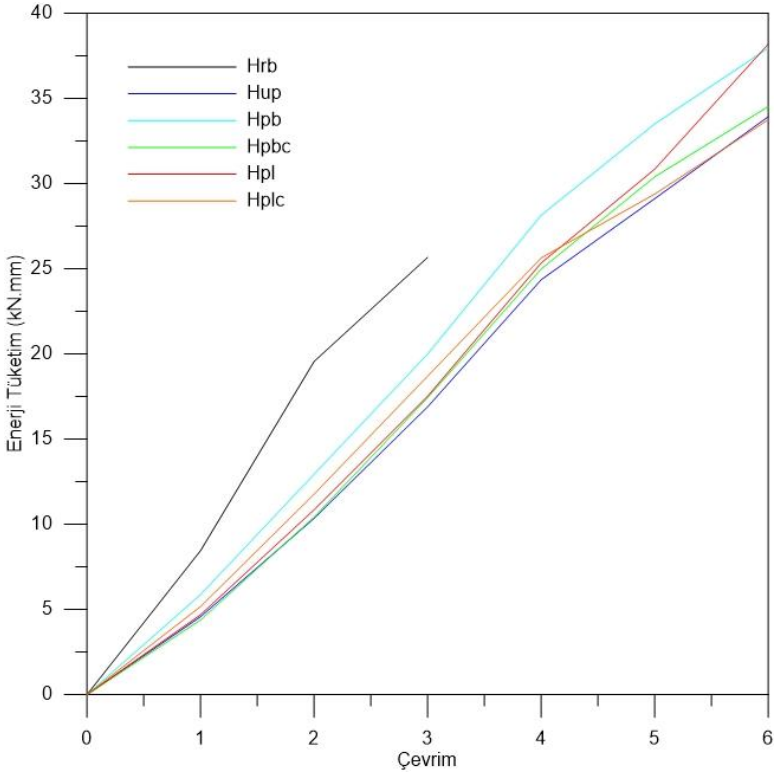
Çizelge 5.7. Çok donatılı deney numunelerinin enerji tüketimleri

Numuneler	E1	E2	E3	E4	E5	E6
HRB	8,45	19,56	25,67			
HUP	4,57	10,35	16,9	24,36	29,12	33,93
HPB	5,87	12,94	20	28,15	33,51	37,96
HPBC	4,38	10,42	17,44	24,99	30,4	34,53
HPL	4,69	10,85	17,52	25,34	30,85	38,19
HPLC	5,17	11,77	18,7	25,64	29,39	33,75

Çok donatılı numuneler az donatılı numunere göre daha fazla enerji tüketmiştir. Az ve çok donatılı numunelerde kelepçeli numuneler kelepçesizler ile hemen hemen aynı enerjileri tüketmiştir. Kablo koparmasının test edildiği numuneler koparılmayanlara göre yaklaşık %10 daha az enerji tüketmiştir. Az donatılı güçlendirilmiş numuneler referans ile yaklaşık aynı enerji tüketimine sahip olmuştur. Çok donatılı numunelerde ise güçlendirilmiş numuneler referansa göre daha fazla enerji tüketmiştir.



Şekil 5.25. Az donatılı numunelerin enerji tüketimleri



Şekil 5.26. Çok donatılı numunelerin enerji tüketimleri

5.6. Eğilme Rijitliği

Deney numunelerinin rijitlik değişimlerini belirlemek için ileri ve geri çevrimlerdeki eğilme rijitlikleri bulunmustur. Teoride eğilme rijitligi moment-eğrilik ilişkisidir. Ancak betonarmenin davranışında oluşabilecek farklılıklar nedeniyle bu ilişki kullanılmamıstır. Bunun yerine egilme rijitliginin bir ölçüsü olarak hesaplarda daha gerçekçi olan yük-deplasman grafiklerinin eğimleri kullanılmıştır. Eğrilik ile momentin, yük ve net deplasmana bağlı degerler oldugundan bu yöntemle de rijitlik hesaplanabilmektedir. Normalde her çevrimde hesaplanan rijitliğin, o ana kadar ileri ve geri yönde yapılmıs olan deformasyonların mutlak değerce kümülatif toplamına göre çizilmesi gerekmektedir. Ancak tüm deney elemanlarında deplasman kontrollü yükleme yapılmıs, onarımdan önce ve onarımdan sonra aynı deplasmanlar yaptırılmıstır. Bu nedenle egilme rijitligi ölçüsünün degisimi, kümülatif deplasmanlar yerine, basitçe çevrim sayısına göre çizilmiştir.

Çizelge 5.8. Az donatılı numunelerin eğilme rijitliği

	MRB		MUP		MPB		MPBC		MPL		MPLC	
	İleri	Geri	İleri	Geri	İleri	Geri	İleri	Geri	İleri	Geri	İleri	Geri
1. Çevrim	2,9	1,53	2,74	2,35	2,9	3,07	2,9	2,6	2,9	2,6	2,9	2,9
2. Çevrim	1,73	-	2,6	2,2	3,48	2,74	2,74	2,47	2,47	2,47	3,27	2,9
3. Çevrim	1,15	0,86	1,96	1,88	2,14	1,88	1,96	1,73	2,14	1,88	2,14	1,8
4. Çevrim	0,28	0,12	1,37	1,54	2,1	1,6	1,6	1,42	1,48	1,32	2,05	1,53
5. Çevrim			1,19	0,93	1,37	1,07	1,23	0,83	1,19	1,15	1,15	0,46
6. Çevrim			0,51	0,19	0,83	0,42			1	0,83	0,23	0,08

Az donatılı numunelerde neredeyse tüm numunerin 1. çevrimleri, referans ile aynı eğilme rijitliği değerine sahiptir. 2. ve geri kalan çevrimde ise güçlendirilmiş numuneler referans numunesine göre daha yüksek eğilme rijitliği değerine sahip olmuştur. Bunun nedeni ise deplasman kontrolünün güçlendirilmiş numune ile referans numunesinde farklı olmasından kaynaklı olduğu varsayılmıştır.

MUP(niteliksiz sıva) numunesi ile MPB(nitelikli sıva) numunesine bakıldığında MPB numunesinin eğilme rijitliğinin daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Bunun nedeni ise MPB numunesinde nitelikli sıvanın yapılıp, MUP numunesinde niteliksiz sıvanın kullanmasından kaynaklı olduğudur. Sıvanın nitelikli olması eğilme rijitliğinde artışa sebep olmuştur.

MPB(kelepçesiz) ve MPL(kelepçeli) numunesinin rijitlik değerlerine bakıldığında, 1. ve 3. çevrimde aynı rikitlik değeri, 2, 4 ve 5. çevrimlerde ise %40 oranında MPB numunesinin daha fazla rijitliğe sahip olduğu görülmüştür. Burada MPL numunesinin daha fazla rijitliğe sahip olmamasının nedeni kelepçelerin gerektiği işlevde iş yapamamasından kaynaklı olduğu varsayılmıştır.

MPB (kelepçesiz, yapay koparma yok) ve MPBC(kelepçesiz, yapay koparma var) numunelerine bakıldığında rijitlik değerlerinin son çevrimler hariç çok benzer değerde geldiği görülmüştür. Bunun nedeni koparılan kablonun son çevrime kadar gevşememesi, sürtünme ile köşe paha tutunabilmesidir.

MPL (kelepçeli, yapay koparma yok) ve MPLC (kelepçeli, yapay koparma var) numunelerine bakıldığında mpb ve mpbc davranışlarına çok benzer davranış sergilemiştir.

2. ve 4. Çevrimde görülen rijitlik değişimi deney esnasında tahmin edilemeyen beton davranışından olduğu varsayılmıştır.

Çizelge 5.9. Çok donatılı numunelerin eğilme rijitliği

	HRB		HUP		HPB		HPBC		HPL		HPLC	
	İleri	Geri	İleri	Geri	İleri	Geri	İleri	Geri	İleri	Geri	İleri	Geri
1. Çevrim	3,48	2,24	2,9	3,07	3,48	3,48	3,48	3,48	3,27	3,27	2,9	2,6
2. Çevrim	1,8	1,8	3,07	2,9	3,07	3,07	4,01	3,48	3,07	3,07	2,74	2,24
3. Çevrim	1,6	0,57	2,14	2,24	2,35	2,74	2,35	3,07	2,47	2,47	2,47	1,8
4. Çevrim			1,88	1,73	1,73	1,8	2,14	2,05	1,8	1,96	1,6	1,23
5. Çevrim			0,96	0,93	1,23	1,19	1,23	1,27	1,32	1,6	0,96	0,9
6. Çevrim			0,46	0,24	0,78	0,7	0,62	0,38	0,57		0,64	0,55

Çok donatılı numunelerde 1. Çevrimlerde referans numunesi HPB ve HPBC numunesi ile aynı, geri kalanından ise daha yüksek rijitliğe sahip olduğu görülmüştür. 2. ve geri kalan çevrimde ise güçlendirilmiş numuneler referans numunesine göre daha yüksek eğilme rijitliği değerine sahip olmuştur. Bunun nedeni ise deplasman kontrolünün güçlendirilmiş numune ile referans numunesinde farklı olmasından kaynaklı olduğu varsayılmıştır.

HUP(niteliksiz sıva) numunesi ile HPB(nitelikli sıva) numunesine bakıldığında HPB numunesinin eğilme rijitliğinin daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Bunun nedeni ise HPB numunesinde nitelikli sıvanın yapılıp, HUP numunesinde niteliksiz sıvanın kullanmasından kaynaklı olduğudur. Sıvanın nitelikli az donatılı numunelerde olduğu gibi eğilme rijitliğinde artışa sebep olmuştur.

HPB(kelepçesiz) ve HPL(kelepçeli) numunesinin rijitlik değerlerine bakıldığında rijitlik değerlerinin çok benzer değerlerde olduğu görülmüştür. Burada HPL(kelepçeli) numunesinin daha fazla rijitliğe sahip olmamasının nedeni kelepçelerin gerektiği işlevde iş yapamamasından kaynaklı olduğu varsayılmıştır.

HPB (kelepçesiz, yapay koparma yok) ve HPBCc(kelepçesiz, yapay koparma var) numunelerine bakıldığında HPBC numnesinin 2. Çevriminde ciddi bir artış olduğu gözlemlenmiştir. Bu artışın numuneler arasındaki farklara ve deneyin yapıldığı ana bakıldığında anlamlı olmadığı gözlemlenmiştir. Geri kalan çevrimlerde son çevrimler hariç

çok benzer değerde geldiği görülmüştür. Bunun nedeni koparılan kablonun son çevrime kadar gevşememesi, sürtünme ile köşe paha tutunabilmesidir.

HPL (kelepçeli, yapay koparma yok) ve HPLC (kelepçeli, yapay koparma var) numunelerine bakıldığında HPLC numnesinin işçilik veya deney esnasında öngörülemeyen bir nedenden dolayı daha düşük eğilme rijitliğine sahip olduğu varsayılmıştır. 5. çevrimde HPL numunesinde kopan kabloya rağmen eğilme rijitliği diğer nitelikli sıva ile güçlendirilen HPB ve HPBC numunelerinden daha düşük gelmemiştir. Bu kopma etkisini son çevrimde %10-%20 arasında eğilme rijitliğindeki düşüş olarak göstermiştir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Betonarme kirişlerin kesmeye karşı güçlendirilmesi ihtiyacı sıklıkla karşılaşılan bir problemdir. Betonarme kirişlerin, kesmeye çelik kablolarla kesintisiz sargı yapılarak güçlendirmesiyle farklı bir bakış açısı getirmek istenmiş ve gelecekte yapılacak diğer çalışmalşara da ışık tutması ümit edilmiştir. Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yapı Mekaniği Laboratuvardında, sınırlı sayıda deney elemanının test edilmesiyle ulaşılan sonuçlar aşağıda belirtilmiştir.

1) Uygulanan yöntemle, ister az eğilme donatılı isterse çok eğilme donatılı betonarme kiriş olsun, farklı özelliklere sahip kirişlerin dayanımının referans elemanlarının dayanım değerine ulaştığı görülmüştür. Benzer şekilde küçük aksaklılar dışında süneklik, enerji tüketme kapasitesi ve eğilme rijitliği değerleri bakımındanda güçlendirme elemanlarının referans numunesine yaklaştığı gözlemlenmiştir.

2) Deney sırasında çelik kabloda oluşan gerginlikten ve yük-deplasman eğrilerine bakılarak çelik kabloların çok ciddi miktarda kesme kuvvetini karşıladığı gözlemlenmiştir. Güçlendirilmiş deney elemanlarının kesmeye karşı yeterli olan referans numunesi ile neredeyse aynı taşıma gücü kapasitesine sahip oldukları gözlemlenmiştir.

3) Çevrimlerdeki yük kayıplarının kiriş ucunda 80 mm deplasman ve sonrasında yaşanması çelik kabloların ne derece yük taşıdığını gösterir nitelikte olmuştur.

4) Deney sırasında koparılan çelik kabloya rağmen, kirişte ani yük kayıpları yaşanmamıştır. Çelik kablo sürtünme ile birlikte mevcut gerginliğini korumaya devam etmiştir. Yani kablo kopsa bile sistem çalışmaya devam etmiştir.

5) Tüm deneyler boyunca kabloların ilk ucuna ve son ucuna atılan ikişer adet kelepçenin hiç sıyrılmadığı, sayıca yeterli olduğu gözlemlenmiştir.

Yukarıda verilen sonuçlar ışığında, gelecekte bu konuyla ilgili yapılacak çalışmalara ışık tutacağı düşünülerek öneriler aşağıda verilmiştir.

1) Kabloların yeterli sargıyı yapabilmesi için açılan pahların dairesel yada 45 derece olması yada kabloların geçeceği yerlerin dairesel olarak aşındırılması önerilmektedir. Aksi takdirde keskin köşelerden geçen çelik kabloların yük esnasında kopabileceği gözlemlenmiştir.

2) Kilit olarak kullanılan kelepçelerin çok sıkılması durumunda ani şekilde kabloda kopma yaşandığı gözlemlenmiştir. Bu nedenle kelepçelerin çok sıkılmaması önerilmektedir.

3) Yapılan bu çalışmada çelik kablo sargı aralığı h/4 olarak uygulanmıştır. Sargı aralığının h/8 olması durumunda daha iyi sonuçlar elde edilebileceği düşünülmektedir.

4) Sıvalardaki çatlak ile betondaki çatlar aynı yerde ve genişlikte olmamaktadır. Bunun sağlanabilmesi için sıvanın betona tam olarak kenetlenmesi gerektiği düşünülmektedir. Sıva olarak nitelikli sıva kullanılsa bile, sıvadaki dökülmelerin çok olduğu gözlemlenmiştir. Bunun da kesme çivileri kullanılarak, çivilemeyle sağlanacağı düşünülmektedir.

5) Çelik kablolar ile sargılama yapılırken, kablo betona yapışmadan altında boşluk kalacak şekilde sargılama yapılabilir. Bu şekilde sıvadaki dökülmelerin daha aza indirgenebileceği düşünülmektedir.

6) Kelepçe uygulanırken kelepçenin betona sabitlenmesi gerekebilir. Bu şekilde kablo açılmaya başladığında kelepçe açılmayı engelleyebileceği düşünülmektedir.

7) Şimdilik hızlı ve geçici bir güçlendirme için yöntem uygundur. Kalıcı bir güçlendirme için yüksek potansiyel içermektedir. Kalıcı bir güçlendirme olarak kullanılabilemesi için yöntemin iyileştirilmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

1. Hasan, N. KH. (2001). *Kesme İçin Güçlendirilen Betonarme Kirişlerin Tersinir Yükler Altında Davranışı*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

2. Özbek, E. (2008). *T-Kesitli Betonarme Kirişlerin Kesme-Eğilmeye Karşı Güçlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

3. Moon, D., Sim, J., Oh, H. (2007). Detailing considerations on RC beams strengthened with CFRP bars embedded in mortar overlay, *Construction and Building Materials*, 21, 1636-1646.

4. Acar, D. (2014). *Çelik Levha ve Karbon Kumaşlarla Güçlendirilmiş Betonarme Kirişlerin Davranış ve Dayanımı*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

5. Diagana, C., Li, A., Gedalia, B. and Delmas, Y. (2003). Shear strengthening effectiveness with CFF strips, *Engineering Structures***,** 25, 507-516.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler



Soyadı, adı	: KOFOĞLU, Alperen
Uyruğu	: T.C.
Doğum tarihi ve yeri	: 15.07.1991, Trabzon
Medeni hali	: Evli
Telefon	: 0 (535) 794 61 00
e-mail	: alperenkofoglu@gmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / İnşaat Mühendisliği	Devam Ediyor
Lisans	Gazi Üniversitesi / İnşaat Mühendisliği	2015
Lise	Trabzon Lisesi	2009

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2018-Halen	Kaoğlu İnşaat	Şantiye Şefi
2015-2018	Usta İnşaat	Şantiye Şefi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1. Kofoğlu, A. (2019). *Betonarme Kirişlerin Kesmeye Karşı Çelik Kablolarla Güçlendirilmesi,* Uluslararası Erciyes Bilimsel Araştırmalar Kongresi.

Hobiler

Kitap, Gezi



GAZİ GELECEKTİR...