

**T.C.  
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİMDALI**



**SENTETİK LİFİN ULTRA YÜKSEK DAYANIMLI BETONARME  
KİRİŞLERİN EĞİLME DAVRANIŞINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

**MEHMET YAVUZ KARABULUT**

**BALIKESİR, HAZİRAN 2017**

**T.C.**  
**BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİMDALI**



**SENTETİK LİFİN ULTRA YÜKSEK DAYANIMLI BETONARME**  
**KİRİŞLERİN EĞİLME DAVRANIŞINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

**MEHMET YAVUZ KARABULUT**

**Jüri Üyeleri : Yrd.Doç.Dr. Altuğ YAVAŞ (Tez Danışmanı)**

**Doç.Dr. Baki ÖZTÜRK**

**Yrd.Doç.Dr. Hasan ELÇİ**

**BALIKESİR, HAZİRAN 2017**

## KABUL VE ONAY SAYFASI

Mehmet Yavuz KARABULUT tarafından hazırlanan “SENTETİK LİFİN ULTRA YÜKSEK DAYANIMLI BETONARME KİRİŞLERİN EĞİLME DAVRANIŞINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 12 Haziran 2017 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği / ~~oy çokluğu~~ ile Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı olarak kabul edilmiştir.

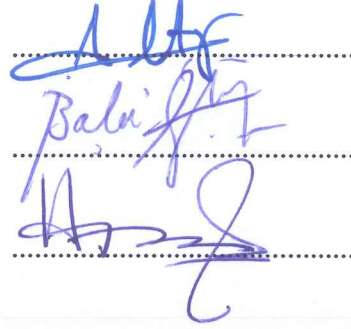
Jüri Üyeleri

İmza

Danışman  
YRD.DOÇ.DR. Altuğ YAVAŞ

Üye  
DOÇ.DR. Baki ÖZTÜRK

Üye  
YRD.DOÇ.DR. Hasan ELÇİ



Jüri üyeleri tarafından kabul edilmiş olan bu tez Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca onanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Doç. Dr. Necati ÖZDEMİR

.....



**Bu tez çalışması BAP tarafından 2015/176 nolu proje ile desteklenmiştir.**

## ÖZET

**SENTETİK LİFİN ULTRA YÜKSEK DAYANIMLI BETONARME  
KİRİŞLERİN EĞİLME DAVRANIŞINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ**  
**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**  
**MEHMET YAVUZ KARABULUT**  
**BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**  
**(TEZ DANIŞMANI: YRD. DOÇ. DR. ALTUĞ YAVAŞ)**  
**BALIKESİR, HAZİRAN 2017**

Bu çalışmada, sentetik lif katkılı ultra yüksek dayanımlı beton kullanılarak üretilen kirişlerin eğilme davranışının deneysel incelenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada 14 adet 100x150x1500 mm boyutlarında kirişlerin dört noktalı eğilme deneyleri yapılmıştır. Kirişlerde iki farklı donatı oranı, iki farklı lif tipi (bazalt ve poliamid) ve üç farklı lif oranının eğilme davranışına etkisi, yük altında yer değiştirmesi, yük taşıma kapasiteleri, eğrilik süneklikleri, çatlak genişlikleri ile çatlak dağılımları incelenerek değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Deneysel çalışmaların sonucunda kullanılan liflerin oranı arttıkça dayanım artışı belirlenmiştir. Çatlak sayısı, genişliği, dağılımı incelendiğinde sentetik lif diğer numunelere göre daha iyi bir performans sergilemiştir. Lif katkısı artırıldığında dayanımlardaki rijitliğin düşmesi dikkat çekicidir. Genel anlamda lif katkısının eğilme sünekliği üstünde etkisi olduğu, çatlak oluşumuna engel olduğu gözlemlenmiştir.

**ANAHTAR KELİMELELER:** Bazalt lif, poliamid lif, ultra yüksek mukavemetli beton, UYPLB

## **ABSTRACT**

### **INVESTIGATION OF THE EFFECT OF THE SYNTHETIC LIF ON BENDING BEHAVIOR OF ULTRA HIGH STRENGTH CONCRETE BEAMS**

**CIVIL ENGINEERING**

**MEHMET YAVUZ KARABULUT**

**BALIKESİR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE**

**CIVIL ENGINEERING**

**(SUPERVISOR: ASSİST. PROF. DR. ALTUĞ YAVAŞ )**

**BALIKESİR, JUNE 2017**

In this study, it is aimed to investigate the bending behavior of the produced beams using synthetic fiber reinforced ultra high strength concrete. In the study, four point bending tests of 14x100x150x1500 mm beams were carried out. It is aimed to investigate the effect of two different reinforcement ratio, two different fiber types (basalt and polyamide) and three different fiber ratios on bending behavior, under load, load bearing capacities, flexural ductility, crack widths and crack distributions in beams. The increase in strength is determined as the proportion of fibers used as a result of experimental runs increases. When the number of cracks, width, distribution were examined, synthetic fiber performed better than the other samples. It is striking that the stiffness of the strength decreases when the fiber content is increased. In general, it has been observed that the fiber layer prevents crack formation, which is the effect on the flexural ductility.

**KEYWORDS:** Basalt lif, poliamid lif, ultra high strength concrete, UHPFC

# İÇİNDEKİLER

Sayfa

|  |           |
|--|-----------|
| ÖZET.....  | i         |
| ABSTRACT.....  | ii        |
| İÇİNDEKİLER.....   | iii       |
| ŞEKİL LİSTESİ.....   | v         |
| TABLO LİSTESİ.....   | viii      |
| SEMBOL LİSTESİ.....  | ix        |
| ÖNSÖZ.....   | x         |
| <b>1. GİRİŞ.....</b>   | <b>1</b>  |
| 1.1 Literatür Taraması.....  | 4         |
| 1.2 Çalışmanın Amaç ve Kapsamı.....  | 8         |
| <b>2. UYPLB İLE ÖRNEKLENEN BETONARME</b>   |           |
| <b>KİRİŞLERİN EĞİLME DAVRANIŞLARININ</b>   |           |
| <b>İNCELENMESİ.....</b>  | <b>9</b>  |
| 2.1 UYPLB nin Örneklenmesi.....  | 9         |
| 2.2 Deney Kirişlerinin Özellikleri.....  | 10        |
| 2.3 Deney Kirişlerinin Üretilmesi.....   | 12        |
| 2.4 Deney Kirişlerinin Beton ve Donatılarının Mekanik Özellikleri.....                           | 15        |
| 2.5 Deney ve Ölçüm Düzenegi.....   | 17        |
| <b>3. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....</b>  | <b>19</b> |
| 3.1 Lifsiz Referans Kirişlerin Eğilme Davranışları.....  | 19        |
| 3.1.1 Lifsiz Referans Kirişlerin Yük-Düşey Yerdeğiştirme Davranışları.....                       | 19        |
| 3.1.2 Lifsiz Referans Kirişlerin Yerdeğiştirme Süneklikleri.....                                 | 21        |
| 3.1.3 Lifsiz Referans Kirişlerin Yük Taşıma Kapasiteleri.....                                    | 22        |
| 3.1.4 Lifsiz Referans Kirişlerin Eğrilik Süneklikleri ve Çatlamış Kesit Eğilme Rijitlikleri..... | 22        |
| 3.1.5 Lifsiz Referans Kirişlerin Çatlak Davranışları.....  | 22        |
| 3.2 Bazalt Lifli Kirişlerin Eğilme Davranışları.....   | 23        |
| 3.2.1 Bazalt Lifli Kirişlerin Yük-Düşey Yerdeğiştirme Davranışları.....                          | 24        |
| 3.2.2 Bazalt Lifli Kirişlerin Yerdeğiştirme Süneklikleri.....                                    | 26        |
| 3.2.3 Bazalt Lifli Kirişlerin Yük Taşıma Kapasiteleri.....                                       | 26        |
| 3.2.4 Bazalt Lifli Kirişlerin Eğrilik Süneklikleri ve Çatlamış Kesit Eğilme Rijitlikleri.....    | 27        |
| 3.2.5 Bazalt Lifli Kirişlerin Çatlak Davranışlarının Karşılaştırılması.....                      | 29        |
| 3.3 Poliamid Lifli UYPLB'lu Betonarme Kirişlerin Eğilme Davranışları.....                        | 33        |
| 3.3.1 Poliamid Lifli Kirişlerin Yük-Düşey Yerdeğiştirme Davranışları.....                        | 33        |
| 3.3.2 Poliamid Lifli Kirişlerin Yerdeğiştirme Süneklikleri.....                                  | 35        |
| 3.3.3 Poliamid Lifli Kirişlerin Yük Taşıma Kapasiteleri.....                                     | 36        |
| 3.3.4 Poliamid Lifli Kirişlerin Eğrilik Süneklikleri ve Çatlamış Kesit Eğilme Rijitlikleri.....  | 36        |
| 3.3.5 Poliamid Lifli Kirişlerin Çatlak Davranışları.....   | 38        |
| 3.4 UYPLB'lu Kirişlerin Eğilme Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması.....                         | 42        |
| 3.4.1 Yük-Düşey Yerdeğiştirme Davranışlarının Karşılaştırılması.....                             | 42        |
| 3.4.2 Yerdeğiştirme Sünekliklerinin ( $\Delta u/\Delta y$ ) Karşılaştırılması.....               | 43        |

|  |           |
|--|-----------|
| 3.4.3 Y¼k Taşıma Kapasitelerinin (Pmaks) Karşılaştırılması.....                                  | 44        |
| 3.4.4 Eğrilik S¼nekliklerinin ve atlamış Kesit Eğilme Rijitliklerinin<br>Karşılaştırılması..... | 46        |
| 3.4.5 atlak Davranışlarının Karşılaştırılması.....  | 48        |
| <b>4. SONUÇLAR.....</b>  | <b>50</b> |
| <b>5. KAYNAKLAR.....</b>   | <b>53</b> |
| <b>6. EKLER.....</b>   | <b>57</b> |





## ŞEKİL LİSTESİ

|             | <u>Sayfa</u>  |    |
|-------------|---|----|
| Şekil 1.1:  | Çeşitli köprü ve istinat duvarı uygulamaları  | 1  |
| Şekil 1.2:  | Lifli betonun sınıflandırılması   | 2  |
| Şekil 1.3:  | UYPLB’da kullanılan çelik lif tipleri (TS 10513, 1992)  | 2  |
| Şekil 1.4:  | UYPLB ve geleneksel lifli betonun eksenel çekme etkisi altındaki gerilme şekil değiştirme davranışlarının karşılaştırılması | 3  |
| Şekil 2.1:  | UYPLB’u oluşturan bileşenler  | 9  |
| Şekil 2.2:  | UYPLB’a ait karışım oranları  | 10 |
| Şekil 2.3:  | Kirişlerin üretiminde kullanılan lif tipleri (a) bazalt lif (b) poliamid lif  | 11 |
| Şekil 2.4:  | Kirişlerin geometrik özellikleri ve donatı yerleşimleri   | 12 |
| Şekil 2.5:  | Kalıpların ve donatıların hazırlanması  | 12 |
| Şekil 2.6:  | UYPLB’un panmikserde hazırlanması aşamaları   | 13 |
| Şekil 2.7:  | UYPLB’un hazırlanması ve kiriş kalıplarına yerleştirilmesi  | 13 |
| Şekil 2.8:  | Döküm sonrası deney kirişi  | 14 |
| Şekil 2.9:  | Plastik örtü ile kürlenmiş deney kirişleri  | 14 |
| Şekil 2.10: | Telis bezi ile kürlenmiş deney kirişleri  | 14 |
| Şekil 2.11: | Beton test presini  | 15 |
| Şekil 2.12: | Donatıların çekme testi ile mekanik özelliklerinin belirlenmesi   | 16 |
| Şekil 2.13: | Kiriş eğilme deney düzeneği   | 17 |
| Şekil 2.14: | Deney kirişi ve şematik ölçüm düzeneği  | 17 |
| Şekil 2.15: | Eğrilik ölçüm düzeneği  | 18 |
| Şekil 2.16: | Veri toplama sistemi  | 18 |
| Şekil 3.1:  | 2φ10 donatılı liffsiz kirişe ait yük-düşey yer değiştirme grafiği   | 20 |
| Şekil 3.2:  | 2φ14 donatılı liffsiz kirişe ait yük-düşey yer değiştirme grafiği   | 20 |
| Şekil 3.3:  | 2φ10 donatılı lifli kirişin kırılma şekli   | 20 |
| Şekil 3.4:  | 2φ14 donatılı lifli kirişin kırılma şekli   | 20 |
| Şekil 3.5:  | Yük-düşey yer değiştirme davranışına ait karakteristik değerler   | 21 |
| Şekil 3.6:  | 2φ10 donatılı liffsiz kirişlerin L/250 yer değiştirmesi için çatlak dağılımları   | 22 |
| Şekil 3.7:  | 2φ10 donatılı liffsiz kirişlerin L/70 yer değiştirmesi için çatlak dağılımları  | 23 |
| Şekil 3.8:  | 2φ14 donatılı liffsiz kirişlerin L/250 yer değiştirmesi için çatlak dağılımları   | 23 |
| Şekil 3.9:  | 2φ14 donatılı liffsiz kirişlerin L/70 yer değiştirmesi için çatlak dağılımları  | 23 |
| Şekil 3.10: | 2φ10 donatılı Bazalt kirişlere ait yük-düşey yer değiştirme davranışları  | 24 |

|                    |   |    |
|--------------------|---|----|
| <b>Şekil 3.11:</b> | 2φ14 donatılı Bazalt kirişlere ait yük-düşey yer değiştirme davranışları                        | 24 |
| <b>Şekil 3.12:</b> | 2φ10 donatılı bazalt lifli kirişlerin kırılma şekilleri   | 25 |
| <b>Şekil 3.13:</b> | 2φ14 donatılı bazalt lifli kirişlerin kırılma şekilleri   | 25 |
| <b>Şekil 3.14:</b> | Kirişlerde bazalt lif oranının yer değiştirme sünekliği üzerindeki etkisi                       | 26 |
| <b>Şekil 3.15:</b> | Kirişlerde bazalt lifin yük taşıma kapasitesi üzerindeki etkisi                                 | 27 |
| <b>Şekil 3.16:</b> | Moment-eğrilik davranışına ait karakteristik değerler   | 28 |
| <b>Şekil 3.17:</b> | 2φ10 bazalt donatılı kirişlere ait moment-eğrilik davranışları                                  | 28 |
| <b>Şekil 3.18:</b> | 2φ14 bazalt donatılı kirişlere ait moment-eğrilik davranışları                                  | 29 |
| <b>Şekil 3.19:</b> | 2φ10 donatılı bazalt lifli kirişlerin L/250 yer değiştirmesi için çatlak dağılımları            | 30 |
| <b>Şekil 3.20:</b> | 2φ10 donatılı bazalt lifli kirişlerin L/70 yer değiştirmesi için çatlak dağılımları             | 30 |
| <b>Şekil 3.21:</b> | 2φ14 donatılı bazalt lifli kirişlerin L/250 yer değiştirmesi için çatlak dağılımları            | 30 |
| <b>Şekil 3.22:</b> | 2φ14 donatılı bazalt lifli kirişlerin L/70 yer değiştirmesi için çatlak dağılımları             | 31 |
| <b>Şekil 3.23:</b> | 2φ10 donatılı bazalt lifli kirişlerde L/250 ve L/70 yer değiştirmeleri için çatlak genişlikleri | 31 |
| <b>Şekil 3.24:</b> | 2φ14 donatılı bazalt lifli kirişlerde L/250 ve L/70 yer değiştirmeleri için çatlak genişlikleri | 31 |
| <b>Şekil 3.25:</b> | 2φ10 donatılı bazalt lifli kirişlerde L/250 ve L/70 yer değiştirmeleri için çatlak sayıları     | 32 |
| <b>Şekil 3.26:</b> | 2φ14 donatılı bazalt lifli kirişlerde L/250 ve L/70 yer değiştirmeleri için çatlak sayıları     | 32 |
| <b>Şekil 3.27:</b> | 2φ10 donatılı poliamid kirişlere ait yük-düşey yer değiştirme davranışları                      | 33 |
| <b>Şekil 3.28:</b> | 2φ14 donatılı poliamid kirişlere ait yük-düşey yer değiştirme davranışları                      | 34 |
| <b>Şekil 3.29:</b> | 2φ10 donatılı poliamid lifli kirişlerin kırılma şekilleri                                       | 34 |
| <b>Şekil 3.30:</b> | 2φ14 donatılı poliamid lifli kirişlerin kırılma şekilleri                                       | 35 |
| <b>Şekil 3.31:</b> | Kirişlerde poliamid lif oranının yer değiştirme sünekliği üzerindeki etkisi                     | 35 |
| <b>Şekil 3.32:</b> | Kirişlerde poliamid lifin yük taşıma kapasitesi üzerindeki etkisi                               | 36 |
| <b>Şekil 3.33:</b> | 2φ10 poliamid donatılı kirişlere ait moment-eğrilik davranışları                                | 37 |
| <b>Şekil 3.34:</b> | 2φ14 poliamid donatılı kirişlere ait moment-eğrilik davranışları                                | 37 |
| <b>Şekil 3.35:</b> | 2φ10 donatılı poliamid lifli kirişlerin L/250 yer değiştirmesi için çatlak dağılımları          | 38 |
| <b>Şekil 3.36:</b> | 2φ10 donatılı poliamid lifli kirişlerin L/70 yer değiştirmesi için çatlak dağılımları           | 39 |
| <b>Şekil 3.37:</b> | 2φ14 donatılı poliamid lifli kirişlerin L/250 yer değiştirmesi için çatlak dağılımları          | 39 |

|                    |   |    |
|--------------------|---|----|
| <b>Şekil 3.38:</b> | 2φ14 donatılı poliamid lifli kirişlerin L/70 yer değiştirmesi için çatlak dağılımları             | 39 |
| <b>Şekil 3.39:</b> | 2φ10 donatılı poliamid lifli kirişlerde L/250 ve L/70 yer değiştirmeleri için çatlak genişlikleri | 40 |
| <b>Şekil 3.40:</b> | 2φ14 donatılı poliamid lifli kirişlerde L/250 ve L/70 yer değiştirmeleri için çatlak genişlikleri | 40 |
| <b>Şekil 3.41:</b> | 2φ10 donatılı poliamid lifli kirişlerde L/250 ve L/70 yer değiştirmeleri için çatlak sayıları     | 41 |
| <b>Şekil 3.42:</b> | 2φ14 donatılı poliamid lifli kirişlerde L/250 ve L/70 yer değiştirmeleri için çatlak sayıları     | 41 |
| <b>Şekil 3.43:</b> | 2φ10 donatılı kirişlerin lif tipine ve lif oranına göre yük-düşey yerdeğiştirme grafikleri        | 42 |
| <b>Şekil 3.44:</b> | 2φ14 donatılı kirişlerin lif cinsine ve lif oranına göre yük düşey yerdeğiştirme                  | 43 |
| <b>Şekil 3.45:</b> | 2φ10 donatılı kirişlerin lif cinsine ve lif oranına göre Yer Değiştirme Sünekliği                 | 43 |
| <b>Şekil 3.46:</b> | 2φ14 donatılı kirişlerin lif cinsine ve lif oranına göre Yer Değiştirme Sünekliği                 | 44 |
| <b>Şekil 3.47:</b> | 2φ10 donatılı kirişlerin lif cinsine ve oranına göre yük taşıma kapasiteleri                      | 45 |
| <b>Şekil 3.48:</b> | 2φ14 donatılı kirişlerin lif cinsine ve oranına göre yük taşıma kapasiteleri                      | 45 |
| <b>Şekil 3.49:</b> | 2φ10 donatılı kirişlerin lif cinsine ve lif oranına göre Eğrilik Sünekliği                        | 46 |
| <b>Şekil 3.50:</b> | 2φ14 donatılı kirişlerin lif cinsine ve lif oranına göre Eğrilik Sünekliği                        | 46 |
| <b>Şekil 3.51:</b> | 2φ10 donatılı kirişlerin lif cinsine ve lif oranına göre Çatlamış Kesit Rijitliği                 | 47 |
| <b>Şekil 3.52:</b> | 2φ14 donatılı kirişlerin lif cinsine ve lif oranına göre Çatlamış Kesit Rijitliği                 | 47 |
| <b>Şekil 3.53:</b> | 2φ10 donatılı kirişlerde lif tipine ve oranına bağlı çatlak sayıları                              | 48 |
| <b>Şekil 3.54:</b> | 2φ14 donatılı kirişlerde lif tipine ve oranına bağlı çatlak sayıları                              | 48 |
| <b>Şekil 3.55:</b> | 2φ10 donatılı kirişlerde lif tipine ve oranına bağlı çatlak genişliği                             | 49 |
| <b>Şekil 3.56:</b> | 2φ14 donatılı kirişlerde lif tipine ve oranına bağlı çatlak genişliği                             | 49 |

## TABLO LİSTESİ

|   | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| <b>Tablo 1.1:</b> Çeşitli sentetik liflere ait özellikler   | 3            |
| <b>Tablo 2.1:</b> UYPLB’da kullanılan lifler  | 10           |
| <b>Tablo 2.2:</b> Deney kirişlerinin donatı ve lif içerikleri                                     | 11           |
| <b>Tablo 2.3:</b> Deney kirişlerinin ortalama basınç dayanımları                                  | 15           |
| <b>Tablo 2.4:</b> Kiriş boyuna donatılarının mekanik özellikleri                                  | 16           |
| <b>Tablo 3.1:</b> Lifsiz, kirişlerin yer değiştirme sünekliklerine ait oranlar                    | 22           |
| <b>Tablo 3.2:</b> Eğrilik (birim dönme) süneklikleri ile ilgili karakteristik değerler (bazalt)   | 29           |
| <b>Tablo 3.3:</b> Eğrilik (birim dönme) süneklikleri ile ilgili karakteristik değerler (poliamid) | 38           |

## SEMBOL LİSTESİ

|                              |   |
|------------------------------|---|
| <b><math>f'_c</math></b>     | : MPA, psi veya ksi cinsinden betonun basınç dayanımı   |
| <b>MPa</b>                   | : Megapascal  |
| <b>Kg</b>                    | : Kilogram  |
| <b>N/mm<sup>2</sup></b>      | : Newton/milimetrekare  |
| <b><math>P_{max}</math></b>  | : En büyük yük değeri   |
| <b><math>\sigma</math></b>   | : Gerilme N/mm <sup>2</sup>   |
| <b><math>\epsilon</math></b> | : Şekil değiştirme, mm  |
| <b><math>\mu</math></b>      | : Lif Çapı  |
| <b>FRM</b>                   | : Fibre-Reinforced Mortar (Lif Takviyeli Harç)  |
| <b>FRC</b>                   | : Fibre-Reinforced Concrete (Lif Takviyeli Beton)   |
| <b>FRCC</b>                  | : Fibre-Reinforced Composite Concrete (Lif Takviyeli Kompozit Beton)  |
| <b>HPFRCC</b>                | : High Performance Fibre-Reinforced Composite Concrete (Yüksek Performanslı Elyaf Takviyeli Kompozit Beton) |
| <b>UHPRFC</b>                | : Ultra-High Performance Fibre-Reinforced Concrete (Ultra Yüksek Performanslı Elyaf Takviyeli Beton)        |
| <b>UHSC</b>                  | : Ultra-High-Strength Concrete (Ultra Yüksek Mukavemetli Beton)   |
| <b>UHPC</b>                  | : Ultra Yüksek Performanslı Beton   |
| <b><math>\mu</math></b>      | : Micron  |
| <b>W/c</b>                   | : Su-çimento oranı  |

## ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmam boyunca bilgi ve tecrübesini benimle paylaşan, desteğini esirgemeyen ve her zaman yardımcı olan değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Altuğ YAVAŞ'a,

Eşim Begüm Yelda GÜR KARABULUT'a,

Annem Prof. Dr. Hülya GÜR, babam Yrd. Doç. Yılmaz GÜR'e;

Beni bugünlere getiren, hiçbir destekten kaçınmayan ve hayatım boyunca her zaman yanımda olan, her türlü konuda manevi desteğini hissettiğim aileme özellikle annem Reyhan KARABULUT ve babam Şakir KARABULUT'a teşekkür ederim.

Haziran, 2017

Mehmet Yavuz KARABULUT

## 1. GİRİŞ

Ultra yüksek performanslı lifli beton (UYPLB), beton teknolojisinde yaşanan ilerlemeler sonucu üreilmeye başlayan yeni nesil bir beton türüdür. UYPLB, geleneksel betonlara göre farklı mühendislik özelliklerine sahiptir. Ayrıca çok sıkı iç yapıya sahip olması nedeniyle çevre koşullarına karşı üstün dayanıklılık göstermektedir. Bu nedenle inşaat sektöründe çok fazla kullanım alanına sahiptir

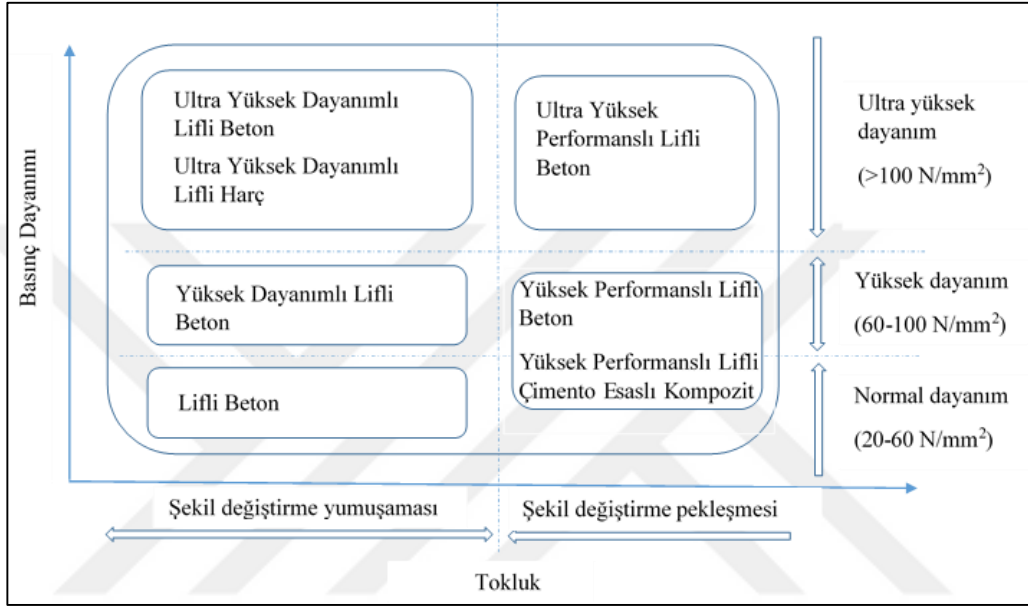
Öngermeli sistemlerde kullanımı sonucu büyük açıklıkların geçilmesine olanak sağladığı gibi gerekli eleman sayısı ve boyutunu azaltarak sistemin daha etkin çalışmasını sağlamaktadır. Bu nedenle özellikle köprülerin yapımında kullanımı artmaktadır (Şekil 1.1).



**Şekil 1.1:** Çeşitli köprü ve istinat duvarı uygulamaları

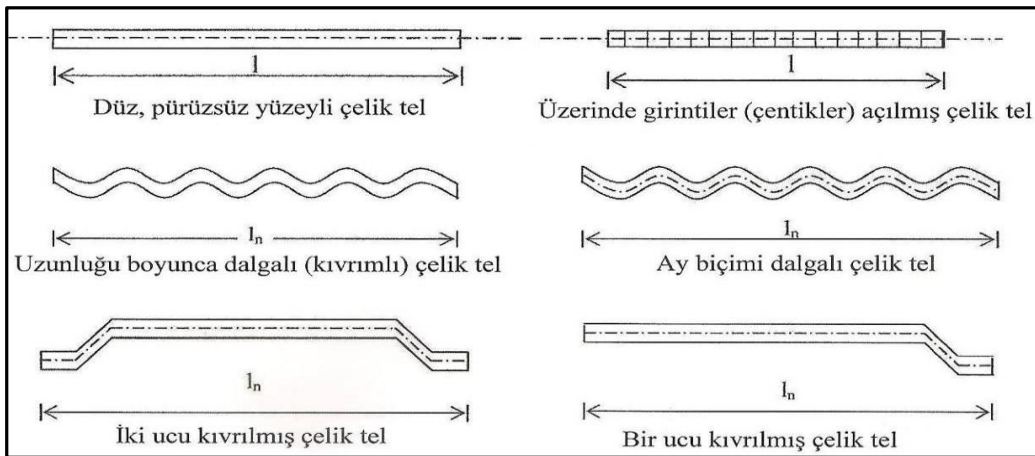
UYPLB 1970'li yıllarda betonun basınç dayanımını arttırabilmek için yapılan çalışmalarla ortaya çıkmıştır. Roy ve diğ. (1972)'de ince malzemelerle üretilen çimento hamurunu 250°C ve 50 MPa basınç altında kürleyerek 500 MPa üzeri basınç dayanımı elde etmişlerdir. 1980'li yıllarda silis dumanı ve yeni nesil akışkanlaştırıcıların geliştirilmesiyle çalışmalar hız kazanmıştır.

Betonda, yüksek basınç dayanımı çok önemli bir avantajken, bu yüksek dayanım artışı ile gevrekleşen beton dolayısı ile beton sünekliğinde önemli bir azalma meydana gelmektedir. Bu nedenle Ultra Yüksek Dayanımlı Betonun liflerle birlikte kullanılması ile betonun gevrekliği önemli oranda azaltabilmektedir. Böylece lif donatılı çimento esaslı kompozit (FRCC), lif donatılı beton (FRC), lif donatılı harç (FRM), yüksek performanslı lifli çimento esaslı kompozit (HPFRCC) gibi yeni malzemeler geliştirilmiştir (Bedirhanoğlu ve İlki, 2009 ) (Şekil 1.2).



**Şekil 1.2:** Lifli betonun sınıflandırılması

Lif katkılı betonlarda çoğunlukla çelik ve sentetik lifler kullanılmaktadır. Çelik lif tipleri de kendi içerisinde büyük çeşitlilik göstermektedir. Kullanılan bazı çelik lif tipleri Şekil 1.3'te gösterilmiştir (TS 10513, 1992).



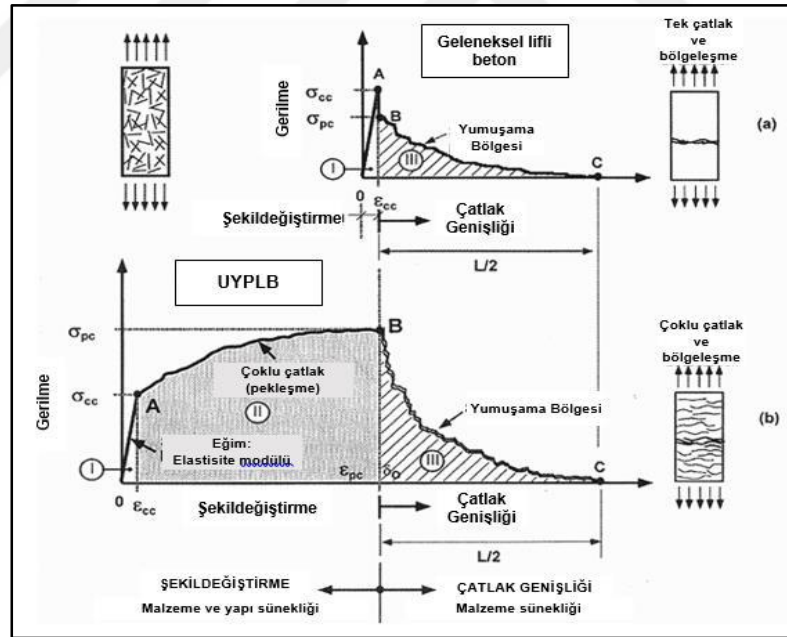
**Şekil 1.3:** UYPLB'da kullanılan çelik lif tipleri (TS 10513, 1992)



Sentetik lif olarak kullanılan çok fazla tipte lif vardır Tablo 1.1’ de liflere ait özellikler verilmiştir.

**Tablo 1.1:** Çeşitli sentetik liflere ait özellikler

| Lif tipi             | Çekme Dayanımı (MPa) | Elastisite modülü (GPa) | Çekme Uzaması % | Lif çapı $\mu\text{m}$ | Aderans | Alkali Reaksiyon |
|----------------------|----------------------|-------------------------|-----------------|------------------------|---------|------------------|
| Asbest               | 600-3600             | 69-150                  | 0.3-0.1         | 0.02-30                | Çok İyi | Çok İyi          |
| Karbon               | 590-4800             | 28-520                  | 2-1             | 7-18                   | İyi     | Çok İyi          |
| Aramid               | 2700                 | 62-130                  | 4-3             | 11-12                  | Orta    | İyi              |
| Polypropylene        | 200-700              | 0.5-9.8                 | 15-10           | 10-150                 | Zayıf   | Çok İyi          |
| Polyamide            | 700-1000             | 3.9-6.0                 | 15-10           | 10-50                  | İyi     | -                |
| Polyester            | 800-1300             | 15                      | 20-8            | 10-50                  | Orta    | -                |
| Rayon                | 450-1100             | 11                      | 15-7            | 10-50                  | İyi     | Orta             |
| Polyvinyl alcohol    | 800-1500             | 29-40                   | 10-6            | 14-600                 | Çok İyi | İyi              |
| Polyethylene         | 400                  | 2-4                     | 400-100         | 40                     | İyi     | Çok İyi          |
| Yüksek polyethylene  | 2585                 | 117                     | 2.2             | 38                     | İyi     | Çok İyi          |
| Alkali dayanımlı cam | 1700                 | 72                      | 2               | 12-20                  | Çok İyi | İyi              |
| Bazalt               | 4840                 | 89                      | 3.5             | 9-23                   | Çok İyi | Çok İyi          |



**Şekil 1.4:** UYPLB ve geleneksel lifli betonun aksenal çekme etkisi altındaki gerilme şekil değiştirme davranışlarının karşılaştırılması (Namaan, 2002).

UYPLB'nun en önemli özelliklerinden birisi çekme dayanımı ve çekme altındaki sünek davranışdır. Şekil 1.4'te normal dayanımlı beton ile UYPLB'nun çekme davranışı karşılaştırılmalı olarak verilmiştir.

UYPLB’da ilk çatlak oluşurken lifler mikro çatlaklarda köprüleme sağlayarak çatlağın ilerlemesini engellemektedirler. Bu da betonun yük taşımaya devam etmesini sağlamaktadır. UYPLB Eksenel çekme etkisi altında ilk çatlak sonrası artan bir yük taşıma kapasitesine (pekleşmeye) sahiptir. Tepe yüküne ulaşıldığında çatlak genişlikleri artarak, liflerde sıyrılmalar gözlenir ve çatlaklar birleşerek tek büyük bir çatlak oluşturur. Tepe noktasından sonra dayanım kaybıyla birlikte yumuşama bölgesine geçilir ve yük düşer (Biol, 2016).

### **1.1 Literatür Taraması**

Kim ve diğ. (1999) çalışmalarında karma lifli betonlarda çatlak dayanımını incelemişlerdir. Betona farklı özellikte çelik lifler ekleyerek mikro, makro ve karma lifli beton elde etmişlerdir. Daha sonra oluşturulan bu numunelerin erken dayanım süresi olan 2., 3. ve 5. gün sonunda yük sehim eğrileri incelenmiştir. İnceleme sonucunda çatlak dayanımlarının arttığı sonucuna ulaşmışlardır. Sadece makro lif kullanılan numunenin beton kırılma tokluğunu iyileştirdiği gözlemlenmiştir. Ayrıca karma lifli beton kullanımının sonucunda ise daha yüksek performans elde edildiği ve daha yüksek çatlak dayanımına ulaşıldığı gözlemlenmiştir. Çalışmanın bir diğer sonucu ise, erken dayanım süresince betonda gerçekleşen kimyasal tepkimenin neden olduğu sıcaklık etkisiyle oluşan çatlakların, karma lif kullanılmasıyla kontrol altına alınabileceği bulunmuştur. Çalışmada ayrıca kullanılabilir ideal lif oranı da hesaplanmış ve bunun lif tipine bağlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Oranlar incelendiğinde değerlerin; çelik liflerde %0.1-2.5 aralığında ve polipropilen liflerde %0.3 değerinde olduğu bulunmuştur. Polipropilen liflerin hacim oranı ideal %0.3 değerinin geçtiğinde betonun mekanik özelliklerinde düşüş olduğu gözlemlenmiştir.

Yiğiter (2002) lifli yüksek performanslı betonların enerji yutma kapasiteleri ve deformasyon özelliklerini araştırmıştır. Betonda farklı en büyük agrega tane çapları, farklı lif geometrileri ve farklı lif dozajları kullanımının gerilme deformasyon davranışlarına etkilerini incelemiştir. Lifler, eğilme dayanımlarında kontrol numunelerine göre 7. günde etkin artışlar sağlarken, 28. gündeki dayanımlarda etkileri daha azdır. Tahmin edildiği gibi eğilme dayanımındaki en büyük gelişmeyi maksimum lif dozajı olan 120 kg/m<sup>3</sup> sağlamıştır. Yarma deneyinde de lifler beklenen sonucu yaratmış ve lif dozajı arttıkça yarma dayanımları arttırdığını belirtmiştir.

Banthia ve Nandakumar (2003) lif şekli ve farklı oranda karışımının, çatlak genişlemesine karşı dayanıma etkilerini araştırmışlardır. İki tip polipropilen ve iki tip çelik lifin çeşitli oranda karışımını kullanmışlardır. Çelik lifler kıvrımlı ve sonları yassılaştırılmış liflerden oluşmakta iken, polipropilen lifler ise monofilament ve lif topluluğu biçimindedir. Sonları yassılaştırılmış ve kıvrılmış lifleri içeren betonların davranışlarının birbirinden oldukça farklı olduğu belirlenmiştir. Kıvrımlı çelik lifleri içeren betonların yük-CMOD (Çatlak ağız genişliği) eğrilerinde bir pekleşme bölgesi görülürken, diğerinde tepe noktasına kadar artış, daha sonra ani düşüş belirlenmiştir. Her iki tip çelik life, düşük oranlarda bile olsa polipropilen lif eklenmesi, performansı artırmakta, çatlak oluşum ve gelişimine daha fazla direnç sağlamaktadır. Çatlak gelişiminde mono filament şeklindeki polipropilen liflerin daha etkili olduğu görülmüştür.

Hazırlanan beton karışımları içerisinde beton yol kaplamalarında kullanılabilirlik bakımından sırasıyla çelik lifli ve polipropilen lifli betonların en iyi beton türü olduğu, vakum uygulanmasıyla birlikte yüzey özelliklerinde önemli derecede iyileşmeler meydana geldiği gözlemlenmiştir. Bu malzemelerin yanında, son zamanlarda yapılan çalışmalarda bazalt elyaflar da kullanılmaya başlanmıştır. Bazalt elyaflar bazalt kayalarının eritilmesiyle elde edilir. Bazalt kayalar çok ince bir şekilde parçalara bölünerek istenilen elyaf formu verilebilir. Ayrıca bazalt elyaflar diğer katkı maddeleri içermediği için maliyet açısından da avantajlıdır. Bazalt elyafların cam elyaflara göre daha yüksek çekme dayanımı, karbon fiberlere göre daha yüksek kopma uzamasına sahip olmakla birlikte, kimyasal madde etkileri, darbe yükleri ve yangına dayanımı daha iyidir. Ayrıca yangınla açığa çıkan zehirli gazlar daha azdır (Berozashvili, 2001). Bu avantajlarından dolayı, bazalt elyafların yapı güçlendirme malzemesi olarak kullanılabilir olması beklenmektedir (Sim ve diğ. 2005).

Alkan (2004) çalışmasında, polipropilen lif içermeyen bir seri ile 12mm, 25 mm, 38 mm, 51 mm, boyutlarında polipropilen lif içeren dört seri olmak üzere toplam beş seri beton üretilmiştir. Lif yüzdeleri hacimsel olarak %0.5'te sabit tutulmuştur. Yarmada çekme deneyi için 150 mm çapında 60 mm yüksekliğinde, elastisite modülü ve standart basınç deneyleri için 100 mm çapında ve 200 mm yüksekliğinde silindirler

üretmiştir. Yapılan deneysel çalışmasında basınç dayanımları, yarmada çekme dayanımları, eğilme dayanımları, kırılma enerji ve süneklikleri karşılaştırılmıştır.

Sim ve diğ. (2005) betonarme yapılar için güçlendirme malzemesi olarak kullanılabilirliğini araştırmak üzere bazalt elyafların özelliklerini araştıran bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada, bazalt elyafların mekanik özellikleri ve durabilitesi araştırılmış ve betonarme kirişler için eğilme güçlendirme performansı değerlendirilmiştir.  $2.593 \text{ gr/cm}^3$  yoğunlukta ve  $10.6 \text{ } \mu\text{m}$  çapında bazalt elyaf kullanılmış ve çekme dayanımı, elastisite modülü ve kopma anındaki uzaması ölçülmüştür. Karşılaştırma için cam elyaf ve karbon elyaf numuneleri de hazırlanmıştır. Rusya'da üretilen bazalt elyaflar  $1000 \text{ MPa}$  çekme dayanımıyla, karbon fiberden %30, cam elyaftan %60 daha fazla dayanım sergilemiştir. Üç farklı elyaf (bazalt, cam, karbon) alkali çözeltisine batırıldığında bazalt ve cam elyafta, tepkime sonucu yüzeylerinde tepkime ürünü oluşturarak hacim ve dayanım kaybı gözlenirken, karbon elyafta kayda değer bir değişiklik gözlemlenmemiştir. Hızlandırılmış hava şartları altında, bazalt ve cam elyafların dayanım kaybının başladığı kesin sıcaklık gözlemlenmiş, fakat bazalt elyafta dayanım kaybının, cam elyafta karşılaştırıldığında daha yavaş gerçekleştiği görülmüştür. Elyaflar  $600 \text{ }^\circ\text{C}$ 'nin üstünde bir sıcaklığa maruz bırakıldığında, sadece bazalt elyaf hacimsel bütünlüğünü ve dayanımının %90'ını muhafaza etmiştir.

Youa ve diğ. (2011) çalışmalarında eğilme etkisi altındaki kirişlerin davranışının farklı tipte lif seçenekleri ile karşılaştırılmasını hedeflemişlerdir. Çelik lif olarak  $60 \text{ mm}$  ve  $80 \text{ mm}$  olmak üzere 2 farklı uzunluk kullanmışlardır. Sentetik lif olarak ise  $30 \text{ mm}$  lik süperpolymer ile  $60 \text{ mm}$  lik çelik lif birarada kullanılmıştır. Deneysel karışımında ilk kirişe  $50 \text{ kg/m}^3$   $60 \text{ mm}$  çelik lif; 2. kirişe  $50 \text{ kg/m}^3$   $80 \text{ mm}$  çelik lif ve 3. kirişe ise  $40 \text{ kg/m}^3$   $60 \text{ mm}$  çelik lif ile birlikte  $4 \text{ kg/m}^3$   $30 \text{ mm}$  süperpolymer lif eklenmiştir. Eğilme etkisi altında kırılan kirişlerde referans kirişine göre çatlak dağılımı olmadığı lifli kirişlerin tek bir çatlak genişlemesiyle kırıldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca tüm kirişlerde dayanımın %80 azaldığı kabul edilen sınıra göre hesaplanan eğriliklerde bile en yüksek eğrilik, referans numunesine aittir. Bu da çelik liflerin eğilmeye olumsuz katkısı olduğunu göstermiştir. Süperpolymer lifle birlikte kullanılan çelik lifli kiriş en yüksek yük kapasitesine ulaştığı gözlemlenmiştir. Ayrıca aynı çelik lifli kirişe göre daha fazla eğilme sergilemiştir.

Yang ve diğ. (2012) 6 kiriş numunesi hazırlayarak test etmişlerdir. Kirişlerden 3 tanesi karbon fiber takviyeli polymerden üretilmiş çubuklarla, 3 tanesi ise cam fiber takviyeli polimer den üretilmiş çubukla donatılmıştır. Ayrıca kirişlerin beton matrisine çelik lif ile poliiolefin sentetik lif ilave edilmiştir. Çelik lif katkısı %1 iken sentetik lif katkısı %2'dir. Kirişler aynı düzenele kırılarak çatlak sayısı ve genişliği ölçülmüştür. Sonuçlara göre cam elyaf çubuk donatılı sentetik lifli beton kiriş maximum çatlak sayısı ve dağılımına sahip iken çatlak genişliği bakımından karbon liflilerden daha düşüktür. Karbon çubuklu kiriş setinde yük altında deplasmanı yüksek olan lifsiz numune iken cam çubuklu kiriş numunelerinde yük altında en fazla dayanım ve deplasman çelik lifli olan numuneye ait bulunmuştur. Ayrıca teorik dayanım ile gerçek dayanım kıyaslanmış ve gerçek dayanımın maksimum 1,27 kat daha iyi olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Kassimi ve diğ. (2014) çalışmasında, fiber lif katkılı kendiliğinden yerleşebilen betonun onarım malzemesi olarak kullanılmasının kiriş yapısına yapacağı dayanım katkısı incelenmiştir. Toplam 10 adet kiriş hazırlanmış olup bunlardan sekiz tanesi fiber lif katkılı kendiliğinden yerleşen, bir tanesi kendiliğinden yerleşen lifli harç, diğeri ise elyafsız kendiliğinden yerleşen betondur. Karışımlarda çelik lif iki çeşit polipropilen lif ve hibrid lif kullanılmıştır. Araştırmada kendinden yerleşen lifli beton karışımlarının onarım uygulamaları için uygun olduğu ve akışkanlığının yatay iletimi sağlayabilecek nitelikte olduğu gözlemlenmiştir.

Kamal ve diğ. (2014) çalışmasında üretilen 12 kiriş için kullanılan çelik lifin ağırlıkça tüm karışıma oranı %1.72, polypropilen lifin ise tüm karışıma ağırlıkça oranı %0.04 olarak belirlenmiştir. Çalışmada 2 tür donatı tipi için lifsiz çelik lifli ve polypropilen lifli kirişler dökülmüş olup ayrıca 2 farklı kırılma türü kullanılarak incelenmiştir. Kirişin eğilme altında göstereceği davranışın incelenmesi için etriye ve montaj donatısı eklenmiş olup kesme kırılması hedeflendiği için etriyesiz 2 alt donatı ile çalışma yapılmıştır. Çalışmanın sonuçları incelendiğinde, çatlak sayısı bakımından polypropilen lifin çatlak sayısının diğelerine göre daha fazla olduğu, kesme dayanımı artışının lifsiz polypropilen çelik lif şeklinde arttığı, eğilme etkisi altında 2φ10 donatılı polypropilen lifli kirişin maximum deplasman yaptığı, 2φ12 donatılı polypropilen lifli kirişin maximum yük taşıdığı, maximum sünekliğin 2φ12 çelik lifli olan kirişte olduğu bulunmuştur.

Aslan (2017) çalışmasının amacı, bazalt liflerinin geleneksel betonun mekanik özellikleri ve eğilme altında kırılma parametrelerine etkilerini incelemektir. Betonun kırılma enerjilerinin belirlenmesi amacıyla, RILEM TC 50-FMC standardına uygun olarak, lifsiz ve 24 mm boyunda 0.5; 1, 2 ve 3 kg/m<sup>3</sup> bazalt lif içeriğine sahip 15 adet 50x100x480 mm boyutlarında çentikli kiriş numuneleri üretilmiştir. Üretilen çentikli kiriş numuneleri üzerinde üç nokta eğilme deneyi gerçekleştirilmiştir. Çentikli kiriş numunelerin kırılma enerjileri, yük-çatlak açıklığı eğrisinin altında kalan alan kullanılarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar, bazalt liflerin betonun kırılma enerjisini önemli oranda artırdığını göstermiştir. Bunun yanında bazalt liflerin betonun, basınç dayanımı ve elastisite modülü üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Yarmada ve eğilmede çekme dayanımlarında ise 2 kg/m<sup>3</sup> lif içeriğinden sonra azalma başladığı görülmüştür. Elde edilen sonuçların tamamı beraber değerlendirildiğinde geleneksel beton için en uygun lif oranının 2 kg/m<sup>3</sup> olduğu belirlenmiştir.

Birol (2016) çalışmasında kolay üretilebilir UYPLB ile hazırlanan 24 adet 150x250x2500 mm boyutlarındaki kirişlerin eğilme davranışı incelenmiştir. Üç farklı çelik lif tipi tekil ve karma olarak numunelerde kullanılmıştır. Deneyler sonucunda lif ilavesinin yük kapasitesine katkısı gözlemlenmiştir. Lif oranı arttıkça elde edilen kapasite artışının azaldığı belirlenmiştir. En yüksek donatı oranına kadar lif sünekliğe olumlu katkı sağlamış çatlak oluşumunu ve yayılımını azalttığı gözlemlenmiştir.

## **1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı**

Bu çalışmada, sentetik lif ile üretilen UYPLB kullanılarak imal edilen kirişlerin eğilme davranışının deneysel incelenmesi amaçlanmıştır.

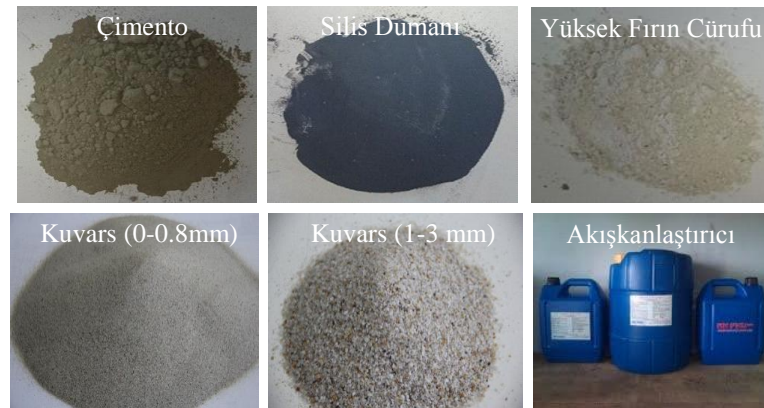
Çalışmada 14 adet 100x150x1500 mm boyutlarında kirişlerin dört noktalı eğilme deneyleri yapılmıştır. Kirişlerde iki farklı donatı oranı, iki farklı lif tipi (bazalt ve poliamid) ve üç farklı lif oranının (%0.5, %1.0 ve %1.5) eğilme davranışına etkileri; Yük taşıma kapasitesi, yerdeğiştirme ve eğrilik sünekliği, eğilme rijitliği, çatlak genişliği ve dağılımı parametreleri açısından değerlendirilmiştir.

## 2. UYPLB İLE ÜRETİLEN BETONARME KİRİŞLERİN EĞİLME DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Çalışmanın bu bölümünde, 120 MPa ve üzeri beton dayanımına sahip UYPLB ile üretilmiş, iki farklı donatı oranı, iki lif tipi ve üç farklı lif oranına sahip 12 kiriş ve lifin etkisini değerlendirmek amacıyla iki adet lifsiz referans kiriş üretilmiş ve eğilme davranışı deneysel incelenmiştir. 14 adet 100x150x1500 mm boyutlarındaki kirişlerin dört noktalı eğilme testleri yapılmış ve elde edilen, yük/moment taşıma kapasiteleri, yerdeğiştirme ve eğrilik süneklilikleri, çatlama kesit eğilme rijitlikleri ve çatlak özellikleri karşılaştırılarak eğilme davranışları değerlendirilmiştir.

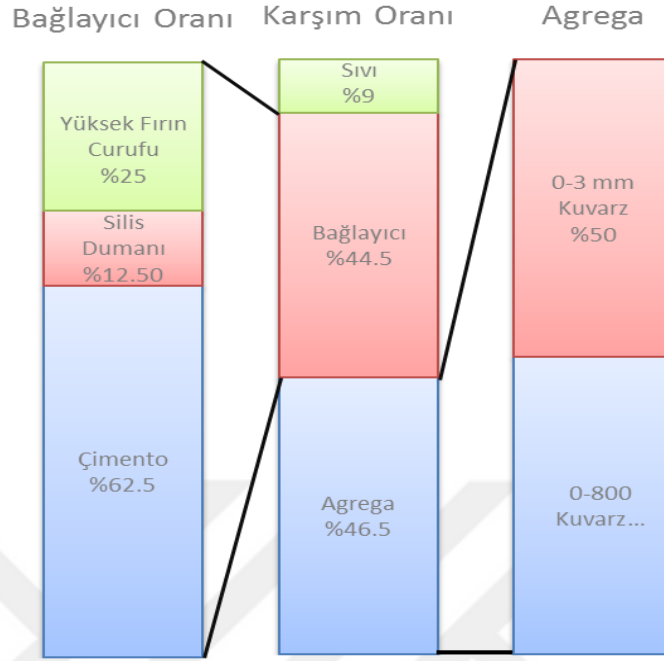
### 2.1 Ultra Yüksek Performanslı Betonun (UYPLB) özellikleri

Betonarme kirişlerde 28 günlük basınç dayanımı en az 120 MPa olan UYPLB üretilmesi öngörülmüştür. Betonun bağlayıcı kısmı CEM I 42.5 sınıf portland çimentosu, silis dumanı ve yüksek fırın cürufundan oluşmaktadır. Agrega olarak iki farklı boyutta yüksek dayanımlı kuvars kullanılmıştır. UYPLB çok düşük su/bağlayıcı oranına sahip olduğundan, betonun işlenebilirliğinin sağlanması için ASTM C 494 F tipi polikarboksilat eter esaslı yeni nesil süper akışkanlaştırıcı katkı kullanılmıştır.



Şekil 2.1: UYPLB'ni oluşturan bileşenler

Betonu oluşturan bileşenler Şekil 2.1’de, bu bileşenlerin oranları Şekil 2.2’de verilmiştir.



Şekil 2.2: UYPLB’ a ait karışım oranları

UYPLB’ nun üretilmesi için standart karıştırıcılar kullanılmıştır. Çalışmada iki farklı sentetik lif kullanılmıştır. Liflere ait özellikler Tablo 2.1’de verilmiştir.

Tablo 2.1: UYPLB’ da kullanılan lifler

| Özellikler                          | Poliamid | Bazalt      |
|-------------------------------------|----------|-------------|
| Özgül Ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> ) | 1.14     | 2.80        |
| Uzunluk (mm)                        | 54       | 24          |
| Çap (mm)                            | 0.55     | 0.009-0.023 |
| Çekme dayanımı (MPa)                | 900      | 4840        |

## 2.2 Deney Kirişlerinin Özellikleri

Çalışmada, iki farklı donatı oranına sahip kirişler incelenmiştir. Donatı oranları kirişlerde çekme kırılması oluşacak şekilde (0.013 ve 0.024) seçilmiştir. Kirişlerin bir grubu TS 500 (2000)’deki maksimum çekme donatısı oranı sınırının (0.02) altında, diğeri ise üzerinde seçilmiştir.



Kirişleri eğilme davranışına sentetik lifin katkısını inceleyebilmek için iki farklı sentetik lif kullanılmıştır. Bir grup kiriş 24 mm'lik bazalt lif ile diğer grup ise 60 mm'lik poliamid lif ile üretilmiştir. Ayrıca lif oranının katkısını belirleyebilmek için de üç farklı (%0.5, %1.0 ve %1.5) lif oranı kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan bazalt ve poliamid lifler Şekil 2.3'te gösterilmiştir. Liflere ait özellikler Tablo 2.1'de verilmiştir.



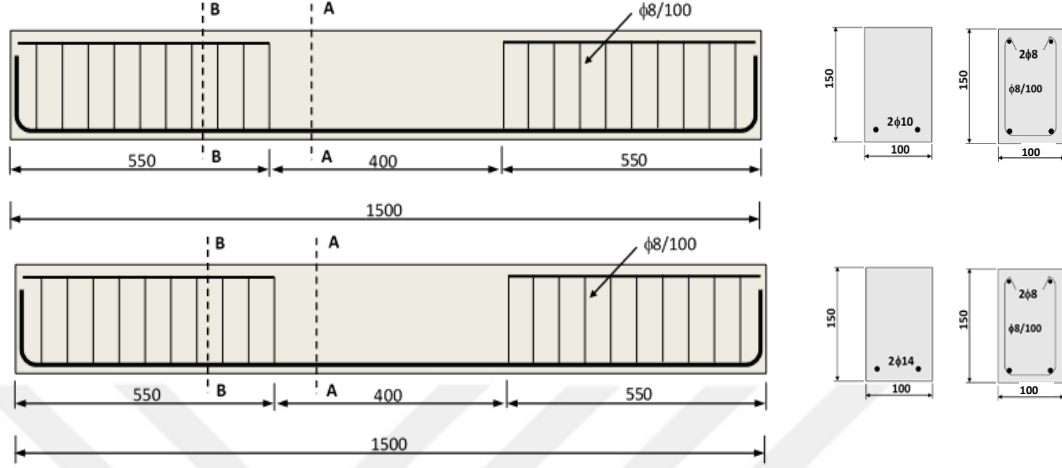
**Şekil 2.3:** Kirişlerin üretiminde kullanılan lif tipleri (a) bazalt lif (b) poliamid lif

Kirişlerin kodları ile donatı ve lif içerikleri Tablo 2.2'de verilmiştir. Kirişlerin geometrik özellikleri ve donatı yerleşimleri Şekil 2.4'te verilmiştir. Kiriş kodlarında NF liffsiz, FK poliamid lifi, FB ise bazalt lifi ifade etmektedir.

**Tablo 2.2:** Deney kirişlerinin donatı ve lif içerikleri

| Kiriş Kodu | Çekme Donatısı | Donatı Oranı ( $\rho$ ) | Lif tipi | Oranı (%) |     |
|------------|----------------|-------------------------|----------|-----------|-----|
| 10 NF      | 2 $\phi$ 10    | 0.013                   | -        | -         |     |
| 14 NF      | 2 $\phi$ 14    | 0.024                   | -        | -         |     |
| 10 FK 0.5  | 2 $\phi$ 10    | 0.013                   | Poliamid | 0.5       |     |
| 10 FK 1.0  |                |                         |          | 1.0       |     |
| 10 FK 1.5  |                |                         |          | 1.5       |     |
| 14 FK 0.5  | 2 $\phi$ 14    | 0.024                   |          | 0.5       |     |
| 14 FK 1.0  |                |                         |          | 1.0       |     |
| 14 FK 1.5  |                |                         |          | 1.5       |     |
| 10 FB 0.5  | 2 $\phi$ 10    | 0.013                   |          | Bazalt    | 0.5 |
| 10 FB 1.0  |                |                         |          |           | 1.0 |
| 10 FB 1.5  |                |                         |          |           | 1.5 |
| 14 FB 0.5  | 2 $\phi$ 14    | 0.024                   | 0.5      |           |     |
| 14 FB 1.0  |                |                         | 1.0      |           |     |
| 14 FB 1.5  |                |                         | 1.5      |           |     |

Kirişlerin sol ve sağ ucundaki 55 cm'lik bölgeler kirişte kesme kırılması oluşmayacak şekilde  $\phi 8/100$  etriye ile donatılmıştır. Orta bölgede iki yük arasında kalan 40 cm'lik bölgede eğilme davranışının incelenebilmesi için etriye veya basınç donatısı yerleştirilmemiştir.



Şekil 2.4: Kirişlerin geometrik özellikleri ve donatı yerleşimleri

### 2.3 DeneY Kirişlerinin Üretilmesi

Kiriş kalıpları 3 mm kalınlığındaki çelik sac kıvrılarak tek parça olarak üretilmiştir. Kalıpların üst genişlikleri üç adet işkence ile sıkıştırılarak ayarlanmıştır. DeneY kirişlerine ait boyuna ve enine donatıların hazırlanmasının ardından kalıbın içine yerleştirilmiştir. Çelik kalıplar ve donatıların yerleşimi Şekil 2.5'de verilmiştir.



Şekil 2.5: Kalıpların ve donatıların hazırlanması

Çalışmada kullanılan UYPLB, 56 dm<sup>3</sup> hacminde 30 dm<sup>3</sup> etkin karıştırma kapasitesine sahip standart bir panmikserde üretilmiştir (şekil 2.6).



**şekil 2.6:** UYPLB'un panmikserde hazırlanması aşamaları

Beton, elik liflerin yönelmesine imkan verecek şekilde özel olarak tasarlanmış bir beton arabası kullanılarak elik kalıplara yerleştirilmiştir (şekil 2.7).



**şekil 2.7:** UYPLB'un hazırlanması ve kiriş kalıplarına yerleştirilmesi

Hazırlanan UYPLB karışımlarına ait beton basınç dayanımlarını belirlemek amacıyla, her bir kiriş için 9 adet 100x100x100 mm'lik küp numune alınmıştır. Dökümü tamamlanan kirişler kalıptan alınmaya kadar su kaybını önlemek amacıyla plastik bir örtü ile sarılarak korunmuştur. (Şekil 2.8, 2.9 ve 2.10). Kirişler kalıptan alındıktan sonra test gününe kadar yaklaşık 20°C sıcaklığındaki laboratuvar ortamında bekletilmiştir.



**Şekil 2.8:** Döküm sonrası deney kirişi



**Şekil 2.9:** Plastik örtü ile kürlenmiş deney kirişleri



**Şekil 2.10:** Telis bezi ile kürlenmiş deney kirişleri



## 2.4 Deney Kirişlerinin Beton ve Donatılarının Mekanik Özellikleri

UYPLB'lu betonarme kirişlerde kullanılan betonun basınç dayanımları Labortauvarda bulunan 3000 kN kapasiteli beton presi ile elde edilmiştir (Şekil 2.11). Çalışmada, her bir kiriş için 9 adet küp numune alınmıştır. Kirişlerle aynı ortamda kürlenmiş küp numunelere ait 7, 28 ve 56 günlük ortalama basınç dayanımları Tablo 2.3'de verilmiştir. Eksenel basınç testlerinde yükleme hızı 1 MPa/sn alınmıştır.

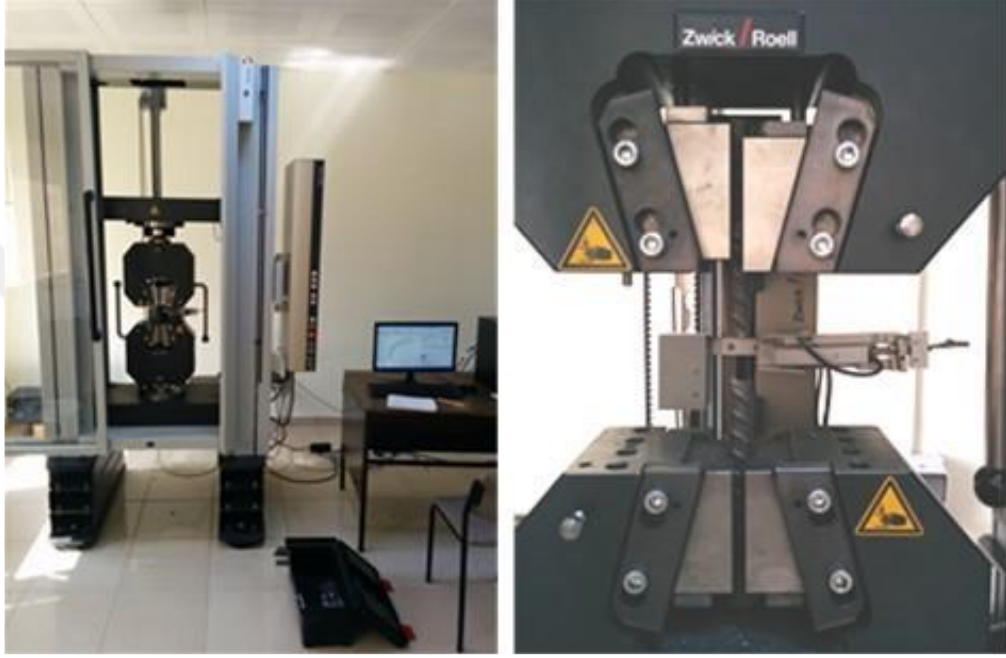
**Tablo 2.3:** Deney kirişlerinin ortalama basınç dayanımları (MPa)

| Kiriş Kodu | 7<br>Günlük | 28<br>Günlük | 56<br>Günlük |
|------------|-------------|--------------|--------------|
| 10 NF      | 50.3        | 95.7         | 110.0        |
| 14 NF      | 55.2        | 110.3        | 128.0        |
| 10 FB 0.5  | 45.4        | 113.2        | 130.2        |
| 10 FB 1.0  | 60.2        | 115.3        | 133.1        |
| 10 FB 1.5  | 45.4        | 106.5        | 122.7        |
| 14 FB 0.5  | 56.4        | 111.6        | 129.5        |
| 14 FB 1.0  | 39.4        | 103.1        | 128.8        |
| 14 FB 1.5  | 41.6        | 107.5        | 123.7        |
| 10 FK 0.5  | 25.0        | 97.7         | 113.5        |
| 10 FK 1.0  | 28.0        | 93.6         | 111.10       |
| 10 FK 1.5  | 30.3        | 85.2         | 100.00       |
| 14 FK 0.5  | 25.8        | 92.3         | 118.43       |
| 14 FK 1.0  | 26.7        | 96.1         | 117.26       |
| 14 FK 1.5  | 25.3        | 90.3         | 111.10       |



**Şekil 2.11:** Beton test presi

UYPLB'lu deney kirişlerinde kullanılan boyuna donatıların aksenal çekme deneyleri yapılarak mekanik özellikleri belirlenmiştir. Çekme testleri, için 30 mm çelik çubuklar kullanılmıştır. Balıkesir Üniversitesi Merkez Laboratuvarı'nda bulunan 250 kN kapasiteli çekme cihazı ile tüm deney kirişlerinin donatıları test edilmiştir (Şekil 2.12). Çelik çekme deneyinde yükleme hızı 6 mm/dk olarak belirlenmiştir. Donatılara ait akma ve çekme dayanımları ile kopma uzaması değerleri Tablo 2.4'de verilmiştir.



Şekil 2.12: Donatıların çekme testi ile mekanik özelliklerinin belirlenmesi

Tablo 2.4: Kiriş boyuna donatılarının mekanik özellikleri

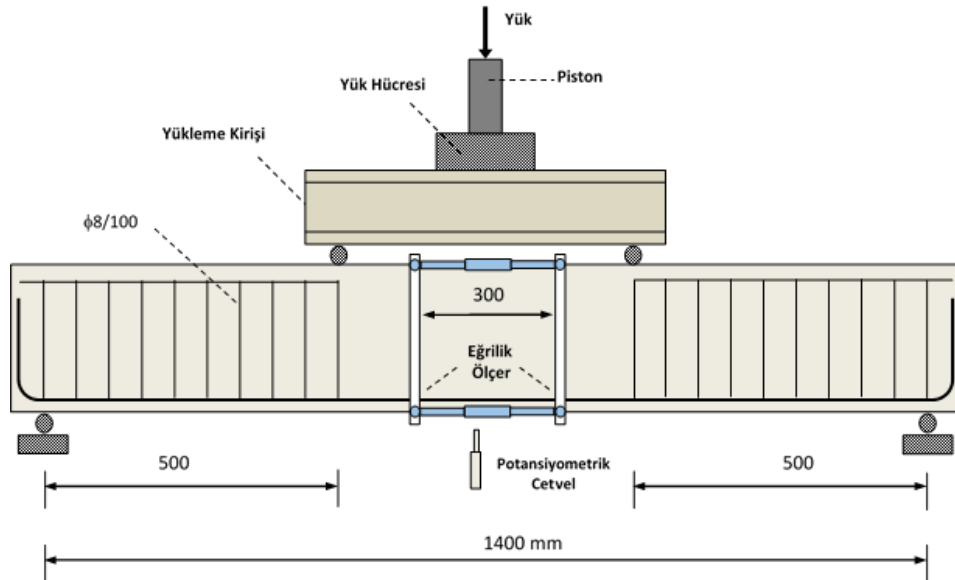
| Kiriş Kodu | Akma Dayanımı (MPa) | Çekme Dayanımı (MPa) |
|------------|---------------------|----------------------|
| 10NF       | 485.00              | 575.23               |
| 14NF       | 458.00              | 555.45               |
| 10FK0.5    | 481.89              | 581.02               |
| 10FK1.0    | 481.89              | 581.02               |
| 10FK1.5    | 481.89              | 581.02               |
| 14FK0.5    | 448.91              | 590.45               |
| 14FK1.0    | 448.91              | 590.45               |
| 14FK1.5    | 448.91              | 590.45               |
| 10FB0.5    | 457.02              | 584.50               |
| 10FB1.0    | 457.02              | 584.50               |
| 10FB1.5    | 457.02              | 584.50               |
| 14FB0.5    | 464.02              | 577.45               |
| 14FB1.0    | 464.02              | 577.45               |
| 14FB1.5    | 464.02              | 577.45               |

## 2.5 Deney ve Ölçüm Düzenegi

Kirişlerin eğilme deneyleri, Balıkesir Üniversitesi Prof. Dr. Şerif SAYLAN Yapı Mekaniği Laboratuvarı'nda bulunan dört noktalı eğilme deney düzenegi ile yapılmıştır (Şekil 2.13). Düzenekte 500 kN kapasiteli ve yerdeğiştirme kontrollü bir hidrolik yük veren bulunmaktadır. Deney sisteminin yükleme hızı bilgisayar ile kontrol edilmekte ve anlık değiştirilebilmektedir. Kirişin düşey yerdeğiştirmesini ölçmek üzere açıklık ortasına bir adet 200 mm kapasiteli yaylı potansiyometrik cetvel ve yükü ölçmek üzere yük verenin altına bir adet 500 kN kapasiteli yük hücresi yerleştirilmiştir. Yük, rijit bir çelik profil vasıtasıyla iki tekil yüke dönüştürülerek kirişe uygulanmaktadır (Şekil 2.14).



Şekil 2.13: Kiriş eğilme deney düzenegi



Şekil 2.14: Deney kirişi ve şematik ölçüm düzenegi

Kiriş orta bölgesindeki eğriliği (birim dönme) belirlemek amacıyla basınç ve çekme bölgesine iki adet potansiyometrik cetvel yerleştirilmiştir (Şekil 2.15). Eğrilik düzeneği ile elde edilen en üst basınç lifinde ölçülen kısalma ve en alt çekme lifinde ölçülen uzamalardan yararlanarak salt eğilme bölgesindeki 300 mm'lik bir bölgenin ortalama eğriliği belirlenmiştir.



**Şekil 2.15:** Eğrilik ölçüm düzeneği

Test süresince belirli düşey ötelenme ( $L/250$  ve  $L/70$ ) değerleri için kiriş üzerinde oluşan çatlaklar işaretlenmiş ve çatlak mikroskopu yardımıyla çatlak genişlikleri ölçülmüştür.

Deney süresince ölçülen veriler 24 kanallı veri toplama cihazı ile bilgisayara aktarılarak kaydedilmiştir (Şekil 2.16).



**Şekil 2.16:** Veri toplama sistemi



### 3. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Deneyi yapılan kirişler 3 grupta incelenmiştir. Birinci grupta lifsiz referans kirişlerin davranışları, ikinci grupta bazalt lifli kirişlerin davranışları ve üçüncü grupta ise poliamid lifli kirişlerin davranışları incelenmiştir. Çalışmada, eğilme davranışı ile ilgili olarak aşağıda belirtilen parametreler esas alınmıştır. Bunlar;

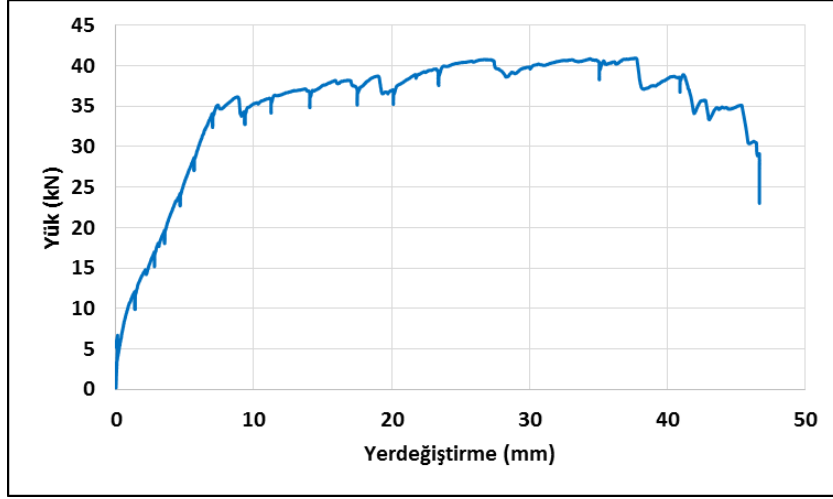
- a) Yük-düşey yerdeğiştirme davranışları
- b) Yerdeğiştirme süneklikleri ( $\Delta_u/\Delta_y$ )
- c) Yük taşıma kapasiteleri ( $P_{maks}$ )
- d) Eğrilik süneklikleri ( $\phi_u/\phi_y$ ) ve çatlama kesit eğilme rijitlikleri ( $EI_c$ )
- e) Belirli düşey yerdeğiştirme değerlerindeki ( $L/250$  ve  $L/70$ ) çatlak genişlikleri ve dağılımları

#### 3.1. Lifsiz Referans Kirişlerin Eğilme Davranışları

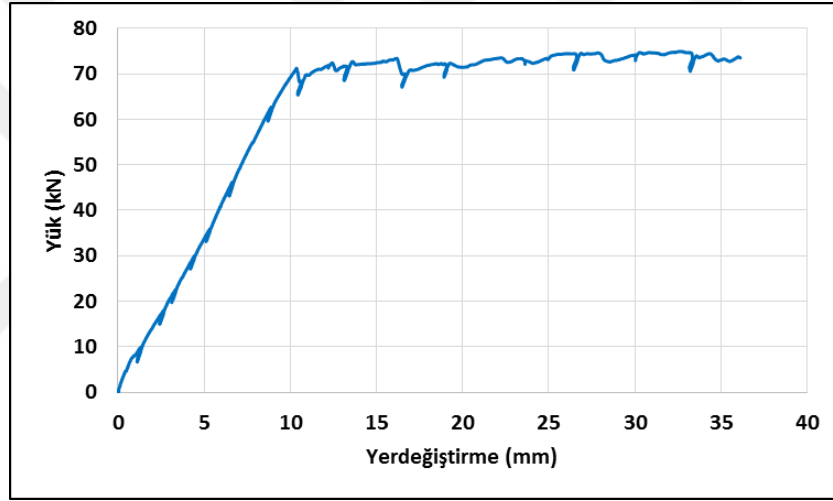
Lifin eğilme davranışını karşılaştırmak üzere öncelikle lifsiz referans kirişlerin eğilme davranışı belirlenmiştir.

##### 3.1.1 Lifsiz Referans Kirişlerin Yük-Düşey Yerdeğiştirme Davranışları

Lifsiz 2 $\phi$ 10 ve 2 $\phi$ 14 donatıya sahip referans kirişlerin *yük-düşey yerdeğiştirme* eğrileri Şekil 3.1 ve 3.2’de verilmiştir. Bu kirişlerin kırılma şekilleri de sırasıyla Şekil 3.3 ve 3.4’de verilmiştir. Her iki donatı oranına sahip kirişlerin eğilme davranışı donatı akması ve beton ezilmesi ile sonuçlanmıştır.



Şekil 3.1: 2φ10 donatılı liffsiz kirişe ait yük-düşey yerdeğiştirme grafiği



Şekil 3.2: 2φ14 donatılı liffsiz kirişe ait yük-düşey yerdeğiştirme grafiği



Şekil 3.3: 2φ10 donatılı liffsiz kirişin kırılma şekli



Şekil 3.4: 2φ14 donatılı liffsiz kirişin kırılma şekli

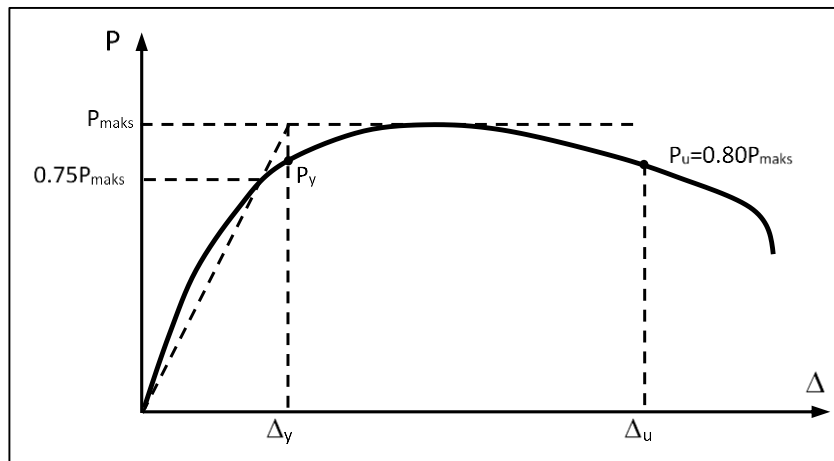
### 3.1.2 Lifsiz Referans Kirişlerin Yerdeğiştirme Süneklikleri ( $\Delta_u/\Delta_y$ )

UYPLB'lu betonarme kirişlerde yerdeğiştirme sünekliğini belirleyebilmek için eğilme testlerinden elde edilen *yük-düşey yerdeğiştirme davranışları* kullanılarak akma yükü ( $P_y$ ), akma yerdeğiştirmesi ( $\Delta_y$ ), maksimum yerdeğiştirmeye karşılık gelen yük taşıma kapasitesi ( $P_u$ ) ve maksimum yerdeğiştirme ( $\Delta_u$ ) değerleri elde edilmiştir.

Akma yerdeğiştirmesinin ( $\Delta_y$ ) belirlenmesinde, *ideal elasto-plastik* davranıştaki akmayı esas alan Park (1988)'deki azaltılmış rijitlik yaklaşımı esas alınmıştır. Bu yaklaşımda akma yerdeğiştirmesi, kirişin maksimum yük taşıma kapasitesinin ( $P_{maks}$ ) %75'ine karşılık gelen nokta ile eğrinin başlangıcını birleştiren bir doğru yardımıyla geometrik olarak belirlenmektedir (Şekil 3.5).

Lifsiz kirişlerden farklı olarak UYPLB'lu kirişlerde, maksimum yük sonrası dayanım azalmaları oluşmakta, ancak lifler sayesinde kırılma yüküne ( $P_u$ ) kadar büyük yerdeğiştirmeler meydana gelmektedir. Çalışmada, bu dayanım azalmalarını sınırlamak amacıyla Şekil 3.5'de gösterildiği gibi en fazla %20'lik yük düşüşü gözönüne alınmış ve maksimum yerdeğiştirmeler buna bağlı olarak belirlenmiştir (Park, 1988).

İncelenen test kirişleri için yerdeğiştirme süneklikleri ve diğer karakteristik değerler Tablo 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.5: Yük-düşey yerdeğiştirme davranışına ait karakteristik değerler  
(Park, 1988)

### 3.1.3 Lifsiz Referans Kirişlerin Yük Taşıma Kapasiteleri ( $P_{maks}$ )

İki farklı donatı oranları için lifsiz referans kirişlerin yük taşıma kapasiteleri donatı oranının artması ile beklenildiği gibi artmıştır (Tablo 3.1).

**Tablo 3.1:** Lifsiz kirişlerin yerdeğiştirme sünekliklerine ait oranlar

| Kiriş kodu | $\Delta_y$ (mm) | $P_u$ (kN) | $\Delta_u$ (mm) | $P_{maks}$ (kN) | $\Delta_u/\Delta_y$ |
|------------|-----------------|------------|-----------------|-----------------|---------------------|
| 10NF       | 8.18            | 32.76      | 45.78           | 40.96           | 5.60                |
| 14NF       | 10.67           | 73.49      | 36.12           | 74.9            | 3.38                |

### 3.1.3 Lifsiz Referans Kirişlerin Eğrilik Süneklikleri ve Çatlamış Kesit Eğilme Rijitlikleri

Lifsiz referans kirişlerde eğrilik verisi alınamamıştır.

### 3.1.4 Lifsiz Referans Kirişlerin Çatlak Davranışları

UYPLB'lu betonarme kirişlerde donatı oranının çatlak davranışına olan etkisini ortaya koymak amacıyla, kiriş deneyleri esnasında işaretlenen çatlak ve ölçülen çatlak genişlikleri karşılaştırılmıştır. Tüm deney kirişlerinde çatlak incelemelerinin sabit bir sehimde yapılabilmesi için, L/250'lik ve L/70'lik düşey yerdeğiştirme değerleri seçilmiştir. Burada L/250 değeri tüm kirişler için elastik bölgeye karşılık gelirken L/70 değeri önemli plastik şekildeğiştirmelerin olduğu plastik bölgeye karşılık gelmektedir. Çalışmada, L/250'lik yerdeğiştirme değerinin *kullanılabilirlik* ve L/70 değerinin ise *taşıma gücü* durumlarına ait çatlak davranışlarını temsil ettiği varsayılmıştır. 2 $\phi$ 10 ve 2 $\phi$ 14 doantılı lifsiz, kirişlere ait çatlak dağılımları Şekil 3.6-3.9'de verilmiştir.



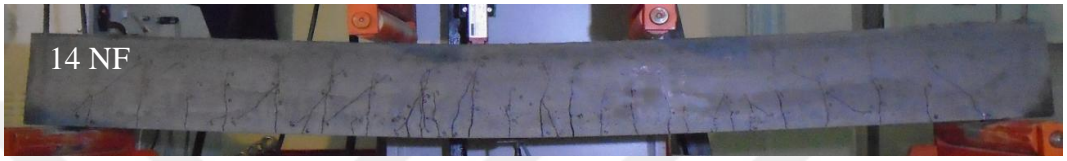
**Şekil 3.6:** 2 $\phi$ 10 donatılı lifsiz kirişlerin L/250 yerdeğiştirmesi için çatlak dağılımları



**Şekil 3.7:** 2φ10 donatılı lifsiz kirişlerin  $L/70$  yerdeğiştirme için çatlak dağılımları



**Şekil 3.8:** 2φ14 donatılı lifsiz kirişlerin  $L/250$  yerdeğiştirme için çatlak dağılımları



**Şekil 3.9:** 2φ14 donatılı lifsiz kirişlerin  $L/70$  yerdeğiştirme için çatlak dağılımları

2φ10 donatılı lifsiz kirişler  $L/250$ 'de kiriş boyunca 22 çatlak oluşurken  $L/70$ 'te çatlak sayısı 28'e çıkmıştır. Ayrıca  $L/250$ 'de çatlak genişliği 0.4 mm iken  $L/70$ 'de 3.4 mm'ye çıkmıştır.

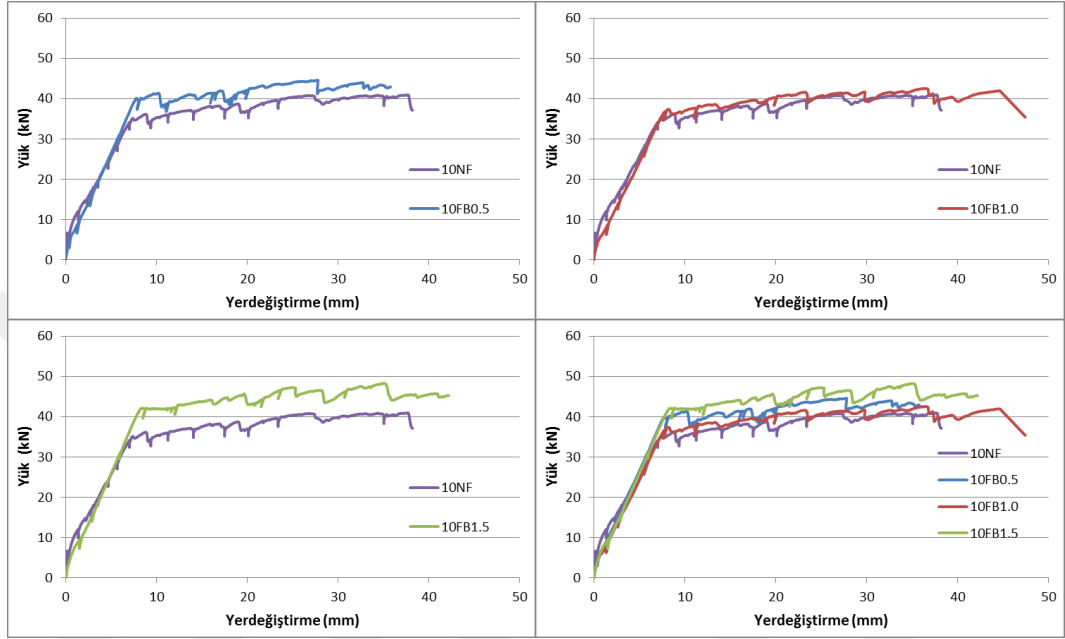
2φ14 donatılı lifsiz kirişlerde ise  $L/250$ 'de kiriş boyunca 14 çatlak oluşurken  $L/70$ 'te çatlak sayısı 40'a çıkmıştır. Ayrıca  $L/250$ 'de çatlak genişliği 0.2 mm iken  $L/70$ 'de 2.9 mm'ye çıkmıştır.

### 3.2 Bazalt Lifli Kirişlerin Eğilme Davranışları

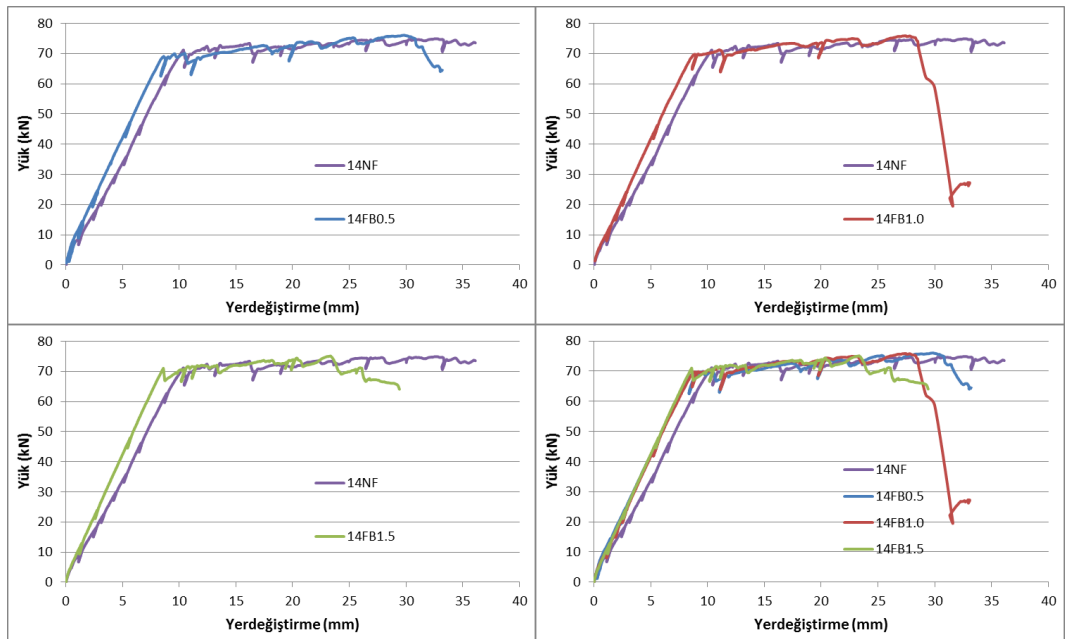
Bazalt lifin ve lif oranının eğilme davranışına katkısını belirlemek için kirişlerin eğilme deneyleri gerçekleştirilmiş ve belirlenen parametrelere göre lifsiz numunelerle karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

### 3.2.1 Bazalt Lifli Kirişlerin Yük-Düşey Yerdeğiştirme Davranışları

UYPLB'lu betonarme kirişlerde bazalt lif içeriğinin kiriş eğilme davranışı üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla lifsiz ve bazalt lifli kirişlerden elde edilen *yük-düşey yerdeğiştirme* davranışları Şekil 3.10 ve 3.11'de verilmiştir.



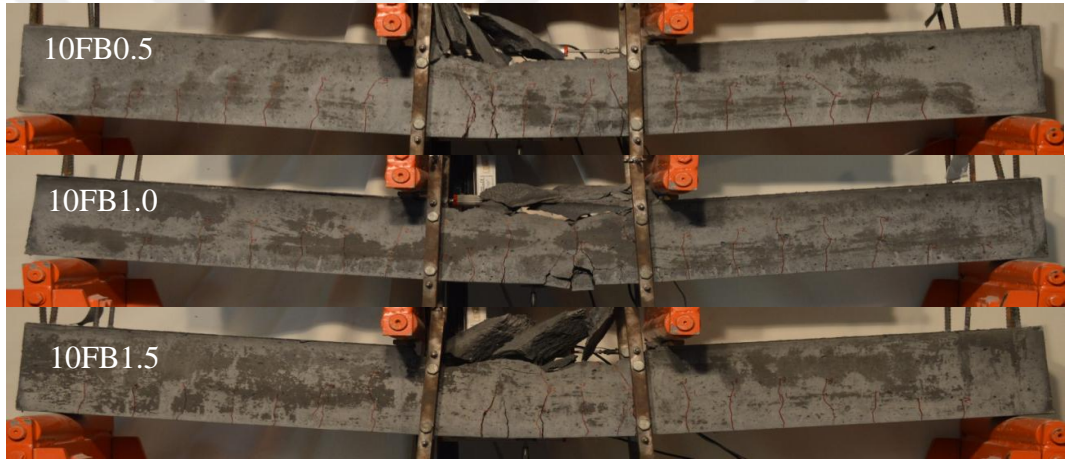
Şekil 3.10: 2φ10 donatılı bazalt kirişlere ait yük-düşey yerdeğiştirme davranışları



Şekil 3.11: 2φ14 donatılı bazalt kirişlere ait yük-düşey yerdeğiştirme davranışları

Bazalt lifli kirişler için üretilen UYPLB’da bazalt lifinin ipliksi yapısının su emmeye talebinin fazla olması nedeniyle lif oranlarına bağlı olarak karışıma anlık müdahale gerekmiştir. Beton, ilave akışkanlaştırıcı ile sıvı hale getirilmeye çalışılmıştır.

Düşük donatı oranına karşılık gelen  $2\phi 10$  donatılı kirişlerde bazalt lif kullanımı sonucu referans kirişlere göre yük taşıma kapasitesinin arttığı görülmüştür.  $2\phi 14$  donatılı kirişlerde ise lifin yük taşıma kapasitesine bir katkısı olmadığı belirlenmiştir.  $2\phi 10$  ve  $2\phi 14$  bazalt lifli kirişlerin kırılma şekilleri Şekil 3.12 ve 3.13’de verilmiştir. Tüm deneyler beton ezilmesi ile sonuçlanmıştır. Bazalt lifinin kırılma şekline bir etkisi görülmemiştir.



**Şekil 3.12:**  $2\phi 10$  donatılı bazalt lifli kirişlerin kırılma şekilleri

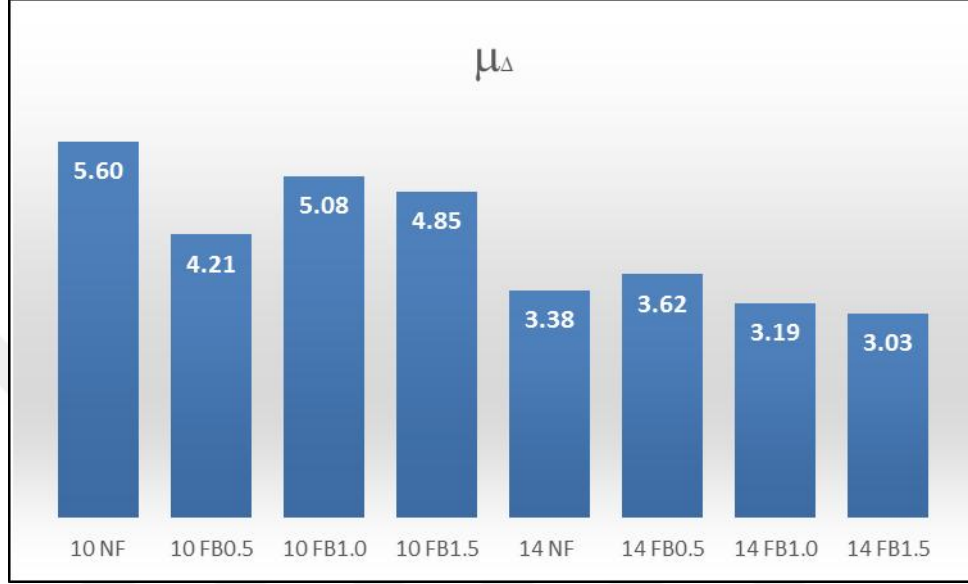


**Şekil 3.13:**  $2\phi 14$  donatılı bazalt lifli kirişlerin kırılma şekilleri



### 3.2.2 Bazalt Lifli Kirişlerin Yerdeğiştirme Süneklikleri ( $\mu_{\Delta}$ )

UYPLB'lu betonarme kirişlerde bazalt lif içeriğinin yerdeğiştirme sünekliği üzerindeki etkisini ortaya koymak amacıyla, lifsiz ve bazalt lifli kirişlere ait yerdeğiştirme süneklikleri belirlenmiş ve Şekil 3.14'de sunulmuştur.



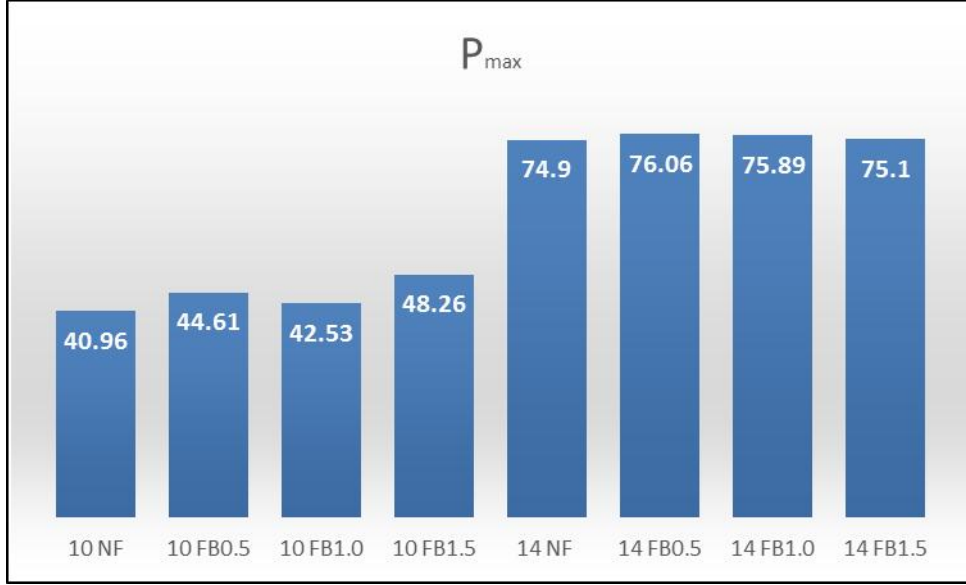
Şekil 3.14: Kirişlerde bazalt lif oranının yerdeğiştirme sünekliği üzerindeki etkisi

2 $\phi$ 10 donatılı kirişlerde bazalt lifinin kullanımı yerdeğiştirme sünekliğini azaltırken 2 $\phi$ 14 donatılı kirişlerdeki azalma çok belirgin değildir.

### 3.2.3 Bazalt Lifli Kirişlerin Yük Taşıma Kapasiteleri ( $P_{maks}$ )

UYPLB'lu betonarme kirişlerde bazalt lif içeriğinin yük taşıma kapasitesine olan etkisini belirleyebilmek amacıyla, bazalt lifli kirişler için elde edilen yük taşıma kapasiteleri Şekil 3.15'de verilmiştir. 2 $\phi$ 10 donatılı kirişlerde bazalt lifinin kullanımı sonucu yük taşıma kapasitesi lifsiz referans kirişlere göre %4 ile % 18 oranında artış sağlanmıştır. 2 $\phi$ 14 donatılı kirişlerde ise bazalt lifin yük taşıma kapasitesini arttırmadığı görülmüştür.



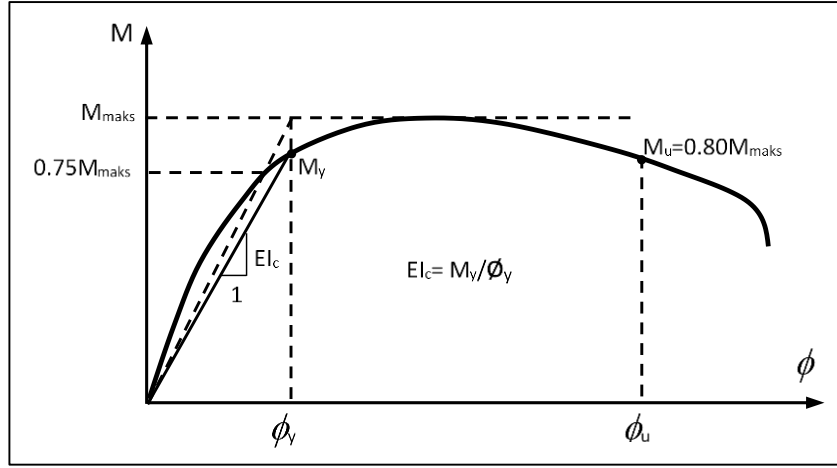


**Şekil 3.15:** Kirişlerde bazalt lifin yük taşıma kapasitesi üzerindeki etkisi

### 3.2.4 Bazalt Lifli Kirişlerin Eğrilik Süneklikleri ve Çatlamış Kesit Eğilme Rijitlikleri

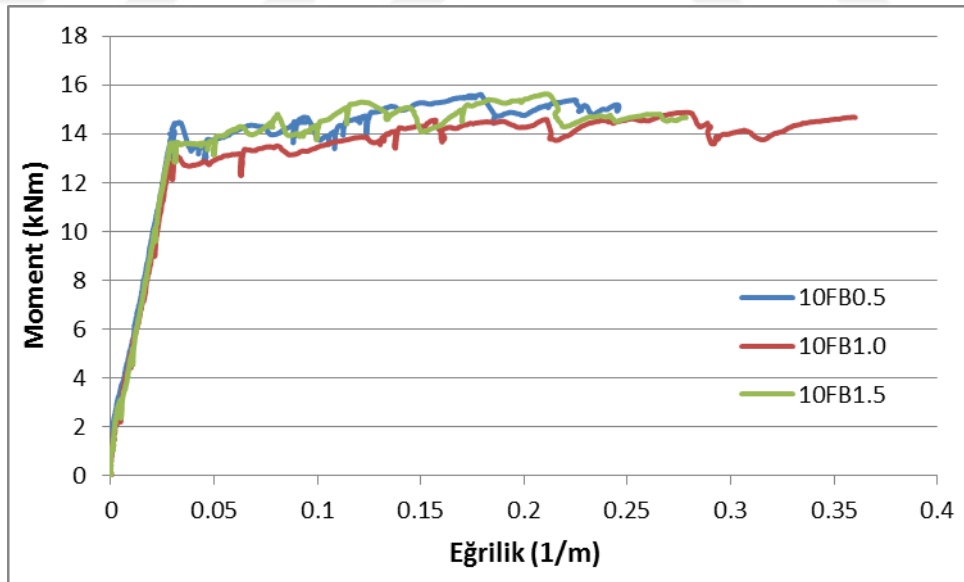
UYPLB'lu betonarme kirişlerde bazalt lif içeriğinin eğrilik (birim dönme) sünekliğine ve çatlamış kesit eğilme rijitliğine olan etkilerini belirlemek amacıyla, lifsiz ve bazalt lifli kirişlere ait deneysel *moment-eğrilik* grafiklerinden yararlanılarak eğrilik süneklikleri ve rijitlikleri belirlenmiştir.

Bunun için öncelikle, kiriş orta bölgesi için elde edilen *moment-eğrilik* grafikleri kullanılarak akma momenti ( $M_y$ ), maksimum yerdeğiştirmeye karşılık gelen moment taşıma kapasitesi ( $M_u$ ), akma eğriliği ( $\theta_y$ ) ve maksimum eğrilik ( $\theta_u$ ) değerleri elde edilmiştir. Bu karakteristik değerlerin belirlenmesi için yerdeğiştirme sünekliklerinin hesabında kullanılan prosedür esas alınmıştır (Park, 1988). Kirişlerde çatlamış kesit eğilme rijitlikleri ( $EI_c$ ), moment-eğrilik davranışındaki idealleştirme sonucunda elde edilen akma momenti ( $M_y$ )'nin akma eğriliğine ( $\theta_y$ )'ne bölünmesiyle belirlenmiştir (Şekil 3.16).

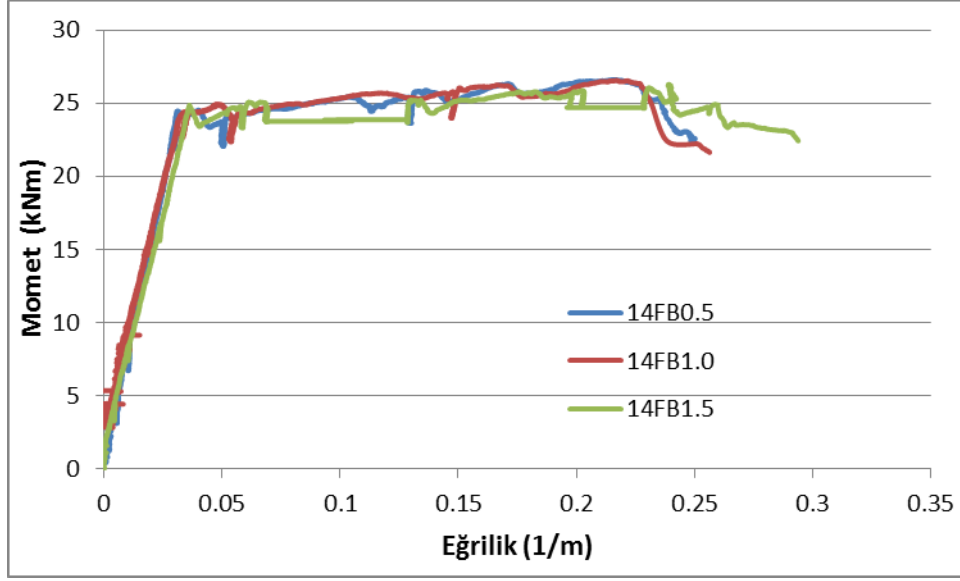


Şekil 3.16: Moment- eğrilik davranışına ait karakteristik değerler (Park, 1988)

Eğrilik sünekliğinin belirlenmesi için yukarıda belirtilen prosedür, lifsiz ve UYPLB'lu betonarme kirişlerin *moment-eğrilik* grafikleri için uygulanmış ve buna ait sonuçlar Tablo 3.2'de özetlenmiştir. Lifsiz numunelerde eğrilik ölçümü alınmadığı için moment eğrilik karşılaştırmaları sadece değişen lif oranları için elde edilmiştir. (Şekil 3.17 ve 3.18).



Şekil 3.17: 2φ10 bazalt donatılı kirişlere ait moment-eğrilik davranışları



**Şekil 3.18:** 2φ14 bazalt donatılı kirişlere ait moment-eğrilik davranışları

Her iki donatı oranı içinde lif oranının değişiminin eğrilik sünekliğine çatlama kesit eğilme rijitliğine belirgin bir etkisinin olmadığı görülmüştür (Tablo 3.2).

**Tablo 3.2:** Eğrilik (birim dönme) süneklikleri ile ilgili karakteristik değerler (bazalt)

| Kiriş adı | $\phi_y$<br>(1/m) | $M_u$<br>(kNm) | $\phi_u$<br>(1/m) | $M_{maks}$<br>(kNm) | $\phi_u/\phi_y$ | $EI_\zeta$<br>(kNm <sup>2</sup> ) |
|-----------|-------------------|----------------|-------------------|---------------------|-----------------|-----------------------------------|
| 10FB0.5   | 0.033             | 15.013         | 0.245             | 15.613              | 7.421           | 473.030                           |
| 10FB1.0   | 0.033             | 14.670         | 0.361             | 14.892              | 10.845          | 448.494                           |
| 10FB1.5   | 0.032             | 14.661         | 0.278             | 15.641              | 8.482           | 476.830                           |
| 14FB0.5   | 0.034             | 22.342         | 0.252             | 26.620              | 7.253           | 771.594                           |
| 14FB1.0   | 0.034             | 21.644         | 0.256             | 26.562              | 7.534           | 781.176                           |
| 14FB1.5   | 0.034             | 22.425         | 0.294             | 26.283              | 7.741           | 772.941                           |

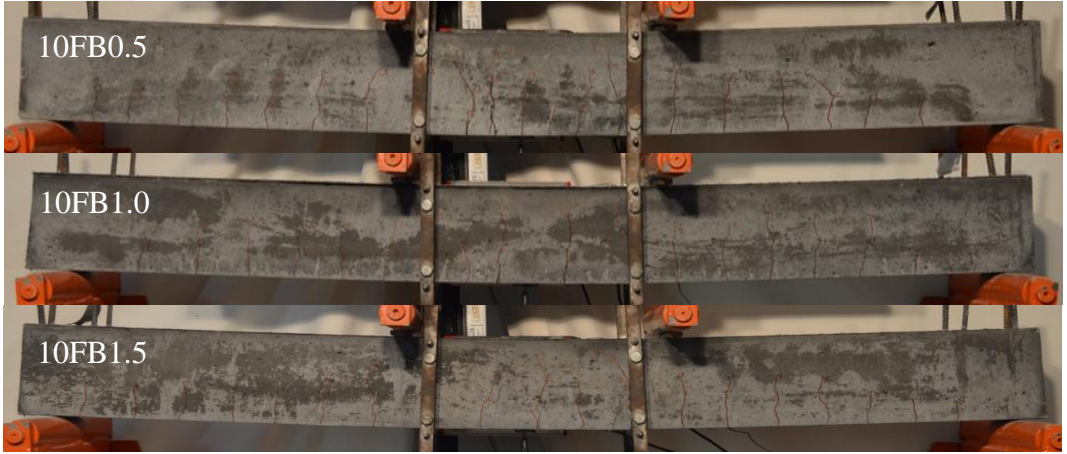
### 3.2.5 Bazalt Lifli Kirişlerin Çatlak Davranışlarının Karşılaştırılması

Bazalt liflerin UYPLB'lu betonarme kirişlerde çatlak davranışına olan etkisini belirlemek için, kiriş deneylerinde işaretlenen ve ölçülen çatlak genişlikleri karşılaştırılmıştır. Çatlak incelemeleri,  $L/250$ 'lik ve  $L/70$ 'lik düşey yerdeğiştirme değerlerinde yapılmıştır. Elastik bölgedeki çatlak dağılımları için  $L/250$  değeri, önemli plastik şekil değiştirmelerin olduğu plastik bölgedeki çatlaklar için  $L/70$  değeri dikkate alınmıştır. Çalışmada, bu iki yerdeğiştirme değerinin *kullanılabilirlik* ve *taşıma gücü* durumlarına ait çatlak davranışlarını temsil ettiği varsayılmıştır. 2φ10 ve

2 $\phi$ 14 donatılı bazalt lifli kirişlere ait çatlak dağılımları Şekil 3.19-3.22’de, çatlak sayıları ve genişliklerine ait karşılaştırmalar Şekil 3.23-3.26’da verilmiştir.



**Şekil 3.19:** 2 $\phi$ 10 donatılı bazalt lifli kirişlerin  $L/250$  yerdeğiştirmesi için çatlak dağılımları



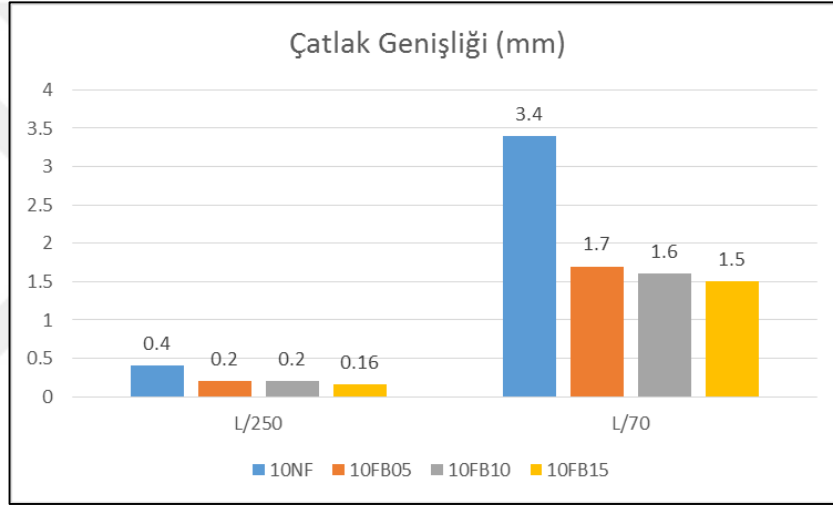
**Şekil 3.20:** 2 $\phi$ 10 donatılı bazalt lifli kirişlerin  $L/70$  yerdeğiştirmesi için çatlak dağılımları



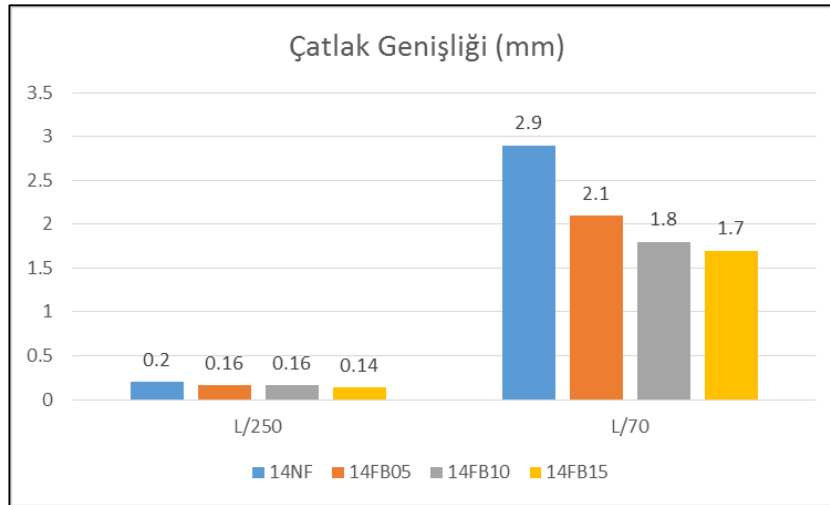
**Şekil 3.21:** 2 $\phi$ 14 donatılı bazalt lifli kirişlerin  $L/250$  yerdeğiştirmesi için çatlak dağılımları



Şekil 3.22: 2 $\phi$ 14 donatılı bazalt lifli kirişlerin  $L/70$  yerdeğiştirmesi için çatlak dağılımları

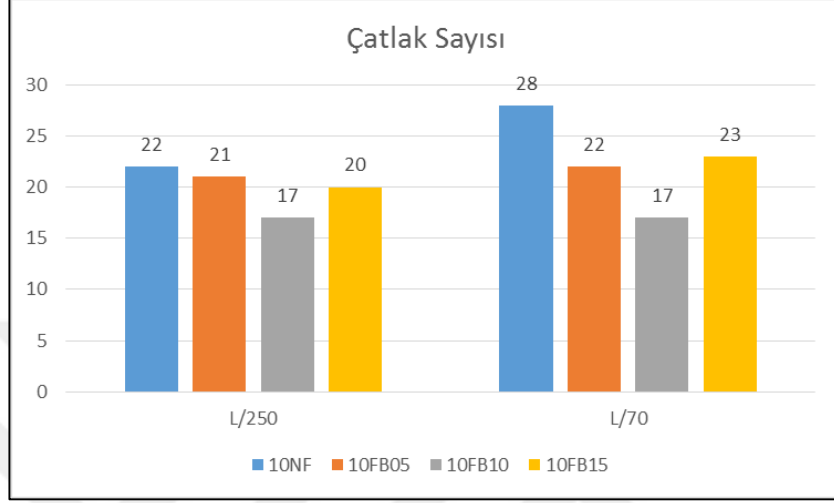


Şekil 3.23: 2 $\phi$ 10 donatılı bazalt lifli kirişlerde  $L/250$  ve  $L/70$  yerdeğiştirmeleri için çatlak genişlikleri

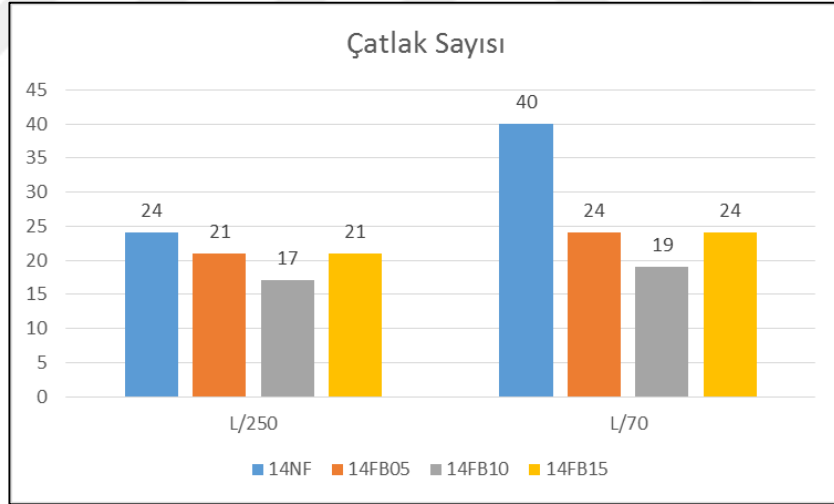


Şekil 3.24: 2 $\phi$ 14 donatılı bazalt lifli kirişlerde  $L/250$  ve  $L/70$  yerdeğiştirmeleri için çatlak genişlikleri

2φ10 donatılı kirişlerde kullanılabilirlik sınır durumu için (L/250) bazalt lif kullanımı sonucu çatlak genişlikleri %50 ile %60 oranında, taşıma gücü sınır durumu için ise %50 ile %55 oranında azalmıştır. 2φ14 donatılı kirişlerde kullanılabilirlik sınır durumu için (L/250) bazalt lif kullanımı sonucu çatlak genişlikleri %20 ile %30 oranında, taşıma gücü sınır durumu için ise %28 ile %42 oranında azalmıştır.



**Şekil 3.25:** 2φ10 donatılı bazalt lifli kirişlerde *L/250* ve *L/70* yerdeğiştirmeleri için çatlak sayıları



**Şekil 3.26:** 2φ14 donatılı bazalt lifli kirişlerde *L/250* ve *L/70* yerdeğiştirmeleri için çatlak sayıları

2φ10 donatılı kirişlerde kullanılabilirlik sınır durumu için (L/250) bazalt lif kullanımı sonucu çatlak sayıları %5 ile %23 oranında, taşıma gücü sınır durumu için ise %18 ile %40 oranında azalmıştır. 2φ14 donatılı kirişlerde kullanılabilirlik sınır



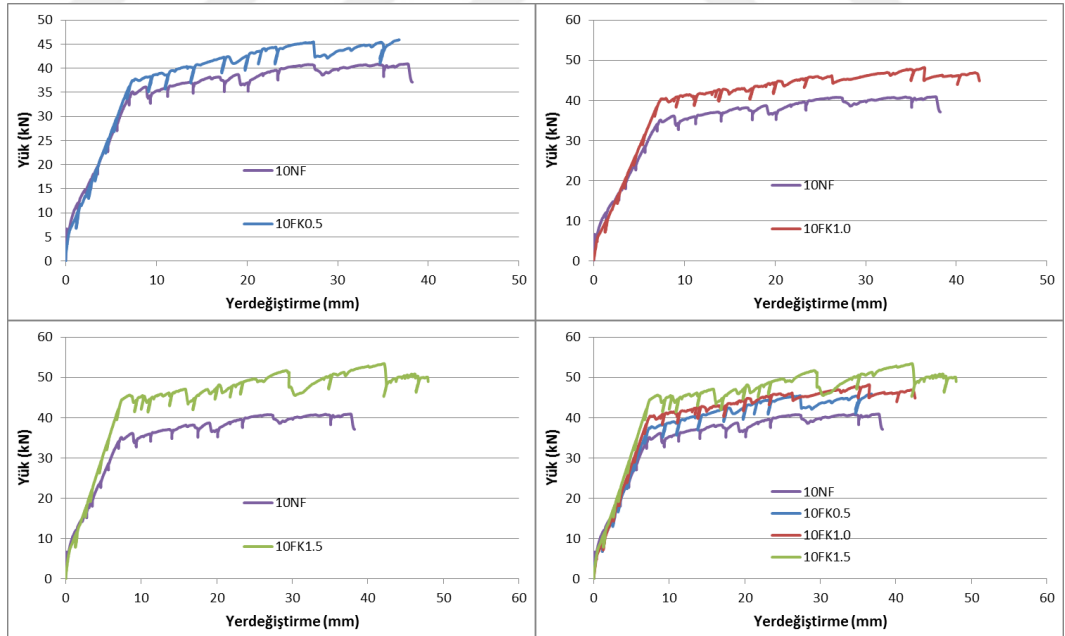
durumu için (L/250) bazalt lif kullanımı sonucu çatlak sayıları %12 ile %29 oranında, taşıma gücü sınır durumu için ise %40 ile %52 oranında azalmıştır.

### 3.3 Poliamid Lifli UYPLB'lu Betonarme Kirişlerin Eğilme Davranışları

Poliamid lifin ve lif oranının eğilme davranışına katkısını belirlemek amacıyla kirişlerin eğilme deneyleri gerçekleştirilmiş ve Bölüm 3.'te verilen parametrelere göre değerlendirilmiştir.

#### 3.3.1 Poliamid Lifli Kirişlerin Yük-Düşey Yerdeğiştirme Davranışları

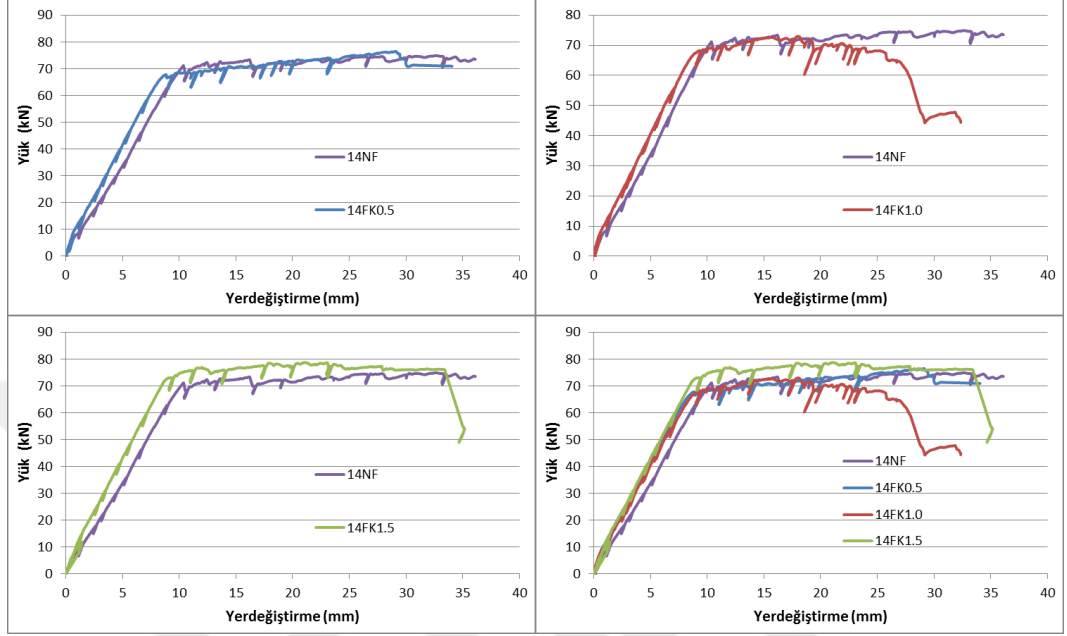
UYPLB'lu betonarme kirişlerde poliamid lif içeriğinin kiriş eğilme davranışı üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla lifsiz ve poliamid lifli kirişlerden elde edilen yük-düşey yerdeğiştirme davranışları Şekil 3.27 ve 3.28'de verilmiştir.



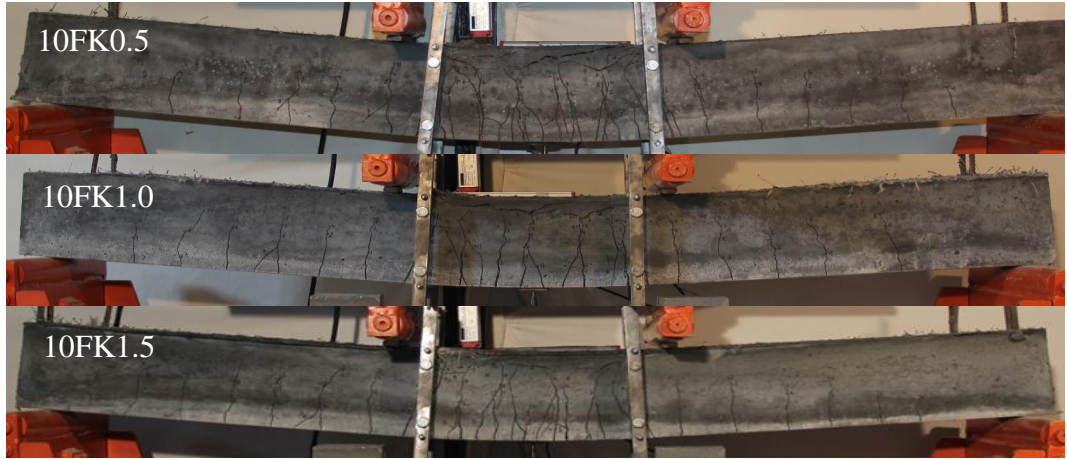
Şekil 3.27: 2φ10 donatılı Poliamid kirişlere ait yük-düşey yerdeğiştirme davranışları

Düşük donatı oranına karşılık gelen 2φ10 donatılı kirişlerde poliamid lif kullanımı sonucu referans kirişlere göre yük taşıma kapasitesinin arttığı görülmüştür.

2φ14 donatılı kirişlerde ise sadece en yüksek lif oranının (%1.5) yük taşıma kapasitesini arttırdığı belirlenmiştir. 2φ10 ve 2φ14 poliamid lifli kirişlerin kırılma şekilleri Şekil 3.29 ve 3.30'da verilmiştir. Tüm deneyler beton ezilmesi ile sonuçlanmıştır. Poliamid lifinin kırılma şekline bir etkisi görülmemiştir.



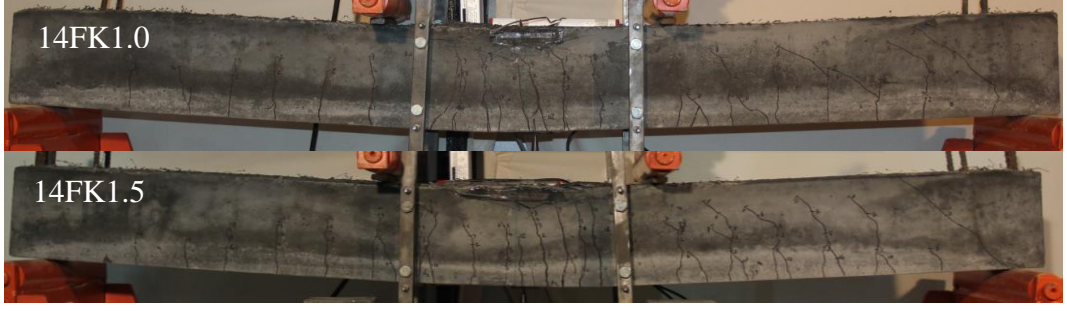
Şekil 3.28: 2φ14 donatılı Poliamid kirişlere ait yük-düşey yerdeğiştirme davranışları



Şekil 3.29: 2φ10 donatılı poliamid lifli kirişlerin kırılma şekilleri



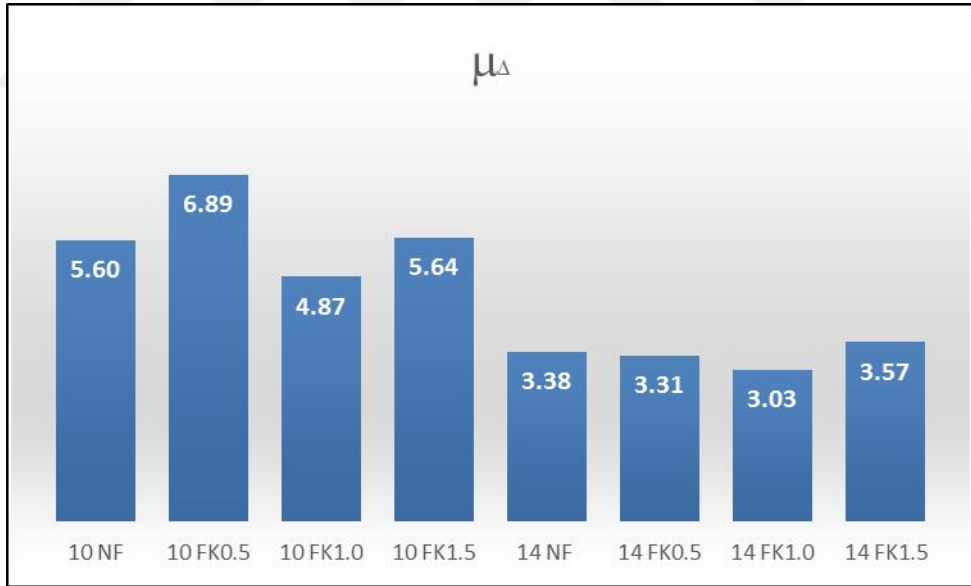




**Şekil 3.30:** 2φ14 donatılı poliamid lifli kirişlerin kırılma şekilleri

### 3.3.2 Poliamid Lifli Kirişlerin Yerdeğiştirme Süneklikleri ( $\mu\Delta$ )

UYPLB'lu betonarme kirişlerde bazalt lif içeriğinin yerdeğiştirme sünekliği üzerindeki etkisini ortaya koymak amacıyla, lifsiz ve poliamid lifli kirişlere ait yerdeğiştirme süneklikleri belirlenmiştir ve Şekil 3.31'de verilmiştir.

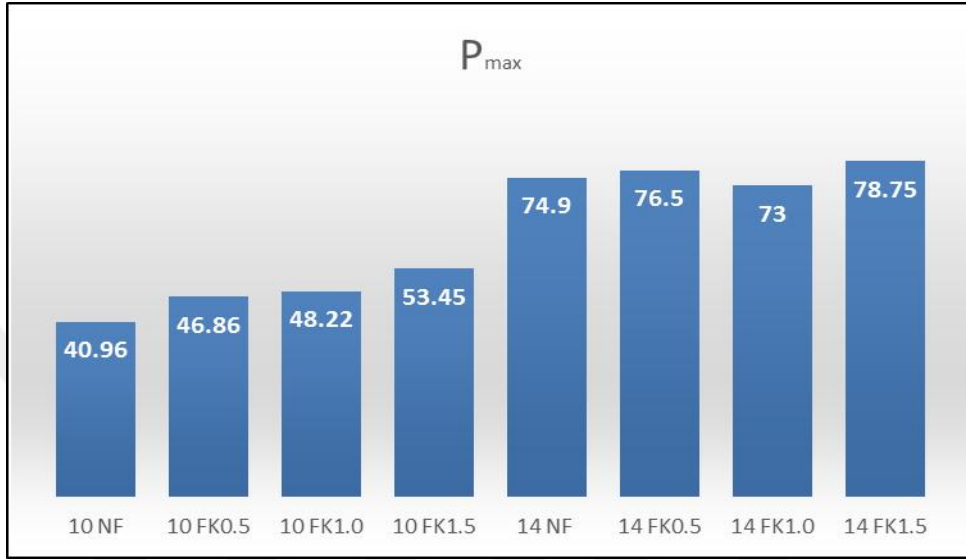


**Şekil 3.31:** Kirişlerde poliamid lif oranının yerdeğiştirme sünekliği üzerindeki etkisi

2φ10 ve 2φ14 donatılı kirişlerde poliamid lifinin kullanımının yerdeğiştirme sünekliğine katkısı belirgin değildir.

### 3.3.3 Poliamid Lifli Kirişlerin Yük Taşıma Kapasiteleri ( $P_{maks}$ )

UYPLB'lu betonarme kirişlerde yük taşıma kapasitesine poliamid lif içeriğinin etkisini belirleyebilmek amacıyla, lifli kirişler için elde edilen yük taşıma kapasiteleri lifsiz kirişlerde elde edilenlere oranlanmış ve karşılaştırılmalı olarak Şekil 3.32'de verilmiştir.



Şekil 3.32: Kirişlerde poliamid lifin yük taşıma kapasitesi üzerindeki etkisi

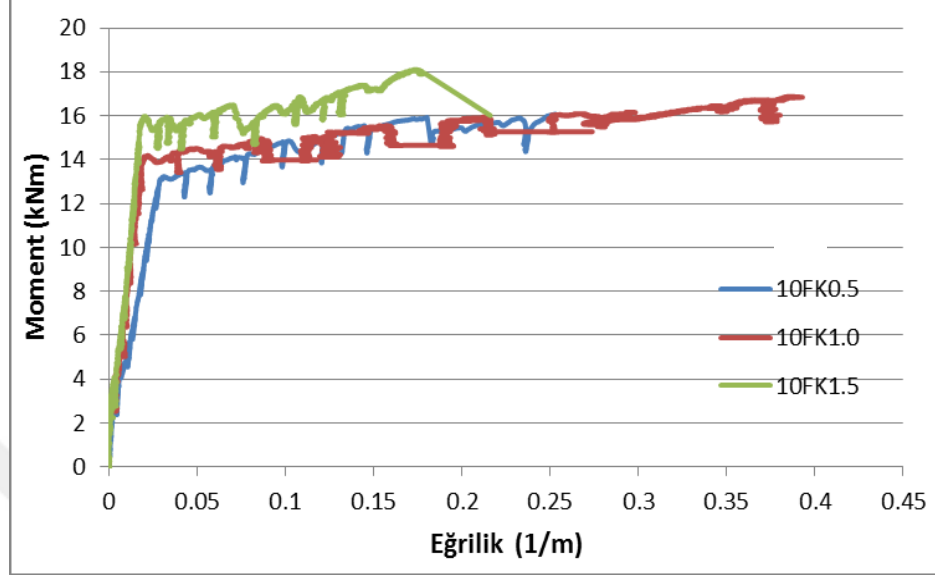
2 $\phi$ 10 donatılı kirişlerde yük taşıma kapasitesine katkısı %13 ile %24 iken 2 $\phi$ 14 donatılı kirişlerde belirgin bir katkısı olmadığı görülmüştür.

### 3.3.4 Poliamid Lifli Kirişlerin Eğrilik Süneklikleri ve Çatlamış Kesit Eğilme Rijitlikleri

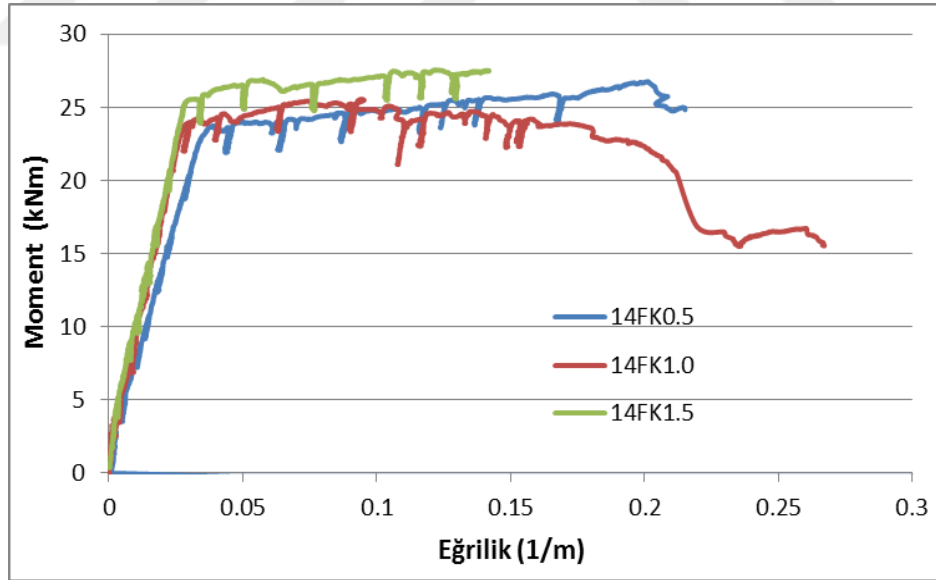
UYPLB'lu betonarme kirişlerde poliamid lif içeriğinin eğrilik (birim dönme) sünekliğine ve çatlamış kesit eğilme rijitliğine olan etkilerini belirlemek amacıyla, lifsiz, poliamid lifli kirişlere ait deneysel *moment-eğrilik* grafiklerinden yararlanılarak eğrilik süneklikleri ve rijitlikleri belirlenmiştir.

Eğrilik sünekliğinin belirlenmesi için yukarıda belirtilen prosedür, lifsiz ve UYPLB'lu betonarme kirişlerin *moment-eğrilik* grafikleri için uygulanmış ve buna ait sonuçlar Tablo 3.3'te özetlenmiştir. Bazı test kirişlerinde oluşan çatlakların ölçüm

düzeneğine zarar vermesi veya lifli numunelerde büyük çatlak oluşumunun ölçüm aralığının dışında kalması gibi sebeplerle ölçümler erken sonlanmış ve moment-eğrilik grafikleri elde edilememiştir (Şekil 3.33 ve 3.34).



Şekil 3.33: 2φ10 poliamid donatılı kirişlere ait moment-eğrilik davranışları



Şekil 3.34: 2φ14 poliamid donatılı kirişlere ait moment-eğrilik davranışları

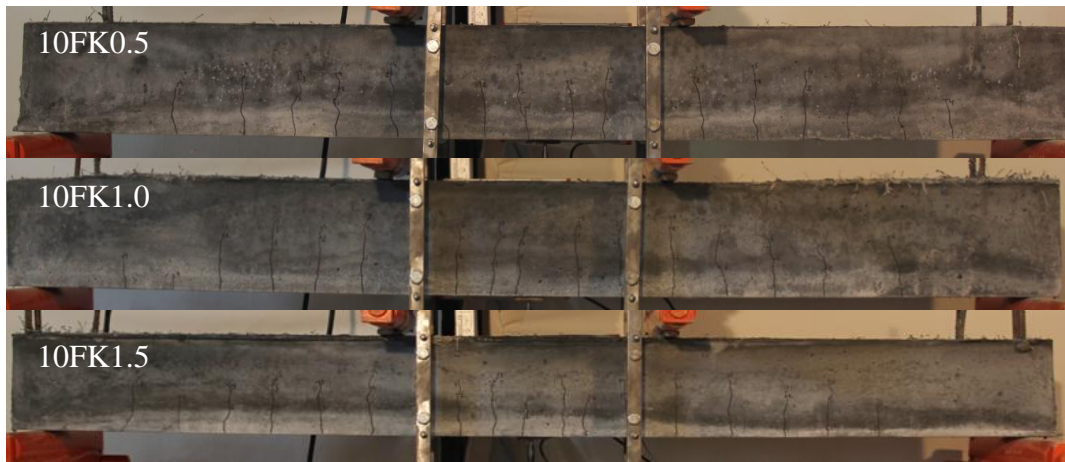
Lif miktarı arttıkça her iki donatı oranı için de rijitlik artışı meydana gelmiştir. Lif miktarı %0.5'ten %1'e çıktığında rijitlikte önemli oranda artış meydana geldiği görülmüştür. Eğrilik sünekliği açısından ise lif miktarınının belirgin bir etkisinin olmadığı görülmüştür.

**Tablo 3.3:** Eğrilik (birim dönme) süneklikleri ile ilgili karakteristik değerler (poliamid)

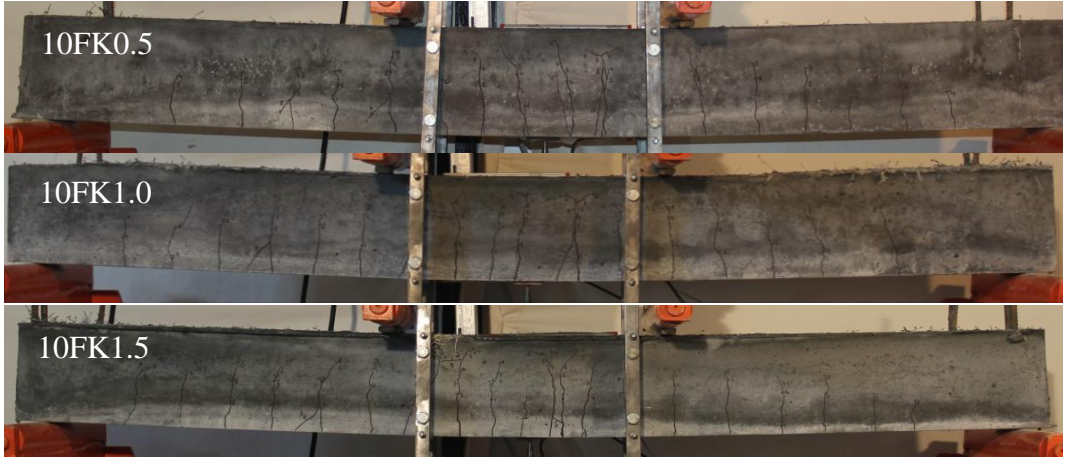
| Kiriş adı | $\phi_y$<br>(1/m) | $M_u$<br>(kNm) | $\phi_u$<br>(1/m) | $M_{maks}$<br>(kNm) | $\phi_u/\phi_y$ | $EI_\zeta$<br>(kNm <sup>2</sup> ) |
|-----------|-------------------|----------------|-------------------|---------------------|-----------------|-----------------------------------|
| 10FK0.5   | 0.035             | 15.441         | 0.351             | 16.451              | 9.863           | 460.676                           |
| 10FK1.0   | 0.024             | 14.882         | 0.388             | 16.882              | 16.172          | 703.337                           |
| 10FK1.5   | 0.021             | 18.703         | 0.317             | 18.765              | 14.613          | 861.754                           |
| 14FK0.5   | 0.038             | 24.845         | 0.215             | 26.774              | 5.544           | 689.955                           |
| 14FK1.0   | 0.028             | 20.450         | 0.212             | 25.520              | 7.575           | 911.432                           |
| 14FK1.5   | 0.030             | 27.522         | 0.142             | 27.563              | 4.731           | 918.671                           |

### 3.3.5 Poliamid Lifli Kirişlerin Çatlak Davranışları

Poliamid liflerin UYPLB'lu betonarme kirişlerde çatlak davranışına olan etkisini belirlemek için, kiriş deneylerinde işaretlenen ve ölçülen çatlak genişlikleri karşılaştırılmıştır. Çatlak incelemeleri,  $L/250$ 'lik ve  $L/70$ 'lik düşey yerdeğiştirme değerlerinde yapılmıştır. Elastik bölgedeki çatlak dağılımları için  $L/250$  değeri, önemli plastik şekil değiştirmelerin olduğu plastik bölgedeki çatlaklar için  $L/70$  değeri dikkate alınmıştır. Çalışmada, bu iki yerdeğiştirme değerinin *kullanılabilirlik* ve *taşıma gücü* durumlarına ait çatlak davranışlarını temsil ettiği varsayılmıştır.  $2\phi 10$  ve  $2\phi 14$  donatılı poliamid lifli kirişlere ait çatlak dağılımları Şekil 3.35-3.38'de, çatlak genişliklerine ve sayılarına ait karşılaştırmalar Şekil 3.39 - 3.42'de verilmiştir.



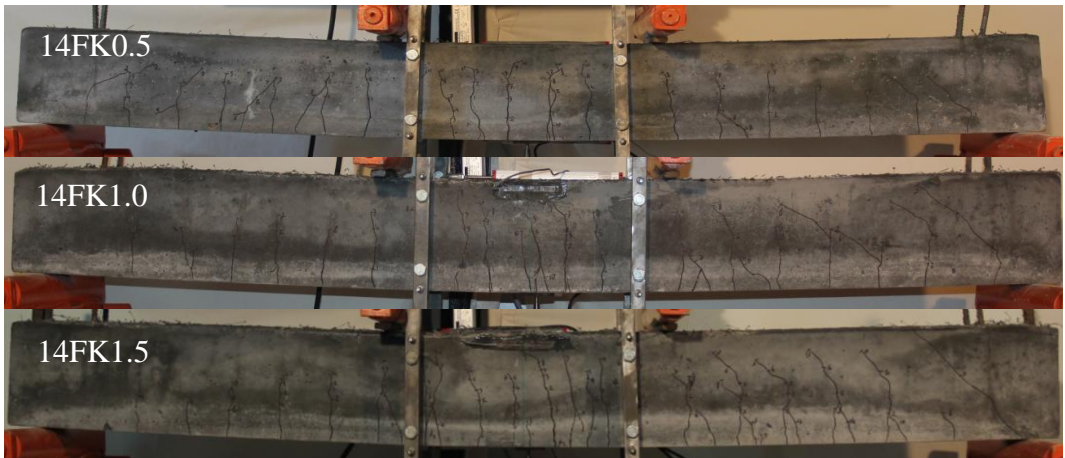
**Şekil 3.35:**  $2\phi 10$  donatılı poliamid lifli kirişlerin  $L/250$  yerdeğiştirmesi için çatlak dağılımları



**Şekil 3.36:** 2φ10 donatılı poliamid lifli kirişlerin  $L/70$  yerdeğiştirmesi için çatlak dağılımları

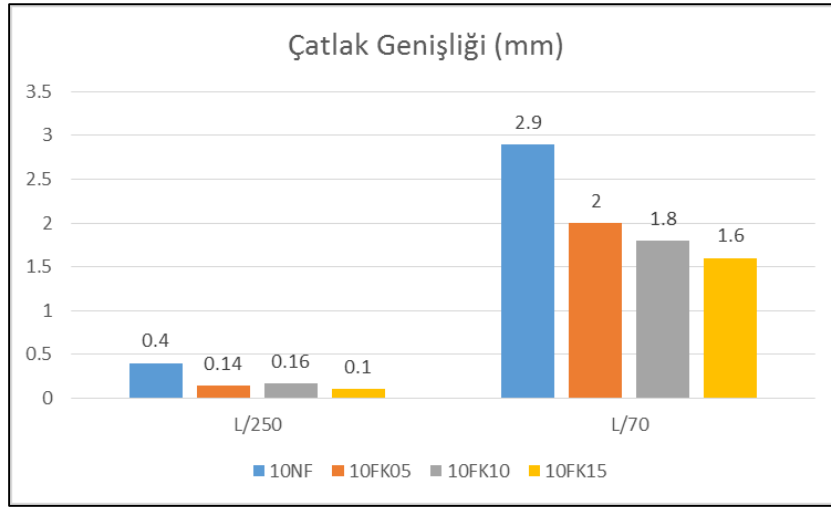


**Şekil 3.37:** 2φ14 donatılı poliamid lifli kirişlerin  $L/250$  yerdeğiştirmesi için çatlak dağılımları

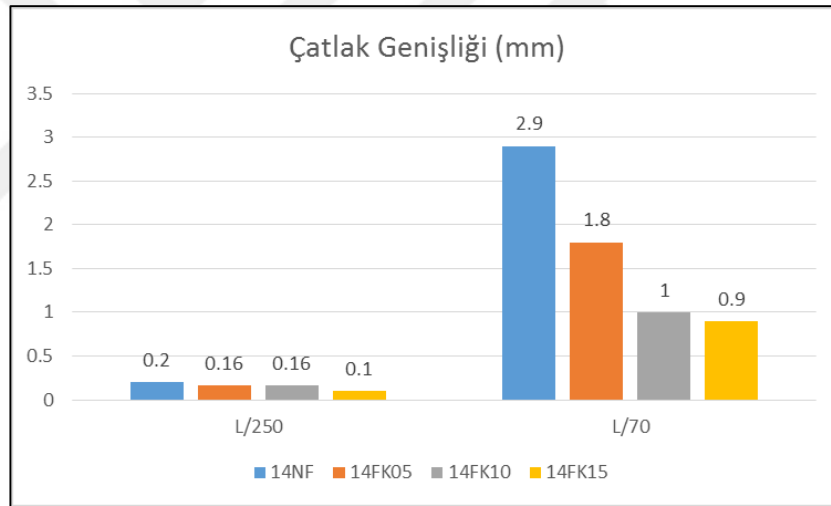


**Şekil 3.38:** 2φ14 donatılı poliamid lifli kirişlerin  $L/70$  yerdeğiştirmesi için çatlak dağılımları



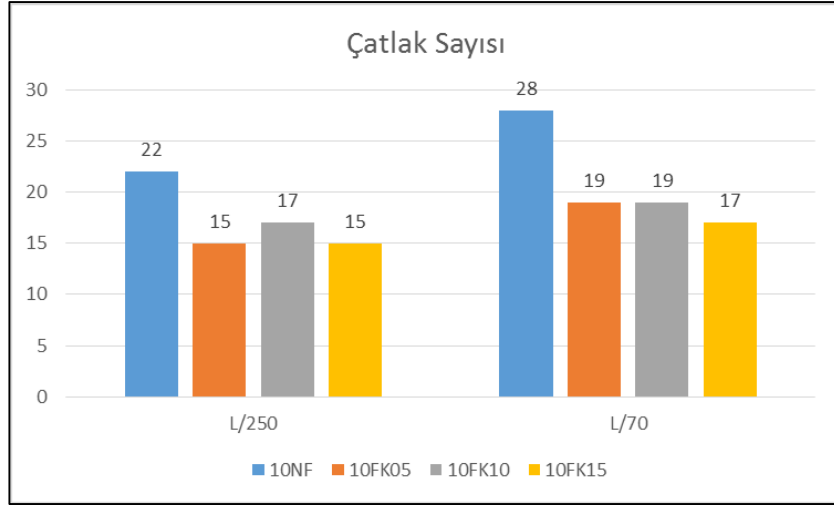


**Şekil 3.39:** 2φ10 donatılı poliamid lifli kirişlerde  $L/250$  ve  $L/70$  yerdeğiştirmeleri için çatlak genişlikleri

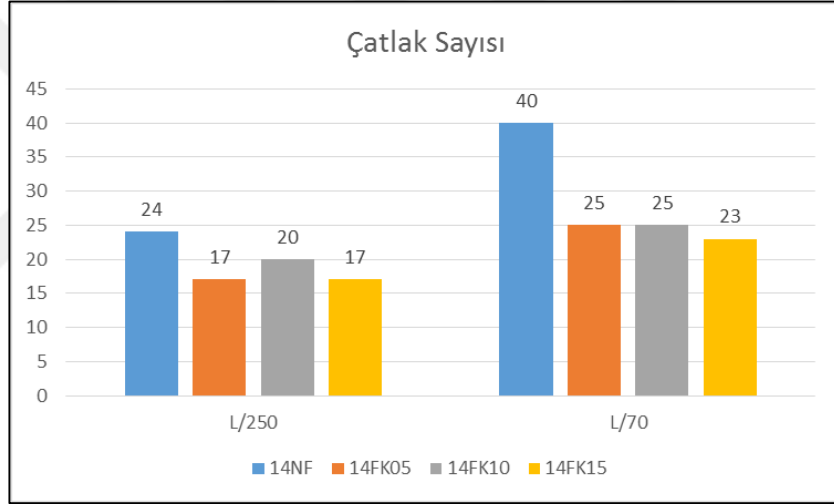


**Şekil 3.40:** 2φ14 donatılı poliamid lifli kirişlerde  $L/250$  ve  $L/70$  yerdeğiştirmeleri için çatlak genişlikleri

2φ10 donatılı kirişlerde kullanılabilirlik sınır durumu için ( $L/250$ ) poliamid lif kullanımı sonucu çatlak genişlikleri %40 ile %75 oranında, taşıma gücü sınır durumu için ise %31 ile %45 oranında azalmıştır. 2φ14 donatılı kirişlerde kullanılabilirlik sınır durumu için ( $L/250$ ) poliamid lif kullanımı sonucu çatlak genişlikleri %20 ile %50 oranında, taşıma gücü sınır durumu için ise %38 ile %69 oranında azalmıştır.



**Şekil 3.41:** 2φ10 donatılı poliamid lifli kirişlerde *L/250* ve *L/70* yerdeğiştirmeleri için çatlak sayıları



**Şekil 3.42:** 2φ14 donatılı poliamid lifli kirişlerde *L/250* ve *L/70* yerdeğiştirmeleri için çatlak sayıları

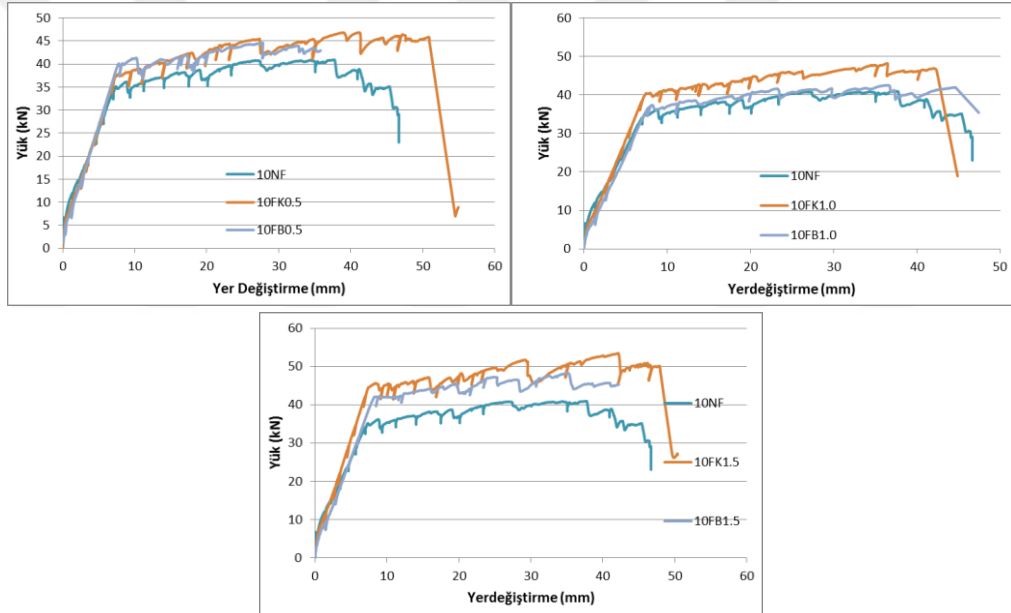
2φ10 donatılı kirişlerde kullanılabilirlik sınır durumu için (*L/250*) poliamid lif kullanımı sonucu çatlak sayıları %23 ile %32 oranında, taşıma gücü sınır durumu için ise %33 ile %39 oranında azalmıştır. 2φ14 donatılı kirişlerde kullanılabilirlik sınır durumu için (*L/250*) bazalt lif kullanımı sonucu çatlak sayıları %17 ile %29 oranında, taşıma gücü sınır durumu için ise %38 ile %43 oranında azalmıştır.

### 3.4 UYPLB'lu Kirişlerin Eğilme Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması

Bu bölümde deneyleri yapılan 12 adet UYPLB kiriş ile 2 adet lifsiz referans kirişin eğilme davranışına donatı oranının, lif tipinin ve lif oranının etkisi Bölüm 3.'teki parametrelere göre toplu olarak değerlendirilmiştir.

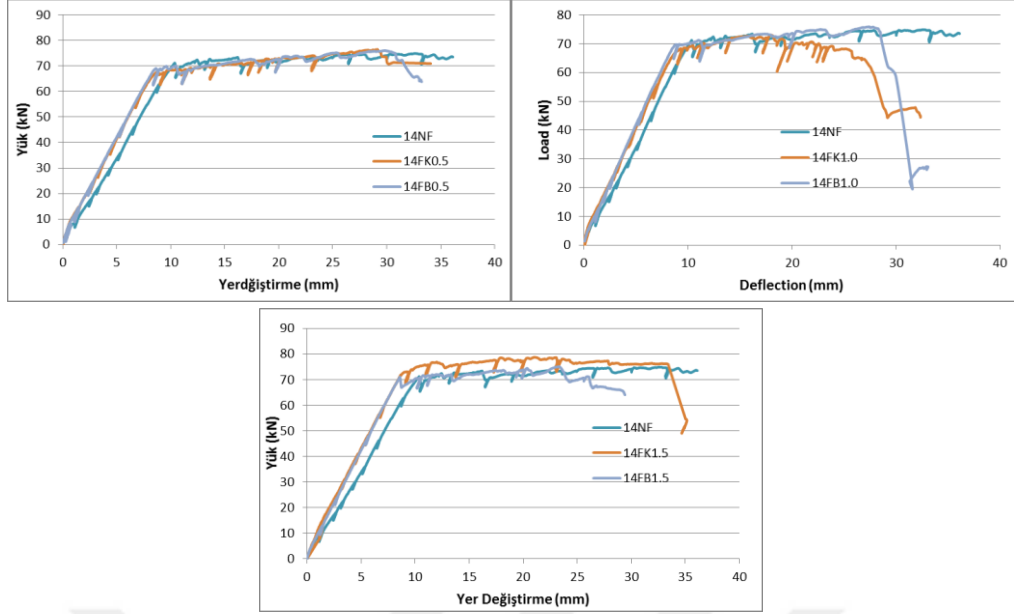
#### 3.4.1 Yük-Düşey Yerdeğiştirme Davranışlarının Karşılaştırılması

2 $\phi$ 10 ve 2 $\phi$ 14 donatı oranına sahip kirişlerin yük-düşey yerdeğiştirme davranışına lif tipinin ve lif oranını etkisi Şekil 3.43 ve 3.44'de verilmiştir.



Şekil 3.43: 2 $\phi$ 10 donatılı kirişlerin lif tipine ve lif oranına göre yük-düşey yerdeğiştirme grafikleri



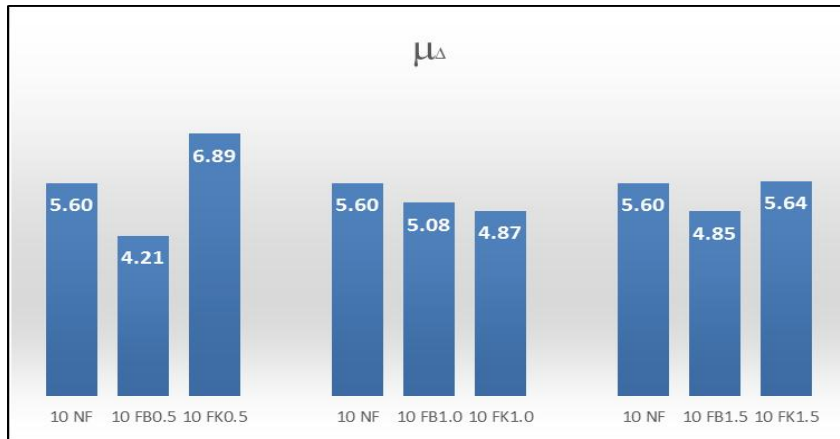


**Şekil 3.44:** 2φ14 donatılı kirişlerin lif cinsine ve lif oranına göre yük düşey yerdeğiştirme

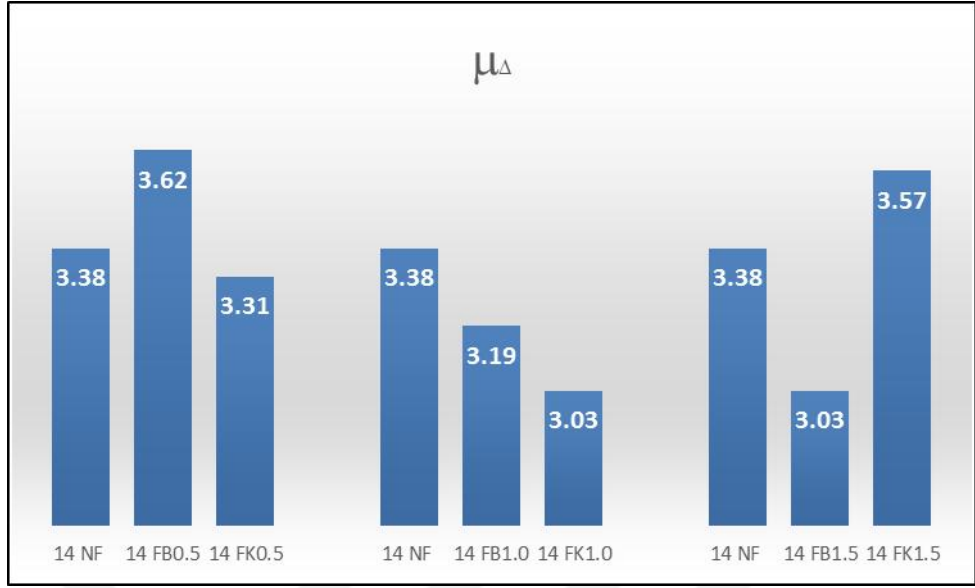
Her iki donatı oranına sahip kirişlerin yük-yerdeğiştirme diyagramlarından da görülebileceği gibi lif kullanılmasıyla beraber elastik bölgenin rijitliği liffsiz duruma göre artmıştır. Ancak kullanılan lif tipine bağlı olarak lifli kirişlerin rijitliklerinde belirgin bir artış meydana gelmemiştir (Şekil 2.59 ve 2.60).

### 3.4.2 Yerdeğiştirme Sünekliliklerinin ( $\Delta_u/\Delta_y$ ) Karşılaştırılması

Lif oranının ve lif tipinin kirişlerin yerdeğiştirme sünekliliğine etkisi Şekil 3.45 ve 3.46'da verilmiştir.



**Şekil 3.45:** 2φ10 donatılı kirişlerin lif cinsine ve lif oranına göre Yer Değiştirme Sünekliliği



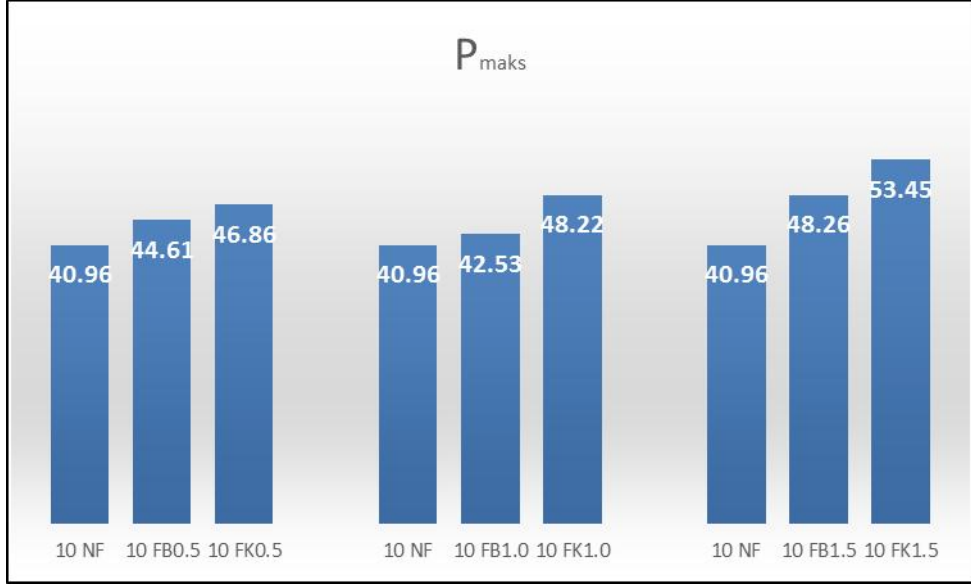
**Şekil 3.46:** 2φ14 donatılı kirişlerin lif cinsine ve lif oranına göre Yer Değiştirme Sünekliği

2φ10 donatılı kirişlerde %0.5 lif oranında bazalt lif sünekliği azaltırken, poliamid lif arttırmıştır. Ancak aynı davranış %1 ve %1.5 lif oranı için elde edilmemiştir. Lif oranının (hem bazalt hem poliamid için) sünekliği arttıran bir etkisi görülmemiştir.

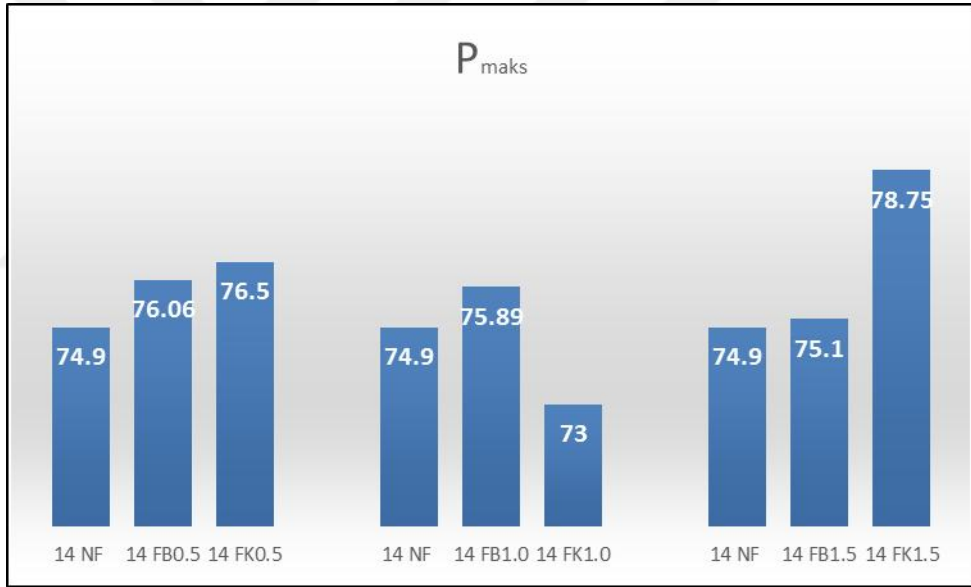
2φ14 donatılı kirişlerde de sünekliğin lif oranıyla sadece  $\pm\%10$  değiştiği gözlenmiştir.

### 3.4.3 Yük Taşıma Kapasitelerinin ( $P_{maks}$ ) Karşılaştırılması

Lif oranının ve lif tipinin kirişlerin yük taşıma kapasitesine etkisi Şekil 3.47 ve 3.48'de karşılaştırılmalı olarak verilmiştir.



**Şekil 3.47:** 2φ10 donatılı kirişlerin lif cinsine ve oranına göre yük taşıma kapasiteleri

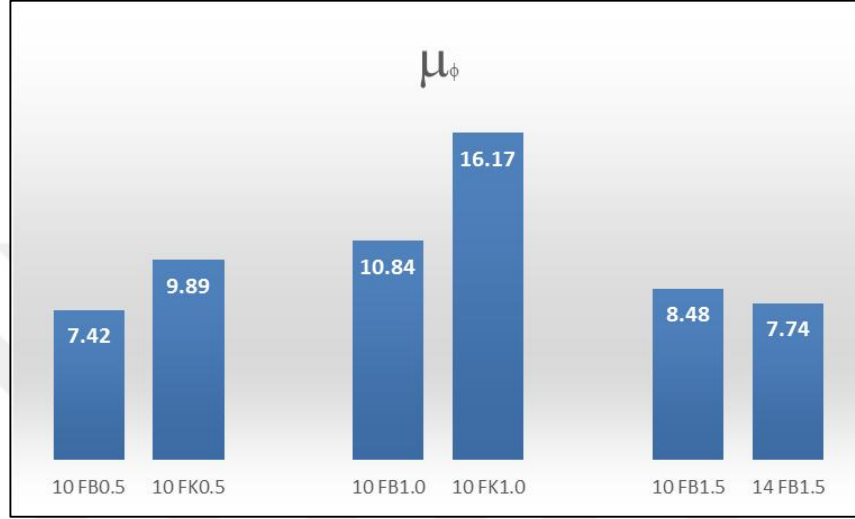


**Şekil 3.48:** 2φ14 donatılı kirişlerin lif cinsine ve oranına göre yük taşıma kapasiteleri

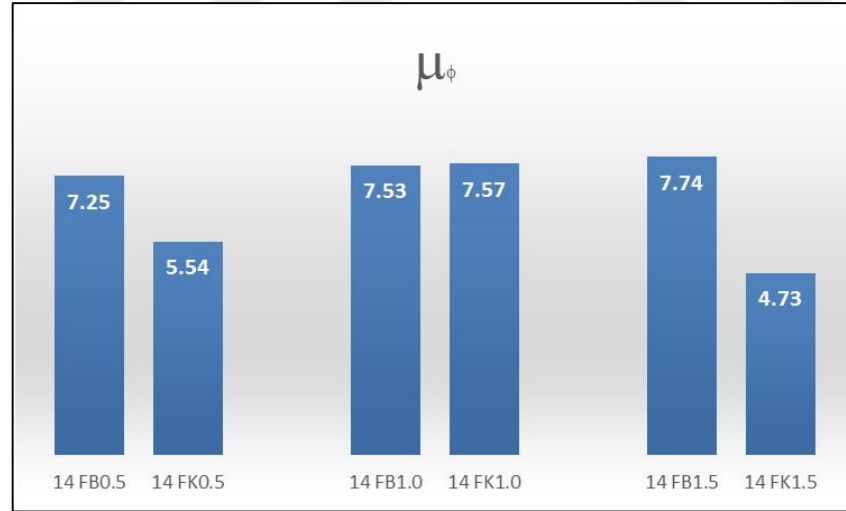
2φ10 donatılı kirişlerde her iki lif tipi içinde lif oranı arttıkça yük taşıma kapasitesi artmıştır. Poliamid lifin yük taşıma kapasitesine katkısı bazalt life göre daha fazla olmuştur. 2φ14 donatılı kirişlerde ise aynı davranış gözlenirken, sadece %1 poliamid lif oranına sahip kirişte yük taşıma kapasitesi düşmüştür.

### 3.4.4 Eğrilik Sünekliklerinin ve Çatlamış Kesit Eğilme Rijitliklerinin Karşılaştırılması

Lif oranının ve lif tipinin kirişlerin eğrilik sünekliğine ve çatlamış kesit eğilme rijitliğine etkisi Şekil 3.49- 3.52’de karşılaştırılmalı olarak verilmiştir.



Şekil 3.49: 2φ10 donatılı kirişlerin lif cinsine ve lif oranına göre Eğrilik Sünekliği



Şekil 3.50: 2φ14 donatılı kirişlerin lif cinsine ve lif oranına göre Eğrilik Sünekliği

2φ10 donatılı kirişlerde her bir lif oranı için poliamid lifin bazalt life göre eğrilik sünekliğine katkısı daha fazla olmuştur. Lif oranı arttıkça eğrilik sünekliği artmakta, ancak %1.5 oranında düşüş göstermektedir.

2φ14 donatılı kirişlerde bazalt lifin eğrilik sünekliğine katkısının poliamid liften daha fazla olduğu görülmüştür.



Şekil 3.51: 2φ10 donatılı kirişlerin lif cinsine ve lif oranına göre Çatlamış Kesit Rijitliği

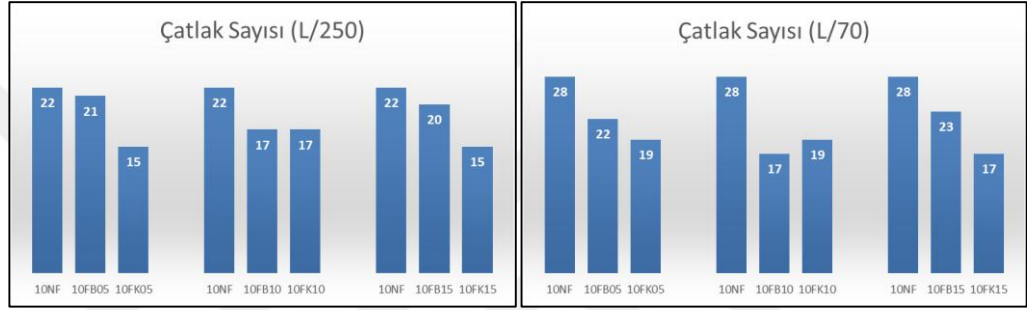


Şekil 3.52: 2φ14 donatılı kirişlerin lif cinsine ve lif oranına göre Çatlamış Kesit Rijitliği

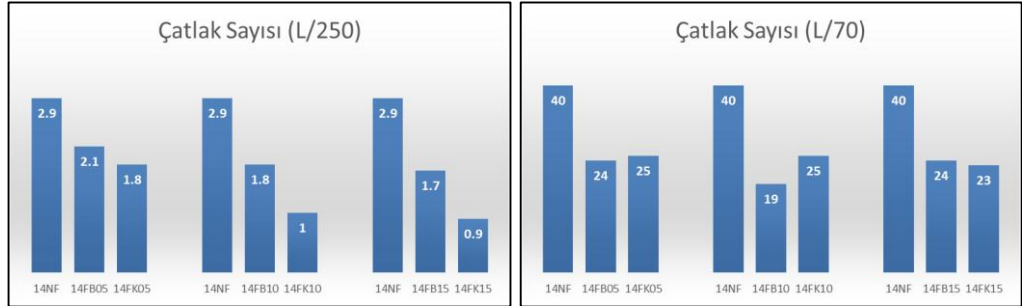
Her iki donatı oranı için de, çatlamış kesit riitliği bazalt lifli kirişlerde lif oranının artışı ile belirli bir değişim göstermemekte, poliamid lifli kirişlerde ise lif oranı ile beraber artış göstermektedir.

### 3.4.5 Çatlak Davranışlarının Karşılaştırılması

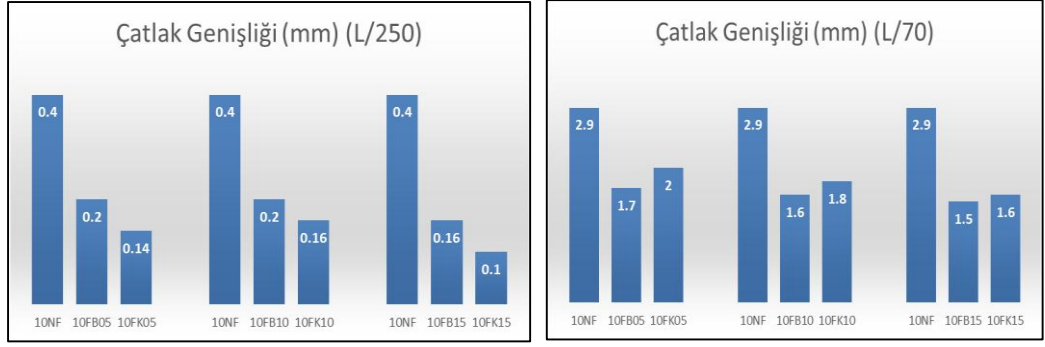
Tüm kirişlerin çatlak davranışları, çatlak genişlikleri ve sayıları açısından karşılaştırılmıştır (Şekil 3.53-3.56).



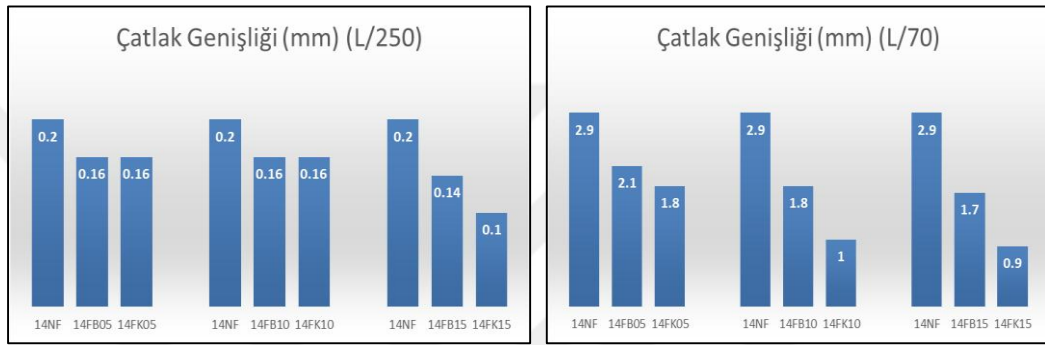
Şekil 3.53: 2φ10 donatılı kirişlerde lif tipine ve oranına bağlı çatlak sayıları



Şekil 3.54: 2φ14 donatılı kirişlerde lif tipine ve oranına bağlı çatlak sayıları



**Şekil 3.55:** 2φ10 donatılı kirişlerde lif tipine ve oranına bağlı çatlak genişliği



**Şekil 3.56:** 2φ14 donatılı kirişlerde lif tipine ve oranına bağlı çatlak genişliği

Her iki donatı oranı için de lif kullanımı sonucu çatlak davranışı lifsiz duruma göre belirgin etkilenmiştir. Hem bazalt hem de poliamid lif kullanımı sonucu çatlak genişlikleri ve çatlak sayıları lifsiz duruma göre azalma göstermiştir. Lif oranının artması sonucu çatlak genişliklerinde ve sayılarında daha fazla azalma meydana geldiği görülmüştür. İki lif tipi çatlak davranışı açısından karşılaştırıldığında poliamid lifin, bazalt life göre daha iyi bir çatlak davranışı sergilediği belirlenmiştir.

## 4. SONUÇLAR

Bazalt lifli ve lifsiz referans numunelerinin karşılaştırılması sonuçları:

- Düşük donatı oranına karşılık gelen 2φ10 donatılı kirişlerde bazalt lif kullanımı sonucu referans kirişlerine göre yük taşıma kapasitesinin arttığı görülmüştür. 2φ14 donatılı kirişlerde ise lifin yük taşıma kapasitesine bir katkısı olmadığı belirlenmiştir. Bazalt lifinin kırılma şekline bir etkisi görülmemiştir.
- 2φ10 donatılı kirişlerde bazalt lifinin kullanımı yerdeğiştirme sünekliğini azaltırken 2φ14 donatılı kirişlerdeki azalma çok belirgin değildir. 2φ10 donatılı kirişlerde bazalt lifinin kullanımı sonucu yük taşıma kapasitesi lifsiz referans kirişlere göre %4 ile % 18 oranında artış sağlanmıştır. 2φ14 donatılı kirişlerde ise bazalt lifin yük taşıma kapasitesini arttırmadığı görülmüştür. Her iki donatı oranı için de lif oranının değişiminin eğrilik sünekliğine, çatlama kesit eğilme rijitliğine belirgin bir etkisinin olmadığı görülmüştür.
- 2φ10 donatılı kirişlerde kullanılabilirlik sınır durumu için (L/250) bazalt lif kullanımı sonucu çatlak genişlikleri %50 ile %60 oranında, taşıma gücü sınır durumu için ise %50 ile %55 oranında azalmıştır. 2φ14 donatılı kirişlerde kullanılabilirlik sınır durumu için (L/250) bazalt lif kullanımı sonucu çatlak genişlikleri %20 ile %30 oranında, taşıma gücü sınır durumu için ise %28 ile %42 oranında azalmıştır.
- 2φ10 donatılı kirişlerde kullanılabilirlik sınır durumu için (L/250) bazalt lif kullanımı sonucu çatlak sayıları %5 ile %23 oranında, taşıma gücü sınır durumu için ise %18 ile %40 oranında azalmıştır. 2φ14 donatılı kirişlerde kullanılabilirlik sınır durumu için (L/250) bazalt lif kullanımı sonucu çatlak sayıları %12 ile %29 oranında, taşıma gücü sınır durumu için ise %40 ile %52 oranında azalmıştır.

Poliamid lifli ve lifsiz referans numunelerinin karşılaştırılması sonuçları:

- Düşük donatı oranına karşılık gelen 2φ10 donatılı kirişlerde poliamid lif kullanımı sonucu referans kirişlere göre yük taşıma kapasitesinin arttığı



görülmüştür. 2φ14 donatılı kirişlerde ise sadece en yüksek lif oranının (%1.5) yük taşıma kapasitesini arttırdığı belirlenmiştir. Tüm deneyler beton ezilmesi ile sonuçlanmıştır. Poliamid lifinin kırılma şekline bir etkisi görülmemiştir. 2φ10 ve 2φ14 donatılı kirişlerde poliamid lifinin kullanımının yerdeğiştirme sünekliğine katkısı belirgin değildir. 2φ10 donatılı kirişlerde yük taşıma kapasitesine katkısı %13 ile %24 iken 2φ14 donatılı kirişlerde belirgin bir katkısı olmadığı görülmüştür.

- Lif miktarı arttıkça her iki donatı oranı için de rijitlik artışı meydana gelmiştir. Lif miktarı %0.5'ten %1'e çıktığında rijitlikte önemli oranda artış meydana geldiği görülmüştür. Eğrilik sünekliği açısından ise lif miktarının belirgin bir etkisinin olmadığı görülmüştür.
- 2φ10 donatılı kirişlerde kullanılabilirlik sınır durumu için (L/250) poliamid lif kullanımı sonucu çatlak genişlikleri %40 ile %75 oranında, taşıma gücü sınır durumu için ise %31 ile %45 oranında azalmıştır. 2φ14 donatılı kirişlerde kullanılabilirlik sınır durumu için (L/250) poliamid lif kullanımı sonucu çatlak genişlikleri %20 ile %50 oranında, taşıma gücü sınır durumu için ise %38 ile %69 oranında azalmıştır.
- 2φ10 donatılı kirişlerde kullanılabilirlik sınır durumu için (L/250) poliamid lif kullanımı sonucu çatlak sayıları %23 ile %32 oranında, taşıma gücü sınır durumu için ise %33 ile %39 oranında azalmıştır. 2φ14 donatılı kirişlerde kullanılabilirlik sınır durumu için (L/250) bazalt lif kullanımı sonucu çatlak sayıları %17 ile %29 oranında, taşıma gücü sınır durumu için ise %38 ile %43 oranında azalmıştır.

Bazalt lifli, poliamid lifli ve liffsiz referans numunelerinin genel karşılaştırma sonuçları:

- Her iki donatı oranına sahip kirişlerin lif ilavesiyle beraber elastik bölgenin rijitliği liffsiz duruma göre artmıştır. Ancak kullanılan lif tipine bağlı olarak lifli kirişlerin rijitliklerinde belirgin bir artış meydana gelmemiştir.
- 2φ10 donatılı kirişlerde %0.5 lif oranında bazalt lif sünekliği azaltırken, poliamid lif arttırmıştır. Ancak aynı davranış %1 ve %1.5 lif oranı için elde edilmemiştir. Lif oranının (hem bazalt hem poliamid için) sünekliği arttıran bir

etkisi görülmemiştir. 2φ14 donatılı kirişlerde de sünekliğin lif oranıyla sadece  $\pm\%10$  değiştiği gözlenmiştir.

- 2φ10 donatılı kirişlerde her iki lif tipi içinde lif oranı arttıkça yük taşıma kapasitesi artmıştır. Poliamid lifin yük taşıma kapasitesine katkısı bazalt life göre daha fazla olmuştur. 2φ14 donatılı kirişlerde ise aynı davranış gözlenirken, sadece %1 poliamid lif oranına sahip kirişte yük taşıma kapasitesi düşmüştür.
- 2φ10 donatılı kirişlerde her bir lif oranı için poliamid lifin bazalt life göre eğrilik sünekliğine katkısı daha fazla olmuştur. Lif oranı arttıkça eğrilik sünekliği artmakta, ancak %1.5 oranında düşüş göstermektedir.
- 2φ14 donatılı kirişlerde b
- azalt lifin eğrilik sünekliğine katkısının poliamid liften daha fazla olduğu görülmüştür.
- Her iki donatı oranı için de, çatlamış kesit rijitliği bazalt lifli kirişlerde lif oranının artışı ile belirli bir değişim göstermemekte, poliamid lifli kirişlerde ise lif oranı ile beraber artış göstermektedir.
- İki donatı oranı için de lif kullanımı sonucu çatlak davranışı lifsiz duruma göre belirgin etkilenmiştir. Hem bazalt hem de poliamid lif kullanımı sonucu çatlak genişlikleri ve çatlak sayıları lifsiz duruma göre azalma göstermiştir. Lif oranının artması sonucu çatlak genişliklerinde ve sayılarında daha fazla azalma meydana geldiği görülmüştür. İki lif tipi çatlak davranışı açısından karşılaştırıldığında poliamid lifin, bazalt life göre daha iyi bir çatlak davranışı sergilediği belirlenmiştir.
- Deneilerin sonuçlarına göre, bazalt lifin poliamid life göre UYPLB'na dayanım katkısı daha düşüktür.
- Poliamid lifli kirişte oluşan çatlak sayısı diğer numunelere göre daha düşük ve çatlak genişlikleri daha küçüktür.
- Deneiler sırasında poliamid lifin en dıştan içe doğru teker teker uzayıp koparak dayanımının sonrasındaki life aktarması gözlemlenmiştir.

## 5. KAYNAKLAR

Alkan, G. (2004). Polipropilen lifli betonun mekanik özelliklerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.

Anonim, (1992) TS 10513, Çelik teller –beton takviyesinde kullanılan. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.

Anonim, (1992) TS 10515, Beton-çelik tel takviyeli- eğilme mukavemeti deney metodu. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.

Arslan, M.E. (2016). Bazalt liflerin geleneksel betonların mekanik özellikleri ve kırılma enerjilerine etkilerinin incelenmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23 (2), PAJES-95815.

Bedirhanoglu, İ. ve İlki, A. (2009 ). Düşük dayanımlı betona sahip betonarme elemanların güçlendirilmesi için HPFRCC. *İTÜ Dergisi/d, Mühendislik*, 2009, 8(6), 146-156.

Banthia, N. and Nandakumar, N. (2003). Crack growth resistance of hybrid fiber reinforced cement composites. *Cement and Concrete Composites*, 25(1), 3-9.

Berozashvili, M., (2001). Continuous reinforcing fibers are being offered for construction, civil engineering and other composites applications. *Adv. Mater. Com. News, Compos Worldwide*, 21, 6, 5–6.

Biol, T. (2016). Ultra yüksek performanslı lifli beton ile üretilen betonarme kirişlerin eğilme davranışının incelenmesi. Doktora Tezi, *Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Balıkesir.

Kamal, M.M., Safan, M.A., Etman, Z.A. and Salama R.A. (2014). Behavior and strength of beams cast with ultra high strength concrete containing different types of fibers. *HBRC Journal*, 10, 55–63.

Kassimi, F., El-Sayed, A.K. and Khayat, K.H. (2014). Performance of fiber-reinforced self-consolidating concrete for repair of reinforced concrete beams. *ACI Structural Journal*, November-December 2014, 111(6), 1277-1286.

Kim, J.K., Yi, S.T., Park, C.K. and Eo, S.H. (1999). Size effect on compressive strength of plain and spirally rein-forced concrete cylinders. *AC/ Structural Journal* 96 (1), 88-94.

Lafarge, (2013). North america ductal bridge projects. (15.05.2013) [www.ductal-lafarge.com](http://www.ductal-lafarge.com).

Namaan, A. E. (2002). Toughness, ductility, surface energy and deflectionhardening FRC composites. *Proceedings of the JCI international orkshop on ductile fiber reinforced cementitious composites (DFRCC)- Application and evaluation (DFRCC-02)*, Takayama, Japan, October, 33-57.

Park, R. (1988). Ductility Evaluation from laboratory and analytical testing. *Proceedings of the 9th World Conference on Earthquake Engineering*, Tokyo, Kyoto, 8, 605-616.

Roy, D. M., Gouda, G.R. and Bobrowsky, A. (1972). Very high strenght cemnet Pasted Prepared by hot Presssing and other high pressure techniques. *Cement Concrete Res.*, 2(3), 349-366.

Sim, J., Park, C. and Moon, D.Y. (2005). Characteristics of basalt fiber as a strengthening material for concrete structures. *Composites Part B: Engineering*, 36 (6-7), 504-512.

Yang, J.M., Min, K.H. Shin, H.O. and Yoon, Y.S. (2012). Effect of steel and synthetic fibers on flexural behavior of high-strength concrete beams reinforced with FRP bars. *Composites: Part B*, 43, 1077–1086.

Yiğiter, H. (2002). Yüksek performanslı betonların süneklik özelliğinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi Projesi, Dokuz Eylül Üniversitesi.




Youa, Z., Chen, X. and Dong, S. (2011). Ductility and strength of hybrid fiber reinforced self-consolidating concrete beam with low reinforcement ratios. International Conference on Risk and Engineering Management (REM). *Systems Engineering Procedia*, 1, 28–34.











# **EKLER**




## 6. EKLER




| Kiriş Kodu: 10FK0.5<br>Asal donatı: 2φ10<br>Etriye: φ8/70                            |        |        |      | Deney Tarihi: 01.02.2016   |
|--|--------|--------|------|--|
| P (kN)   | Δ (mm) | Δ/L    | Δ/Δy | Yorumlar   |
| 29.59  | 5.60   | 0.0040 | -    | Eğilme çatlakları ilerledi.<br>İki yük arası maksimum çatlak genişliği: 0.14 mm.<br>Yük mesnet arası maksimum çatlak genişliği: 0.07 mm.<br>Minimum basınç bölgesi yüksekliği: 5.4 cm. |
|    |        |        |      |  |
| P (kN)   | Δ (mm) | Δ/L    | Δ/Δy | Yorumlar   |
| 42.50  | 20.00  | 0.0143 | -    | Çatlaklar büyüdü.<br>İki yük arası maksimum çatlak genişliği: 1.4 mm.<br>Yük mesnet arası maksimum çatlak genişliği: 0.9 mm.<br>Minimum basınç bölgesi yüksekliği: 1.8 cm.             |
|  |        |        |      |  |
| P (kN)   | Δ (mm) | Δ/L    | Δ/Δy | Yorumlar   |
| 46.06  | 50.00  | 0.0400 | -    | Basınç kırılması oluştu .  |
|  |        |        |      |  |




| Kiriş Kodu: 10FK1.0<br>Asal donatı: 2φ10<br>Etriye: φ8/70                            |        |        |      | Deney Tarihi: 28.01.2016   |
|--|--------|--------|------|--|
| P (kN)   | Δ (mm) | Δ/L    | Δ/Δy | Yorumlar   |
| 31.45  | 5.60   | 0.0040 | -    | Eğilme çatlakları ilerledi.<br>İki yük arası maksimum çatlak genişliği: 0.16 mm.<br>Yük mesnet arası maksimum çatlak genişliği: 0.07 mm.<br>Minimum basınç bölgesi yüksekliği: 4.8 cm. |
|    |        |        |      |  |
| P (kN)   | Δ (mm) | Δ/L    | Δ/Δy | Yorumlar   |
| 44.44  | 20.00  | 0.0143 | -    | Çatlaklar büyüdü.<br>İki yük arası maksimum çatlak genişliği: 1.8 mm.<br>Yük mesnet arası maksimum çatlak genişliği: 0.9 mm.<br>Minimum basınç bölgesi yüksekliği: 2.0 cm.             |
|  |        |        |      |  |
| P (kN)   | Δ (mm) | Δ/L    | Δ/Δy | Yorumlar   |
| 43.00  | 46.67  | 0.0333 | -    | Basınç kırılması oluştu .  |
|  |        |        |      |  |






| Kiriş Kodu: 10FK1.5<br>Asal donatı: 2φ10<br>Etriye: φ8/70                            |        |        |      | Deney Tarihi: 28.01.2016  |
|--|--------|--------|------|---|
| P (kN)   | Δ (mm) | Δ/L    | Δ/Δy | Yorumlar  |
| 34.35  | 5.60   | 0.0040 | -    | Eğilme çatlakları ilerledi.<br>İki yük arası maksimum çatlak genişliği: 0.1 mm.<br>Yük mesnet arası maksimum çatlak genişliği: 0.08 mm.<br>Minimum basınç bölgesi yüksekliği: 5.6 cm. |
|    |        |        |      |   |
| P (kN)   | Δ (mm) | Δ/L    | Δ/Δy | Yorumlar  |
| 47.50  | 20.00  | 0.0143 | -    | Çatlaklar büyüdü.<br>İki yük arası maksimum çatlak genişliği: 1.6 mm.<br>Yük mesnet arası maksimum çatlak genişliği: 0.9 mm.<br>Minimum basınç bölgesi yüksekliği: 2.1 cm.            |
|  |        |        |      |   |
| P (kN)   | Δ (mm) | Δ/L    | Δ/Δy | Yorumlar  |
| 46.67  | 56.00  | 0.0400 | -    | Basınç kırılması oluştu .   |
|  |        |        |      |   |




| Kiriş Kodu: 14FK0.5<br>Asal donatı: 2φ14<br>Etriye: φ8/70                            |        |        |      | Deney Tarihi: 01.02.2016   |
|--|--------|--------|------|--|
| P (kN)   | Δ (mm) | Δ/L    | Δ/Δy | Yorumlar   |
| 46.50  | 5.60   | 0.0040 | -    | Eğilme çatlakları ilerledi.<br>İki yük arası maksimum çatlak genişliği: 0.16 mm.<br>Yük mesnet arası maksimum çatlak genişliği: 0.07 mm.<br>Minimum basınç bölgesi yüksekliği: 6.1 cm. |
|    |        |        |      |  |
| P (kN)   | Δ (mm) | Δ/L    | Δ/Δy | Yorumlar   |
| 72.90  | 20.00  | 0.0143 | -    | Çatlaklar büyüdü.<br>İki yük arası maksimum çatlak genişliği: 0.9 mm.<br>Yük mesnet arası maksimum çatlak genişliği: 0.1 mm.<br>Minimum basınç bölgesi yüksekliği: 2.5 cm.             |
|  |        |        |      |  |
| P (kN)   | Δ (mm) | Δ/L    | Δ/Δy | Yorumlar   |
| 70.00  | 31.00  | 0.0250 | -    | Basınç kırılması oluştu .  |
|  |        |        |      |  |




| Kiriş Kodu: 14FK1.0<br>Asal donatı: 2φ14<br>Etriye: φ8/70                            |        |        |      | Deney Tarihi: 28.01.2016   |
|--|--------|--------|------|--|
| P (kN)   | Δ (mm) | Δ/L    | Δ/Δy | Yorumlar   |
| 45.30  | 5.60   | 0.0040 | -    | Eğilme çatlakları ilerledi.<br>İki yük arası maksimum çatlak genişliği: 0.16 mm.<br>Yük mesnet arası maksimum çatlak genişliği: 0.07 mm.<br>Minimum basınç bölgesi yüksekliği: 5.3 cm. |
|    |        |        |      |  |
| P (kN)   | Δ (mm) | Δ/L    | Δ/Δy | Yorumlar   |
| 69.30  | 20.00  | 0.0143 | -    | Çatlaklar büyüdü.<br>İki yük arası maksimum çatlak genişliği: 1.0 mm.<br>Yük mesnet arası maksimum çatlak genişliği: 0.1 mm.<br>Minimum basınç bölgesi yüksekliği: 1.5 cm.             |
|  |        |        |      |  |
| P (kN)   | Δ (mm) | Δ/L    | Δ/Δy | Yorumlar   |
| 40.00  | 27.00  | 0.0250 | -    | Basınç kırılması oluştu .  |
|  |        |        |      |  |




| Kiriş Kodu: 14FK1.5<br>Asal donatı: 2φ14<br>Etriye: φ8/70                            |        |        |      | Deney Tarihi: 28.01.2016  |
|--|--------|--------|------|---|
| P (kN)   | Δ (mm) | Δ/L    | Δ/Δy | Yorumlar  |
| 48.00  | 5.60   | 0.0040 | -    | Eğilme çatlakları ilerledi.<br>İki yük arası maksimum çatlak genişliği: 0.1 mm.<br>Yük mesnet arası maksimum çatlak genişliği: 0.08 mm.<br>Minimum basınç bölgesi yüksekliği: 5.0 cm. |
|    |        |        |      |   |
| P (kN)   | Δ (mm) | Δ/L    | Δ/Δy | Yorumlar  |
| 77.30  | 20.00  | 0.0143 | -    | Çatlaklar büyüdü.<br>İki yük arası maksimum çatlak genişliği: 1.8 mm.<br>Yük mesnet arası maksimum çatlak genişliği: 0.9 mm.<br>Minimum basınç bölgesi yüksekliği: 2.0 cm.            |
|  |        |        |      |   |
| P (kN)   | Δ (mm) | Δ/L    | Δ/Δy | Yorumlar  |
| 77.30  | 33.50  | 0.0250 | -    | Basınç kırılması oluştu .   |
|  |        |        |      |   |






| Kiriş Kodu: 10FB0.5<br>Asal donatı: 2φ10<br>Etriye: φ8/70                            |        |        |      | Deney Tarihi: 01.02.2016  |
|--|--------|--------|------|---|
| P (kN)   | Δ (mm) | Δ/L    | Δ/Δy | Yorumlar  |
| 30.55  | 5.60   | 0.0040 | -    | Eğilme çatlakları ilerledi.<br>İki yük arası maksimum çatlak genişliği: 0.2 mm.<br>Yük mesnet arası maksimum çatlak genişliği: 0.07 mm.<br>Minimum basınç bölgesi yüksekliği: 5.4 cm. |
|    |        |        |      |   |
| P (kN)   | Δ (mm) | Δ/L    | Δ/Δy | Yorumlar  |
| 42.09  | 20.00  | 0.0143 | -    | Çatlaklar büyüdü.<br>İki yük arası maksimum çatlak genişliği: 1.7 mm.<br>Yük mesnet arası maksimum çatlak genişliği: 0.8 mm.<br>Minimum basınç bölgesi yüksekliği: 1.9 cm.            |
|  |        |        |      |   |
| P (kN)   | Δ (mm) | Δ/L    | Δ/Δy | Yorumlar  |
| 43.00  | 35.07  | 0.0250 | -    | Basınç kırılması oluştu .   |
|  |        |        |      |   |




| Kiriş Kodu: 10FB1.0<br>Asal donatı: 2φ10<br>Etriye: φ8/70                            |        |        |      | Deney Tarihi: 28.01.2016  |
|--|--------|--------|------|---|
| P (kN)   | Δ (mm) | Δ/L    | Δ/Δy | Yorumlar  |
| 27.50  | 5.60   | 0.0040 | -    | Eğilme çatlakları ilerledi.<br>İki yük arası maksimum çatlak genişliği: 0.2 mm.<br>Yük mesnet arası maksimum çatlak genişliği: 0.08 mm.<br>Minimum basınç bölgesi yüksekliği: 4.8 cm. |
|    |        |        |      |   |
| P (kN)   | Δ (mm) | Δ/L    | Δ/Δy | Yorumlar  |
| 40.29  | 20.00  | 0.0143 | -    | Çatlaklar büyüdü.<br>İki yük arası maksimum çatlak genişliği: 1.5 mm.<br>Yük mesnet arası maksimum çatlak genişliği: 0.6 mm.<br>Minimum basınç bölgesi yüksekliği: 2.3 cm.            |
|  |        |        |      |   |
| P (kN)   | Δ (mm) | Δ/L    | Δ/Δy | Yorumlar  |
| 41.00  | 45.00  | 0.0333 | -    | Basınç kırılması oluştu .   |
|  |        |        |      |   |




| <b>Kiriş Kodu: 10FB1.5</b><br><b>Asal donatı: 2φ10</b><br><b>Etriye: φ8/70</b>       |               |            |             | <b>Deney Tarihi: 28.01.2016</b>  |
|--|---------------|------------|-------------|--|
| <b>P (kN)</b>  | <b>Δ (mm)</b> | <b>Δ/L</b> | <b>Δ/Δy</b> | <b>Yorumlar</b>  |
| 28.90  | 5.60          | 0.0040     | -           | Eğilme çatlakları ilerledi.<br>İki yük arası maksimum çatlak genişliği: 0.16 mm.<br>Yük mesnet arası maksimum çatlak genişliği: 0.09 mm.<br>Minimum basınç bölgesi yüksekliği: 5.6 cm. |
|    |               |            |             |  |
| <b>P (kN)</b>  | <b>Δ (mm)</b> | <b>Δ/L</b> | <b>Δ/Δy</b> | <b>Yorumlar</b>  |
| 41.00  | 20.00         | 0.0143     | -           | Çatlaklar büyüdü.<br>İki yük arası maksimum çatlak genişliği: 1.8 mm.<br>Yük mesnet arası maksimum çatlak genişliği: 0.9 mm.<br>Minimum basınç bölgesi yüksekliği: 2.0 cm.             |
|  |               |            |             |  |
| <b>P (kN)</b>  | <b>Δ (mm)</b> | <b>Δ/L</b> | <b>Δ/Δy</b> | <b>Yorumlar</b>  |
| 41.00  | 39.00         | 0.0250     | -           | Basınç kırılması oluştu .  |
|  |               |            |             |  |




| Kiriş Kodu: 14FB0.5<br>Asal donatı: 2φ14<br>Etriye: φ8/70                            |        |        |      | Deney Tarihi: 01.02.2016   |
|--|--------|--------|------|--|
| P (kN)   | Δ (mm) | Δ/L    | Δ/Δy | Yorumlar   |
| 47.00  | 5.60   | 0.0040 | -    | Eğilme çatlakları ilerledi.<br>İki yük arası maksimum çatlak genişliği: 0.16 mm.<br>Yük mesnet arası maksimum çatlak genişliği: 0.06 mm.<br>Minimum basınç bölgesi yüksekliği: 6.1 cm. |
|    |        |        |      |  |
| P (kN)   | Δ (mm) | Δ/L    | Δ/Δy | Yorumlar   |
| 72.60  | 20.00  | 0.0143 | -    | Çatlaklar büyüdü.<br>İki yük arası maksimum çatlak genişliği: 2.1 mm.<br>Yük mesnet arası maksimum çatlak genişliği: 0.6 mm.<br>Minimum basınç bölgesi yüksekliği: 2.1 cm.             |
|  |        |        |      |  |
| P (kN)   | Δ (mm) | Δ/L    | Δ/Δy | Yorumlar   |
| 65.00  | 37.50  | 0.0250 | -    | Basınç kırılması oluştu .  |
|  |        |        |      |  |



| Kiriş Kodu: 14FB1.0<br>Asal donatı: 2φ14<br>Etriye: φ8/70                            |        |        |      | Deney Tarihi: 28.01.2016   |
|--|--------|--------|------|--|
| P (kN)   | Δ (mm) | Δ/L    | Δ/Δy | Yorumlar   |
| 46.30  | 5.60   | 0.0040 | -    | Eğilme çatlakları ilerledi.<br>İki yük arası maksimum çatlak genişliği: 0.16 mm.<br>Yük mesnet arası maksimum çatlak genişliği: 0.07 mm.<br>Minimum basınç bölgesi yüksekliği: 5.3 cm. |
|    |        |        |      |  |
| P (kN)   | Δ (mm) | Δ/L    | Δ/Δy | Yorumlar   |
| 73.10  | 20.00  | 0.0143 | -    | Çatlaklar büyüdü.<br>İki yük arası maksimum çatlak genişliği: 1.8 mm.<br>Yük mesnet arası maksimum çatlak genişliği: 0.8 mm.<br>Minimum basınç bölgesi yüksekliği: 1.4 cm.             |
|  |        |        |      |  |
| P (kN)   | Δ (mm) | Δ/L    | Δ/Δy | Yorumlar   |
| 75.00  | 28.50  | 0.0167 | -    | Basınç kırılması oluştu .  |
|  |        |        |      |  |

| Kiriş Kodu: 14FB1.5<br>Asal donatı: 2φ14<br>Etriye: φ8/70                            |        |        |      | Deney Tarihi: 28.01.2016   |
|--|--------|--------|------|--|
| P (kN)   | Δ (mm) | Δ/L    | Δ/Δy | Yorumlar   |
| 47.30  | 5.60   | 0.0040 | -    | Eğilme çatlakları ilerledi.<br>İki yük arası maksimum çatlak genişliği: 0.14 mm.<br>Yük mesnet arası maksimum çatlak genişliği: 0.07 mm.<br>Minimum basınç bölgesi yüksekliği: 5.0 cm. |
|    |        |        |      |  |
| P (kN)   | Δ (mm) | Δ/L    | Δ/Δy | Yorumlar   |
| 73.90  | 20.00  | 0.0143 | -    | Çatlaklar büyüdü.<br>İki yük arası maksimum çatlak genişliği: 2.0 mm.<br>Yük mesnet arası maksimum çatlak genişliği: 0.9 mm.<br>Minimum basınç bölgesi yüksekliği: 2.0 cm.             |
|  |        |        |      |  |
| P (kN)   | Δ (mm) | Δ/L    | Δ/Δy | Yorumlar   |
| 65.00  | 33.50  | 0.0250 | -    | Basınç kırılması oluştu .  |
|  |        |        |      |  |

| Kiriş Kodu: 10 NF<br>Asal donatı: 2φ10<br>Etriye: φ8/70                              |        |        |      | Deney Tarihi: 01.02.2016   |
|--|--------|--------|------|--|
| P (kN)   | Δ (mm) | Δ/L    | Δ/Δy | Yorumlar   |
| 29.59  | 5.60   | 0.0040 | -    | Eğilme çatlakları ilerledi.<br>İki yük arası maksimum çatlak genişliği: 0.14 mm.<br>Yük mesnet arası maksimum çatlak genişliği: 0.07 mm.<br>Minimum basınç bölgesi yüksekliği: 5.4 cm. |
|    |        |        |      |  |
| P (kN)   | Δ (mm) | Δ/L    | Δ/Δy | Yorumlar   |
| 42.50  | 20.00  | 0.0143 | -    | Çatlaklar büyüdü.<br>İki yük arası maksimum çatlak genişliği: 1.4 mm.<br>Yük mesnet arası maksimum çatlak genişliği: 0.9 mm.<br>Minimum basınç bölgesi yüksekliği: 1.8 cm.             |
|  |        |        |      |  |
| P (kN)   | Δ (mm) | Δ/L    | Δ/Δy | Yorumlar   |
| 46.06  | 50.00  | 0.0400 | -    | Basınç kırılması oluştu .  |
|  |        |        |      |  |

| Kiriş Kodu: 14 NF<br>Asal donatı: 2φ14<br>Etriye: φ8/70                              |        |        |      | Deney Tarihi: 28.01.2016   |
|--|--------|--------|------|--|
| P (kN)   | Δ (mm) | Δ/L    | Δ/Δy | Yorumlar   |
| 47.30  | 5.60   | 0.0040 | -    | Eğilme çatlakları ilerledi.<br>İki yük arası maksimum çatlak genişliği: 0.14 mm.<br>Yük mesnet arası maksimum çatlak genişliği: 0.07 mm.<br>Minimum basınç bölgesi yüksekliği: 5.0 cm. |
|    |        |        |      |  |
| P (kN)   | Δ (mm) | Δ/L    | Δ/Δy | Yorumlar   |
| 73.90  | 20.00  | 0.0143 | -    | Çatlaklar büyüdü.<br>İki yük arası maksimum çatlak genişliği: 2.0 mm.<br>Yük mesnet arası maksimum çatlak genişliği: 0.9 mm.<br>Minimum basınç bölgesi yüksekliği: 2.0 cm.             |
|  |        |        |      |  |
| P (kN)   | Δ (mm) | Δ/L    | Δ/Δy | Yorumlar   |
| 65.00  | 33.50  | 0.0250 | -    | Basınç kırılması oluştu .  |
|  |        |        |      |  |