

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**LİFLERİN BETON KIRILMA TOKLUĞUNA
ETKİLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bülent BAHADIR

Enstitü Anabilim Dalı : **YAPI EĞİTİMİ**
Tez Danışmanı : **Yrd. Doç. Dr. Mehmet SARIBIYIK**

Eylül 2007

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

LİFLERİN BETON KIRILMA TOKLUĞUNA ETKİLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bülent BAHADIR

Enstitü Anabilim Dalı : YAPI EĞİTİMİ

Bu tez 11 / 09 /2007 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr.
Ahmet C. APAY
Jüri Başkanı

Yrd. Doç.Dr.
Mehmet SARIBIYIK
Üye

Yrd. Doç.Dr.
Mansur SÜMER
Üye

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanmasında bana her türlü desteği veren danışman hocam sayın Yrd. Doç. Dr. Mehmet SARIBIYIK'a, araştırma görevlisi Ferhat AYDIN'a, Ali SARIBIYIK'a, sayın Kemal Burak HANOĞLU'na, deneyin yapılmasında yardımlarını esirgemeyen Sakarya Belpaş Beton Santrali çalışanlarına, arkadaşım Serkan KALKAN'a, bana her türlü desteği sağlayan Aileme ve anlayışını esirgemeyen Eşime teőekkürü bir borç bilirim.

Sakarya 2007-05-10

Bölent BAHADIR

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
TABLolar LİSTESİ	x
ÖZET	xi
SUMMARY	xii

BÖLÜM 1.

GİRİŞ.....	1
1.1. Beton Karışım Elemanları	3
1.1.1. Çimento	3
1.1.2. Agrega	4
1.1.3. Su.....	5
1.1.4. Katkı maddeleri	6
1.2. Taze Beton.....	7
1.3. Sertleşmiş Betonun Özellikleri.....	9

BÖLÜM 2.

LİFLİ BETONLAR.....	12
2.1. Lifli Beton	12
2.2. Betonda Kullanılan Lifler.....	13
2.2.1. Çelik lifler	14
2.2.2. Cam lifler.....	16
2.2.3. Asbest lifler	18
2.2.4. Plastik esaslı lifler	19
2.2.4.1. Polipropilen lifler.....	19

2.2.4.2. Aramid lifler	21
2.2.4.3. Naylon lifler.....	21
2.2.4.4. Bitkisel esaslı lifler.....	21
2.2.4.5. Diğer lifler.....	21
2.3. Çelik Lifli Beton.....	23
2.3.1. Çelik liflerin betona karıştırılması.....	25
2.3.2. Çelik liflerin beton içerisindeki davranışları.....	25
2.3.3. Betonda çelik lif kullanmanın avantajları	27
2.3.4. Çelik lifli betonların kullanım alanları	29
2.4. Cam Lifli Beton.....	35
2.4.1. Özellikleri.....	35
2.4.2. Kullanıldığı yerler	36
2.5. Polipropilen Lifli Beton.....	36
2.5.1. Avantajları.....	37

BÖLÜM 3.

MATERYAL VE METOT.....	39
3.1. Malzeme ve Ekipman	39
3.1.1. Agregası	39
3.1.2. Çimento	39
3.1.3. Su.....	39
3.1.4. Kalıplar.....	40
3.1.5. Eğilme deneyi cihazı	40
3.1.5.1. Eğilme makinesi.....	40
3.1.6. Deneyin yapımında kullanılan lifler.....	41
3.1.6.1. Çelik lifler.....	41
3.1.6.2. Cam lifleri.....	42
3.1.6.3. Polipropilen lifler.....	42
3.2. Deneyde Kullanılacak Kalıpların Hazırlanması	43
3.3. Deney Numunelerinin Hazırlanması	43
3.4. Deney Numunelerinin Kalıplara Yerleştirilmesi.....	51
3.5. Deney Numunelerine Eğilme Deneyinin Uygulanması	54

BÖLÜM 4.

BULGULAR VE TARTIŞMA.....	56
4.1. Şahit Beton Numunelerin Eğilme Deneyleri.....	56
4.2. Çelik Lifli Beton Numunelerin Eğilme Deneyleri	60
4.2.1. Yüzde 0,5 çelik lif katkılı beton numunelerin eğilme deneyleri	60
4.2.2. Yüzde 1 çelik lif katkılı beton numunelerin eğilme deneyleri	63
4.2.3. Yüzde 1,5 çelik lif katkılı beton numunelerin eğilme deneyleri	66
4.3. Polipropilen Lifli Beton Numunelerin Eğilme Deneyleri	69
4.3.1. Yüzde 0,5 polipropilen lif katkılı beton numunelerin eğilme deneyleri	70
4.3.2. Yüzde 1 polipropilen lif katkılı beton numunelerin eğilme deneyleri	72
4.3.3. Yüzde 1,5 polipropilen lif katkılı beton numunelerin eğilme deneyleri.....	75
4.4. Cam Lifli Beton Numunelerin Eğilme Deneyleri	78
4.4.1. Yüzde 0,5 cam lif katkılı beton numunelerin eğilme deneyleri	78
4.4.2. Yüzde 1 cam lif katkılı beton numunelerin eğilme deneyleri	81
4.5. Lif Türüne Göre Eğilme Grafiklerinin Karşılaştırılması.....	85

BÖLÜM 5.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER	92
KAYNAKLAR.....	94
ÖZGEÇMİŞ.....	95

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

TS : Türk Standartları

Mpa : Gerilme Birimi

T.E.F : Teknik Eğitim Fakültesi

J : Joule

ASTM: Amerika Deney Ve Malzeme Cemiyeti

ACI : Amerika Beton Enstitüsü

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2. 1. Betonlarda Kullanılan Çelik Lifler.....	15
Şekil 2. 2. Kırpıntı Demetler Ve Devamlı Fitol	17
Şekil 2. 3. Çeşitli PP I Lifleri	20
Şekil 2. 4. Çelik Lifli Betonlarda Liflerin Çatlak Sonlarını Takviye Etmesi Sonucu Çatlak Yayılmasının Durdurulması	24
Şekil 2. 5. Çelik Liflerin Birleşmiş ve Dağılmış Halleri	26
Şekil 2. 6. Çelik Liflerin Beton İçindeki Dağılımı	26
Şekil 2. 7. Çelik Lifin Çatlama Anında Betonu Koruması.....	28
Şekil 2. 8. Fabrika Sahası Betonlarında Lifli Beton Kullanımı.....	32
Şekil 2. 9. Beton Yol Yapımı	35
Şekil 3. 1. Eğilme Makinesi Deney Düzeneği.....	40
Şekil 3. 2. Eğilme Makinesi Ve Donanımı.....	41
Şekil 3. 3. Deneyde Kullanılan Çelik Lifler	42
Şekil 3. 4. Deneyde Kullanılan Polipropilen Lifler	42
Şekil 3. 5. Numune Ahşap Kalıpları	43
Şekil 3. 6. Kalıplara Betonun Dökülmesi ve Vibrasyon Uygulanması.....	51
Şekil 3. 7. Betonun Kalıplara Yerleştirilmesi ve Düzeltilmesi	52
Şekil 3. 8. Karışımda Kullanılacak Çelik ve Polipropilen Liflerin Terazide Tartılması.....	52
Şekil 3. 9. Karışımda Kullanılacak Çelik Lifli Numunenin Kalıba Yerleştirilmesi	53
Şekil 3. 10. Kalıplara Dökülen Çelik Lifli Betonun Yüzeyinin Düzeltilmesi ve Numaralandırılması	53
Şekil 3. 11. Deneyin Uygulanması	54
Şekil 4.1. 1 Nolu Şahit Numune Yük-Sehim Grafiği	56
Şekil 4.2. 2 Nolu Şahit Numune Yük-Sehim Grafiği.....	57
Şekil 4.3. 3 Nolu Şahit Numune Yük-Sehim Grafiği.....	58

Şekil 4.4. Şahit Numunelere Ait Yük-Sehim Grafikleri	59
Şekil 4.5. 1 Nolu Yüzde 0,5 Çelik Lifli Numuneye Ait Yük-Sehim Grafiği.....	60
Şekil 4.6. 2 Nolu Yüzde 0,5 Çelik Lifli Numuneye Ait Yük-Sehim Grafiği.....	60
Şekil 4.7. 3 Nolu Yüzde 0,5 Çelik Lifli Numuneye Ait Yük-Sehim Grafiği.....	61
Şekil 4.8. Tüm Yüzde 0,5 Çelik Lif Katkılı Numunelere Ait Yük-Sehim Grafikleri	62
Şekil 4.9. Yüzde 1 Çelik Lifli 1 Nolu Numuneye Ait Yük-Sehim Grafiği.....	63
Şekil 4.10. Yüzde 1 Çelik Lif 2 Nolu Numuneye Ait Yük-Sehim Grafiği.....	63
Şekil 4.11. Yüzde 1 Çelik Lif 3 Nolu Numuneye Ait Yük-Sehim Grafiği.....	64
Şekil 4.12. Yüzde 1 Çelik Lifli Numunelere Ait Yük-Sehim Grafikleri.....	65
Şekil 4.13. Yüzde 1,5 Çelik Lifli 1 Nolu Numuneye Ait Yük-Sehim Grafiği.....	66
Şekil 4.14. Yüzde 1,5 Çelik Lifli 2 Nolu Numuneye Ait Yük -Sehim Grafiği.....	67
Şekil 4.15. Yüzde 1,5 Çelik Lifli 3 Nolu Numuneye Ait Yük -Sehim Grafiği.....	67
Şekil 4.16. Yüzde 1,5 Çelik Lifli Numunelere Ait Yük-Sehim Grafikleri.....	68
Şekil 4.17. Yüzde 0,5 Polipropilen Lifli 1 Nolu Numuneye Ait Yük -Sehim Grafiği	69
Şekil 4.18. Yüzde 0,5 Polipropilen Lifli 2 Nolu Numuneye Ait Yük -Sehim Grafiği	69
Şekil 4.19. Yüzde 0,5 Polipropilen Lifli Numunelere Ait Yük -Sehim Grafikleri ...	70
Şekil 4.20. Yüzde 1 Polipropilen Lifli 1 Nolu Numuneye Ait Yük-Sehim Grafiği..	71
Şekil 4.21. Yüzde 1 Polipropilen Lifli 2 Nolu Numuneye Ait Yük-Sehim Grafiği..	71
Şekil 4.22. Yüzde 1 Polipropilen Lifli 3 Nolu Numuneye Ait Yük-Sehim Grafiği..	72
Şekil 4.23. Yüzde 1 Polipropilen Lifli Numunelere Ait Yük -Sehim Grafikleri.....	73
Şekil 4.24. Yüzde 1,5 Polipropilen Lifli 1 Nolu Numuneye Ait Yük -Sehim Grafiği.....	74
Şekil 4.25. Yüzde 1,5 Polipropilen Lifli 2 Nolu Numuneye Ait Yük -Sehim Grafiği	74
Şekil 4.26. Yüzde 1,5 Polipropilen Lifli 3 Nolu Numuneye Ait Yük -Sehim Grafiği	75
Şekil 4.27. Yüzde 1,5 Polipropilen Lif Numunelere Ait Yük -Sehim Grafikleri	76
Şekil 4.28. Yüzde 0,5 Cam Lif 1 Nolu Numuneye Ait Yük-Sehim Grafiği.....	77
Şekil 4.29. Yüzde 0,5 Cam Lifli 2 Nolu Numuneye Ait Yük-Sehim Grafiği.....	77
Şekil 4.30. Yüzde 0,5 Cam Lifli 3 Nolu Numuneye Ait Yük-Sehim Grafiği.....	78
Şekil 4.31. Yüzde 0,5 Cam Lifli Numunelere Ait Yük-Sehim Grafikleri.....	79

Şekil 4.32. Yüzde 1 Cam Lifli 1 Nolu Numuneye Ait Yük-Sehim Grafiği.....	80
Şekil 4.33. Yüzde 1 Cam Lifli 2 Nolu Numuneye Ait Yük-Sehim Grafiği.....	81
Şekil 4.34. Yüzde 1 Cam Lifli 3 Nolu Numuneye Ait Yük-Sehim Grafiği.....	81
Şekil 4.35. Yüzde 1 Cam Lifli Numunelere Ait Yük-Sehim Grafikleri.....	82
Şekil 4.36. Şahit-Çelik Lifli Numune Ortalama Tokluk Değeri Grafiklerinin Karşılaştırılması.....	83
Şekil 4.37. Şahit- Polipropilen Lifli Numune Ortalama Tokluk Değeri Grafiklerinin Karşılaştırılması	84
Şekil 4.38. Şahit- Cam Lifli Numune Ortalama Tokluk Değeri Grafiklerinin Karşılaştırılması	85
Şekil 4.39. Yüzde 0,5 Lif Oranına Göre Ortalama Tokluk Değeri Grafiklerinin Karşılaştırılması.....	86
Şekil 4.40. Yüzde 1 Lif Oranına Göre Ortalama Tokluk Değeri Grafiklerinin Karşılaştırılması.....	87
Şekil 4.41. Yüzde1,5 Lif Oranına Göre Ortalama Tokluk değeri Grafiklerinin Karşılaştırılması.....	88

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Bazı Liflere Ait Özellikler	23
Tablo 2.2. En Büyük Agrega Tane Çapına Göre Kullanılacak Lif Miktarları.....	29
Tablo 3.1. Şahit Numune İçin Karışıma Giren Agrega Hacim ve Miktarları	46
Tablo 3.2. Şahit Numune İçin Malzeme Kütle ve Miktarları	46
Tablo 3.3. % 0,5 Lif Katkılı Numuneler İçin Malzeme Kütle ve Miktarları	47
Tablo 3.4. % 1 Lif Katkılı Numuneler İçin Malzeme Kütle ve Miktarları	48
Tablo 3.5. % 1,5 Lif Katkılı Numuneler İçin Malzeme Kütle ve Miktarları	49
Tablo 3.6. Bir Adet Şahit Numune İçin Malzeme Miktarları	49
Tablo 3.7. Bir Adet %0,5 Lif Katkılı Numune İçin Malzeme Miktarları	50
Tablo 3.8. Bir Adet %1 Lif Katkılı Numune İçin Malzeme Miktarları	50
Tablo 3.9. Bir Adet %1,5 Lif Katkılı Numune İçin Malzeme Miktarları	51
Tablo 4.1. Şahit Numunelerin Tokluk Değerleri	58
Tablo 4.2. %0,5 Çelik Lif Katkılı Numunelerin Tokluk Değerleri	61
Tablo 4.3. %1 Çelik Lif Katkılı Numunelerin Tokluk Değerleri	64
Tablo 4.4. %1,5 Çelik Lif Katkılı Numunelerin Tokluk Değerleri	67
Tablo 4.5. %0,5 Polipropilen Lif Katkılı Numunelerin Tokluk Değerleri	70
Tablo 4.6. %1 Polipropilen Lif Katkılı Numunelerin Tokluk Değerleri	72
Tablo 4.7. %1,5 Polipropilen Lif Katkılı Numunelerin Tokluk Değerleri	75
Tablo 4.8. %0,5 Cam Lif Katkılı Numunelerin Tokluk Değerleri	78
Tablo 4.9. %1 Cam Lif Katkılı Numunelerin Tokluk Değerleri	82

ÖZET

Anahtar Kelimeler: Beton, Lifli Beton, Çelik Lif, Polipropilen Lif, Cam Lif, Eğilme Deneyi, Tokluk

Geleneksel Betonun Zayıf Yönleri Olarak Bilinen Çekme Dayanımı, Eğilme Gerilmesi Ve Kırılma Tokluğu Ve Çatlaklar Gibi Bazı Özelliklerini İyileştirmek Amacıyla Betona Bazı Lifler Katılmaktadır. Bu Lifler Arasında En Çok Tercih Edilen Çelik Tel, Polipropilen Ve Cam Lifleridir.

Bu Çalışmada, Beton İçersine Katılan Çelik Tel, Polipropilen Ve Cam Lifleri Belirli Oranlarda Katılarak Eğilme Deneyi Numuneleri Hazırlanmıştır. Lifsiz Şahit Numunelerde Hazırlanarak Lifli Numunelerle Kıyaslamalar Yapılarak Liflerin Tokluk Özelliğine Ve Eğilme Sehimine Etkileri Araştırılmıştır. Bu Amaçla Beton Numunelere Hacimce Yüzde 0,5-1-1,5 Oranında Çelik, Polipropilen Ve Cam Lifler Katılmış Ve Her Gruptan 3' Er Adet Numune Üretilmiştir. Elde Edilen Değerler Grafik Şeklinde İfade Edilmiş Ve Lif Türüne Ve Şahit Numunelere Göre Karşılaştırmalar Yapılmıştır.

Çalışma Sonucunda; Tüm Lifli Numunelerin Şahit Numunelere Göre Daha Yüksek Oranda Tokluk Ve Sehim Değerine Sahip Olduğu Tespit Edilmiştir. Ayrıca Çelik Lifli Beton Numunelerin Diğer Lifli Numunelere Göre Daha İyi Performans Sergilediği Gözlemlenmiştir.

EFFECT OF FIBERS TO FRACTURE OF TOUGHNESS CONCRETE

SUMMARY

Keywords: Concrete, Fiber Reinforced Concrete, Steel Fiber, Polypropylen Fiber, Glass Fiber, Flexural Experiment, Toughness

Fibers Are Added To Conventional Concrete To Improve Its Tensile, Flexural, Toughness, And Cracking Properties. Steel Wize, Polypropylen And Glass Fibers Are Preferred For Such Applications.

In This Study, Steel Wize, Polypropylen And Glass Fiber Added Specimens Were Prepared To Be Tested Under Flexure. Plain Concrete Control Specimens' Toughness And Deflection Values Were Compared With The Same Parameters Fort The Fiber Added Specimens. Tested Samples Included Sets Of Three Specimens Prepared With 0,5 – 1 – 1,5 % Volumetric Fiber Ration. The Specimens Were Tested Under Flexure And The Results Presented In Graphical Format With Comparisons Based On Fiber Type And With Reference To Control Specimens.

Result Showed That All Specimens With Added Fiber Had Higher Toughness And Deformation Capacity. Specimens With Steel Fiber Are Absorved To Perform Bette Than The Other Fiber Reinforced Specimens.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Kendi başına kullanılabilen, insanların oturma, çalışma, dinlenme, ulaşım, eğlenme ve ibadet etmelerine yarayan, hayvanların ve eşyaların korunmasını sağlayan, karada ve suda, daimi ve ya geçici, yeraltı ve yer üstü inşaatı ile bunların tamirlerini içine alan tesislerde kullanılan malzemelere yapı malzemesi denir. Yapı malzemesi seçilirken emniyet, durabilite, ekonomi, ergonomi ve estetik unsurlara dikkat edilmelidir. Bir malzemenin kimyasal, fiziksel ve mekanik özelliklerinin kullanım esnasında ve servis ömrü süresince sergileyeceği davranış, malzeme seçimi açısından önemlidir[1].

Yapıların tasarımında çok çeşitli taşıyıcı sistemler kullanmak mümkündür. Avantajlarına göre, Türkiye'deki yapıların yaklaşık %90'ında beton, ana malzeme olarak kullanılmaktadır. Beton çağımızda irili ufaklı birçok yapıda kullanılmakta en önemli ve gözde yapı malzemesidir. İnsanların yaşadıkları evlerin, çalıştıkları işyerlerinin, eğitim gördükleri okulların, spor yaptıkları tesislerin, arabalarını park ettikleri park yerlerinin ve garajlarının büyük bir bölümünün yapımında beton kullanılmaktadır; kaldırımların, kara ve demir yollarının, hava alanlarının ve limanların yapımında da beton kullanılmaktadır. Su tankları ve suların taşındığı borular betondan yapılmaktadır. Enerji üretimi için kurulan barajların ve atom reaktörlerinin bir bölümünde ve enerji nakli için kullanılan direklerin yapımında, yine beton kullanılmaktadır.

Beton çağımızda birçok yapıda kullanılmakta olan en yaygın ve en popüler malzemedir. Bunun nedeni diğer yapı malzemelerine göre betonun sahip olduğu özelliklerdir. Karıştırıldıktan sonra bir süre şekil verilebilir durumunu koruyan beton, istenilen şekil ve boyutlardaki kalıplara yerleştirilebilmektedir. Böylece istenilen şekil ve boyutlardaki sertleşmiş beton eleman elde edilebilir. Sertleşmiş beton, ahşap malzemeler gibi yanmamakta, çelik gibi kolayca korozyona uğramamaktadır. yıpratıcı etkenlere karşı

Kısacası çevrede oluşan daha büyük dayanıklılık göstermektedir. Çevre etkenlerinden korunmak için diğer malzemeler verniklenme boyama ve benzeri uygulamalar gerektirirken sertleşmiş betonun bakım masrafı yok denilecek kadar azdır. Enerji harcanarak fabrikada üretilen çimentonun dışındaki diğer ana malzemelerden birisi olan su ve beton hacminin yaklaşık % 75'ini oluşturan agrega çevreden kolayca temin edilebildiği için betonun üretimi hem kolay hem de ekonomiktir.

Taze betonda ve sertleşmiş betonda beklenen birçok özellik vardır. Taze beton yeterli işlenebilmeye sahip olmalıdır. Betonun özellikleri önce betonu oluşturan malzemelerin özelliklerine ve beton karışımında kullanıldıkları miktarlara bağlıdır. Bunun yanında uygulanan karılma, taşınma, yerleştirilme, sıkıştırılma ve yüzey düzeltilme işlemleri ve ayrıca taze betona uygulanan kür yöntemi ve kür süresi betonun özelliğini etkileyen önemli faktördür.

Değişik yapılarda değişik iklimlerde ve değişik ortamlarda kullanılan betonların sahip olmaları istenilen işlenebilme, priz süresi, dayanım kazanma hızı, dayanım miktarı ve dayanıklılık gibi özellikler farklı olabilmektedir. Bir başka deyişle değişik koşullar için değişik özellikte beton gerekmektedir.

İstenilen özelliklerdeki beton, çimento, agrega su ve katkı maddelerinin karışımından üretilmektedir. Beton, popüler yapı malzemesi olan çelik gibi fabrikada kontrol altında üretilerek kullanılmaya hazır bir malzeme olmadığı için, istenilen kalitedeki betonun üretiminde kullanılacak malzemeler özenle seçilmelidir. Malzeme karışım oranları çok iyi saptanmalı, malzemenin karılma işlemi taze betonun taşınma, yerleştirilme, sıkıştırılma işlemleri ve betona uygulanması gereken kür uygun tarzda yerine getirilmelidir. İstenilen kalitedeki betonun doğru yerde, doğru oranda kullanılması için beton özelliklerinin iyi bilinmesi gerekir.

Yapıda istenilen şekil ve boyutlarda betondan yapılmış elemanların kullanılması için, önce uygun şekil ve boyutlardaki kalıplar hazırlanmakta ve içlerine taze beton yerleştirilmektedir. Kalıpların içerisindeki beton yeterince sertleşip dayanım kazandıktan sonra kalıplar sökülmetedir. Betonun sertleşmesi ve dayanım kazanması kalıpların

sökülmesinden sonra da devam etmektedir.

1.1. Beton Karışım Elemanları

“Beton”; çimento, agrega, su ve gerektiğinde bazı katkı maddelerinin birlikte karılmasıyla elde edilen kompozit bir yapı malzemesidir.

1.1.1. Çimento

Su ile ıslatıldığında, hidrasyon olayı sonucu sertleşen ve bir daha yumuşamayan hidrolik bağlayıcılara çimento denir.

Yaklaşık %70 kalker, %30 kil karışımı 1400°C’ de pişirilir ve erken priz yapmasını önlemek için %2~6 oranında jips (alçı taşı) ilave edilerek çimento elde edilir. Fırından çıkan ve hava ile soğutulan koyu gri renkli çimento klinkeri bu haliyle su ile birleşerek sertleşmez. Klinker ince öğütülmek suretiyle hidrolik özelliğini kazanır. Yalnız başına, öğütülen klinker su ile ıslatılınca hemen sertleşir. Alçı taşı hızlı sertleşme (priz başlama) süresini uzatmaktadır.

Çimento bağlayıcı özelliğe sahip bir malzemedir. Çimentonun sağlayabileceği bağlayıcılık özelliği, bu malzemenin su ile birlikte karılması sonucu elde edilmektedir. Çimento ve suyun oluşturduğu malzeme “çimento hamuru” olarak tanımlanmaktadır. Betonun oluşturulmasında çimento hamurunun işlevi, agrega tanelerinin yüzeylerini kaplamak, agrega taneleri arasındaki boşlukları doldurmak ve agrega tanelerini bir arada tutacak tarzda bağlayıcılık sağlamaktır. Bu bakımdan beton, çimento hamurundan ve agregalardan oluşan kompozit bir malzeme olarak ta tanımlanabilmektedir. Çimento ve suyun birleştirilmesiyle elde edilen çimento hamuru, başlangıçta plastik bir malzeme durumundadır. Ancak çimento ve su arasında hemen başlayan ve devam etmekte olan kimyasal reaksiyonların (hidrasyonun) etkisiyle, çimento hamurunun başlangıçtaki plastik özelliği zaman ilerledikçe azalmaktadır. Bu sayede bir veya birkaç saat içerisinde çimento hamuru katılaşmakta ve daha sonralarda ise tamamen sertleştirilmiş bir duruma

gelmektedir.

Çimento hamurunun ilk zamanlarda plastik özellik göstermesi nedeniyle beton ilk karıldığı andan takiben bir veya birkaç saatlik süre içerisinde plastik yapısını korumaktadır. O nedenle elde edilen plastik durumdaki taze betonun, istenilen şekilde bir kalıba yerleştirilmesi, sıkıştırılması ve yüzeyinin düzeltilmesi mümkün olmaktadır. Çimento hamurunun zaman ilerledikçe daha katı ve sert bir özellik kazanması nedeniyle, betonda da sertleşme ve dayanım artışı meydana gelmekte, istenilen boyutlarda ve şekillerde taş gibi sert bir malzeme elde edilmektedir.

1.1.2. Agregas

Kum, çakıl, kırmataş, cüruf gibi çeşitli büyüklükteki taneli malzemelere agrega denir. Türk standartlarının tanımlamasına göre, elendiğinde 4,0 mm göz açıklıklı kare delikli elekten geçebilen boyutlardaki agregaya “ince agrega” ve bu elek üzerinde kalan agregaya , “iri agrega” denilmektedir. Agregalar bağlayıcılar yardımıyla beton yapımında kullanılırlar ve betonun yaklaşık % 70-75’ini oluştururlar. Agregaların özellikleri kendisinden yapılan betonun özelliklerine de aynen yansır. Yani kendi özellikleri iyi olan agrega ile yapılan betonun özellikleri de iyi olur.

Agregalar doğada, doğal olarak buldukları gibi iri taş parçalarının konkasör adı verilen taş kırma makinelerinde kırılması sonucunda da elde edilebilirler. Konkasörde elde edilen agreganın irisine kırmataş incesine de kırma kum denir. Kırmataş ve kırma kum’a mıcır adı verilir. Kırmataş veya çakılın beton yapımında kullanılmasının beton için olumlu ve olumsuz etkileri vardır. Çakıl taneleri şekil olarak yuvarlak olduğu için, yüzeyleri kırmataşa göre az pürüzlüdür. Dolayısıyla beton için kırmataşa göre daha az çimentoya ihtiyaç duyulur ve daha az boşluklu yani yüksek kompasilifi beton üretilir. Kırmataşın ise, pürüzlü yüzeyleri çok olduğundan beton için hem çok çimentoya ihtiyaç duyulur hem de kompasite daha düşüktür.

Kompasitenin düşük olması dayanımı da olumsuz yönde etkiler. Ayrıca kullanılan fazla

çimento rötreye de sebebiyet verir. Fakat betonda kırmataş kullanılması halinde kırmataşın pürüzlü yüzeylerinin çimento hamuruyla çakıl'a göre daha iyi aderans yapması sonucu kırmataş ile üretilen betonlara da çakılla üretilen betonlara göre basınç dayanımında azalma değil genelde artış olduğu bilinir. En uygun biçimli agrega taneleri küre ve küp şeklinde olanlardır.

1.1.3. Su

Fazla kirli olmayan herhangi bir su betonda yoğurma suyu olarak kullanılabilir. Çimentonun bileşiminde önemli miktarda kireç bulunduğundan yoğurma suyunun kalsiyum iyonuna bağlı sertliği ehemmiyetsizdir. Ayrıca aşırı miktarda CO₂ ihtiva eden sular da emniyetle kullanılabilir. Ancak betonarme yapılarda CO₂'li sular çeliğin korozyonuna neden olur.

Beton karma suyunda en tehlikeli faktör SO₄⁻ iyonlarının bulunmasıdır. SO₄⁻ iyonları daha ziyade MgSO₄ şeklinde mevcut olup, bu tuz, prizden önce çimentonun serbest kireciyle birleşerek jips ve Mg(OH)₂ meydana getirir. Bu sebepten ötürü % 1'den fazla MgSO₄ bulunan sular yoğurma suyu olarak kullanılmamalıdır. % 3'ten fazla NaCl (tuz) bulunan sulardan beton mukavemetine etki ettiği ve azalttığı için beton karma suyu olarak kullanılmamalıdır. Deniz suyunun zararlı olması nedeniyle kullanılması uygun görülmemekle beraber tuz miktarı limitin altında olması halinde kullanılmasında bir sakınca yoktur. Ayrıca %3,5 tuz ihtiva eden deniz suyu donatısız betonda kullanılabilir.

Karma suyunda bulunabilecek diğer maddeler; yağlar, şeker ve alkollerdir. Şeker, çimentonun serbest kireciyle birleşerek kalsiyum sakkarat teşkil eder ki, bu madde betonun sertleşmesine engel olur. Bu sebepten az miktarda dahi olsa şeker ihtiva eden sular beton yoğurma suyu olarak kullanılmamalıdır.

Bütün bunlardan başka suların yapacağı tesir betonun cinsine ve kullanılacağı yere göre değişir. Bu bakımdan suyun sadece kimyasal analizi beton üzerine etkisi hakkında kesin hüküm vermez. Beton üzerinde mukavemet deneylerinin yapılması uygundur.

Sonuç olarak, %1'den fazla SO_3 , %3'ten fazla NaCl, organik madde, yağ, şeker, alkol ihtiva eden sular beton yoğurma suyu olarak kullanılmamalıdır.

Beton yapımında karışıma katılan yoğurma suyu çimentonun hidrasyonunu sağlar, kum ve çakıl tanelerini ıslatır. Karışımın işlenebilirliğini temin eder. Ancak agrega yüzeylerini ıslatacak ve çimentonun hidrasyonunu sağlayacak miktardan fazla su kullanılması halinde, kompasitenin ve mukavemetin azaldığı görülmektedir. Suyun bu gerekli miktardan az olmasının da mukavemeti düşüreceği tabiidir. Bunun için en büyük mukavemeti veren su miktarına "Optimum Su Miktarı" denir.

Uygulamada genellikle betonun yerleştirmesini kolaylaştırmak için fazla miktarda su kullanılır. Az su kullanılması nadir olduğundan genellikle su miktarı arttıkça mukavemetin azaldığı kabul edilir. Zaten betonun basınç mukavemetini en çok etkileyen su/çimento (water/cement) (W / C) oranıdır. Bu sebeple belirli amaçlar için kullanılacak olan beton karışımlarının hesaplanmasında bu oran önemli bir faktör olarak kullanılır.

1.1.4. Katkı maddeleri

Betonun taze haldeki ve/veya sertleşmiş haldeki özelliklerini belirli bir amaca uygun olarak değiştiren maddelerdir. Beton bileşimine çok az miktarlarda katılan bu maddeler çimento hamurunun yapısını, hidrasyon özelliklerini değiştirerek etkili olur. Bunlar maliyet artışına neden olduğundan, ancak beton özelliklerinde istenen değişiklikler başka yollardan veya daha ucuza yapılamıyorsa kullanılır. Katkı maddeleri sağladıkları etkiye göre sınıflandırılır. Bunlar:

- Taze betonun işlenebilirliğini düzenleyenler,
- Hava sürükleyiciler,
- Priz ve sertleşme sürelerini düzenleyenler,
- Hacim artışı sağlayanlar,
- Fiziksel etkilere dayanıklılığı artıranlar,
- Mekanik etkilere dayanıklılığı artıranlar,

- Kimyasal etkilere dayanıklılığı artıranlar,
- Biyolojik etkilere dayanıklılığı artıranlar,
- Renklendiricilerdir.

Dikkat edilecek husus katkı maddelerinin sağlayacağı etkinin derecesinin çimento türüne, beton bileşimine bağlı olduğu ve bu maddelerin sağladıkları yararların yanı sıra bazı sakıncalar da taşıyabilecekleridir.

1.2. Taze Beton

Beton, karıştırma işlemi tamamlandıktan sonra, işlenebilir, seçilen yöntemle sıkıştırılabilir ve yüzeyi düzeltilmelidir. Betonun bu plastik durumuna taze beton denilmektedir. Taze beton, henüz katılaşmamış, şekil verilebilir durumdaki betondur. Betonun taşınıp kalıplardaki yerine yerleştirilmesi, sıkıştırılması, yüzeyinin düzeltilmesi gibi işlemler, beton şekil verilebilir durumda iken yapılabilir. Sertleşmiş durumdaki betondan istenilen dayanımın, dayanıklılığın ve hacim sabitliliğinin elde edilebilmesi için, taze betonun şu özelliklere sahip olması gerekir:

İşlenebilme, taze betonun kolayca karılabilmesi, uygun bir şekilde taşınabilmesi, pompalanabilirliği, kalıba yerleştirilebilmesi, sıkıştırılabilirliği ve yüzeyinin düzeltililebilmesi betonun ne ölçüde işlenebilir olduğunu göstermektedir. Bu nedenle bu özelliklerin tümü, işlenebilme adı altında tek bir özellik olarak ifade edilmektedir.

İşlenebilmeyi Etkileyen Faktörler:

- Çimento miktarı,
- Çimentonun özelliği,
- Karma suyu miktarı,
- En büyük Agregatane boyutu,
- İnce Agreganın miktarı ve tane dağılımı oranı,

- Agregaların tane şekli,
- Beton yapımında kullanılan ince taneli mineral katkıları,
- Beton yapımında kullanılan kimyasal katkıları,
- Hava sürüklenmiş betonlardaki sürüklenen hava miktarı,
- Sıcak hava koşulları ve beton karışımının sıcaklığı,
- Betonun karıldığı andan, kıvamının ölçüleceği ana kadar geçen süre,

Kıvam, taze beton karışımının ıslaklık derecesi anlamına gelmektedir. Kıvamı çok yüksek olan bir taze beton, düşük kıvamdaki bir betona göre daha rahat karılabilmekte, pompalanabilmekte ve çoğu kez daha rahat yerleştirilebilmektedir. Ancak beton kıvamının çok yüksek olması, betonun işlenebilirliğinin mutlaka yeterli olduğu anlamına gelmemektedir.

Ayrışma, beton karışımı içinde yer alan malzemelerin kıvam veya döküm sırasında irili tanelerin tabana çökmesi ve taze betonun homojen dağılımı bozulmaktadır. Taze betonda oluşan bu tür ayrışma betonun mukavemetini olumsuz yönde etkilemektedir.

Betonda ayrışmaya yol açan nedenler

- Malzeme oranları ve özellikleri; Taze betonu oluşturan malzemelerin uygun oranlarda kullanılmamış olması,
- karışımda kullanılan malzemelerin uygun özellikte olmaması,
- Beton üretiminde kullanılan malzemelerin karıştırma işleminin yeterince yapılmaması,
- Taze betonun taşınması, yerleştirilmesi ve sıkıştırılması işleminin uygun tarzda ve uygun sürede yapılmaması gibi unsurlar Taze betonda ayrışmaya sebep olmaktadır.

Taşıma, yerleştirme ve sıkıştırma işlemlerinin uygun yöntem ve şekilde yapılmadığı takdirde, taze beton kolaylıkla ayrışma gösterebilmektedir. Gereğinden daha uzun süreyle yapılan sıkıştırma (vibrasyon), betonda ayrışma yapabilmektedir

Terleme, taze betonun içerisindeki suyun beton yüzeyine çıkma eğilimine terleme denilmektedir. Taze betonun yerine yerleştirilmesinden hemen sonra, katı parçacıkların yer çekimi etkisiyle dibe doğru ve suyun yukarı doğru hareket etme eğilimi bulunmaktadır. Taze betonun üst yüzeyine kadar erişebilen bir miktar su, bazen su birikintisi oluşturup buharlaşmakta, bazen de doğrudan doğruya buharlaşarak kaybolmaktadır.

Birim Ağırlık, taze betonun birim ağırlığı, bir birim hacim içinde yer alan taze betonun ağırlığıdır. Betonun birim ağırlığı, genellikle kg/m^3 veya ton/m^3 olarak ifade edilmektedir. Taze betonun birim ağırlığının düşük veya yüksek olması, betonu oluşturan malzemelerin özelliklerine, betonun içerisinde yer alan boşluk miktarına ve de tasarlanmış beton karışımı ile ilgilidir.

Üniformite, taze betonda, aynılık, tamamen benzerlik anlamına gelmektedir. Bir beton karışımını oluşturacak miktardaki malzemelerin topluluğuna beton malzemeleri harmanı denilmektedir. Bir beton malzemeleri harmanını oluşturan malzemelerin karılması ile elde edilen belirli miktardaki taze betona ise “beton harmanı” ismi verilmektedir. Hazırlanan bir beton harmanı içerisinde, malzemelerin uygun dağılım göstermiş olmaları, iri agregaların harman içerisinde bir bölgede yoğunlaşmamış olmaları gerekmektedir. Beton harmanı içerisindeki herhangi bir bölgede yer alan betonun işlenebilme, birim ağırlık, dayanım ve diğer özellikleri, harmanın diğer bölgedeki betonun işlenebilme, birim ağırlık, dayanım ve diğer özellikleri ile tamamen benzer olmalıdır.

1.3. Sertleşmiş Betonun Özellikleri

Sertleşmiş betonda aranan en önemli unsur basınç dayanımıdır ve betonun birçok özelliği de basınç dayanımı ile doğrudan alakalıdır. Dayanım, beton teknolojisinde betonun dayanımı, üzerine gelen yüklerin neden olacağı şekil değiştirmeye ve kırılmaya karşı, betonun gösterebileceği maksimum direnme olarak tanımlanmaktadır.

Beton üzerine değişik yönlerde uygulanan yükler, değişik etkiler oluşturabilmektedir. Basınç, çekme, eğilme ve kayma etkisi oluşturacak yükler altında betonun şekil değiştirmeye ve kırılmaya karşı göstereceği direnme kabiliyeti sırasıyla:

- Basınç Dayanımı,
- Çekme ve Eğilme Dayanımı,
- Kayma Dayanımı olarak tanımlanmaktadır,
- Yorulma Dayanımı, tekrarlı yüklerin etkisi altında betonun şekil değiştirmeye ve kırılmaya karşı göstereceği direnme özelliğine denilir.

Betonun basınç dayanımı eksenel basınç yükü etkisi altındaki betonun kırılmamak için gösterebileceği direnme kabiliyeti olarak tanımlanmaktadır. Yapıların tasarım hesaplarında genellikle basınç dayanım özelliği kullanılır. Betonun çekme dayanımı, betonda çekme etkisi oluşturacak kuvvetlerin neden olacağı şekil değiştirmelere ve kırılmaya karşı betonun gösterebileceği direnme kabiliyeti olarak tanımlanır.

Betonun zayıf olan mekanik özelliklerini iyileştirmek amacı ile betona bazı malzemeler ilave edilmektedir. Lifler de ilave edilen bu malzemelerden birisidir. Lifli betonların üretilmesindeki ana amaç malzemenin tokluğunun, darbe yüklerine karşı direncinin eğilme dayanımının vb. arttırılmasına yöneliktir.

Betonu takviye amacıyla kullanılan ve değişik şekil ve büyüklüklerde olan lifler genel olarak çelik, cam, polipropilen ve organik polimerlerden üretilmektedir. ACI 544[2] 'e göre liflerin tanımı lif boyunun eşdeğer lif çapına bölünmesiyle elde edilen "Boy/Çap"(aspect/ratio) oranı olarak kabul edilmektedir. Bu orana kısaca "Narinlik Oranı" da denilmektedir. Eşdeğer lif çapı ise, lifin kesit alanına eşit bir dairenin çapı olarak tanımlanmaktadır. Ancak bazı liflerin uzunluklarının ve çaplarının farklı değerler alması açısından ve cam liflerde olduğu gibi liflerin demet şeklinde olması lifleri sadece boy/çap oranına göre sınıflandırma yapmak mümkün olmamaktadır. Lifli beton uygulamalarında kullanılan çelik lifler genellikle daire kesitli ve bazen de dikdörtgen kesitli olabilmektedir. Bu liflerin boylan 30–60 mm. çapları 0,5–1,0 mm arasında olmakta ve elamanların kalınlığına göre değişmektedir. Beton içerisinde kullanılan

liflerin yükün etkisiyle kopmadan matrisden sıyrılarak ayrıldıkları bilinmesine rağmen çelik lifler yaklaşık 2000 Mpa gibi yüksek çekme dayanımına sahip olmaları istenmektedir. Uçları kancalı özel imal edilen tiplerin daha büyük değerlerde çekip çıkarma dayanım değerlerini vermektedir.

Günümüzde betonda en yaygın olarak kullanılan lifler; çelik, alkali dirençli cam ve polipropilen liflerdir. 1960'lardan bu yana lifli betonlarla ilgili çok sayıda araştırma yapılmış ve yapılmaktadır. Yapılan çalışmalar sonucunda çimentolu sistemlerin içine konulan liflerin başlıca rolünün betonda oluşan çatlakların matris içinde ilerlemelerinin yavaşlaştırılmasıdır. Bu suretle, malzemenin maksimum çatlak deformasyonu herhangi bir lif içermeyen betona oranla önemli bir artış gösterir. Maksimum yükten sonra, lifli betonlarda, artan deformasyon sonucunda yükün azalma hızı normal betonlara göre çok daha yavaştır. Dolayısı ile liflerin matristen ayrılması ve uzamaları nedeni ile emilen enerji Lifli betonlarda oldukça fazladır. Tek eksenli basınç dayanımında da belirli bir artış görülür. Lifli betonların sünekliği ve tokluğunda lifsiz betonlara göre önemli artışlar sağlandığı da belirtilmektedir.

Bu çalışmada; beton içerisinde kullanılan değişik özellikteki liflerin, betonun kırılma tokluğuna etkileri araştırılmıştır. Beton içersine değişik tip ve oranlarda liflerin kullanılmasıyla betonun enerji yutma davranışına etkileri araştırılmıştır. Eğilme deneyi için beton numuneler hazırlanmış ve daha sonra eğilme deneyi yapılmıştır. Deney sonuçları kullanılarak yük-sehim grafikleri oluşturulmuş ve yorumlanmıştır. Lif türüne göre karşılaştırmalar yapılarak sonuçlar analiz edilmiştir.

BÖLÜM 2. LİFLİ BETONLAR

2.1. Lifli Beton

Lifli beton; hidrolik çimento, agrega ve beton içerisinde çoğunlukla süreksiz dağılı liflerin suyla karıştırılmasından meydana gelen bir yapıya sahiptir. Ayrıca hidrolik çimento ve liflerden oluşan birleşime de "Lifli Beton " adı verilmektedir. Belirli özellikleri olan liflerle homojen olarak takviye edilmiş lifli beton, ilk görünüşte normal beton karışımlarına benzemesine rağmen değişik yükler altında gösterdiği davranış ve performans açısından geleneksel betondan oldukça farklı bir özelliğe sahiptir. Liflerin beton içerisinde gelişigüzel dağılmasına rağmen lifli beton yük altında homojen bir davranış gösterir.

Portland çimentosu kullanılarak, bugüne kadar lifli betonların üretiminde çok sayıda çalışma yapılmıştır. Ancak çimento hamuru kırılma birim uzamasının çoğu liflerinkinden % 0,02–0,06 mertebesinde düşük olması sonucu; bir yükleme durumunda, elastik limitin ötesinde çimento hamurunun matrisinde çatlakların oluşmasından dolayı, matris olarak sadece çimento hamurunun kullanılması hacim kararsızlığı sebebiyle zararlı olduğu söylenmektedir. Lifli beton kompozitlerinde matrisin fonksiyonu lifleri bir arada tutmak onları korumak ve liflerle veya liflerden gerilme transferini sağlamaktır.

Lifli betonlarda, beton özelliklerini önemli ölçüde etkileyen faktörler narinlik oranı ile lif miktarıdır. Lifli betonun üretilmesinde karıştırma ve yerleşme gibi aşamalarda lifin narinlik oranı önemli olmaktadır. Genellikle beton karışımlarında kullanılan çelik liflerin narinlik oranı 50 ile 100 arasında değişmektedir. Bu oran ne kadar büyük olursa karışım içerisinde topaklanmanın oluşması ve liflerin homojen dağılmadığı, daha önce yapılan

Karışıma katılan lif miktarı da betonun işlenebilme özelliğini önemli ölçüde etkilemektedir. Genellikle beton karışımlarında en uygun lif yüzdeleri toplam beton hacminin % 0,5 ile 2,5 arasında değişmektedir. Beton bileşimine katılan liflerin çeşidi ne olursa olsun liflerin homojen olarak dağılması ve bu dağılımın beton karıştırıldıktan sonrada bozulmaması gerekmektedir.

Lifli betonlar üzerine ilk çalışmalar, 1963 yıllarda beton içerisine cam liflerin katılmasıyla başlamıştır. Daha sonraları farklı lif tipleri kullanılarak beton mukavemeti üzerine liflerin etkisi araştırılmıştır. Beton içerisinde süreksiz dağılı bulunan liflerin genellikle betonda oluşan çatlakları minimuma indirerek lifli betonun şekil değiştirme özelliğini artırmakta olduğu görülmüştür.

Lifli betonlarda yük, iki faz tarafından taşınmaktadır. Çekme gerilmelerini karşılayan ve süreksiz dağılı faz olarak adlandırılan lif fazına, yükün sürekli fazı teşkil eden matris tarafından aktarıldığı kabul edilmektedir. Lifler belli boylarda olduğu zaman lifte oluşacak gerilme sürekli haldekinden daha küçüktür. Çünkü bu gerilme lif ile matris arasındaki aderanstan aktarılan kuvvetten meydana gelmektedir. Diğer taraftan, liflerin süreksiz dağılı olmalarının yanı sıra, kuvvet eksenini doğrultusuna paralel bulunmamaları halinde de etkinlikleri azalmaktadır.

2.2. Betonda Kullanılan Lifler

Kompozitlerin özelliklerini değiştirerek iyileştirmek amacıyla kompozit içerisine çeşitli yöntemler ve değişik malzemelerden farklı tip ve boyutlarda üretilen malzemeler lif (fiber) olarak tanımlanmaktadır. Lifleri tanımlayan en önemli unsur lifin sahip olduğu mekanik özellikler ile lifin sayısal bir parametre olarak ifade edilmesini sağlayan biçimsel özellikleridir. Bunlar şu şekilde özetlenebilir:

- Görünüm oranı (Lif boyunun çapına oranı)
- Geometrik yapıları
- Liflerin çekme gerilmeleri'dir

Liflerle donatılı beton kompozitlerinde kullanılan lifler değişik malzemelerden elde edilmektedirler. Ayrıca kullanılan lifler değişik boylarda ve şekillerde olmaktadır. Liflerin belirleyici kriteri malzemenin çapı ve boy/çap oranı olmaktadır. Ancak yinede liflerin belirli bir boyuttan ince olması gerekmekte bu nedenle lif çapları sınırlayıcı bir değer olmaktadır. Bu sınırlayıcı değerler ASTM[3] standardında boy/ortalama çap oranının en az on ($L/d > 10$) olması, lifin en büyük genişliğinin 0,25 mm' den ve en büyük kesit alanının da 0,05 mm²'den daha küçük olması gibidir.

Ayrıca ACI' in liflerle donatılı betonlar konusunda çalışan 544 sayılı komitesine göre bir lifi tanımlayan en uygun sayısal parametre lif narinlik oranıdır. Lif boyunun, lif çapına bölünmesi ile bulunan bu oranın, beton malzemelerde, boyları 0,60 ile 7,62 cm arasında değişen liflerin tipik değeri 30 – 150 arasında verilmektedir.

Kompozitlerde kullanılan lifler, E-modülü değerleri kullanılarak iki ana grupta toplanabilirler. Liflerle donatılı kompozitlerde kullanılan donatı malzemesini, boyutlarına bağlı olarak lif, lif ve kıl şeklinde üç ayrı grupta toplanabilir.

Lifler milimetre boyutunda metal malzemelerdir. Çapları diğer donatı malzemelerine göre daha büyüktürler. Özellikle altyapı malzemeleri ve döşeme betonlarında kullanılırlar. Süreksiz donatıda kullanılacak olanların boyları 6–7 cm. altında olup l/d (narinlik) oranı 30–150 arasında değişmektedir.

Lifler liflere göre, çapları daha küçük olduğu için, boyları çaplarına oranla çok daha büyük donatı malzemesidir. Liflerin çapları ortalama 0.01 mm değerlerinde olup, narinlik oranı on bine kadar çıkabilmektedir.

Kıllar, donatı olarak kullanılan en ince malzemedir. Bunlar buhar yoğunlaşması ile büyütülen değişik çeşitlerde tek kristaller olup çapları mikronlar mertebesinde.

2.2.1. Çelik lifler

Çelik lifler özellikle beton ve harçların donatılmasında kullanılmaktadırlar. Farklı

yöntemlerle üretilen donatı lifleri matris ile aralarındaki aderansı arttırmak için değişik boyut ve biçimlerde üretilmektedirler.

Betonlar için kullanılan çelik lifler ilgili Türk Standardı TS 10513[4]'de soğuk çekme lif başlığı altında, “soğuk çekme lif, oda sıcaklığında ısı işlemsiz çekilmiş, düşük karbon oranlı lifdir” şeklinde tanımlanmaktadır. Betonlarda ve harçlarda kullanılan çelik lifler genellikle suda çözülebilen özel bir yapıştırıcı ile birbirine bağlanan, beton karıştırılırken betonun bünyesindeki karma suyunun etkisiyle rahatça çözülen ve betona karışan demetler halinde üretilmektedirler. Şekil 2.2. Betonlarda kullanılan çelik lifler gösterilmiştir.



Şekil 2. 1. Betonlarda kullanılan çelik lifler

1) Doğru 2) Kancalı 3) Zikzaklı 4) Çift baskılı 5) Tek baskılı 6) Uçları geniş 7) Uçları toplu 8) Düzensiz

Donatı lifleri etkilerinin artması için değişik kesitlerde üretilmektedirler. TS 10513 çelik lifleri A, B, ve C olmak üzere üç sınıfa ayırmaktadır. A sınıfı lifler, düz, pürüzsüz yüzeyli liflerdir. Bunlar normal yuvarlak kesitli lifden kesilmiş parçalardır. B sınıfı lifler, bütün uzunluğu boyunca çentiklenmiş, girinti ve çıkıntılara sahip liflerdir. C sınıfı lifler uçları (bir ucu veya iki ucu) kıvrılmış liflerdir. Betonların donatılmasında

kullanılan lifler düşük karbonlu çelikten soğuk çekme işlemi ile üretilmektedir. Bu liflerin ortalama çekme halindeki kopma gerilmesi, standartta 34,5 MPa olarak verilmektedir. Çekme dayanımı 206,8 MPa' a kadar çelik lifler üretilmektedir.

Çelik liflerin boyutlandırılmasında, lif kesit alanı, uzunluk/çap oranı ve bu malzemeye özgü olarak, eşdeğer çap ve eşdeğer uzunluk gibi kavramlar kullanılmaktadır. Eşdeğer çap, dikdörtgen kesitli liflerde büyük kenar uzunluğu olup, eşdeğer uzunluk ise, liflerin büküldükten sonra uçtan uca doğrusal olarak ölçülen uzunluk şeklinde tanımlanmaktadır. Lif veya lif narinlik oranı olarak da adlandırılan uzunluk/çap oranı ise lif uzunluğunun eşdeğer lif çapına oranı olarak tanımlanmaktadır.

Beton ve harçların donatılmasında kullanılan çelik liflerin kırılmadan bükülebilir özellikte, her türlü pas, yağ gibi maddelerden arındırılmış ve temiz olması gerekmektedir. Çelik liflerle donatılı betonlarda karıştırmayı kolaylaştırmak veya lif oranını arttırmak için daha ince agregalar kullanmak daha faydalı olacaktır. Aşağıdaki tabloda kullanılacak en fazla lif miktarları çeşitli verilere bağlı olarak verilmiştir. Günümüzde beton ve harçların güçlendirilmesinde, belirli boydaki lifler yerine sürekli donatılarda kullanılmaktadır. Bunlara örnek olarak hegzagonal lifler (kümes lifleri), örgü lifler, özel sıva lifleri, dış sıva köşe güçlendirmelerinde kullanılan malzemeler, galvanizli liflerden yapılan alçı bağlayıcı harçlar örnek olarak gösterilebilir.

2.2.2. Cam lifleri

Cam lifleri, liflerle donatılı kompozitlerin üretiminde en çok kullanılan donatı malzemelerindendir. Üstün özelliklerinin yanı sıra ekonomik bir donatı türü olması sık kullanımını sağlamaktadır. Ana kullanım alanı cam güçlendirmeli plastik endüstrisidir. Cam liflerinin ticari anlamda üretimi 1930'lu yıllarda İngiltere'de başlanılmış olmasına karşılık bu malzeme, plastik malzemelerin donatılmasında 1950'lerin başından itibaren kullanılmaya başlanmıştır. Cam liflerinin çimento ve beton kompozitlerinde kullanılması ile ilgili çalışmalar Sovyetler Birliği'nde Biryukovich ve arkadaşlarının 1960'lı yılların başlarında yaptıkları araştırma ve uygulamalar ile başlamıştır. Ayrıca Çin Halk

Cumhuriyeti'nde de 1958 yılından başlayarak çalışmalar yapıldığı bilinmektedir. Cam liflerinin uygulamada, belirli boylarda lif kırıntıları ve sürekli lifler halinde kullanılmaktadır. Ayrıca bu malzemelerle üretilmiş olan, cam lifi keçeler ve dokumalarda bulunmaktadır. Çeşitli kompozitlerin üretiminde kullanılan başlıca cam lifi türlerini, devamlı fitil, kırıntı demetler, cam keçe ve cam dokuma olarak dört ana türe ayrılabilir.



Şekil 2. 2. Kırıntı demetler ve devamlı fitil

Devamlı fitil, bir veya daha fazla sayıda cam lifi demetinden oluşmaktadır. Bunlar sarılmış bobinler halinde bulunmaktadır. Bobinlerin boyutları ve içerdikleri demet sayısı, kullanılan camın cinsi ve özellikleri gibi kullanım amacına göre fitiller, püskürtme yöntemi, keçe üretimi, hazır kalıplama bileşimleri, dokuma, lif sarma ve çekme için olmak üzere değişik özelliklerde olabilmektedir. Kırılmış cam lifi demetleri, boyları genellikle 3 ila 5 mm arasında değişen cam lifi demetidir. Kullanılan yere ve ihtiyaca göre daha değişik boyutlarda üretilebilmektedir. Bunlardan boyları 0,2 mm ye kadar olan çok kısa boylarda olanlar, devamlı cam liflerinin öğütülmesi ile elde edilirler. Cam lifi kırıntı demetleri kompozit üretiminde donatı ve dolgu malzemesi olarak, laminant kaplama yüzeylerinde, beton ve harçların donatılmasında kullanılmaktadır. Keçeler, özellikle cam güçlendirmeli plastiklerin üretiminde kullanılmaktadır. Çam keçe sürekli demetlerden veya fitillerden kırılmış belirli

boylarda, genellikle 50 mm' lik cam liflerinin gelişigüzel dağılımla eklenmesi ile üretilmektedir. Bu keçeler cam lif üretiminde de yaygın olarak kullanılmaktadır. Üretilen cam lifi keçelerin bir metrekaresinin ağırlığı, 225–600 gr/m² arasında değişkenlik göstermektedirler.

Cam dokuma ürünler, cam fitillerden ve cam ipliklerden üretilmektedirler. Kullanılan fitiller, bir bağlayıcı kullanılarak dokumaya uygun hale getirilirler. Genellikle cam lifi dokumada E-Camı, kimyasal dayanıklılığın arttırılmasında ise C-Camı Lifleri kullanılmaktadır.

2.2.3. Asbest lifleri

Asbest, Lifli yapılı, doğal bir mineraldir. Yanmazlık özelliğine sahip bu mineralin birçok çeşidi bulunmaktadır. Bu mineralden elde edilen asbest liflerinin boyları, genel olarak 0,8 mm ile 19–20 mm arasında değişkenlik göstermektedir. Asbest liflerinin en küçük çapı 0,01 mikrona kadar olabilmektedir ve çekme dayanımının 30 MPa' ın üzerinde olduğu belirtilmektedir. Bu liflerden oluşan donatı malzemelerinin dayanımlarının çok düşük kalır. Bu değer için yararlanılan kaynaklarda 3 MPa ila 18 MPa arasında değişen değerler verilmektedir.

Asbest liflerin kimyasal dayanıklılığı, özellikle alkali ortama dayanıklılıkları, bunların çimento bağlayıcılarla üretilen kompozitlerde çok yaygın olarak kullanılabilmesi sonucunu ortaya çıkartmıştır. Özellikle çimento hamuru ile kullanılan bir donatı malzemesi olarak kullanılan asbest Lifler ile yapı alanında kullanılabilecek birçok malzeme üretilmiştir.

Asbest liflerin dayanımı yüksek tiplerinden biri, mavi asbest, insan sağlığı açısından olumsuzluk (kanserojen) özellikler gösteren bir türdür. Bunların çok uzun süre solunması veya bu lifçikleri taşıyan havanın bulunduğu bölgelerde yaşamanın solunum yolları ve akciğer kanserine neden olduğu ileri sürülmektedir. Asbest lifleri, çimento ile birleştirilerek kullanılmaktadır. Asbest liflerinin kullanım oranları üretilen malzemelere

göre farklılıklar göstermektedirler. Bunlar levha üretiminde % 9–12, basınçlı boru üretiminde % 11–14, ateşe dayanıklı levha üretiminde ise % 20–30 oranları arasında çimento bağlayıcılar ile birlikte kullanılmaktadırlar. Asbest lif donatılı çimento kompozitleri, atmosfer koşullarına ve korozyona dayanıklı, çürümeyen ve 400 °C sıcaklığa kadar dayanıklı bir yapı malzemesidir. Ancak bu malzemelerin darbe dayanımları oldukça düşük olmakta ve kırılma şekil değiştirme oranı çok düşük olmaktadır.

2.2.4. Plastik esaslı lifler

Liflerle donatılı beton ve diğer kompozitlerin üretiminde çeşitli amaçlarla değişik polimer içerikli Lifler kullanılmaktadır. Bunların başlıcaları polipropilen, naylon, polietilen ve aramid Liflerdir.

2.2.4.1. Polipropilen lifler

Polipropilen (PP)'den üretilen Lifler yüksek dayanımları, alkali ortamlara karşı dayanıklılıkları nedeniyle önemli bir donatı malzemesidirler. En önemli kullanım alanları beton ve harç kompozitlerinin güçlendirilmesidir. Bu Lifler beton donatı malzemesi olarak ilk defa 1965 yılında Goldfein tarafından kullanılmıştır.

Polipropilen Lifler izotaktik polipropilenden elde edilip, genellikle kalınlığı 50 mikron ila 100 mikron arasında değişen lif tabaka halinde kullanılmaktadır. Malzemenin erime sıcaklığı 165 °C olup 100 °C ye sıcaklığa kadar malzeme özelliklerini korumaktadır. Lifler yapıları nedeniyle birçok kimyasal maddeye karşı dayanıklılık göstermektedir. Özellikle bu malzemelerin alkali dayanıklılıklarının iyi olması nedeniyle betonlarda kullanılmasını sağlamıştır. Bu Lifler, beton ve harçlarda % 0,3 ile % 1,5 hacim oranları arasında kullanılmaktadır. Polipropilen liflerin E-modülü değerinin düşük olması nedeni ile malzemelerin basınç dayanımları bazen düşmekte ve göçme öncesinde çoklu çatlamların başlamasından önce, gerilmeye bağlı olarak büyük oranda şekil değiştirmeye neden olmaktadır. Ayrıca uygulamada kullanılan polipropilen donatı malzemesinin yapısının niteliği ile tek lifli yapıya ve donatıya oranla lif ile matris

arasındaki aderans daha düşük kalmaktadır.

Polipropilen liflerin özellikleri;

– ASTM C:1116. standardına göre % 100 saf polipropilen ham maddesi kullanılarak üretilen polipropilen Lifler hacimce % 0,1 = 1 litre lif varlığı 1 m³ beton için yeterlidir.

– Polipropilen maddesinin yoğunluğu 0,9 kg/litre olduğundan tavsiye edilen lif miktarı en az 0,9 kg/m³ olmalıdır. Bu oranın % 0,05 ila % 2,00 arasında ve hatta % 5,00'e kadar çıkabilir.

– Portland çimentolu agregalarına göre uygulamalar iki (2) gruptur; Betonlar ve Harçlar. Harçlar 0 – 5 mm agrega içeren bileşiklerdir. Bu tip ince malzemelerin yoğunluğunun yüksek olduğu bileşiklerde tavsiye edilen en az tüketim 1 kg / 1 ton kuru harçtır. Tamir harçlarında miktar 20 kg düzeyine kadar arttırılabilir.

Polipropilen Lifler beton santralinde, transmikserde, betonyerde, şap pompasında, püskürtme makinesinde, mekanik karıştırma işleminin olduğu her tür makinede kolayca katılabilir (Şekil 2.3.). İçerdiği özel katkıları sayesinde beton içinde topaklanmaz.



Şekil 2. 3. Çeşitli PP I Lifleri

2.2.4.2. Aramid lifler

Yapay organik lifler içinde önemli bir türü Kevlar ticari adıyla bilinen aramid lifler oluşturmaktadır. Dupont firması tarafından 1970'li yıllarda piyasaya sürülen Kevların PRD 29 ve PRD 49 türleri uygulamada en çok kullanılanlardır. Özellikle PRD 49 birçok önemli özelliğe sahiptir. Camdan daha hafif ve daha rijit olan bu malzeme fiyat olarak da cam lifleri dışında kalan birçok lif türünden ucuzdur.

Kevlar, sıcaklığın artmasına bağlı olarak boyca kısalmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda sünme dayanımı oldukça iyidir. Malzemenin eğilme dayanımının düşük olması ve kesilmesinde karşılaşılan zorluklar, malzemenin çekme dayanımının 100 °C' ye kadar sabit olması daha fazla sıcaklıklarda düşmesi kompozit tasarlanırken dikkate alınmalıdır.

2.2.4.3. Naylon lifler

Naylon, doğrusal poliamid tipi plastiklere verilen genel bir tanımdır. Değişik yöntemlerle farklı tiplerde üretilmektedir. Naylon eriyik halden sarma ile Lif haline getirilmektedir. Naylon liflere gerilme uygulanarak çekme dayanımları arttırılmaktadır.

Naylon yüksek mekanik dayanımı, aşınmaya karşı dayanıklılığı, düşük sürtünme katsayısı ve yüksek sıcaklıklarda özelliklerini koruyabilmesi gibi olumlu özelliklere sahip bir malzeme türüdür. Su emme özelliği ile malzemede şişmeye neden olmakta bu da uygulamalarda sorun olabilmektedir. Ayrıca naylon pahalı bir malzeme olması ile karşımıza çıkmaktadır.

Çimento ve beton kompozitlerinde kullanılan ilk polimer liflerden biride naylon liflerdir. Ancak bu malzemeler polipropilene göre pahalı olmaları kullanımın sınırlı kalmasına neden olmaktadır. Betonlara bu liflerin katılması ile yüksek çarpma dayanımlarının elde edildiği bilinmektedir.

2.2.4.4. Bitkisel esaslı lifler

Bitkisel içerikli lifler genellikle alçı, kireç ve çimento gibi bağlayıcılarla ile üretilen harç

ve betonların donatılmasında kullanılırlar. Harç ve beton gibi karışımlarında donatı olarak kullanılabilen lifleri belirlemek bunlarla ilgili kesin tanımlamalar yapmak ve bunları sınıflara ayıramamaktadır. Bu tür liflerde ekonomik olması ve kullanılan yörede kolay bulunabilecek olması büyük ölçüde önemli olmaktadır. Uygulamada yöresel kaynaklar ve koşullara göre kullanılan bitkisel Lifler çok çeşitlilik göstermektedir.

Beton ve harçların güçlendirilmesinde araştırılan bir diğer malzemede selüloz lifleridir. Konu ile ilgili yayınlarda çimento kompozitlerine % 15–20 oranında katılan selüloz liflerin kompozitin dayanımını önemli ölçüde etkilediği belirtilmektedir. Ancak, bu lifler su emici olup, ıslanma ile boyut şekil değiştirmesi görülmektedir. Uzun süre su ile temas halinde çürümeye neden olmaktadır. Ayrıca 100–120 °C ' nin üzerindeki sıcaklıklarda etkilenmektedirler. Ayrıca selüloz lifleri asbest lifleri ile belli oranlarda karıştırılarak birlikte çimento kompozitlerinde kullanılmaktadır. Bitkisel liflerin genellikle E-modüllerinin betona oranla düşük olması sonucunda kompozit olumsuz yönde etkilenmektedir. Bitkisel içerikli lifler, özellikle Anadolu'nun birçok yöresinde ve dünyada yaygın olarak kullanılmaktadır.

2.2.4.5. Diğer lifler

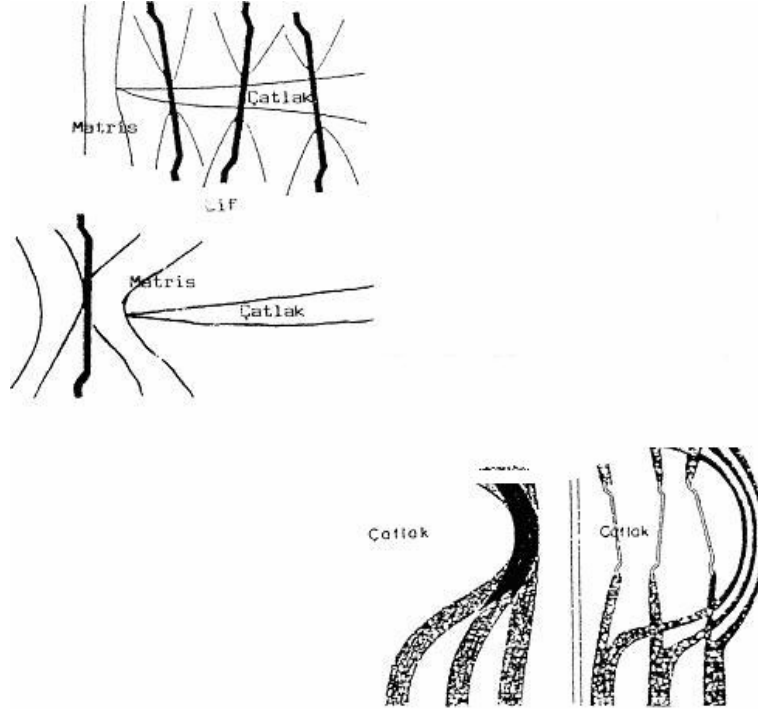
Günümüzde yerel kaynakların ve atık malzemelerin kullanılmaları çok önem kazanan bir konudur. Yerel kaynaklara ve koşullara bağlı olarak birçok değişik lif tipleri uygulamalarda denenmekte ve uygun olanlar kullanılmaktadır. Bu bölümde değinilmeyen ve günümüzde kullanılan liflere örnek olarak karbon lifleri, taş yünü, bor lifleri, bazalt lifleri, atık kâğıt malzemelerin lifleri örnek olarak gösterilebilir.

Tablo 2.1. Bazı liflere ait özellikler

Lif Türü	Çap(μm)	Birim Ağırlık (10^3kg/m^3)	E-Modülü (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Kopma Uzama Oranı (%)
Asbest					
(a) Krisotil	0.02-20	2,55	16	0,31	2-3
(b) Krokidolit	0.1-20	3,37	19	0,35	2-3
Karbon					
(a) Tip I	3	1,9	38	0,18	0.5
(b) Tip II	9	1,9	23	0,26	1
Polipropilen	20-200	0,9	0.5	0,05	20
Naylon	>4	1,14	0.4	0,09	15
Kevlar					
(a) PRD 49	10	1,45	13	0,029	0,2 - 0,6
(b) PRD29	12	1,44	6	0,29	4
Kenevir	10-50	1,5	-	0,08	3
Cam	9-15	2,6	8	0,2-0,4	2-3,5
Çelik	5-500	7,8	20	0,1-0,3	3-4

2.3. Çelik Lifli Beton

Çelik liflerle güçlendirilmiş beton; özellikle kavitasyon-erozyon dayanımı, darbe dayanımı, ilk çatlak oluşum dayanımı, çekme dayanımı, yorulma dayanımı, deformasyon kapasitesi ve tokluk açısından lifsiz betondan çok daha iyi performans gösterir. Betonun bu özelliklerindeki performans artışı liflerin beton içerisindeki davranışı, betonun bu özelliklere karşı tepkisi, betonda ilk çatlak ve nihai yükte meydana gelen kopma olayı ile açıklanabilir. Yukarıda sıralanan özellikler liflerden en fazla etkilenen kompozit özellikleridir.



Şekil 2. 4. Çelik lifli betonlarda liflerin çatlak sonlarını takviye etmesi sonucu çatlak yayılmasının durdurulması

Liflerle güçlendirilmiş betonda, değişik gerilmeler ya da değişik nedenlerle meydana gelmiş çatlaklardan her biri çatlak ucuna yakın bir yerdeki bir lif ile takviye edilmiştir. Beton içerisinde lif bulunmaması durumunda, betona herhangi bir gerilme uygulandığında meydana gelen mikro çatlaklar gerilmenin artması ile birlikte çeşitli yönlere doğru yayılarak belli bir gerilme değerinde betonun parçalanmasına neden olurlar. Liflerle güçlendirilmiş beton kompozitlerinde ise betonun kırılma mekaniği değişiktir. Bu kompozitlerde ilk çatlakın oluşmasından sonra çimento hamuru fazından çelik liflere doğru bir gerilme transferi meydana gelir. Bunun sonucunda beton içerisindeki miktar ve geometrik özelliklerine bağlı olarak çelik lifler, bu gerilmelerin bir kısmını kendi üzerlerinde taşıdıkları gibi bir kısmını da matrisin sağlam bölgelerine transfer ederek yayarlar.

Lifsiz betonda başlangıçta meydana gelen bir çatlakın (gerilmenin artması ile) yayılması için gereken enerji düşüktür ve genellikle böyle bir çatlakın başlatılması için gereken

enerjinin yaklaşık yarısı kadardır. Beton içerisinde lif bulunması halinde ise başlangıçtaki mikro çatlak meydana getiren enerji lifler aracılığı ile çatlak yanındaki sağlam çimento hamuru fazı bölgelerine aktarılır.

Bu nedenle çatlak yayılması (ya da büyümesi) için daha fazla enerji gerekir. Böyle bir enerjinin bulunması durumunda bile bu enerjinin büyük bir bölümü lifler tarafından taşınır ve bu taşıma, liflerin çimento hamuru matrisinden çekilip sıyrılması için gerekli enerji seviyesine kadar devam eder. Bu enerjinin sağlanması için çok büyük bir kuvvet gereklidir. Nihai yüke ulaştıktan (beton kırıldıktan) sonra bile, çelik lifler kırılan beton parçalarını bir arada tutmaya devam ederek nihai yükten bir miktar daha fazlasını da taşımaya devam ederler.

2.3.1. Çelik liflerin betona karıştırılması

Çelik lifler, beton santrallerinde beton hazırlanırken veya transmikserde hazır betona ilave edilebilir. Santralde beton hazırlanırken dikkat edilmesi gereken husus, karışıma ilk olarak lifleri ilave etmeyip, agrega veya agrega çimento karışımına katılmasıdır. Transmikserde ilave etmek istersek dakikada 12–18 devir hızla dönen mikserde, dakikada 40–60 kg çelik lif karıştırabiliriz. Tutkal ile birleştirilmiş olan lif demetleri karışım sırasında açılır ve karışımda homojen bir lif dağılımı sağlar. Betonun her tarafına eşit olarak dağılan liflerin homojenlik testi TS 10513 uyarınca taze betondan numune alıp her numunedeki lif miktarı tartarak yapılır.

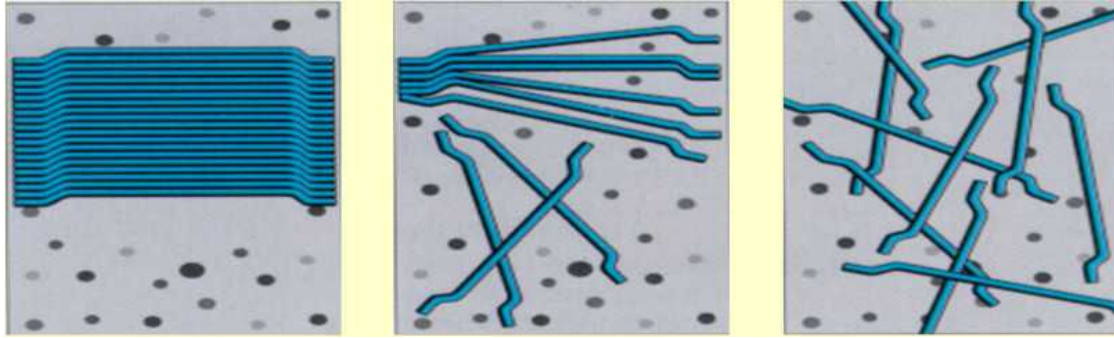
2.3.2. Çelik liflerin beton içerisindeki davranışları

Çelik liflerin beton içerisindeki işlevi ile betonda kullanılan çeliğin (donatının) işlevi hiçbir zaman birbirine karıştırılmamalıdır. Birçok yerde donatı ve çelik lif belli bir yere kadar aynı işlevi görebilir. Fakat bunlar arasındaki en önemli fark beton içerisindeki fonksiyonları ve buradaki çatlakların kontrolünü nasıl ve ne zaman yaptıklarıdır.

Çelik lifleri betonun yapısını değiştiren ve onu plastik davranışa zorlayan bir malzeme

olarak görebiliriz. Çelik lifli betonun özelliği, onun artırılmış elastikiyet ve enerji tutma yeteneğidir. Özellikle kritik yüklemelerde, beton iç gerilmeleri çökme sınırına geldiğinde çelik liflerin beton içerisindeki davranışı daha iyi açıklanır.

Çelik lifler en büyük etkiyi, çatlakların ilk oluşum anında, gerilmeyi kendi üstlerine alarak ve betonun sağlam bölgelerine aktararak yaparlar. Ayrıca içerisine çelik liflerin katılması ile performansında büyük artışlar görülen betonun tokluk, ilk çatlak dayanımı, kavitasyon-erozyon dayanımı, yorulma dayanımı ve çarpma dayanımı gibi özellikleri, işlev açısından daha farklı davranış gösterecek ve onun matris özelliklerini değiştirecek bir malzeme olan çelik liflere karşı daha duyarlıdır. Tutkallı lif teknolojisi, yüksek L/d oranına sahip liflerin beton içinde kolayca ve homojen olarak dağılımını mümkün kılar.



Şekil 2. 5. Çelik liflerin birleşmiş ve dağılmış halleri



Şekil 2. 6. Çelik liflerin beton içindeki dağılımı

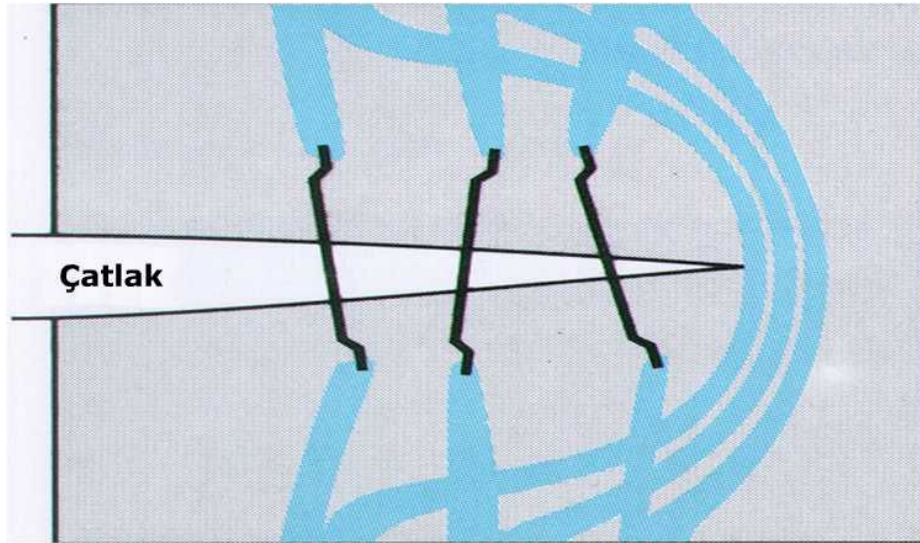
2.3.3. Betonda çelik lif kullanmanın avantajları

Yapılan yaklaşık ekonomik analizde erken yaştaki dayanımı arttırabilmek için prefabrik betonarme yapı elemanlarında liflerin kullanılması ısıtma ve priz hızlandırıcı kullanılmasına göre daha avantajlı görülmektedir. Çelik lifler çatlak genişliklerini ve çatlak sayısını azaltmaktadır. Çelik lifler erken yaştaki betonarme kirişte yük tekrar kaldırıldığında çatlak genişliklerinin kapanma oranını arttırmaktadır. Lif katılması ile betonarme kirişin eğilme etkisindeki erken yaş taşıma gücü arttırılabilmektedir. Bu durumda betonun çekme ve basınç dayanımında artışlar sağladığını göstermektedir.

Avantajları;

- Yüksek yük taşıma kapasitesi
- Çatlaksız zemin
- Ekonomik güvenli uygulama
- Yüzey ile çok iyi yapışma
- Üniform kalınlık
- Homojen donatı
- Hızlı uygulama metodu
- Yüzey ile shotcrete
- Mükemmel çatlak kontrolü
- Betonun priz alma safhasında kılcal rötre çatlaklarını azaltması
- Mükemmel korozyon direnci
- Yük taşıma kapasitesinde artış
- Güvenliğin artışı
- Püskürtme beton miktarının azalması
- İnşaat maliyetlerinin azalması
- Mükemmel yük taşıma özelliği
- Çatlak oluşmaması, şok direncin artması
- Beton dayanımının artması

- Mükemmel beton yüzeyinin oluşması
- İşçilik maliyetinin azaltılması
- Klasik donatının kullanılmaması
- Alkali direncinin yüksek olması
- Yüksek aderans yüzeyi olması
- Yüksek bağlayıcılık özelliği olması
- Betonun köşe ve kenarlarındaki kırılmalara dayanıklı olması
- Kalıp sökülmesi sırasında oluşan kırılmaların az olması
- Betonun su geçirimsizliğinin yüksek olması
- Betonun donma-erimeye karşı direncinin yüksek olması
- Betonun kohezyonu arttırdığı için inşaatın hızını ve kalitesini artırması



Şekil 2. 7 Çelik lifin çatlama anında betonu koruması

Tablo 2.2. En büyük agrega tane çapına göre kullanılacak lif miktarları [6]

	KULLANILACAK LİF MİKTARI (kg/m ³)					
	Uzunluk/Çap = 60		Uzunluk/Çap = 75		Uzunluk/Çap = 100	
	Normal Beton	Pompa Beton	Normal Beton	Pompa Beton	Normal Beton	Pompa Beton
4	160	120	125	95	95	70
8	125	95	100	75	75	55
16	85	65	70	55	55	40
32	50	40	40	40	30	25

2.3.4. Çelik lifli betonların kullanım alanları

Liflerin beton içerisindeki davranışı ve yapısal özellikleri nedeniyle ve betonun birçok özelliğini pozitif olarak etkilemesi nedeniyle liflerle donatılmış betonlar, ağır çalışma koşullarında kalan yapılarda, ince kesitlerin ve yüksek dayanım gerektiren yerlerde kullanılmaktadır. Genellikle, yapı uygulamalarında Çelik lifli beton kullanıldığı zaman ve sadece kırılmayı önlemek için değil, dinamik yükleme veya çarpma mukavemetini arttırmak için malzemenin dökülme, parçalanma ve dağılmasını önlemek için de Çelik lif ilave edilmektedir. Çoğu zamanda beton içerisinde çelik donatı ve çelik hasır donatı yerine kullanılması ekonomisi gerekçesiyle olmaktadır. Donatı yerine kullanılan yerlerde malzeme ve işçilik maliyetlerini oldukça fazla etkilemekte, zaman kaybını önlemekte çok önemli olmaktadır. Ayrıca, kirişlerde, kolonlarda ve kat döşemelerinde olduğu gibi diğer yapı elemanlarında da eğilme veya çekme kuvvetleri meydana gelir. Bu basınç, eğilme ve çekme kuvvetlerinin birlikte oluşturduğu gerilmelerden dolayı ve zor kesit tesirlerine karşı yapı elemanı asal çelik donatı ile birlikte Çelik lifler ile kuvvetlendirilerek dayanımı oldukça önemli mertebede arttırılabilir. Çelik lifli betonun duktilitesi normal betona göre oldukça yüksektir. Bu yüzden çarpma etkisine, titreşimli yük etkisine ve dinamik yük etkisine karşı normal betona göre daha dayanıklıdır. Deprem oluşması olasılığı yüksek olan bölgelerde konutlar da dahil her türlü yapılarda kullanılması çok uygun olmaktadır.

En yaygın olarak ve bilinen kullanım alanları şu şekilde özetlenebilir;

- Endüstride büyük fabrika alanları, depolar, büyük hangarlarda ağır yük etkisinde kalan döşemelerde donatı ile beraber veya donatı yerine,
- Su yapılarında,
- Derzsiz zeminler
- Benzin istasyonları
- Süper düzgün zeminler
- Beton ve kum kazıklar üzeri zeminler
- Fabrika zeminleri
- Stok sahaları ve depolar
- Soğuk hava depoları
- Liman ve hava alanları
- Koruma betonları
- Çatı ince koruma betonları
- Temel döşemeleri
- Geçirgensiz zeminler
- Tünel içi püskürtme beton
- Tünel iç kaplamaları
- Maden ocakları püskürtme beton uygulamaları
- Şev stabilizasyonlarında ve tünel kaplamalarında,
- Havaalanı kaplama betonlarında,
- Liman kaplama betonlarında,
- Yol ve otoyol kaplama betonlarında,
- Depreme dayanıklı betonlarda,
- Ateşe dayanıklı betonlarda,
- Ön üretimli (prefabrik) beton elemanlarda,

- Beton borular, betonarme borularda hasır çelik yerine, beton boru parçalarında ve diğer altyapı elemanlarının üretiminde,
- Askeri güvenlik yapılarında.
- Fabrika Depo ve Hangar Döşemelerinde,

İyi bir döşeme bütün endüstriyel işlerin temeli ve fabrikalar için çok önemli olmaktadır. Güçlendirilme ihtiyacı olan bir fabrika zemin döşeme betonu, hem onarım maliyetini artıracak, hem de onarım süresince iş kaybına neden olacaktır.

Ağır yüklemelerin maruz kaldığı döşemeler, üzerine gelen aşırı yükler ve aşırı zorlamalar etkisinde kalmaktadırlar. Özellikle dinamik etkilere karşı döşeme betonunun dayanımının artırılması çözüm olmaktadır. Bunun içindir ki bu betonların yorulma dayanımının, darbe dayanımının ve diğer özelliklerinin iyi olması gerekmektedir. Liflerle güçlendirilmiş betonlar, bu yükleri karşılayabilecek dayanımlara sahiptirler. Çelik lifler zemin döşemelerinde hasır çelik donatısıyla birlikte kullanıldıkları gibi esas donatı yerine de kullanılmaktadırlar. Büyük açıklıklı döşemelerde çatlak yayılmalarını önlemek için yalancı derz oluşturulması genellikle tavsiye edilmektedir.

Endüstriyel döşemelerde liflerle donatılanmış beton kullanmanın yararları şu şekilde özetlenebilir;

- Döşeme kalınlığının azaltılması (donatı ile beraber kullanıldığında),
- Hasır çelik donatılarını yerine kullanılması ve donatımı kaldırılması,
- Daha düşük işletme maliyetleri,
- İnşa sırasında zamandan tasarruf edilmesi ve döşemelerin kolayca yapılması,
- Rötire çatlaklarının olmaması,
- Çatlakların yayılmaması,
- Ağır yükler etkisi altında kalabilmesi,
- Dinamik yükler etkisinde kalabilmesi,
- Liflerin her yerde donatı gibi çalışması nedeniyle yapısal güvenliğin oldukça artması.



Şekil 2. 8. Fabrika sahası betonlarında Lifli beton kullanımı

– Havaalanı kaplamalarında,

Havaalanı uygulamalarında kaplama kalınlıkları lifli beton kullanarak azaltılabilmektedir. Liflerle donatılı betonların yüksek eğilme dayanımları nedeniyle kaplama kalınlıklarında azaltılabilmekte bu da büyük bir maliyet indirimi olmaktadır. Normalde zemin ve yol betonlarında eğilme gerilmeleri 4–5 MPa olmaktadır. Bu değerler statik yüklemeler içindir tekrarlı yükler ve zamanla oluşan yorulmalar sebebiyle bu değerler düşebilmektedir. Havaalanı betonlarında genellikle çelik lifler kullanılmaktadır. Bu lifler kullanıldığında derz açıklıkları büyütülebilmektedir.

– Liman kaplamalarında,

Liman kaplamaları diğer kaplamalardan farklı olarak ağır yük gemilerinin trafiğini karşılayabilecek şekilde projelendirilmektedir. Liman kaplamalarında yüklemeler boşaltmalar, çarpma etkileri, dalga hareketleri, gel–gitler ve aşırı yüklemeler gibi olasılıklar göz önüne alınmaktadır. Burada da çelik lifler kullanılarak kaplama kalınlıkları ve derz aralıkları azaltılabilmektedir.

– Beton, Betonarme Borular ve Altyapı Malzemeleri,

Beton ve betonarme altyapı malzemelerinde sızdırmazlık, tepe basınç dayanımları, kimyasallara karşı dayanıklılık, aranan özelliklerin başında gelmektedir. Beton içerisine lif katılması sayesinde, betonların doluluğu artmaktadır bu da sızdırmazlık değerlerinin azaltılmasına katkı sağlamaktadır.

Klasik donatılı altyapı elemanlarında, donatının hazırlanması ve uygulamanın yapılması işçilik ve zaman yönünden bazı problemlere yol açmaktadır. Bazı paspayı sorunları ve donatının kalıp içerisinde sabit tutulamaması büyük problemlere yol açmaktadır. Günümüzde betonarme borularda hasır çelik yerine çelik liflerin kullanılması oldukça yaygındır. Çelik liflerin betonarme borularda kullanılması ile hem işçilik, hem zaman ve hem de maliyet açısından büyük faydalar sağlanmıştır. Çelik lifler, beton altyapı elemanlarında kullanıldıklarında ise, ayrışmayı engellemeleri nedeniyle sızdırmazlık problemlerinin çözümünde büyük katkılar sağlamaktadır.

Çelik liflerin betonarme ve beton altyapı elemanlarında kullanılmalarının sağladığı yararlar şu şekilde özetlenebilir;

- Klasik donatılara göre yaklaşık % 10–15 lerde tepe basınç dayanımlarında artış sağlanmaktadır,
- Çelik liflerin betonun her bölümüne homojen olarak dağılması nedeniyle muf çatlakları ortadan kalkmaktadır,
- Hasır çelik işçilik zorlukları ortadan kalkmakta zaman ve maliyetlerde tasarruf sağlanmaktadır,
- Çelik liflerin daha dolu bir beton sağlamaları sonucu sızdırmazlık problemleri ortadan kalkmaktadır,
- Çelik lifler betonlardaki rötre çatlaklarını aldığı için altyapı elemanlarında sızdırmazlığa büyük katkı sağlamaktadır,
- Çelik lifler altyapı elemanlarının kimyasallara dayanıklılığını artırır,
- Çelik liflerin altyapı elemanlarında kullanılması günümüzde önemini korumakta ve

çelik liflerle üretilen betonarme borular için çalışmalar yoğun bir şekilde sürdürülmektedir.

– Püskürtme Beton (shotcrete) Uygulamaları,

Tünel kaplamalarında ve şev stabilizasyonlarında püskürtme betonlar yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu tip çalışmalarda beton kaplamaların güçlendirmesi sorunu ile karşı karşıya gelinmektedir. Bu güçlendirme genelde hasır çelik donatıları ile sağlanmaktadır. Hasır çelik kullanılması, montaj ve işçilik açısından zor olmakta ve işçilik maliyetlerini arttırmaktadır. Lifler bazı özellikleri sayesinde püskürtme beton içerisinde kullanılmakta olup donatı görevini yapmaktadır. Lifli püskürtme beton, donatı görevini yapması, tokluğunun yüksek olması, çatlak oluşma dirençleri ve elastik davranabilme gibi özellikleri nedeniyle hasır çelik yerine yaygın olarak kullanılmaktadır. Lifli püskürtme betonlarında en büyük dane çapı 9,5 mm ve uygulama kalınlığı 8 cm. olarak belirlenmiştir. Püskürtme betonlarda hasır çelik yerine liflerin kullanılması işçilik ve malzeme maliyetlerini etkilemekte ve zaman açısından büyük avantajlar sağlamaktadırlar.

– Yol ve Otoyol Kaplama Uygulamaları,

Çelik lif donatılı betonların yüksek yorulma ve darbe dayanımına sahip olmaları, darbelerin kolayca karşılanmasını sağlar. Dizayn ölçütleri belirlenirken, bölgedeki sıcaklık değişimleri, zemin deformasyonları, derz açıklıkları ve rötire tesirleri göz önüne alınır. Ülkemizde asfalt yol hasarları ciddi boyutlardadır. Sık aralarla yapılan onarım ve bakım giderleri, yüksek bir maliyet oluşturmaktadır. Bakım giderleri çok az olan ve daha uzun süre hizmet veren beton yollar, günümüzde asfalt yollara oranla daha ekonomik bir çözüm getirmektedir.



Şekil 2. 9 Beton yol yapımı

2.4. Cam Lifli Beton

Beton, yeni teknoloji ve malzemeler yardımıyla iç ve dış etkilere karşı güçlendirilmiştir. Geleneksel beton tipik olarak; darbe, yorulma ve aşınma dayanımı, deformasyon kapasitesi, çatlak sonrası yük taşıma özelliği ve tokluk açısından oldukça zayıf bir performans gösterir. Betonun bu özelliklerinin belirgin olarak gerektiği yerlerde beton içerisine değişik malzemelerden üretilmiş, teknik özellikleri yüksek liflerin katılması sonucu yukarıda anılan özellikleri iyileştirilerek beton güçlendirilir. Cam lifleri, üstün özelliklerinin yanı sıra ekonomik bir donatı türü olması sık kullanımını doğurmaktadır. Çeşitli matris malzemeleri ile kullanılmış olmasına rağmen temel kullanım alanı cam güçlendirmeli plastik endüstrisidir.

2.4.1. Özellikleri:

Prekast elemanın özelliğine göre genellikle 10–15 mm kesit kalınlığında üretilmektedir. İnce kesitli olduğu için elemanlar hafiftir. Bu nakliye ve montaj işini kolaylaştırdığı gibi,

bina üzerine aşırı yükler getirmemektedir. Üretiminde kullanılan kimyasal katkıları sayesinde, yüksek performanslı beton elde edilmekte, buna cam lifin oluşturduğu 3 boyutlu ağı yapı eklenerek eğilme, basınç, dönme ve çarpma mukavemetlerini en üst noktalara çekmektedir.

- Porozitesi çok düşük olduğu için su emmesi düşüktür,
- Donma ve Çözülme dayanımı yüksektir,
- Yanıcı olmadığı gibi yüksek sıcaklıklarda bile bozulmadan kalabilmektedir,
- Asitlerden etkilenmez,
- Geçirimsiz bir beton elde edilir. Dolayısı ile donatı korozyonunu geciktirir,

2.4.2. Kullanıldığı yerler

- Ön cephe kaplamalarında,
- Ateşe dayanıklı yapılarda,
- Su geçirimsizliğinin sağlanması gereken yerlerde,
- Prekast sistemlerde,
- Estetik mimari istenen yapılarda,
- Ani darbelere maruz kalan sistemlerde,
- Saha betonlarında,
- Dekoratif panellerde,

2.5. Polipropilen Lifli Beton

Beton priz almasının ilk sahasında büzülmenin (rötre) oluşturduğu iç gerilmeyi karşılayabilecek mukavemete erişememektedir. Bu plastik büzülme buharlaşma ve su-çimento reaksiyonundan kaynaklanır. Beton bu iç gerilmeyi karşılayacak mukavemete sahip olmadığı için çatlaklar. Çoğu kez yüzeyde kılcal çatlaklar görülse de daha olumsuz şartlarda derin ve büyük çatlaklar görülebilir. Beton polipropilen liflerle karıştırıldığında milyonlarca lif betona karışmakta, plastik büzülme(rötre)nin neden olduğu iç gerilmeleri

absorbe ederek, betonca kılcal çatlak oluşumunu büyük oranda azaltmaktadır.

Betona polipropilen lif karıştırılması sayesinde betonun dökülmesinden sonraki ilk saatlerde çekme gerilmesi kapasitesi artırılarak rötre çatlaklarının önüne geçilir.

2.5.1. Avantajları

- Beton, harç, macun ve sıvaların kuruma ve sertleşmeleri esnasında oluşabilecek büzülme ve rötre çatlaklarını engeller,
- Darbe, aşınma ve korozyona karşı dayanımı artırır,
- Malzemenin çekme, eğilme ve yorulma mukavemetini artırır,
- Su geçirimsizliğini artırarak beton içerisindeki ana donatının paslanma olasılığını azaltır,
- Beton yerleştirilmesi sırasında olası çökme veya oturma nedeniyle boşlukların oluşmasını engeller,
- Kullanımı çok kolay olup işçilik maliyetlerini azaltarak inşaat yapım süresini de kısaltarak olumlu katkı sağlar,

Betona karışımı

- Lifler beton santralinde kuru veya yaş betona karıştırılabilirler.
- Betonun normal karışım süresi yeterlidir.
- Transmikserde karışımda her m³ beton için 1 dk. yüksek hızla çalıştırılmalıdır.
- m³'de 600–900 gr arasında karışım yapılmalıdır.

Kullanıldığı Yerler

- Şap betonları
- Saha betonları
- Tavan panelleri
- Bina cepheleri

- Bariyerler
- Dekoratif beton panelleri
- Beton borular
- Kanal elemanları

BÖLÜM 3. MATERYAL VE METOT

Liflerin beton tokluğuna etkilerinin araştırılması için eğilme deneyi yapılmıştır. Bunun için önceden hazırlanmış kalıplar ve Sakarya ilinde bulunan Belpaş Beton Santrali kullanılarak beton üretimi yapılmıştır. Dökülen numuneler Beton Santralinin Kür havuzunda 28 gün bekletilmiş ve günü geldiğinde havuzdan çıkarılarak Sakarya Üniversitesi T.E.F. laboratuvarında bulunan eğilme deneyi cihazında, teste tabi tutulmuştur. Sonuçlar bilgisayardan alınıp tablo haline dönüştürülmüştür.

3.1. Malzeme ve Ekipman

3.1.1. Agregası

Deney numunelerinde, Sakarya ilinde bulunan Belpaş Beton Santralinde, beton üretimi için kullanılan agrega, TS 707 [5] “Beton Agregalarından Numune Alma ve Deney Numunesi Hazırlama Yöntemi” ne uygun olarak, deney numunelerinin hazırlanmasında kullanılmıştır.

3.1.2. Çimento

Beton numunelerinin karışımında kullanılmak üzere, Belpaş Beton Santralinde bulunan PÇ 42,5 tipi çimentolar kullanılmıştır.

3.1.3. Su

Laboratuarda, eğilme deneyi için üretilen numunelerin hazırlanmasında, Belpaş Beton Santralinin kullandığı, Sakarya şebeke suyu kullanılmıştır.

3.1.4. Kalıplar

Yapılacak olan Eğilme deneyinde, 100x100x500 mm ebatlarında numuneler kullanılacağı için, kalıplar su emmeyen ahşap olarak hazırlanmıştır.

3.1.5. Eğilme deneyi cihazı

Beton toplam hacminin %0,5, %1 ve %1,5 'i lif katkıli betonlar ile lifsiz betonların tokluklarını karşılaştırmak, lif katkıli betonların, katkısiz betona göre ne gibi üstünlüklerinin olduğunu belirlemek için eğilme deneyleri yapılmıştır.

3.1.5.1. Eğilme makinesi

Eğilme deneyi için 40 ton çekme kapasitesine sahip, hidrolik yüklemeli ve bilgisayar donanımlı eğilme makinesi kullanılmıştır. Hem manüel hem de otomatik yükleme yapabilme, deney grafiklerini çizebilme ve deney sonuçlarını rapor şeklinde sunabilme düzeneğine sahiptir. Makinenin deney parçasını tutucu çeneleri deney parçalarının eksenine, istenildiği anda kuvvet yönünde ayarlamaya uygun şekilde tasarlanmıştır. Eğilme makinesi düzeneği Şekil 3,1' de görülmektedir.



Şekil 3. 1. Eğilme makinesi deney düzeneği

Eğilme makinesi üzerinde eğilme deneylerinin yanı sıra basınç ve çekme deneylerini de yapmak mümkündür. Eğilme makinesi ve bilgisayar donanımı Şekil 3.2’de görülmektedir.



Şekil 3. 2. Eğilme makinesi ve donanımı

3.1.6 Deneyin yapımında kullanılan lifler

3.1.6.1. Çelik lifler

Deneyde iki ucu kıvrılmış, 40 mm’ lik Dramix çelik lifler kullanılmıştır.



Şekil 3. 3. Deneyde kullanılan çelik lifler

3.1.6.2. Cam lifler

Çapları 15 μm , birim ağırlığı 2600 kg/m^3 olan lifler kullanılmıştır.

3.1.6.3. Polipropilen lifler

Çapları 150 μm , birim ağırlığı 900 kg/m^3 olan lifler kullanılmıştır.



Şekil 3. 4. Deneyde kullanılan polipropilen lifler

3.2. Deneyde Kullanılacak Kalıpların Hazırlanması

Deneyde kullanılacak kalıplar, 100*100*500 mm ebatlarında, ahşap olarak, deneyin yapılacağı günde bir hafta önce hazırlanmıştır. Deneyin yapılacağı yere aynı gün götürülüp yerinde, vidalarla birleştirilmiştir.



Şekil 3. 5. Numune ahşap kalıpları

3.3. Deney Numunelerinin Hazırlanması

Bu çalışmada 3 farklı lif türü ve şahit numune olmak üzere 4 ayrı deney numunesinden 3'er adet deney numunesi [7] hazırlanmıştır. Hazırlanan Lifli numunelerin lif oranları ise; %0,5, %1 ve %1.5 olarak hazırlanacaktır.

– 1m³ sıkıştırılmış betonda bulunacak karışım elemanlarının miktarı aşağıdaki bağıntı ile bulunur.

$$\frac{C}{\gamma_c} + W + \frac{W_a}{\gamma_a} + A = 1000 \quad (3.1)$$

Burada;

C= Karışıma girecek çimentonun kütlesi (kg)

γ_c = Çimentonun yoğunluğu (kg/dm³)

W= Karışıma girecek suyun hacmi (dm³)

W_a= Karışıma girecek agreganın kütlesi

γ_a = Agreganın yoğunluğu (dm³)

A= Betondaki toplam hava miktarı (dm³)

- Çimento olarak PÇ 42,5 kullanılmıştır[6].
- Yapılacak beton, döşeme, kiriş, kolon, betonarme perdeler, tünel yan ve kenar betonları olarak hazırlanacaktır ve BS 20 kalitesinde olacaktır[6],
- II Nolu agrega kullanılacak ve agreganın %60' ı mıcır, %40' ı kum olacaktır[6],
- Deneyde kullanılacak numune ebatları (100*100*500) mm olarak hazırlanacaktır,
- Standart Sapma bilinmiyor.
- En büyük tane büyüklüğü; d_{max} = 16mm seçildi[8],
- Su/ Çimento oranı; 0.53 seçildi[6],
- Çökme değeri; 4 cm seçildi[8],
- Karışım suyu miktarı; 160 lt bulundu[8],
- Hava miktarı; %2 → Hava Hacmi= 20 dm³[8],

– Su miktarının bulunması;

Karışıma girecek su miktarı öngörülen çökme değeri ve tane büyüklüğü dağılım göz önünde bulundurularak TS 802' de Madde 2.4 ' e uygun olarak Çizelge – 6 dan 160 dm³ olarak alınmıştır.

– Hava miktarının bulunması;

Karışıma girecek hava miktarı öngörülen tane büyüklüğü dağılımına göre TS 802' de Madde 2.5' e uygun olarak Çizelge – 6' dan 20 dm³ olarak alınmıştır.

– Çimento miktarı ve çimento yoğunluğunun bulunması;

$$C = \frac{W}{W/C} \text{ (kg)} \quad (3.2)$$

Bağıntısı ile hesaplanır. Burada:

C = Karışıma girecek çimentonun kütlesi (kg)

W = Karışıma girecek su kütlesi (kg)

W/C = Su / Çimento oranıdır.

$C = W / (W/C) = 160 / 0,53 = 302$ kg.

Hesaba başlanırken çimento deney raporu mevcut olmadığı için, Portland Çimentosu için çimentonun yoğunluğu

$\gamma_c = 3,10$ kg/dm³ alınır.

– Agrega miktarının bulunması

Karışımında çimento, su ve havadan arta kalan hacim agregaya ile doldurulacaktır. TS 802' de Madde 2.7.1 'de verilen bağıntı:

$$\frac{W_a}{\gamma_a} = 1000 - \left(\frac{C}{\gamma_c} + W + A \right) \quad (3.3)$$

bağıntısında bulunan değerler yerine konursa;

$W_a / \gamma_a = 1000 - \{(302/3,10) + 160 + 20\} = 722,6$ dm³ bulunur.

0 / 4 nolu Agrega tane sınıfına ait γ_a değeri, yapılan hesaplamalar sonucu 2,54 kg/dm³ olarak bulunmuştur.

4 / 16 nolu Agrega tane sınıfına ait γ_a değeri, yapılan hesaplamalar sonucu 2,70 kg/dm³ olarak bulunmuştur.

Ayrıca daha homojen bir karışım olabilmesi için 0/4 tane sınıfının 0,40, 4/16 tane

sınıfının 0,60 oranında karışıma katılmıştır [6].

Tablo 3.1. Şahit Numune için karışıma girecek olan agrega hacim ve miktarları

Tane Sınıfı	Karışım Oranı	Agrega Hacmi (dm ³)	Agrega Kütlesi (kg)
0/4	% 40	0,40 * 722,6 = 289dm ³	289 * 2,54 = 734.1 kg
4/16	% 60	0,60 * 722,6 = 433,5 dm ³	433,6 * 2,70 = 1170.5 kg

Tablo 3.2. Şahit numune için malzeme kütle ve miktarları

Çimento	97,4 dm ³	302 kg
Su	160 dm ³	160 kg
Hava	20 dm ³	
Agrega 0/4	289.2 dm ³	734.1 kg
Agrega 4/16	433,8 dm ³	1170.5 kg

% 0,5 Lif katkılı numuneler için;

$$\frac{C}{\gamma_c} + W + \frac{W_a}{\gamma_a} + A + F = 1000 \quad (3.4)$$

F = Lif hacmi (dm³)

γ_{ct} = Çelik lifin yoğunluğu = 7,85 kg/dm³

γ_{pp} = Polipropilen lifin yoğunluğu = 0,9 kg/dm³

γ_{cl} = Cam lifin yoğunluğu = 2,5 kg/dm³

bağıntısından faydalanılır. Burada eklenen lif hacmi, toplam hacmin % 0,5' i olacağı için formülün sol tarafındaki eşitlikten formüle dahil edilmiştir.

$$\frac{C}{\gamma_c} + W + \frac{W_a}{\gamma_a} + A + F = 1000$$

$$(302/3,10) + 160 + 20 + A + 5 = 1000$$

$$A = 1000 - (97,4 + 160 + 20 + 5)$$

A = 717,6 dm³ bulunur.

$$0 / 4 \rightarrow 717,6 * 0,40 = 287 \text{ dm}^3, 287 * 2,54 = 729,1 \text{ kg},$$

$$4 / 16 \rightarrow 717,6 * 0,60 = 430,6 \text{ dm}^3, 430,6 * 2,7 = 1162,5 \text{ kg},$$

Çelik lif ; $\gamma_{ct} * \text{Lif hacmi} = 7,85 * 5 = 39,25 \text{ kg}$,

Polipropilen lif ; $\gamma_{pp} * \text{Lif hacmi} = 0,9 * 5 = 4,5 \text{ kg}$,

Cam lif ; $\gamma_{ce} * \text{Lif hacmi} = 2,5 * 5 = 12,5 \text{ kg}$,

Tablo 3.3. % 0,5 Lif katkılı numuneler için malzeme kütle ve miktarları

Toplam Malzeme	Hacim (dm ³)	Kütle (kg)
Çimento	97,4	302
Su	160	160
Hava	20	
Agrega 0/4	287	729,1
Agrega 4/16	430,6	1162,5
Lif		
Çelik lif	5	39,25
Polipropilen lif	5	4,5
Cam lif	5	12,5

% 1 Lif katkılı numune için;

$$\frac{C}{\gamma_c} + W + \frac{W_a}{\gamma_a} + A + F = 1000$$

$$(302/3,10) + 160 + 20 + A + 10 = 1000$$

$$A = 1000 - (97,4 + 160 + 20 + 10)$$

$$A = 712,6 \text{ dm}^3 \text{ bulunur.}$$

$$0 / 4 \rightarrow 712,6 * 0,40 = 285 \text{ dm}^3, 285 * 2,54 = 724 \text{ kg,}$$

$$4 / 16 \rightarrow 712,6 * 0,60 = 427,5 \text{ dm}^3, 427,5 * 2,7 = 1154,4 \text{ kg,}$$

Çelik lif ; $\gamma_{ct} * \text{Lif hacmi} = 7,85 * 10 = 78,5 \text{ kg}$,

Polipropilen lif ; $\gamma_{pp} * \text{Lif hacmi} = 0,9 * 10 = 9 \text{ kg}$,

Cam lif ; $\gamma_{ce} * \text{Lif hacmi} = 2,5 * 10 = 25 \text{ kg}$,

Tablo 3.4. % 1 Lif katkılı numuneler için malzeme kütle ve miktarları

Toplam Malzeme	Hacim (dm ³)	Agrega Kütlesi (kg)
Çimento	97,4	302
Su	160	160
Hava	20	
Agrega 0/4	285	724
Agrega 4/16	427,5	1154,4
Lif		
Çelik lif	10	78,5
Polipropilen lif	10	9
Cam lif	10	25

% 1,5 Lif oranı için;

$$\frac{C}{\gamma_c} + W + \frac{W_a}{\gamma_a} + A + F = 1000$$

$$(302/3,10) + 160 + 20 + A + 15 = 1000$$

$$A = 1000 - (97,4 + 160 + 20 + 15)$$

$$A = 707,6 \text{ dm}^3 \text{ bulunur.}$$

$$0 / 4 \rightarrow 707,6 * 0,40 = 283 \text{ dm}^3, 283 * 2,54 = 718,9 \text{ kg,}$$

$$4 / 16 \rightarrow 707,6 * 0,60 = 424,5 \text{ dm}^3, 424,5 * 2,7 = 1146,3 \text{ kg,}$$

$$\text{Çelik lif ; } \gamma_{ct} * \text{Lif hacmi} = 7,85 * 15 = 117,75 \text{ kg,}$$

$$\text{Polipropilen lif ; } \gamma_{pp} * \text{Lif hacmi} = 0,9 * 15 = 13,5 \text{ kg,}$$

$$\text{Cam lif ; } \gamma_{ce} * \text{Lif hacmi} = 2,5 * 15 = 37,5 \text{ kg,}$$

Tablo 3.5. % 1,5 Lif katkılı numuneler için malzeme kütle ve miktarları

Toplam Malzeme	Hacim (dm ³)	Kütle (kg)
Çimento	97,4	302
Su	160	160
Hava	20	
Agrega 0/4	283	718,9
Agrega 4/16	424,5	1146,3
Lif		
Çelik lif	15	117,75
Polipropilen lif	15	13,5
Cam lif	15	37,5

– Yapılan hesaplar $1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ dm}^3$ baz alınarak yapıldı. Hazırlayacağımız numuneler $100*100*500 \text{ mm}$ olacağı için, bulunan değerlerin $1 / 200$ katı alınır, hazırlayacağımız bir numune için gerçek malzeme miktarları bulunur.

Bir adet numune için malzeme miktarları;

Şahit Numune;

Çimento; $302 * 1 / 200 = 1,51 \text{ kg}$,

Su; $160 * 1 / 200 = 0,80 \text{ kg}$,

0 / 4; $734,1 * 1 / 200 = 3,67 \text{ kg}$,

4 / 16; $1170,5 * 1 / 200 = 5,85 \text{ kg}$,

Tablo 3.6. Bir adet şahit numune için malzeme miktarları

Çimento	1,51 kg
Su	0,80 lt
0/4 nolu Agregası	3,67 kg
4/16 nolu Agregası	5,85 kg

% 0,5 Lif takviyeli numune

Çimento; 1,51 kg,

Su; 0,80 kg,

0 / 4 (1 Nolu Agregası); $729,1 * 1 / 200 = 3,65\text{kg}$

4 / 16 (2 Nolu Agregası); $1162,5 * 1 / 200 = 5,81\text{ kg}$,

Çelik lif; $39,25 * 1 / 200 = 0,196\text{ kg}$

Polipropilen lif; $4,5 * 1 / 200 = 0,023\text{ kg}$

Cam lif; $12,5 * 1 / 200 = 0,063\text{ kg}$,

Tablo 3.7. Bir adet %0,5 lif katkılı numune için malzeme miktarları

Çimento	1,51 kg
Su	0,80 lt
0/4 nolu Agregası	3,65 kg
4/16 nolu Agregası	5,81 kg
Çelik lif	0,196 kg
Polipropilen lif	0,023 kg
Cam lif	0,063 kg

% 1 Lif takviyeli numune

Çimento; 1,51 kg,

Su; 0,80 kg,

0 / 4; $724 * 1 / 200 = 3,62\text{kg}$

4 / 16; $1154,4 * 1 / 200 = 5,76\text{kg}$,

Çelik lif; $78,5 * 1 / 200 = 0,393\text{ kg}$

Polipropilen lif; $9 * 1 / 200 = 0,045\text{ kg}$

Cam lif; $25 * 1 / 200 = 0,125\text{ kg}$,

Tablo 3.8. Bir adet %1 lif katkılı numune için malzeme miktarları

Çimento	1,51 kg
Su	0,80 lt
0/4 nolu Agregası	3,62 kg
4/16 nolu Agregası	5,76 kg
Çelik lif	0,393 kg
Polipropilen lif	0,045 kg
Cam lif	0,125 kg

% 1,5 Lif takviyeli numune

Çimento; 1,51 kg,

Su; 0,80 kg,

0 / 4; $718,9 * 1 / 200 = 3,59$ kg

4 / 16; $1146,3 * 1 / 200 = 5,73$ kg,

Çelik lif; $117,75 * 1 / 200 = 0,589$ kg

Polipropilen lif; $13,5 * 1 / 200 = 0,068$ kg

Cam lif; $37,5 * 1 / 200 = 0,188$ kg,

Tablo 3.9. Bir adet %1,5 lif katkılı numune için malzeme miktarları

Çimento	1,51 kg
Su	0,80 lt
0/4 nolu Agregat	3,59 kg
4/16 nolu Agregat	5,73 kg
Çelik lif	0,589 kg
Polipropilen lif	0,068kg
Cam lif	0,188 kg

3.4. Deney Numunelerinin Kalıplara Yerleştirilmesi

Bir hafta önceden görüşülüp gün alınmış Adapazarı Belpaş beton santralinde, deneyin yapılmasına başlanmıştır. İlk olarak şahit numuneler dökülmüştür.



Şekil 3. 6. Kalıplara betonun dökülmesi ve vibrasyon uygulanması



Şekil 3. 7. Betonun kalıplara yerleştirilmesi ve düzeltilmesi

Şahit numuneler döküldükten sonra, lif oranına göre, hacimce % 0,5, % 1 ve % 1,5' lik numuneler dökülmüştür.



Şekil 3. 8. Karışımında kullanılacak çelik ve polipropilen liflerin terazide tartılması



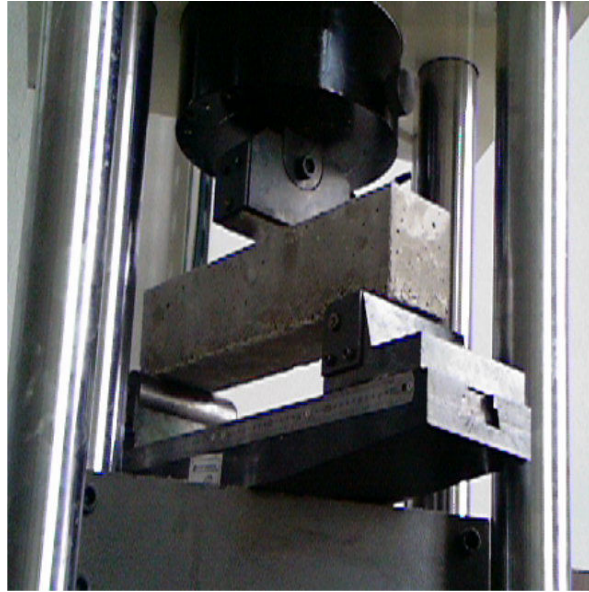
Şekil 3. 9. Karışımında kullanılacak çelik lifli numunenin kalıba yerleştirilmesi



Şekil 3. 10. Kalıplara dökülen çelik lifli betonun yüzeyinin düzeltilmesi ve numaralandırılması

3.5. Deney Numunelerine Eğilme Deneyinin Uygulanması

Hazırlanan numuneler, Sakarya ilindeki Belpaş beton santralinin kür havuzunda bekletilip, 28 gün sonra havuzdan çıkarılmış ve Sakarya Üniversitesi TEF Yapı Eğitimi Bölümüne ait laboratuarda eğilme testine tabii tutulmuştur. Önce şahit numuneler kırılmıştır. Sonra sırasıyla, hacimce % 0,5, % 1 ve % 1,5 lif katkıli numuneler, Çelik lif, polipropilen lif ve cam lif sırası takip edilerek kırılmıştır. Teste tabii tutulacak numuneler makinenin eğilme testi bölümüne yerleştirilmiştir. Test işlemleri sonucunda elde edilen yük ve sehimler ilgili sonuçlar bilgisayara, işlem bittikten sonra alınmak üzere, kaydedilmiştir.



Şekil 3. 11. Deneyin uygulanması

BÖLÜM 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Yapılan deneysel çalışmaların sonucunda cam lifli, polipropilen lifli ve çelik lifli ve şahit olmak üzere dört çeşit numune üretilmiştir. Lifsiz şahit numune olarak 3 adet numune üretilmiş ve test edilmiştir. Diğer Lifli numuneler ise hacimce yüzde 0,5-1-1,5 olmak üzere üç farklı kombinasyonda 3 er adet üretilmiştir. Yalnızca cam lifli numunelerden yüzde 0,5–1 olmak üzere 2 tip üretilmiştir. Her deney numunesi için üç noktalı eğilme testi yapılmış ve elde edilen veriler kayıt edilmiştir. Deney sonrasında veriler üzerinde çalışma yapılarak gerilme- sehim grafikleri oluşturulmuştur. İlgili grafikler analiz edilerek maksimum gerilme ve tokluk değerleri TSE 10515 [9] kullanılarak bulunmuştur.

Şahit, çelik lifli, cam lifli ve polipropilen lifli numuneler için 3 er adet deney numunelerinin ortalamaları alınarak lif kombinasyonuna göre tekil grafikler de elde edilmiştir. Daha sonra lif türüne göre ve şahit numune ile karşılaştırmalar yapılmıştır.

4.1. Şahit Beton Numunelerin Eğilme Deneyleri

Kür havuzunda 28 gün bekletildikten sonra eğilme deneyleri gerçekleştirilen lifsız ve 100x100x500 mm boyutlu beton numunelerinden çeşitli sonuçlar elde edilmiştir. Her bir numune eğilme platformuna yerleştirildikten deneye tabi tutulmuş ve tam kırılma gerçekleşinceye kadar deney devam ettirilmiştir. Toplam 3 adet şahit numune için grafikler oluşturulmuştur. Elde edilen veriler formül[10] (4.1) kullanılarak her numuneye ait tokluk değerleri bulunmuştur.

$$Gf = \frac{W_0 + mg\delta}{A} \quad (4.1.)$$

Buradaki;

W_0 ; Yük-Sehim eğrisi altındaki alan (N/m),

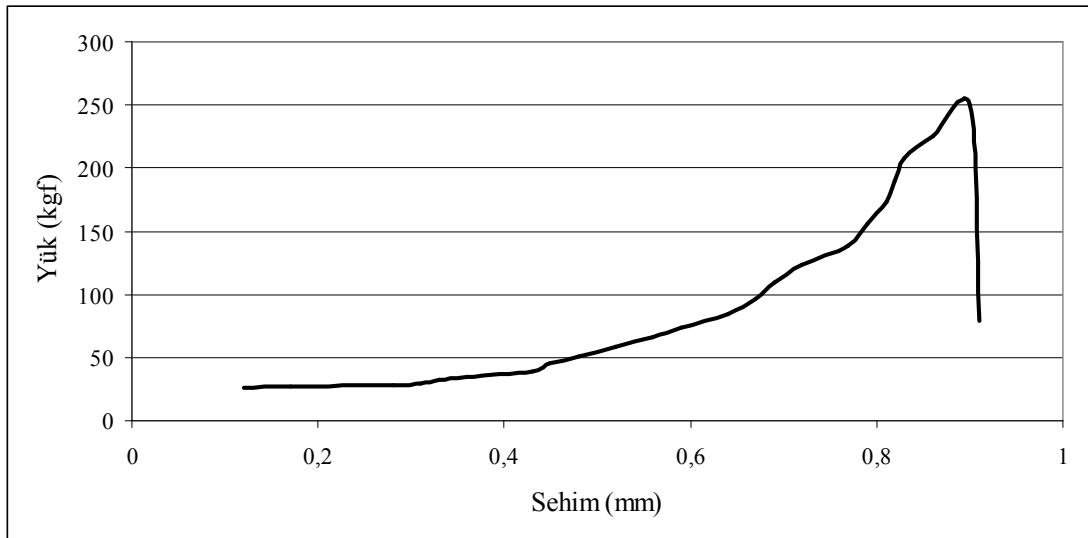
m ; Numunenin mesnetler arasında kalan kısmın ağırlığıdır (kg),

g ; Yer çekimi ivmesi (m/sn^2),

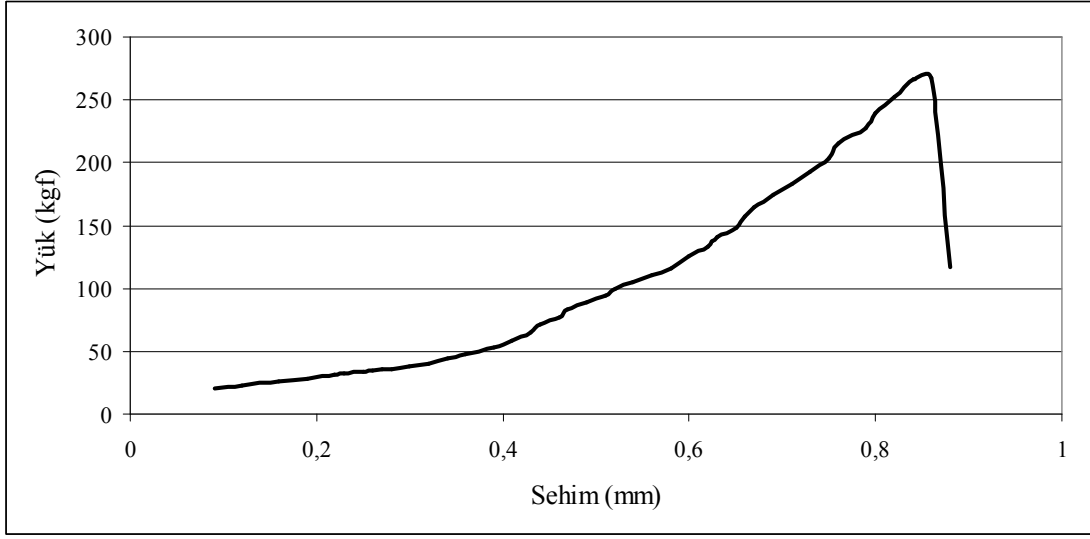
δ ; Sehim

A ; Kesit alanı (m^2)'dir.

1 nolu şahit numunenin eğilme deneyinden elde edilen yük–sehim grafiği Şekil 4.1’ de verilmiştir. 1 nolu şahit numuneye ait grafik incelediğinde ilk çatlak değerinin 250 kgf olduğu görülmektedir. İlk çatlak değeri için sehim miktarı ise 0,9 mm dir. 1 nolu şahit numunenin tokluk değeri $4539 J/m^2$ olarak bulunmuştur.



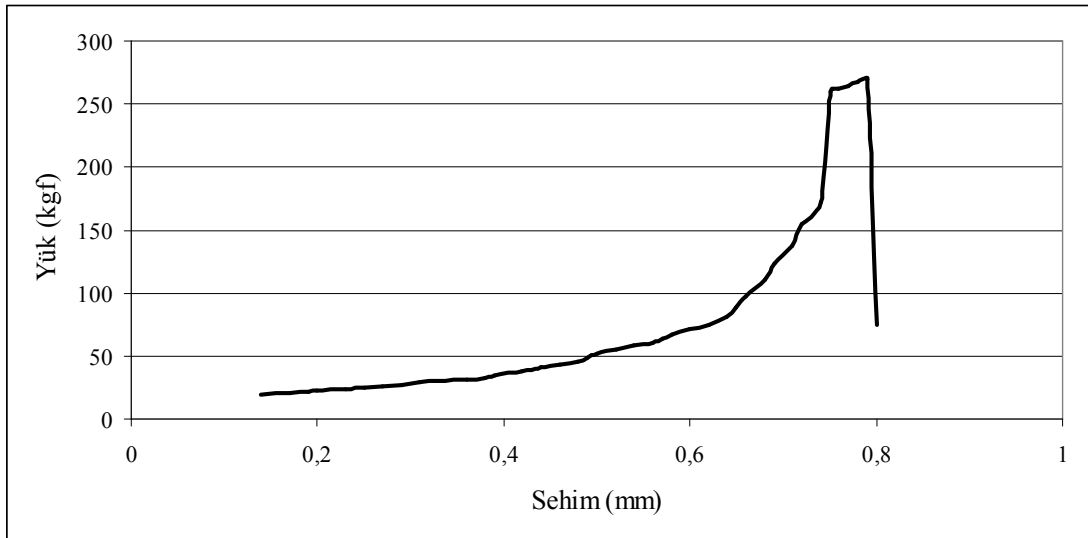
Şekil 4.1. 1 nolu şahit numune yük-sehim grafiği



Şekil 4.2. 2 nolu şahit numune yük-sehim grafiği

2 nolu şahit numunenin eğilme deneyinden elde edilen yük–sehim grafiği Şekil 4.2’ de verilmiştir. 2 nolu şahit numuneye ait grafik incelediğinde ilk çatlak değerinin 268 kgf olduğu görülmektedir. İlk çatlak değeri için sehim miktarı ise 0,86 mm dir. 2 nolu şahit numunenin tokluk değeri 4377 J/m^2 olarak bulunmuştur.

3 nolu şahit numunenin eğilme deneyinden elde edilen yük–sehim grafiği Şekil 4.3’ de verilmiştir. 3 nolu şahit numuneye ait grafik incelediğinde ilk çatlak değerinin 270kgf olduğu görülmektedir. İlk çatlak değeri için sehim miktarı ise 0,79 mm dir. 3 nolu şahit numunenin tokluk değeri $4285,4 \text{ J/m}^2$ olarak bulunmuştur.

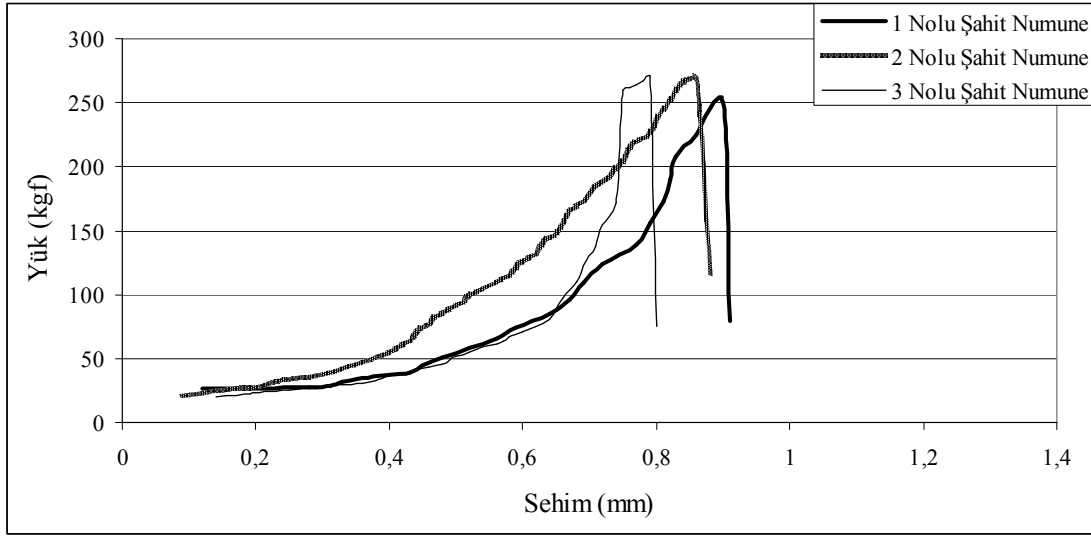


Şekil 4.3. 3 nolu şahit numune yük-sehim grafiği

Tablo 4.1. Şahit numunelerin tokluk değerleri

Numuneler	Tokluk Değerleri
1 Nolu Şahit Numune	$G_f = 4539 \text{ Joule} / \text{m}^2$
2 Nolu Şahit Numune	$G_f = 4377 \text{ Joule} / \text{m}^2$
3 Nolu Şahit Numune	$G_f = 4285,4 \text{ Joule} / \text{m}^2$
Ortalama	$G_f = 4400,5 \text{ Joule} / \text{m}^2$

Şahit numuneler tek olarak değerlendirildikten sonra 3 adet şahit numunenin beraber ifade edildikleri grafik Şekil 4.4' de verilmektedir.



Şekil 4.4. Şahit numunelere ait yük-sehim grafikleri

4.2. Çelik Lifli Beton Numunelerin Eğilme Deneyleri

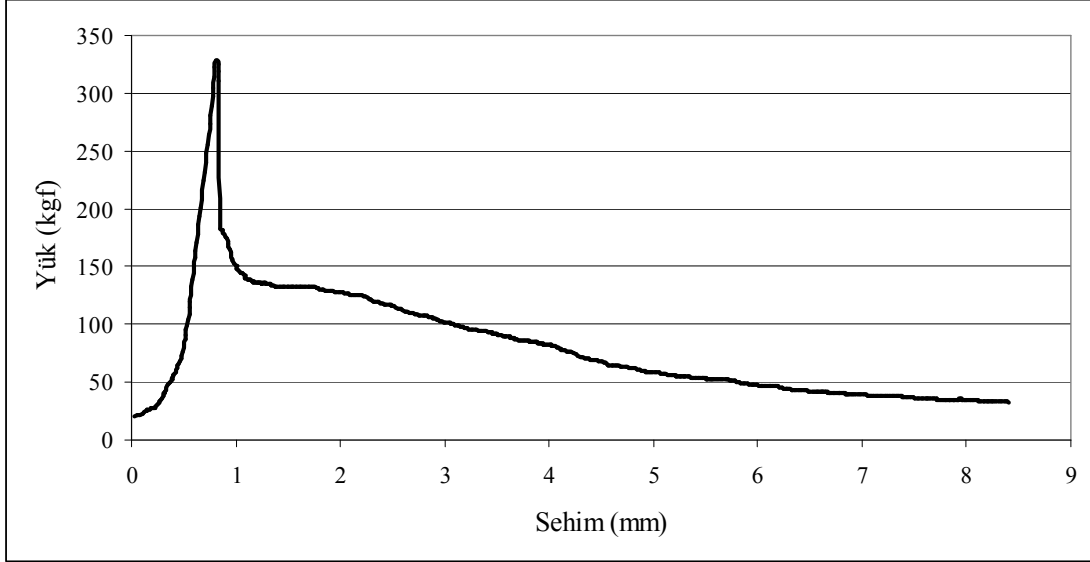
Şahit numunelerle aynı ortam ve koşullarda hazırlanan çelik lifli beton numuneler 3 farklı oranda lif katılarak hazırlanmıştır. Hacimce yüzde 0,5-1-1,5 oranında çelik lif katılarak 3'er adet üretilmiştir. Her numune eğilme platformuna yerleştirildikten deneye tabi tutulmuş ve tam kırılma gerçekleşinceye kadar deney devam ettirilmiştir.

4.2.1. Yüzde 0,5 çelik lif katkılı beton numunelerin eğilme deneyleri

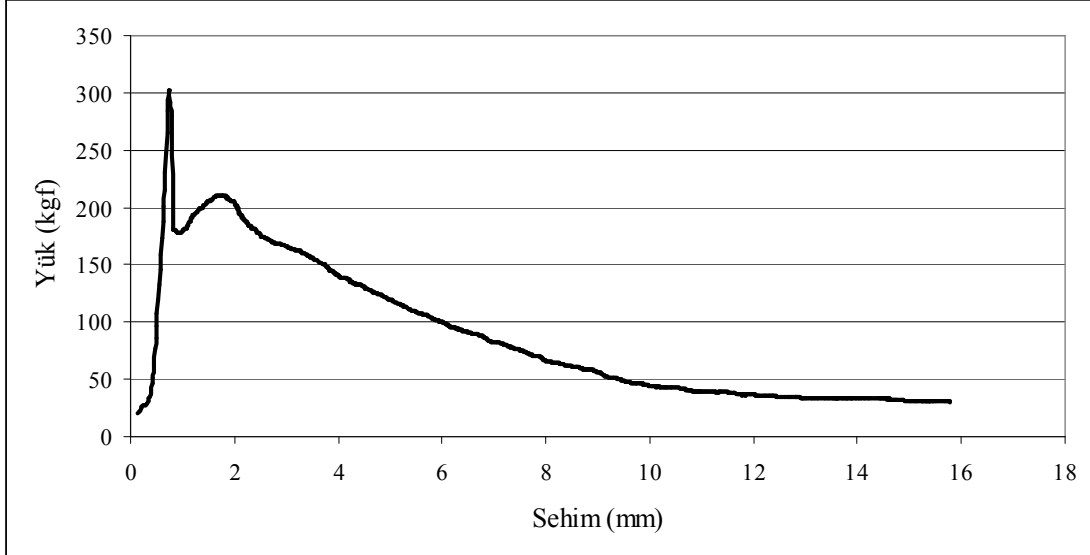
Yüzde 0,5 çelik lif katkılı 1 nolu beton numune için yük-sehim grafiği Şekil 4.5' de verilmiştir. Hacimce yüzde 0,5 çelik lif katkılı 1 nolu betonun eğilme deneyi incelendiğinde ilk çatlak değerinin 329 kgf olduğu görülmektedir. İlk çatlak değeri için sehim miktarı ise 0,82 mm dir. 1 nolu yüzde 0,5 çelik lifli numunenin tokluk değeri 65968 J/m^2 olarak bulunmuştur.

Yüzde 0,5 çelik lif katkılı 2 nolu beton numune için yük-sehim grafiği Şekil 4.6' da verilmiştir. Hacimce yüzde 0,5 Çelik lif katkılı 2 nolu betonun eğilme deneyi incelendiğinde ilk çatlak değerinin 302 kgf olduğu görülmektedir. İlk çatlak değeri için sehim miktarı ise 0,75 mm dir. 2 nolu yüzde 0,5 çelik lifli numunenin tokluk değeri

116960 J/m² olarak bulunmuştur.



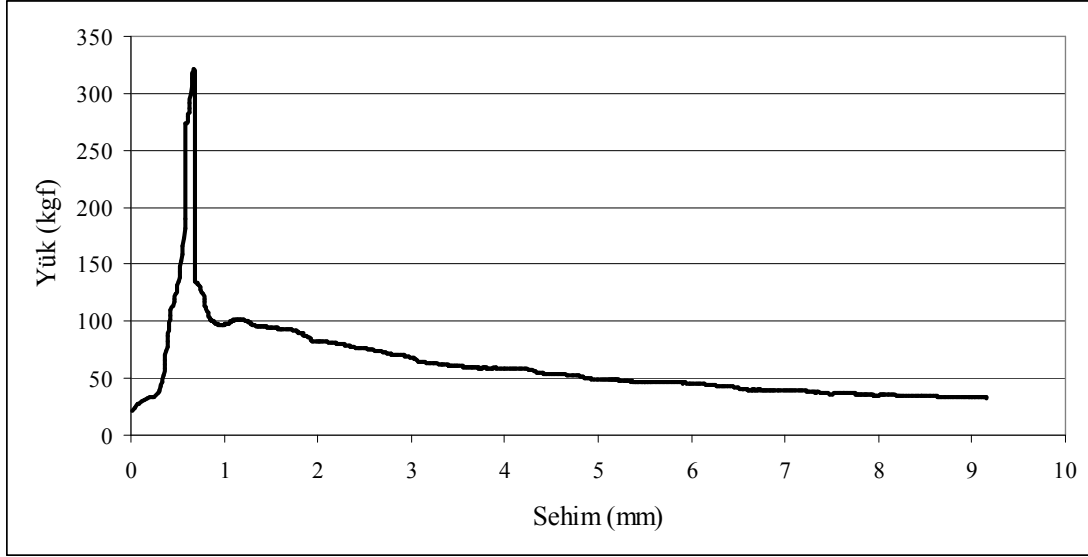
Şekil 4.5. Yüzde 0,5 Çelik lifli 1 nolu numuneye ait yük-sehim grafiği



Şekil 4.6. Yüzde 0,5 Çelik lifli 2 nolu numuneye ait yük-sehim grafiği

Yüzde 0,5 çelik lif katkılı 3 nolu beton numune için yük-sehim grafiği Şekil 4.7' de verilmiştir. Hacimce yüzde 0,5 Çelik lif katkılı 3 nolu betonun eğilme deneyi

incelendiğinde ilk çatlak değerinin 321 kgf olduğu görülmektedir. İlk çatlak değeri için sehim miktarı ise 0,67 mm dir. 3 nolu yüzde 0,5 çelik lifli numunenin tokluk değeri 56768 J/m² olarak bulunmuştur.

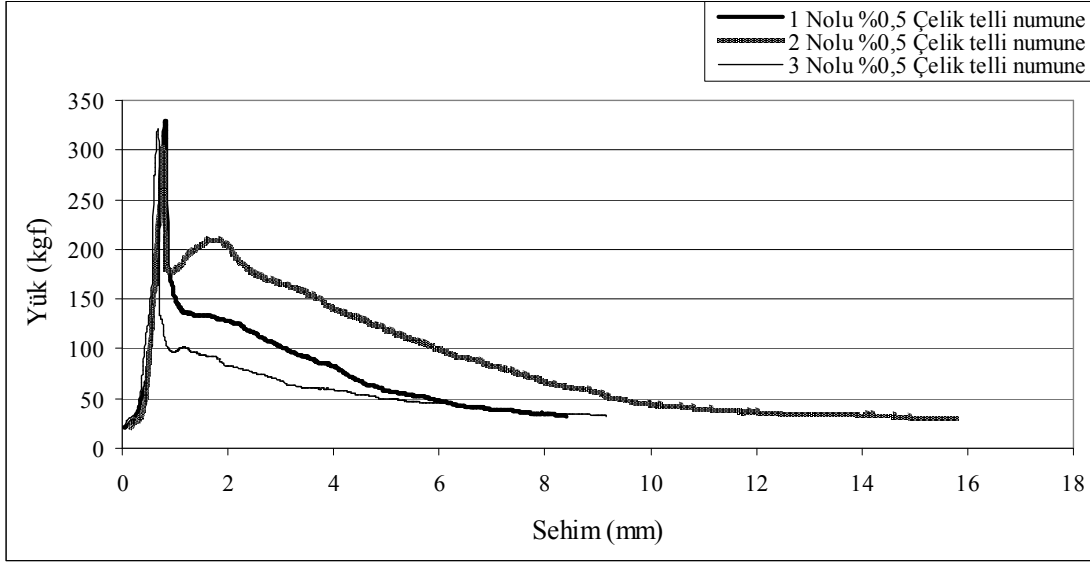


Şekil 4.7. Yüzde 0,5 Çelik lifli 3 nolu numuneye ait yük-sehim grafiği

Tablo 4.2. %0,5 Çelik lif katkılı numunelerin tokluk değerleri

Numuneler	Tokluk Değerleri
1 Nolu %0,5 Çelik lif	$G_f = 65968 \text{ Joule / m}^2$
2 Nolu %0,5 Çelik lif	$G_f = 116960 \text{ Joule / m}^2$
3 Nolu %0,5 Çelik lif	$G_f = 56768 \text{ Joule / m}^2$
Ortalama	$G_f = 79900 \text{ Joule / m}^2$

Yüzde 0,5 Çelik lif katkılı beton numuneler tek olarak değerlendirildikten sonra toplam 3 adet 0,5 çelik lifli katkılı numunelerin beraber ifade edildikleri grafik Şekil 4.8' de verilmektedir.

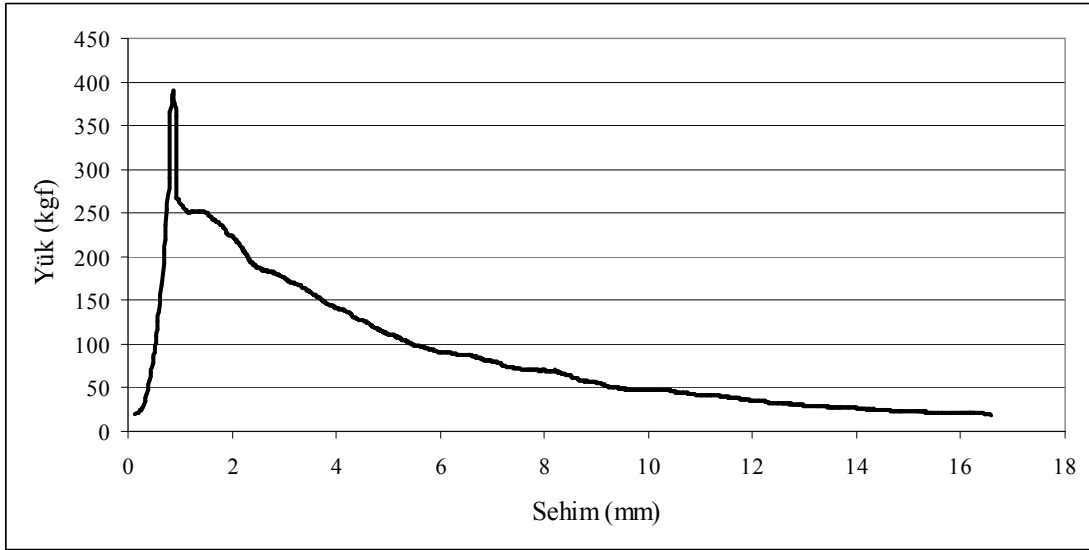


Şekil 4.8. Yüzde 0,5 Çelik lif katkılı numunelere ait yük-sehim grafikleri

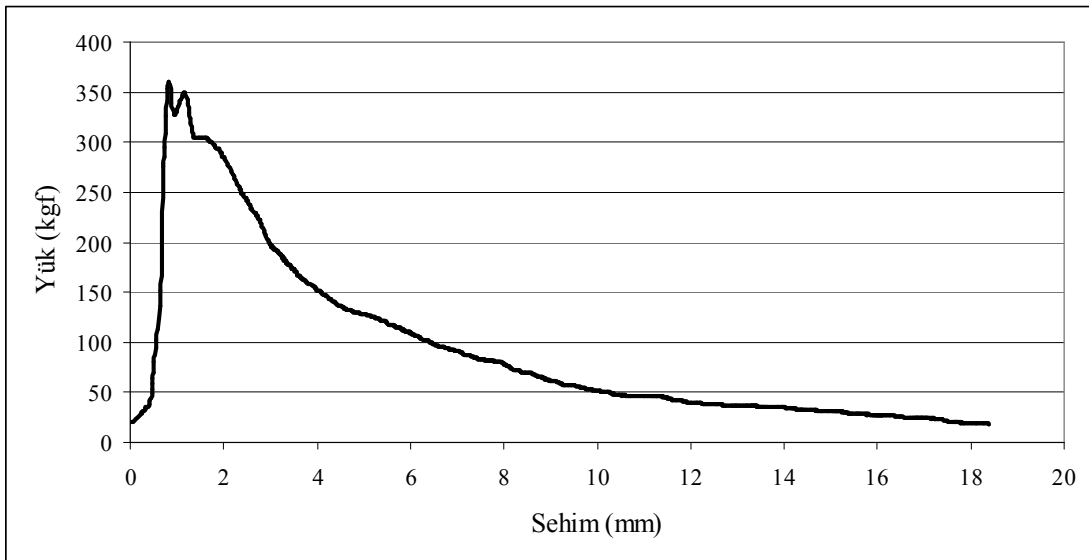
4.2.2. Yüzde 1 çelik lif katkılı beton numunelerin eğilme deneyleri

Yüzde 1 çelik lif katkılı 1 nolu beton numune için yük–sehim grafiği Şekil 4.9’ da verilmiştir. Hacimce yüzde 1 Çelik lif katkılı 1 nolu betonun eğilme deneyi incelendiğinde ilk çatlak değerinin 390 kgf olduğu görülmektedir. İlk çatlak değeri için sehim miktarı ise 0,87 mm dir. 1 nolu 1 çelik lifli numunenin tokluk değeri 83360 J/m^2 olarak bulunmuştur.

Yüzde 1 çelik lif katkılı 2 nolu beton numune için yük–sehim grafiği Şekil 4.10’ da verilmiştir. Hacimce yüzde 1 çelik lif katkılı 2 nolu betonun eğilme deneyi incelendiğinde ilk çatlak değerinin 360 kgf olduğu görülmektedir. İlk çatlak değeri için sehim miktarı ise 0,83 mm dir. 2 nolu yüzde 1 çelik lifli numunenin tokluk değeri 151960 J/m^2 olarak bulunmuştur.



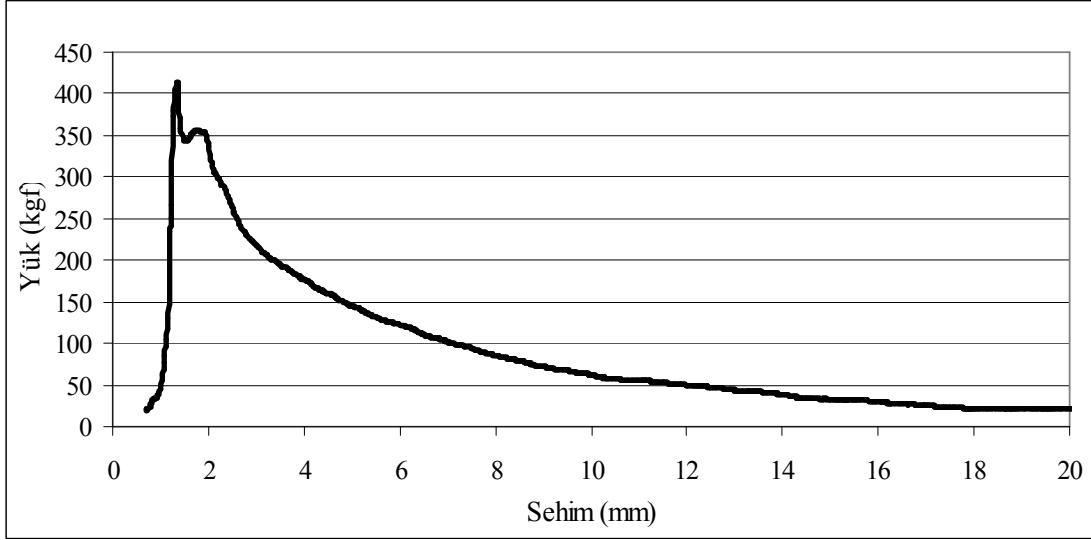
Şekil 4.9. Yüzde 1 Çelik lifli 1 nolu numuneye ait yük-sehim grafiği



Şekil 4.10. Yüzde 1 Çelik lifli 2 nolu numuneye ait yük-sehim grafiği

Yüzde 1 çelik lif katkılı 3 nolu beton numune için yük–sehim grafiği Şekil 4.11’de verilmiştir. Hacimce yüzde 1 çelik lif katkılı 3 nolu betonun eğilme deneyi incelendiğinde ilk çatlak değerinin 413 kgf olduğu görülmektedir. İlk çatlak değeri için sehim miktarı ise 1,35 mm dir. 3 nolu yüzde 1 çelik lifli numunenin tokluk değeri

140960 J/m² olarak bulunmuştur.

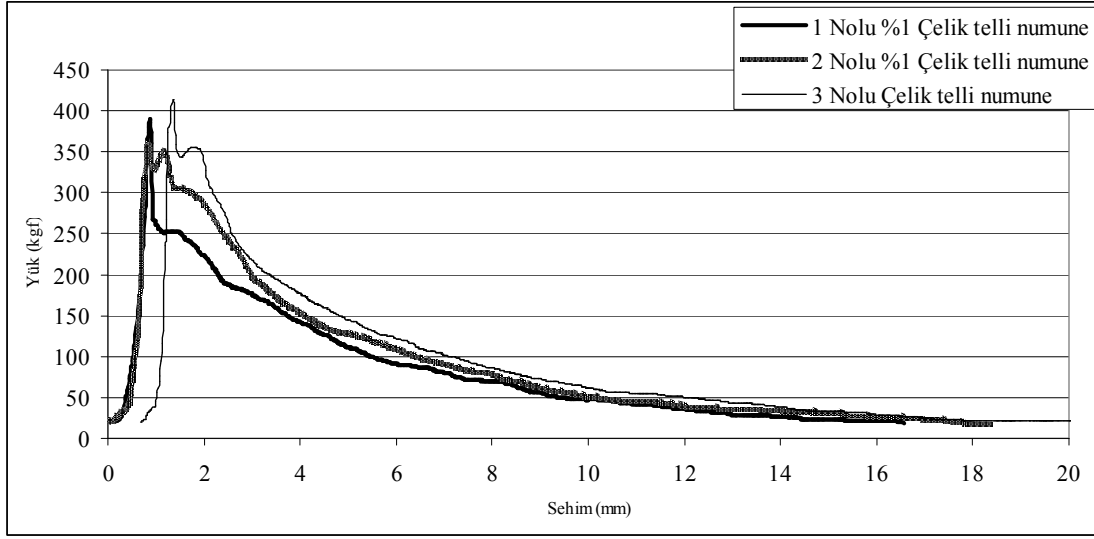


Şekil 4.11. Yüzde 1 Çelik lifli 3 nolu numuneye ait yük-sehim grafiği

Tablo 4.3. %1 Çelik lif katkılı numunelerin tokluk değerleri

Numuneler	Tokluk Değerleri
1 Nolu %1 Çelik lif	$G_f = 83360 \text{ Joule / m}^2$
2 Nolu %1 Çelik lif	$G_f = 151960 \text{ Joule / m}^2$
3 Nolu %1 Çelik lif	$G_f = 140960 \text{ Joule / m}^2$
Ortalama	$G_f = 125426,7 \text{ Joule / m}^2$

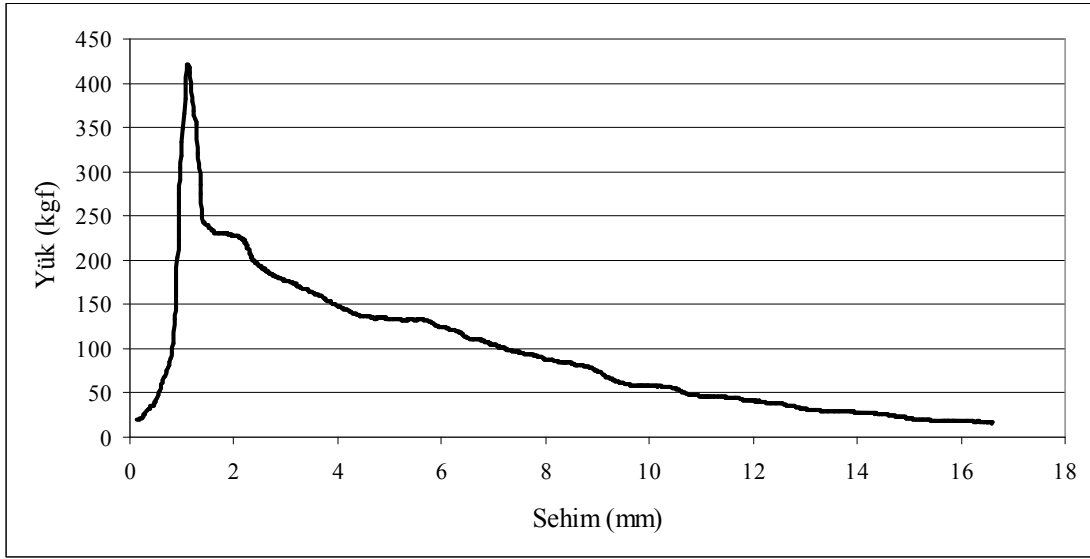
Yüzde 1 çelik lif katkılı beton numuneler tek olarak değerlendirildikten sonra toplam 3 adet yüzde 1 çelik lif katkılı numunelerin beraber ifade edildikleri grafik Şekil 4.12' de verilmektedir.



Şekil 4.12. Yüzde 1 Çelik lifli numunelere ait yük-sehim grafikleri

4.2.3. Yüzde 1,5 çelik lif katkılı beton numunelerin eğilme deneyleri

Yüzde 1,5 çelik lif katkılı 1 nolu beton numune için yük–sehim grafiği Şekil 4.13’ de verilmiştir. Hacimce yüzde 1,5 çelik lif katkılı 1 nolu betonun eğilme deneyi incelendiğinde ilk çatlak değerinin 421 kgf olduğu görülmektedir. İlk çatlak değeri için sehim miktarı ise 1,1 mm dir. 1 nolu yüzde 1,5 çelik lifli numunenin tokluk değeri 169760 J/m^2 olarak bulunmuştur.



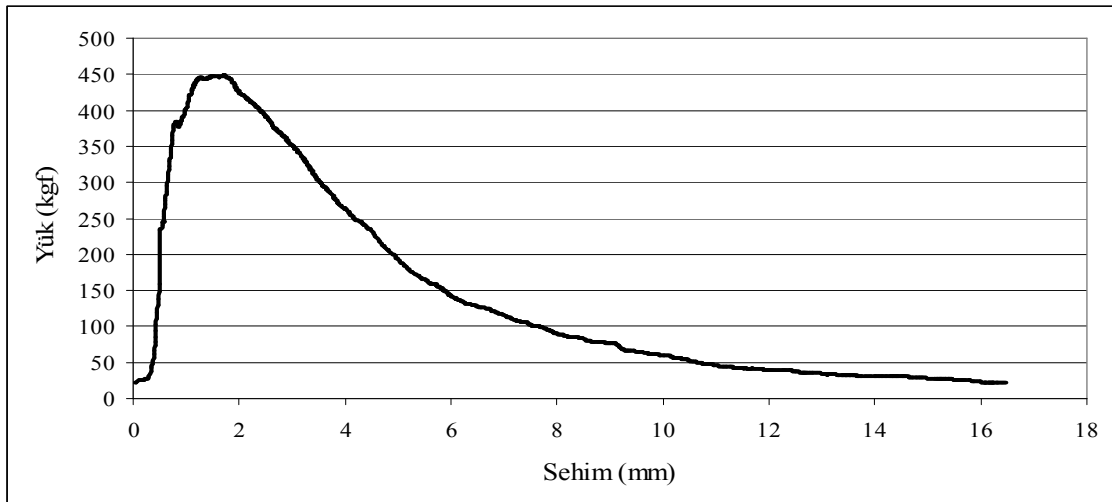
Şekil 4.13. Yüzde 1,5 çelik lifli 1 nolu numuneye ait yük-sehim grafiği

Yüzde 1,5 çelik lif katkılı 2 nolu beton numune için yük –sehim grafiği Şekil 4.14’ de verilmiştir. Hacimce yüzde 1,5 çelik lif katkılı 2 nolu betonun eğilme deneyi incelendiğinde ilk çatlak değerinin 500 kgf olduğu görülmektedir. İlk çatlak değeri için sehim miktarı ise 1,1 mm dir.2 nolu yüzde 1,5 çelik lifli numunenin tokluk değeri 184160 J/m² olarak bulunmuştur.



Şekil 4.14. Yüzde 1,5 çelik lifli 2 nolu numuneye ait yük -sehim grafiği

Yüzde 1,5 çelik lif katkılı 3 nolu beton numune için yük –sehim grafiği Şekil 4.15’ de verilmiştir. Hacimce yüzde 1,5 çelik lif katkılı 3 nolu betonun eğilme deneyi incelendiğinde ilk çatlak değerinin 384 kgf olduğu görülmektedir. İlk çatlak değeri için sehim miktarı ise 0,82 mm 3 nolu yüzde 1,5 çelik lifli numunenin tokluk değeri 204960 J/m^2 olarak bulunmuştur.

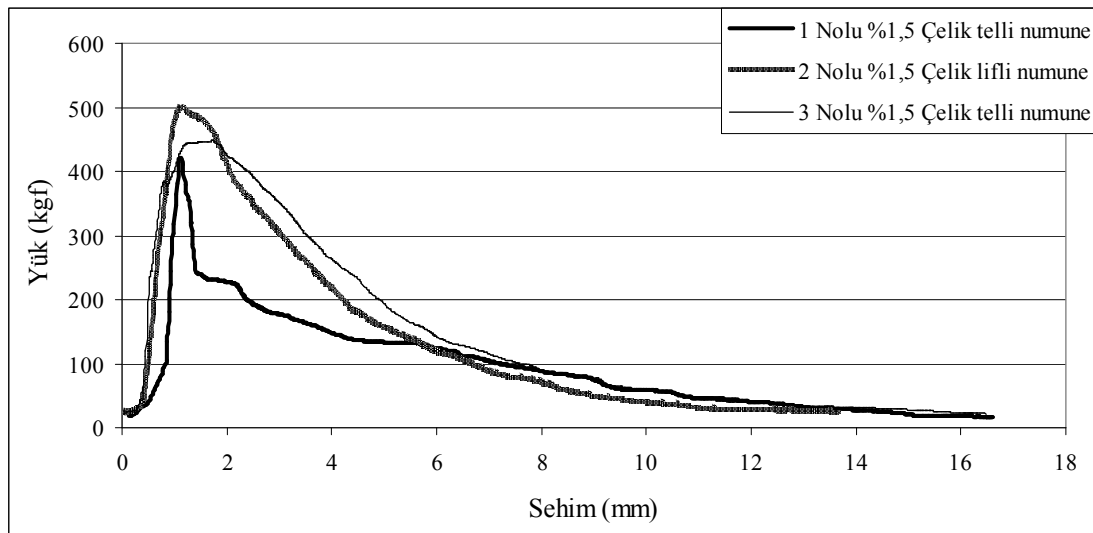


Şekil 4.15. Yüzde 1,5 çelik lifli 3 nolu numuneye ait yük -sehim grafiği

Tablo 4.4. %1,5 Çelik lif katkılı numunelerin tokluk değerleri

Numuneler	Tokluk Değerleri
1 Nolu %1,5 Çelik lif	$G_f = 169760 \text{ Joule / m}^2$
2 Nolu %1,5 Çelik lif	$G_f = 184160 \text{ Joule / m}^2$
3 Nolu %1,5 Çelik lif	$G_f = 204960 \text{ Joule / m}^2$
Ortalama	$G_f = 186293,3 \text{ Joule / m}^2$

Yüzde 1,5 çelik lif katkılı beton numuneler tek olarak değerlendirildikten sonra toplam 3 adet yüzde 1,5 çelik lif katkılı numunelerin beraber ifade edildikleri grafik Şekil 4.16' da verilmektedir.



Şekil 4.16. Yüzde 1,5 Çelik lifli numunelere ait yük-sehim grafikleri

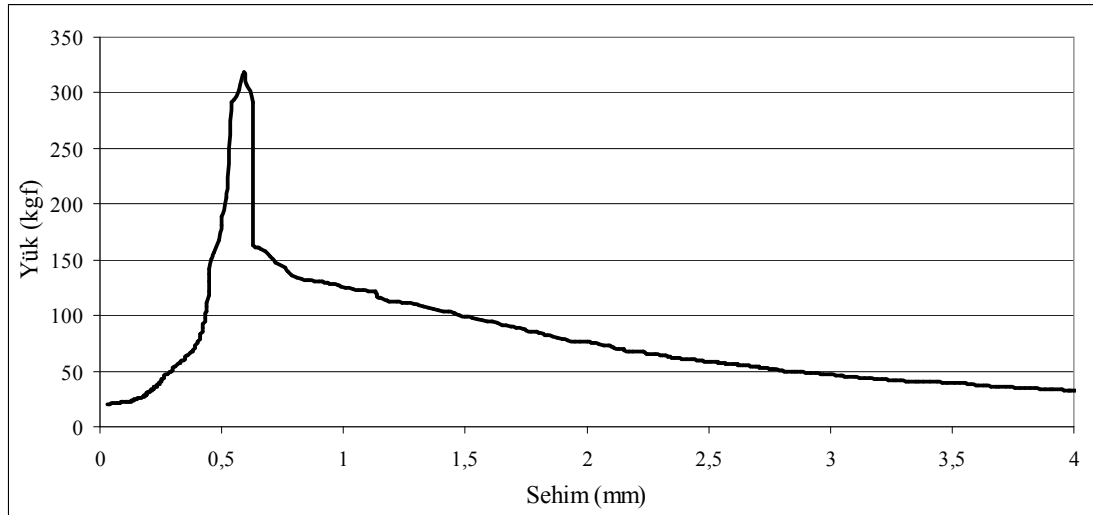
4.3. Polipropilen Lifli Beton Numunelerin Eğilme Deneyleri

Diğer tüm numunelerle aynı ortam ve koşullarda hazırlanan polipropilen Lifli beton numuneler 3 farklı oranda lif katılarak hazırlanmıştır. Hacimce yüzde 1-1,5 oranında polipropilen lif katılarak 3 er adet üretilmiştir. Yalnızca hacimce 0,5 oranında polipropilen lif katılarak hazırlanan deney numunesinde 2 adet deney verisine yer verilmiştir. Her numune eğilme platformuna yerleştirildikten deneye tabi tutulmuş ve

tam kırılma gerçekleşinceye kadar deney devam ettirilmiştir. Beton içersine lif katılım oranı baz alınarak deney sonuçları aşağıda verilmiştir.

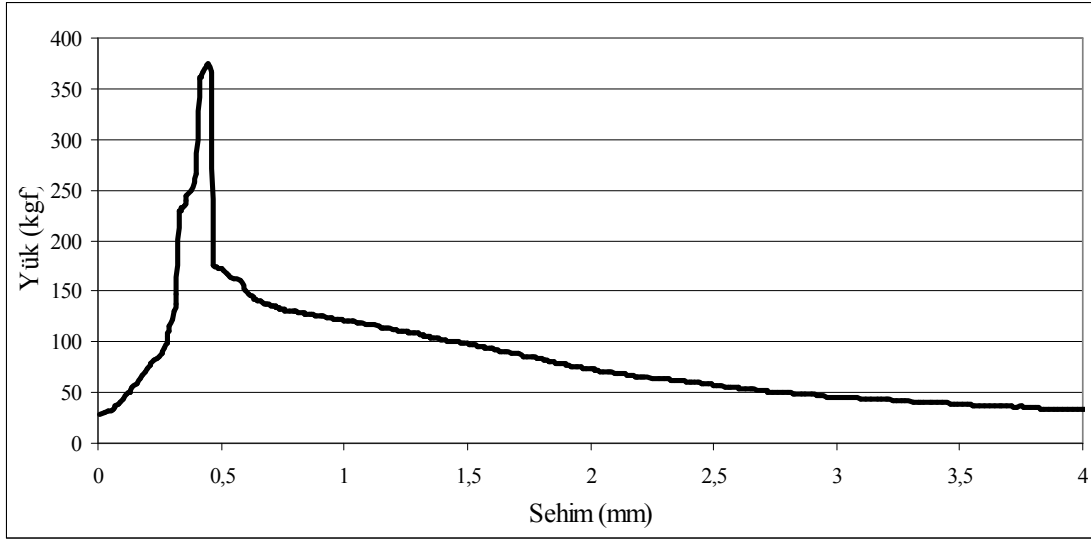
4.3.1. Yüzde 0,5 polipropilen lif katkıli beton numunelerin eğilme deneyleri

Yüzde 0,5 polipropilen lif katkıli 1 nolu beton numune için yük–sehim grafiği Şekil 4.17’ de verilmiştir. Hacimce yüzde 0,5 polipropilen lif katkıli 1 nolu betonun eğilme deneyi incelendiğinde ilk çatlak değerinin 206 kgf olduğu görülmektedir. İlk çatlak değeri için sehim miktarı ise 1,42 mm dir. 1 nolu yüzde 0,5 polipropilen Lifli numunenin tokluk değeri 33568 J/m^2 olarak bulunmuştur.



Şekil 4.17. Yüzde 0,5 polipropilen Lifli 1 nolu numuneye ait yük -sehim grafiği

Yüzde 0,5 polipropilen lif katkıli 2 nolu beton numune için yük–sehim grafiği Şekil 4.18’ de verilmiştir. Hacimce yüzde 0,5 polipropilen lif katkıli 2 nolu betonun eğilme deneyi incelendiğinde ilk çatlak değerinin 266 kgf olduğu görülmektedir. İlk çatlak değeri için sehim miktarı ise 0,4 mm dir. 2 nolu yüzde 0,5 polipropilen Lifli numunenin tokluk değeri 36680 J/m^2 olarak bulunmuştur.

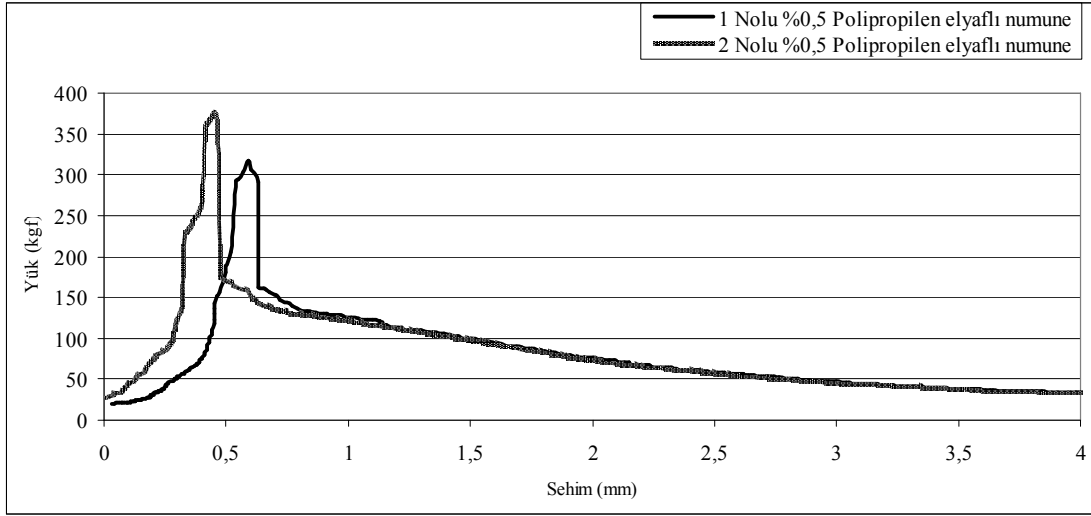


Şekil 4.18. Yüzde 0,5 polipropilen Lifli 2 nolu numuneye ait yük -sehim grafiği

Tablo 4.5. %0,5 Polipropilen lif katkılı numunelerin tokluk değerleri

Numuneler	Tokluk Değerleri
1 Nolu %0,5 Polipropilen lif	$G_f = 33568 \text{ Joule / m}^2$
2 Nolu %0,5 Polipropilen lif	$G_f = 36680 \text{ Joule / m}^2$
Ortalama	$G_f = 35124 \text{ Joule / m}^2$

Yüzde 0,5 polipropilen lif katkılı beton numuneler tek olarak değerlendirildikten sonra toplam 2 adet yüzde 0,5 polipropilen lif katkılı numunelerin beraber ifade edildikleri grafik Şekil 4.19' da verilmektedir. Bu grup için deney numune sayısının 2 adet olması bir deney numunesinin deney esnasında veri aktarımı hatasından dolayı buraya dahil edilmemiştir.

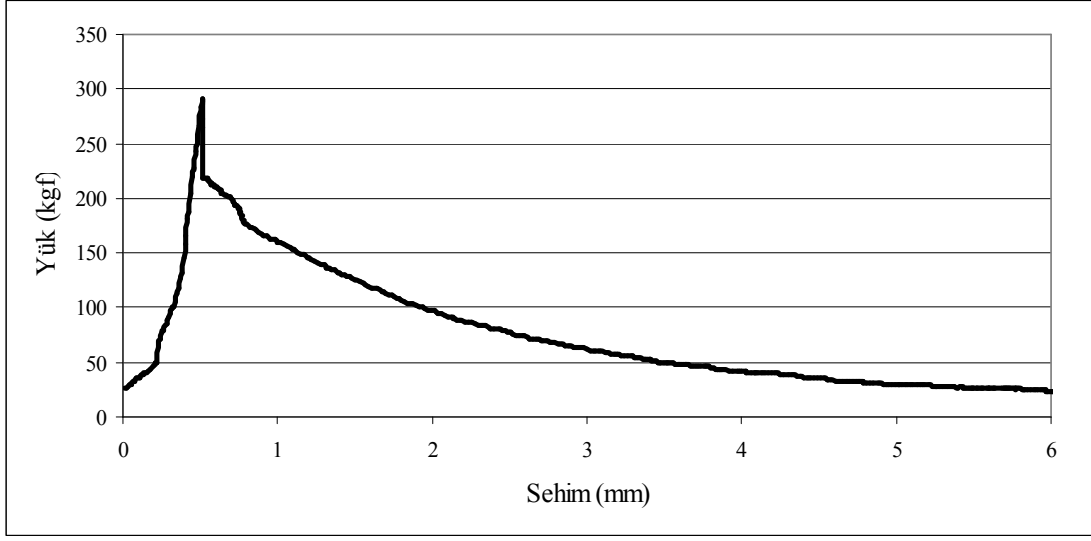


Şekil 4.19. Yüzde 0,5 polipropilen Lifli numunelere ait yük -sehim grafikleri

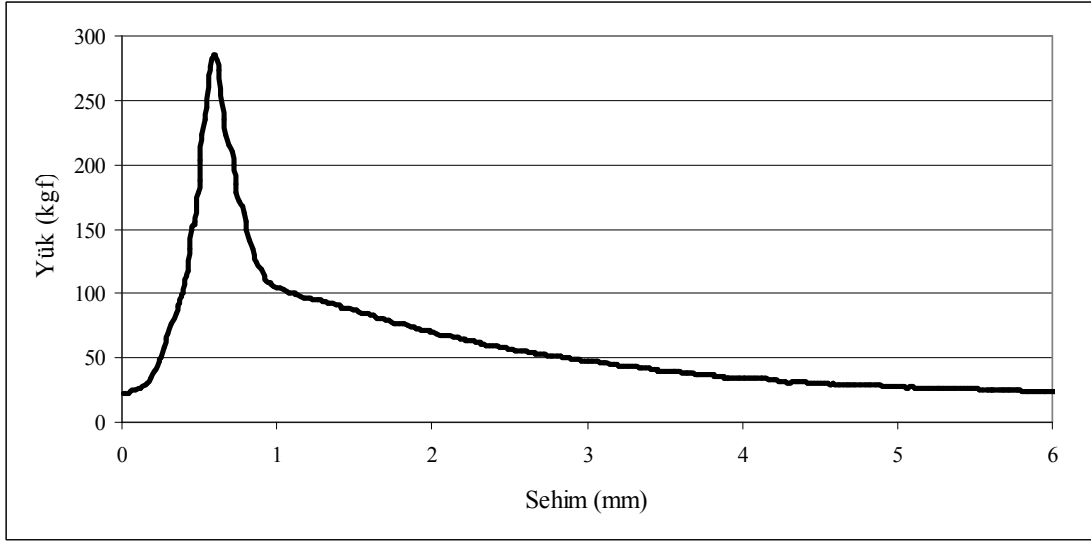
4.3.2. Yüzde 1 polipropilen lif katkılı beton numunelerin eğilme deneyleri

Yüzde 1 polipropilen lif katkılı 1 nolu beton numune için yük–sehim grafiği Şekil 4.20’ de verilmiştir. Hacimce yüzde 1 polipropilen lif katkılı 1 nolu betonun eğilme deneyi incelendiğinde ilk çatlak değerinin 291 kgf olduğu görülmektedir. İlk çatlak değeri için sehim miktarı ise 0,51 mm dir. 1 nolu yüzde 1 polipropilen Lifli numunenin tokluk değeri 54768 J/m^2 olarak bulunmuştur.

Yüzde 1 polipropilen lif katkılı 2 nolu beton numune için yük–sehim grafiği Şekil 4.21’ de verilmiştir. Hacimce yüzde 1 polipropilen lif katkılı 2 nolu betonun eğilme deneyi incelendiğinde ilk çatlak değerinin 285 kgf olduğu görülmektedir. İlk çatlak değeri için sehim miktarı ise 0,59 mm dir. 2 yüzde nolu 1 polipropilen Lifli numunenin tokluk değeri 50072 J/m^2 olarak bulunmuştur.

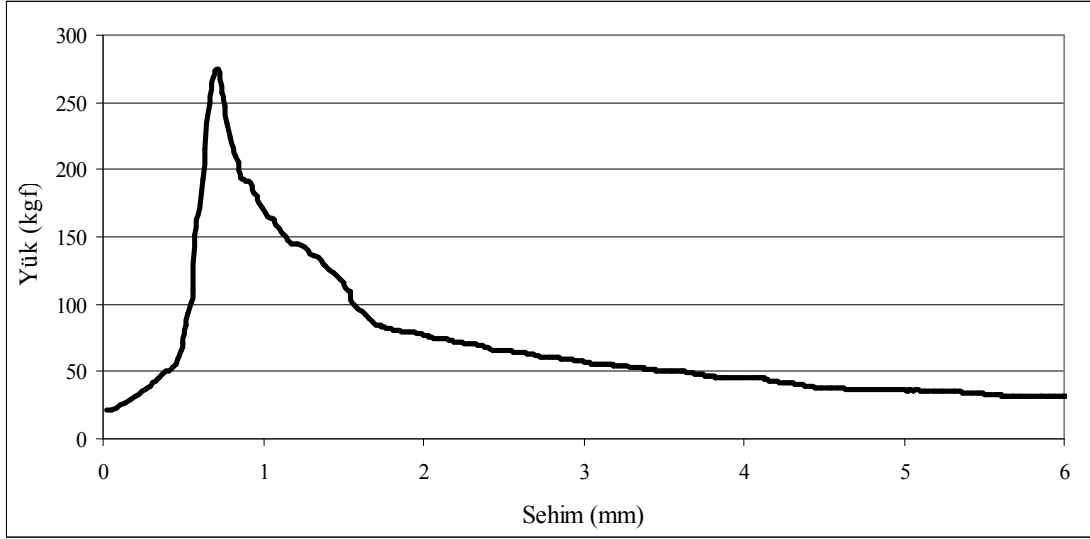


Şekil 4.20 Yüzde 1 polipropilen Lifli 1 nolu numuneye ait yük-sehim grafiği



Şekil 4.21. Yüzde 1 polipropilen Lifli 2 nolu numuneye ait yük-sehim grafiği

Yüzde 1 polipropilen lif katkılı 3 nolu beton numune için yük–sehim grafiği Şekil 4.22’de verilmiştir. Hacimce yüzde 1 polipropilen lif katkılı 3 nolu betonun eğilme deneyi incelendiğinde ilk çatlak değerinin 275 kgf olduğu görülmektedir. İlk çatlak değeri için sehim miktarı ise 0,72 mm dir. 3 yüzde nolu 1 polipropilen Lifli numunenin tokluk değeri 52160 J/m^2 olarak bulunmuştur.

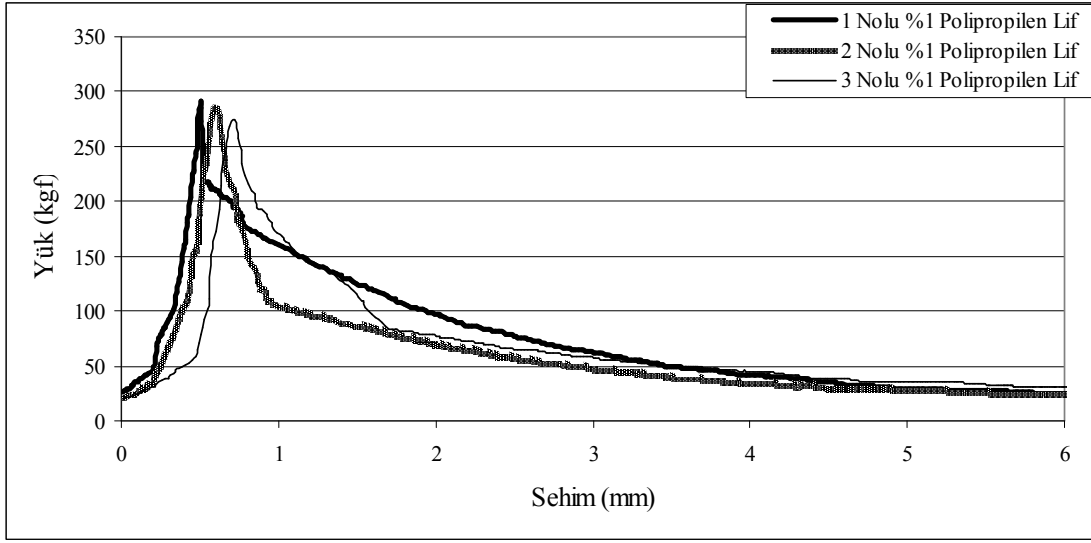


Şekil 4.22. Yüzde 1 polipropilen Lifli 3 nolu numuneye ait yük-sehim grafiği

Tablo 4.6. %1 Polipropilen lif katkılı numunelerin tokluk değerleri

Numuneler	Tokluk Değerleri
1 Nolu %1 Polipropilen lif	$G_f = 54768 \text{ Joule / m}^2$
2 Nolu %1 Polipropilen lif	$G_f = 50072 \text{ Joule / m}^2$
3 Nolu %1 Polipropilen lif	$G_f = 52160 \text{ Joule / m}^2$
Ortalama	$G_f = 52333,3 \text{ Joule / m}^2$

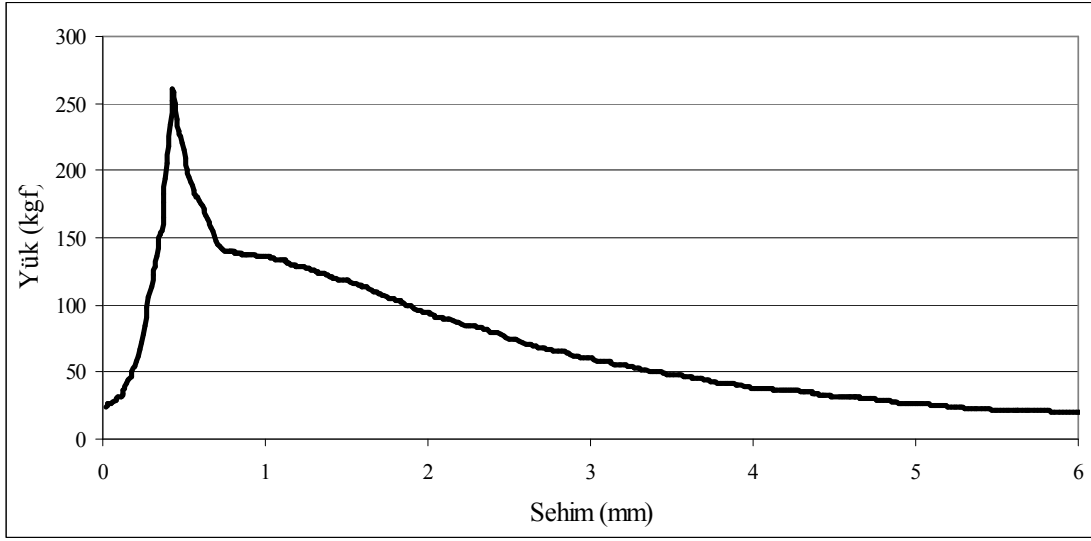
Yüzde 1 polipropilen lif katkılı beton numuneler tek olarak değerlendirildikten sonra toplam 3 adet yüzde 1 polipropilen lif katkılı numunelerin beraber ifade edildikleri grafik Şekil 4.23 de verilmektedir.



Şekil 4.23. Yüzde 1 polipropilen Lifli numunelere ait yük -sehim grafikleri

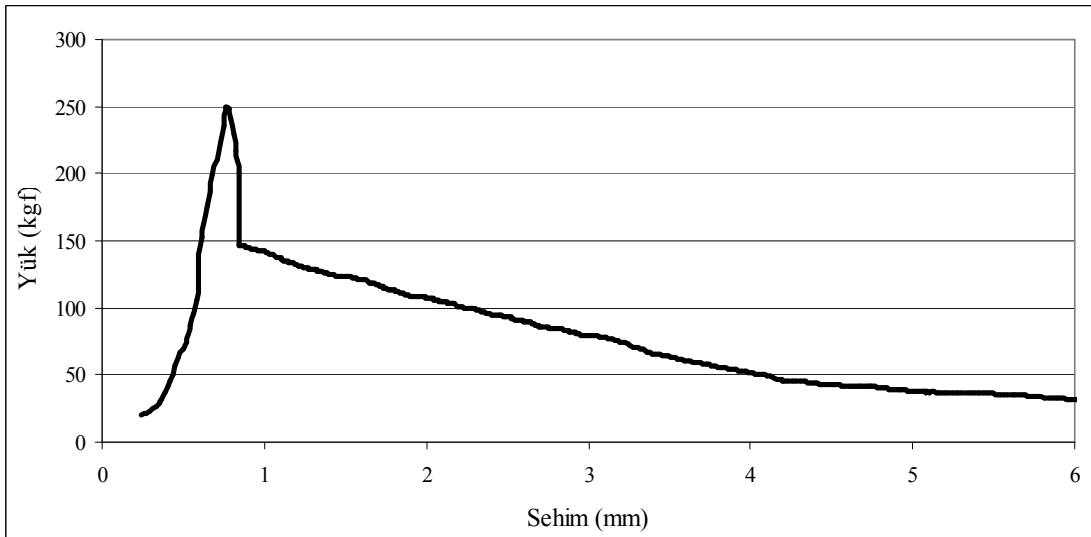
4.3.3. Yüzde 1,5 polipropilen lif katkıli beton numunelerin eğilme deneyleri

Yüzde 1,5 polipropilen lif katkıli 1 nolu beton numune için yük–sehim grafiği Şekil 4.24’ de verilmiştir. Hacimce yüzde 1,5 polipropilen lif katkıli 1 nolu betonun eğilme deneyi incelendiğinde ilk çatlak değerinin 261 kgf olduğu görülmektedir. İlk çatlak değeri için sehim miktarı ise 0,43 mm dir. 1 yüzde nolu 1,5 polipropilen lifli numunenin tokluk değeri 47360 J/m^2 olarak bulunmuştur.



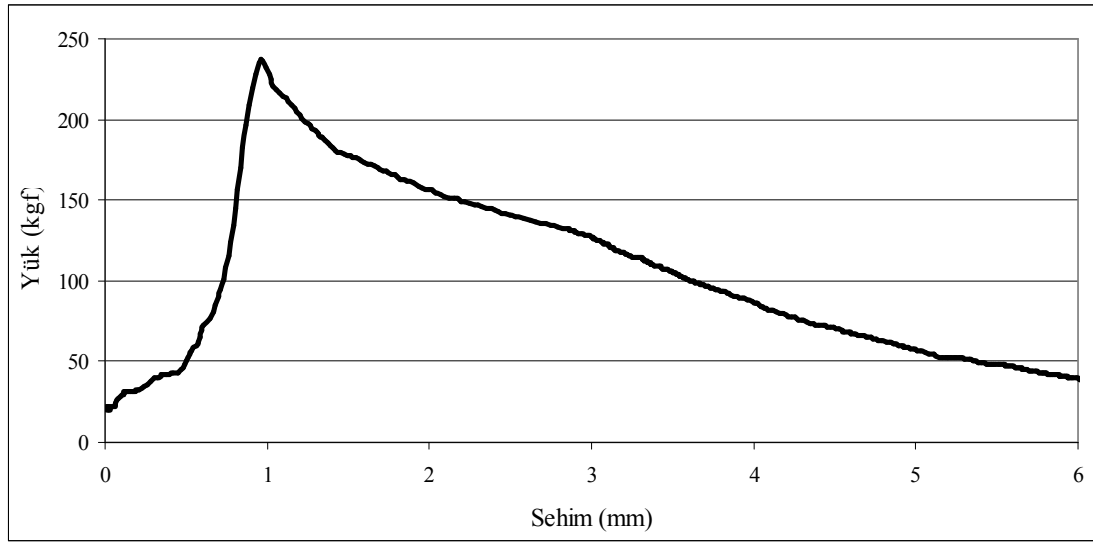
Şekil 4.24. Yüzde 1,5 polipropilen Lifli 1 nolu numuneye ait yük -sehim grafiği

Yüzde 1,5 polipropilen lif katkılı 2 nolu beton numune için yük–sehim grafiği Şekil 4.25’ de verilmiştir. Hacimce yüzde 1,5 polipropilen lif katkılı 2 nolu betonun eğilme deneyi incelendiğinde ilk çatlak değerinin 250 kgf olduğu görülmektedir. İlk çatlak değeri için sehim miktarı ise 0,76 mm dir. 2 nolu 1,5 polipropilen Lifli numunenin tokluk değeri 55360 J/m^2 olarak bulunmuştur.



Şekil 4.25. Yüzde 1,5 polipropilen Lifli 2 nolu numuneye ait yük -sehim grafiği

Yüzde 1,5 polipropilen lif katkılı 3 nolu beton numune için yük–sehim grafiği Şekil 4.26’ da verilmiştir. Hacimce yüzde 1,5 polipropilen lif katkılı 3 nolu betonun eğilme deneyi incelendiğinde ilk çatlak değerinin 237 kgf olduğu görülmektedir. İlk çatlak değeri için sehim miktarı ise 0,96 mm dir. 3 yüzde nolu 1,5 polipropilen Lifli numunenin tokluk değeri 74160 J/m^2 olarak bulunmuştur.

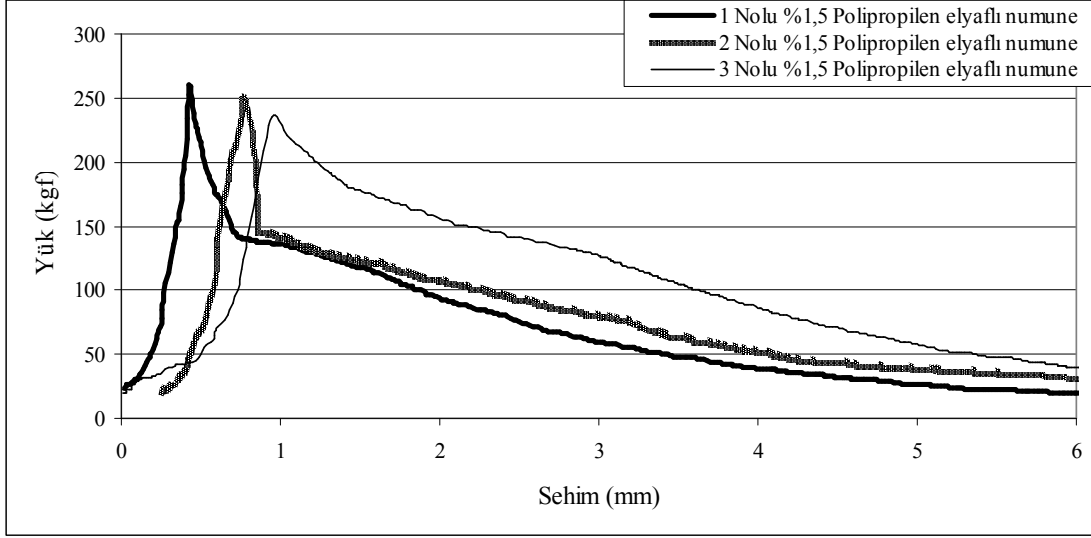


Şekil 4.26. Yüzde 1,5 polipropilen Lifli 3 nolu numuneye ait yük -sehim grafiği

Tablo 4.7. %1,5 Polipropilen lif katkılı numunelerin tokluk değerleri

Numuneler	Tokluk Değerleri
1 Nolu %1,5 Polipropilen lif	$G_f = 61360 \text{ Joule / m}^2$
2 Nolu %1,5 Polipropilen lif	$G_f = 60760 \text{ Joule / m}^2$
3 Nolu %1,5 Polipropilen lif	$G_f = 64160 \text{ Joule / m}^2$
Ortalama	$G_f = 62093,3 \text{ Joule / m}^2$

Yüzde 1,5 polipropilen lif katkılı beton numuneler tek olarak değerlendirildikten sonra toplam 3 adet yüzde 1,5 polipropilen lif katkılı numunelerin beraber ifade edildikleri grafik Şekil 4.27’ de verilmektedir.



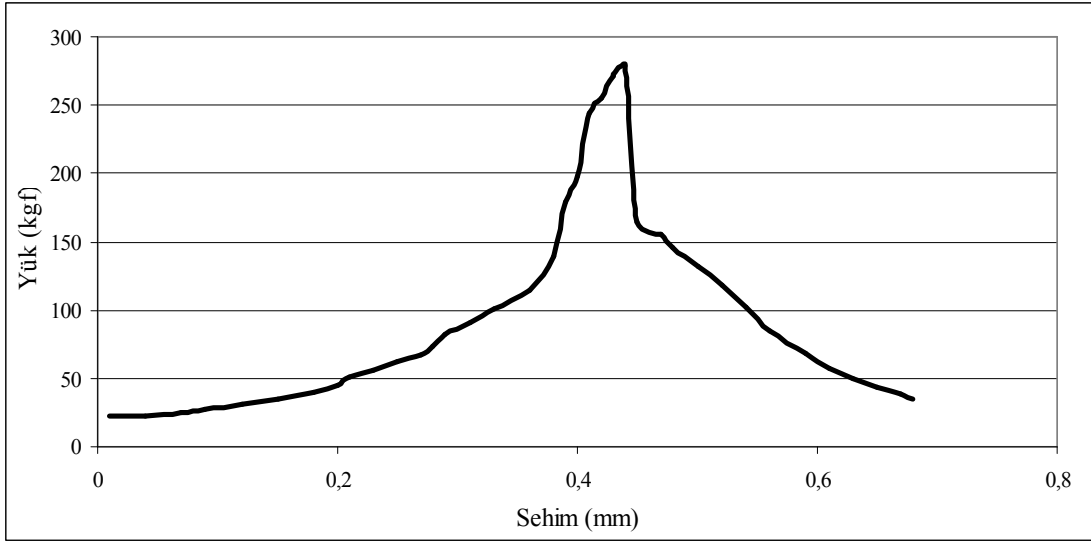
Şekil 4.27. Yüzde 1,5 polipropilen lif numunelere ait yük -sehim grafikleri

4.4. Cam Lifli Beton Numunelerin Eğilme Deneyleri

Yine aynı şekilde hazırlanan cam Lifli beton numuneler 2 farklı oranda cam lif katılarak hazırlanmıştır. Hacimce yüzde 0,5-1 oranında cam lif katılarak 3 er adet üretilmiştir. Her numune eğilme platformuna yerleştirildikten deneye tabi tutulmuş ve tam kırılma gerçekleşinceye kadar deney devam ettirilmiştir. Beton içersine lif katılım oranı baz alınarak deney sonuçları aşağıda verilmiştir.

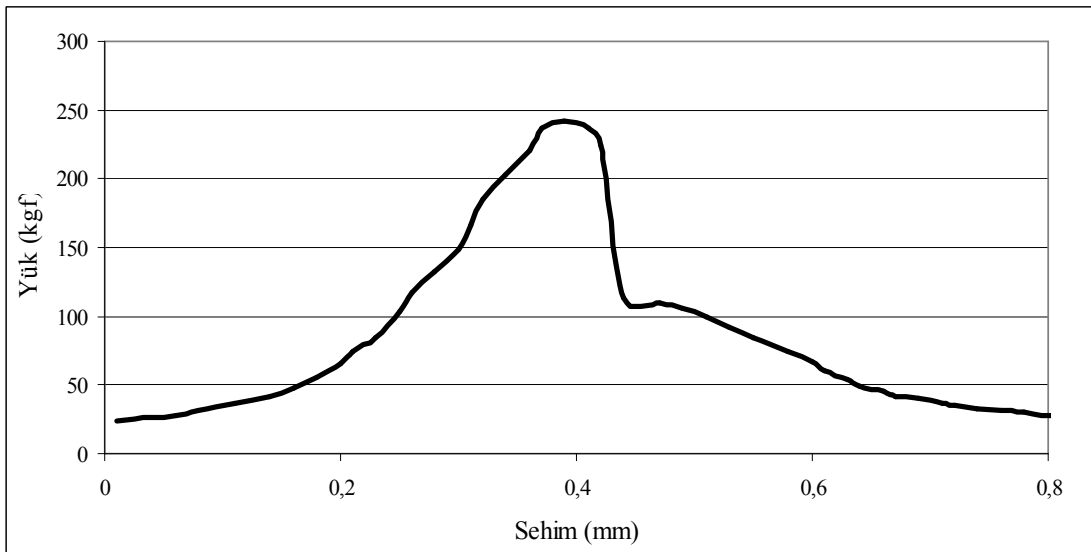
4.4.1. Yüzde 0,5 cam lif katkılı beton numunelerin eğilme deneyleri

Yüzde 0,5 cam lif katkılı 1 nolu beton numune için yük–sehim grafiği Şekil 4.28’ de verilmiştir. Hacimce yüzde 0,5 cam lif katkılı 1 nolu betonun eğilme deneyi incelendiğinde ilk çatlak değerinin 279 kgf olduğu görülmektedir. İlk çatlak değeri için sehim miktarı ise 0,44 mm dir. 1 nolu yüzde 0,5 cam Lifli numunenin tokluk değeri 6513 J/m² olarak bulunmuştur.



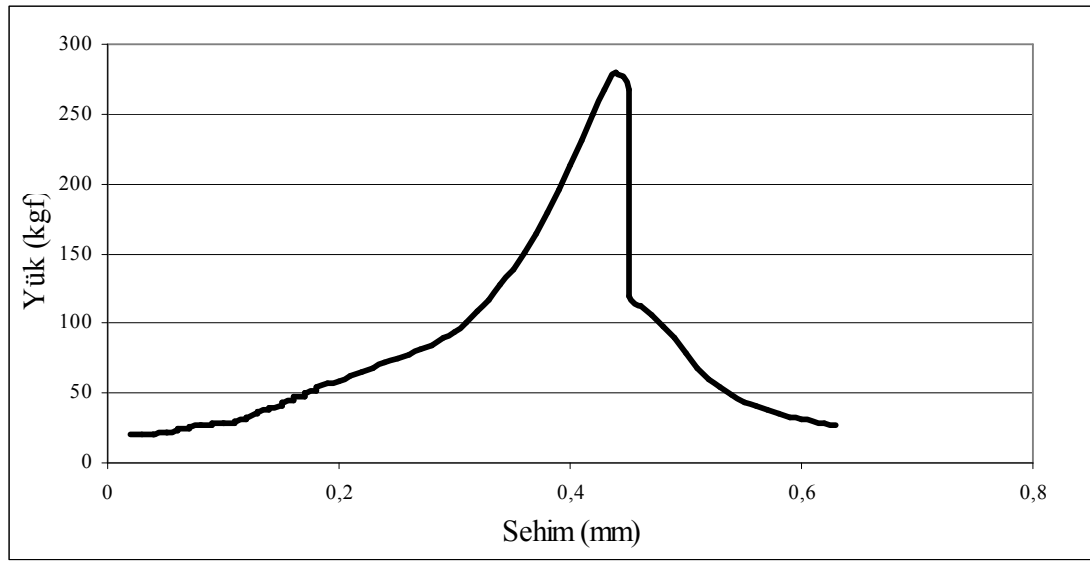
Şekil 4.28. Yüzde 0,5 cam lif 1 nolu numuneye ait yük-sehim grafiği

Yüzde 0,5 cam lif katkılı 2 nolu beton numune için yük–sehim grafiği Şekil 4.29’ da verilmiştir. Hacimce yüzde 0,5 cam lif katkılı 2 nolu betonun eğilme deneyi incelendiğinde ilk çatlak değerinin 242 kgf olduğu görülmektedir. İlk çatlak değeri için sehim miktarı ise 0,39 mm dir. 2 nolu yüzde 0,5 cam Lifli numunenin tokluk değeri 8672 J/m^2 olarak bulunmuştur.



Şekil 4.29. Yüzde 0,5 cam Lifli 2 nolu numuneye ait yük-sehim grafiği

Yüzde 0,5 cam lif katkılı 3 nolu beton numune için yük–sehim grafiği Şekil 4.30’ da verilmiştir. Hacimce yüzde 0,5 cam lif katkılı 3 nolu betonun eğilme deneyi incelendiğinde ilk çatlak değerinin 268 kgf olduğu görülmektedir. İlk çatlak değeri için sehim miktarı ise 0,45 mm dir. 3 nolu yüzde 0,5 cam Lifli numunenin tokluk değeri 8280 J/m² olarak bulunmuştur

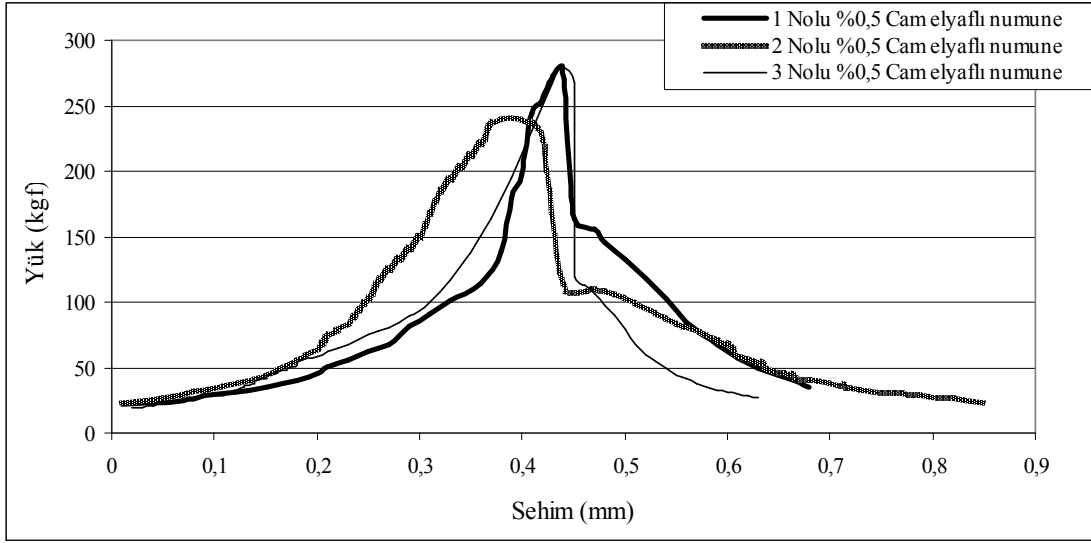


Şekil 4.30. Yüzde 0,5 cam Lifli 3 nolu numuneye ait yük-sehim grafiği

Yüzde 0,5 cam lif katkılı beton numuneler tek olarak değerlendirildikten sonra toplam 3 adet yüzde 0,5 cam lif katkılı numunelerin beraber ifade edildikleri grafik Şekil 4.31’ de verilmektedir.

Tablo 4.8. %0,5 Cam lif katkılı numunelerin tokluk değerleri

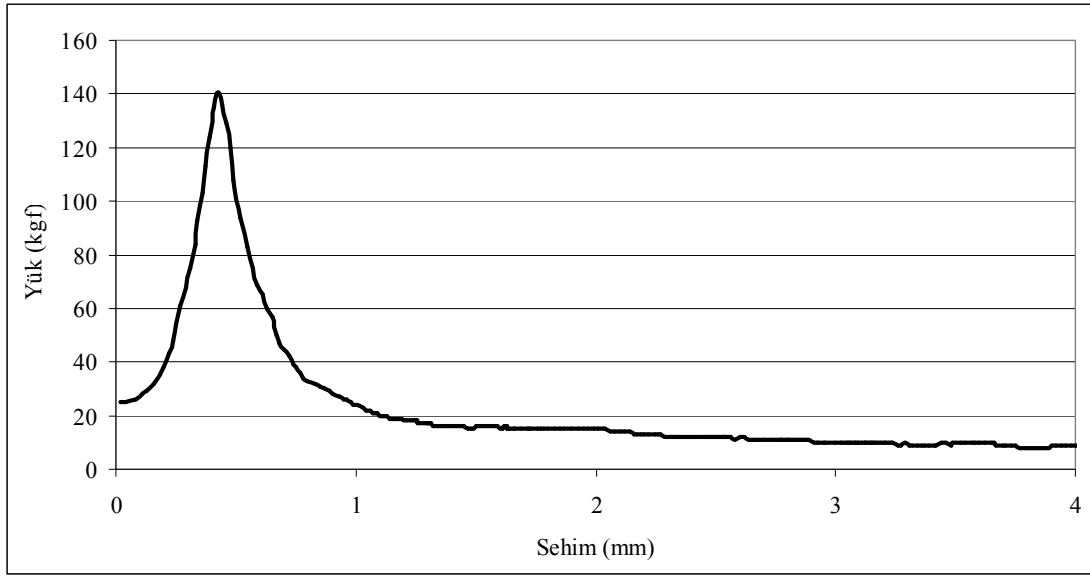
Numuneler	Tokluk Değerleri
1 Nolu %0,5 Cam lif	$G_f = 7513 \text{ Joule / m}^2$
2 Nolu %0,5 Cam lif	$G_f = 7872 \text{ Joule / m}^2$
3 Nolu %0,5 Cam lif	$G_f = 7380 \text{ Joule / m}^2$
Ortalama	$G_f = 7588,3 \text{ Joule / m}^2$



Şekil 4.31. Yüzde 0,5 cam lifli numunelere ait yük-sehim grafikleri

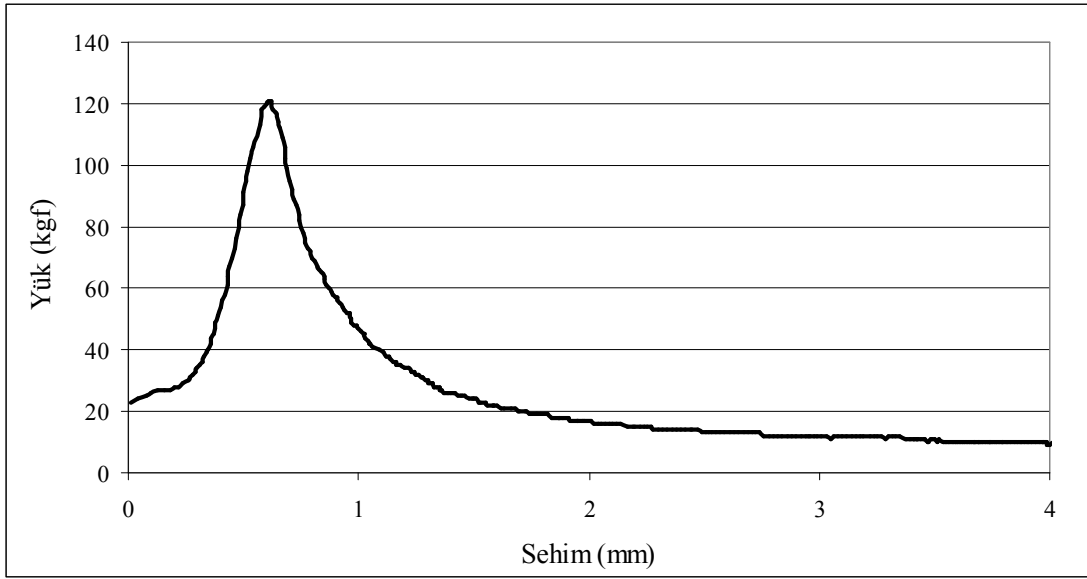
4.4.2. Yüzde 1 cam lif katkılı beton numunelerin eğilme deneyleri

Yüzde 1 cam lif katkılı 1 nolu beton numune için yük–sehim grafiği Şekil 4.32’ de verilmiştir. Hacimce yüzde 1 cam lif katkılı 1 nolu betonun eğilme deneyi incelendiğinde ilk çatlak değerinin 140 kgf olduğu görülmektedir. İlk çatlak değeri için sehim miktarı ise 0,43 mm dir. 1 nolu yüzde 1 cam Lifli numunenin tokluk değeri 12884 J/m^2 olarak bulunmuştur.



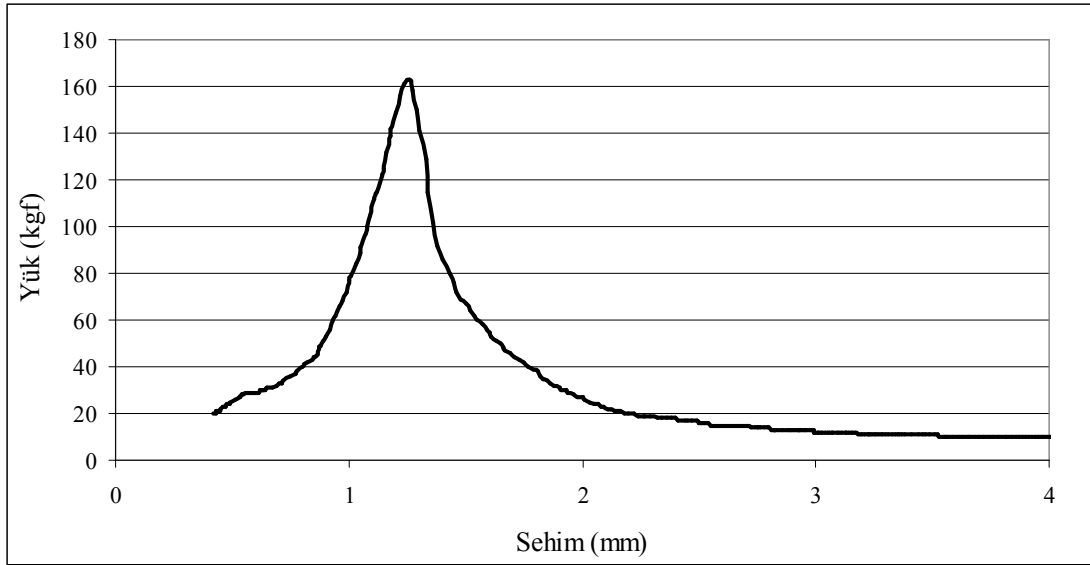
Şekil 4.32. Yüzde 1 cam lifli 1 nolu numuneye ait yük-sehim grafiği

Yüzde 1 cam lif katkılı 2 nolu beton numune için yük–sehim grafiği Şekil 4.33’ de verilmiştir. Hacimce yüzde 1 cam lif katkılı 2 nolu betonun eğilme deneyi incelendiğinde ilk çatlak değerinin 121 kgf olduğu görülmektedir. İlk çatlak değeri için sehim miktarı ise 0,61 mm dir. 2 nolu yüzde 1 cam lifli numunenin tokluk değeri 23560 J/m^2 olarak bulunmuştur.



Şekil 4.33. Yüzde 1 cam Lifli 2 nolu numuneye ait yük-sehim grafiği

Yüzde 1 cam lif katkılı 3 nolu beton numune için yük-sehim grafiği Şekil 4.34' de verilmiştir. Hacimce yüzde 1 cam lif katkılı 3 nolu betonun eğilme deneyi incelendiğinde ilk çatlak değerinin 163 kgf olduğu görülmektedir. İlk çatlak değeri için sehim miktarı ise 0,86 mm dir. 3 nolu yüzde 1 cam lifli numunenin tokluk değeri 20080 J/m² olarak bulunmuştur.

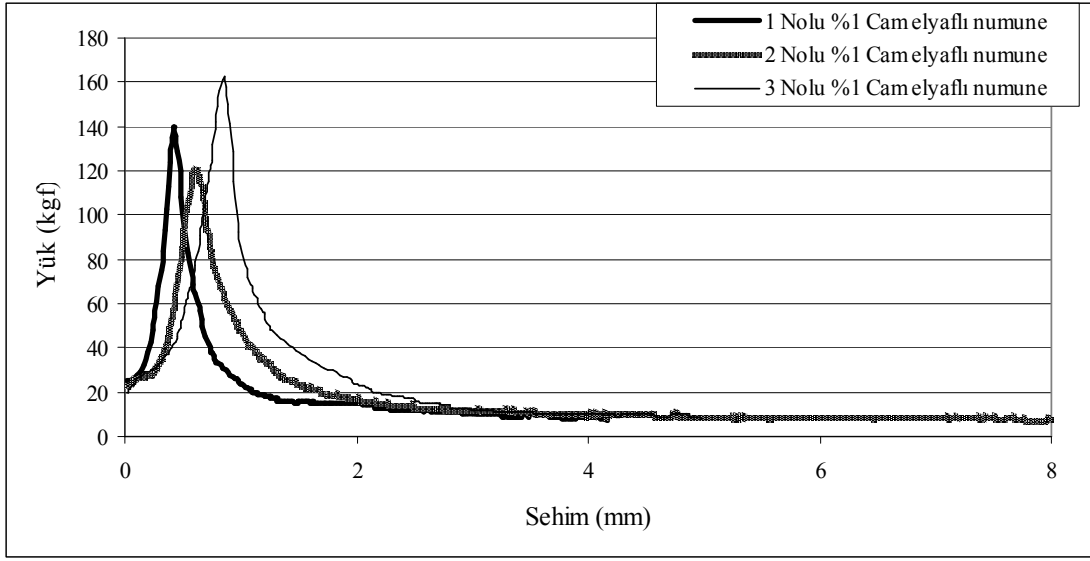


Şekil 4.34. Yüzde 1 cam Lifli 3 nolu numuneye ait yük-sehim grafiği

Tablo 4.9. %1 Cam lif katkılı numunelerin tokluk değerleri

Numuneler	Tokluk Değerleri
1 Nolu %1Cam lif	$G_f = 15884 \text{ Joule / m}^2$
2 Nolu %1 Cam lif	$G_f = 17560 \text{ Joule / m}^2$
3 Nolu %1 Cam lif	$G_f = 15080 \text{ Joule / m}^2$
Ortalama	$G_f = 16174,7 \text{ Joule / m}^2$

Yüzde 1 cam lif katkılı beton numuneler tek olarak değerlendirildikten sonra toplam 3 adet yüzde 1 cam lif katkılı numunelerin beraber ifade edildikleri grafik Şekil 4.35' de verilmektedir.



Şekil 4.35. Yüzde 1 cam Lifli numunelere ait yük-sehim grafikleri

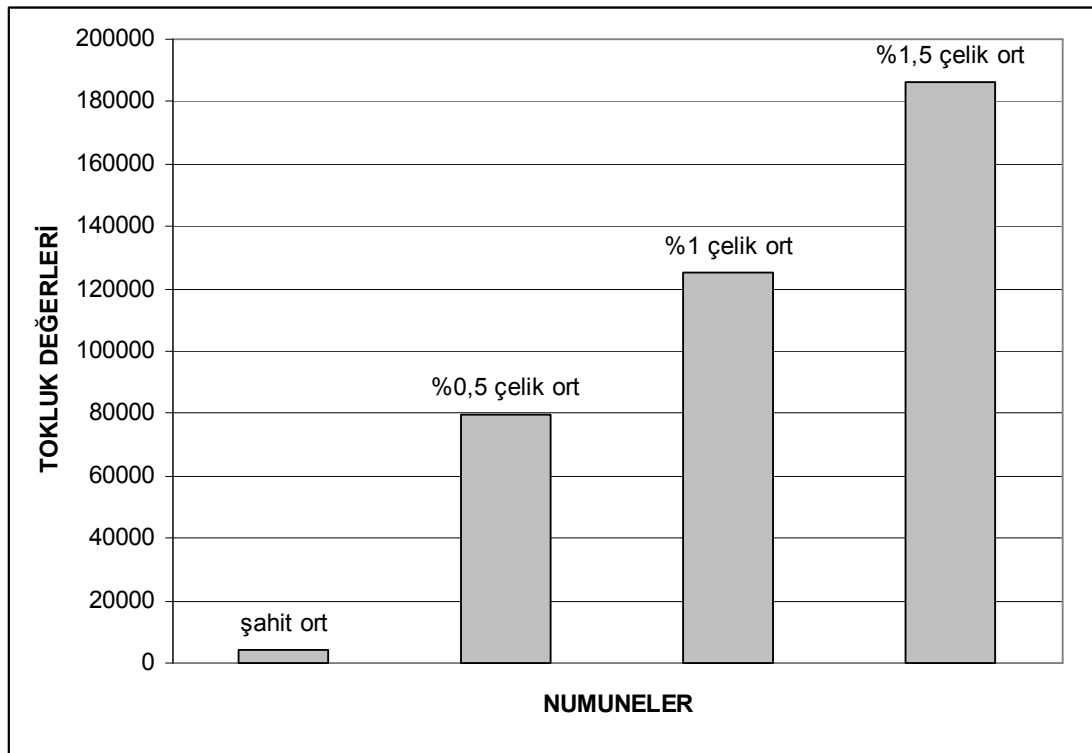
4.5. Lif Türüne Göre Eğilme Grafiklerinin Karşılaştırılması

Lif tip ve sayılarına göre hazırlanan numunelerden sonra şahit numune ortalamaları baz alınarak lif çeşitlerine göre karşılaştırmalar yapılmıştır.

- Şahit numune ortalamaları ile Çelik lifli beton numunelerin yüzde 0,5-1-1,5 oranlarındaki numunelerin ortalamaları,
- Şahit numune ortalamaları ile polipropilen lifli beton numunelerin yüzde 0,5-1-1,5 oranlarındaki numunelerin ortalamaları
- Şahit numune ortalamaları ile cam lifli beton numunelerin yüzde 0,5-1 oranlarındaki numunelerin ortalamaları, karşılaştırılmıştır.

Toplam 3 adet olan şahit numune grafikleri tek grafiğe indirgenerek yine tek grafik olarak ifade edilen %0,5 - %1 - %1,5 Çelik lif katkılı numunelerle kıyaslanmıştır (Şekil 4.36). Şekil incelendiğinde şahit numune ortalamalarının diğer tüm Çelik lifli numune ortalamalarına oranla tokluk kapasitesinin düşük olduğu anlaşılmaktadır.

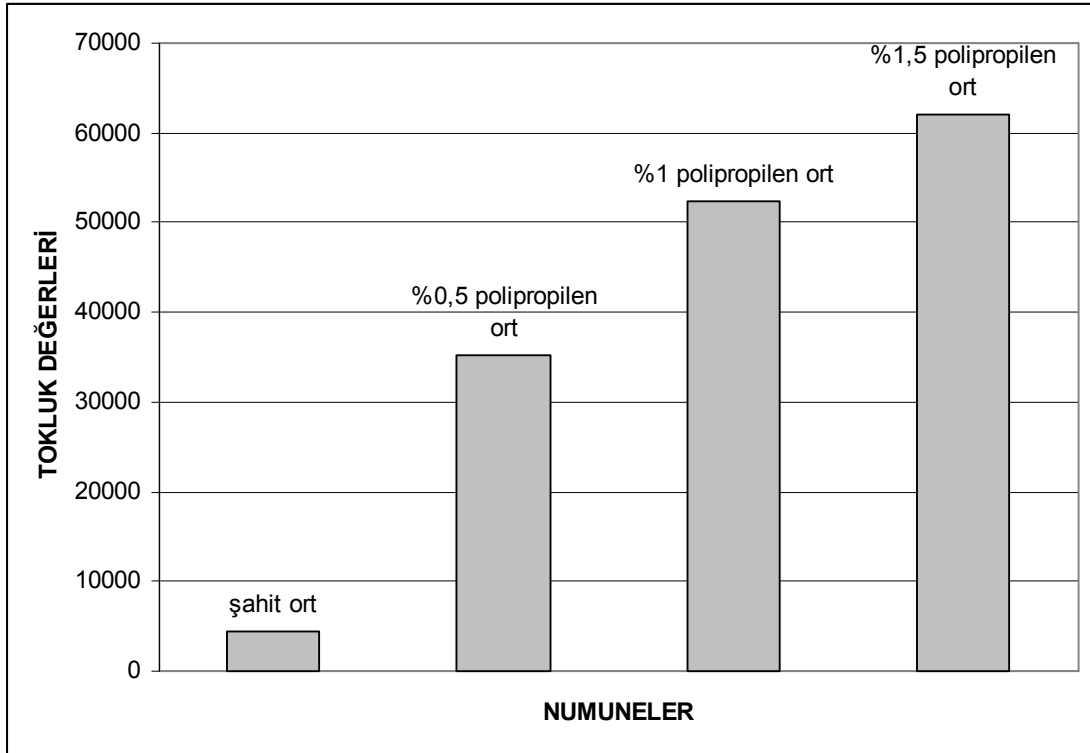
Çelik lifli numuneler kendi aralarında kıyaslandıklarında ise en yüksek enerji yutma kapasitesinin yüzde 1,5 çelik lif katılan numunelerde daha sonra sırasıyla yüzde 1 ve 0,5 olduğu grafikten anlaşılmaktadır.



Şekil 4.36. Şahit-Çelik lifli numune ortalama tokluk değeri grafiklerinin karşılaştırılması

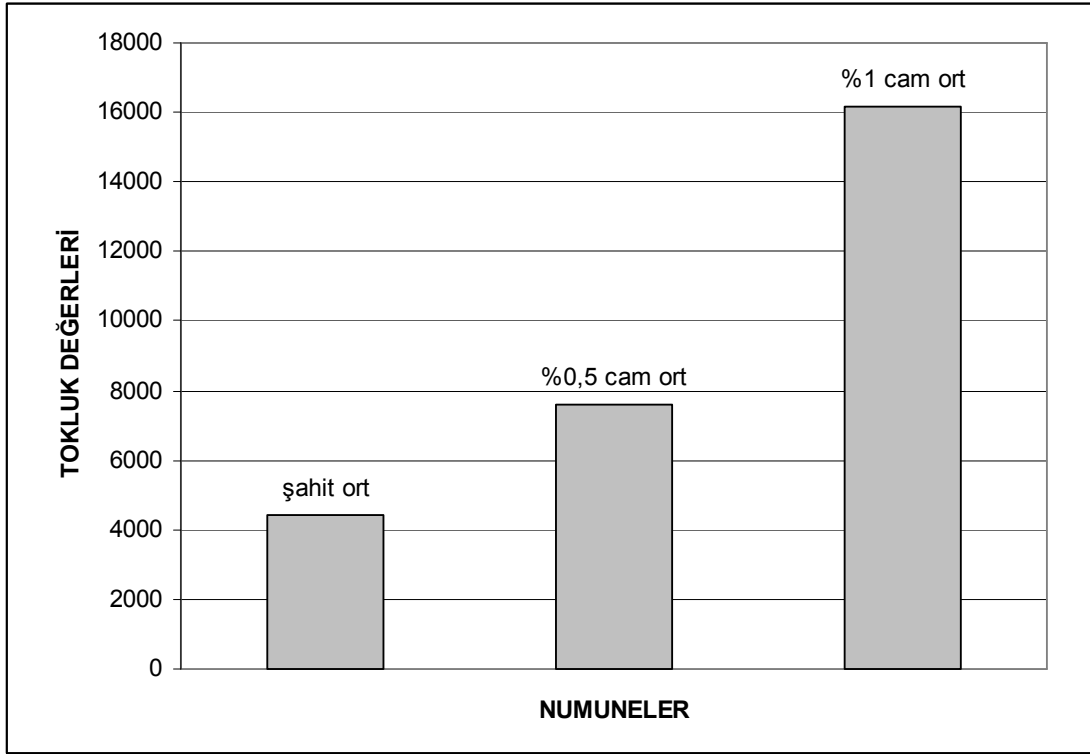
Aynı şekilde şahit numune ortalamaları ile polipropilen lifli numune ortalamaları kıyaslandığında ise Şekil 4.37' de ifade edilen şekil ortaya çıkmaktadır. Belirli oranlarda polipropilen lif katılmış numunelerin şahit numunelerden daha fazla tokluk değerine sahip olduğu anlaşılmaktadır.

Polipropilen lifli numuneler kendi aralarında kıyaslandıklarında ise en yüksek enerji yutma kapasitesinin yüzde 1,5 polipropilen lif katılan numunelerde daha sonra sırasıyla yüzde 1 ve 0,5 olduğu grafikten anlaşılmaktadır.



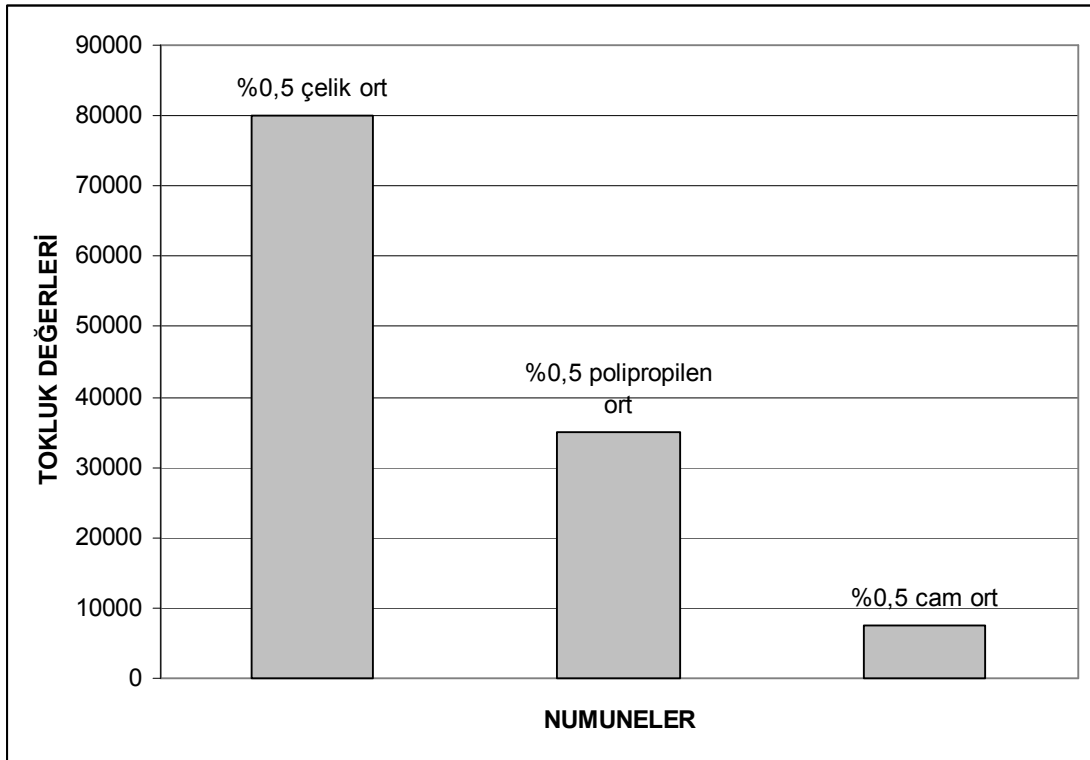
Şekil 4.37. Şahit-Polipropilen lifli numune ortalama tokluk değeri grafiklerinin karşılaştırılması

Şahit numune ortalamaları ile cam lifli numune ortalamaları da karşılaştırılmıştır (Şekil 4.38). Grafik incelendiğinde şahit numuneye ait tokluk değerinin, %0,5 ve %1 Cam lif katkı numunelere oranla, düşük olduğu gözlenmektedir.



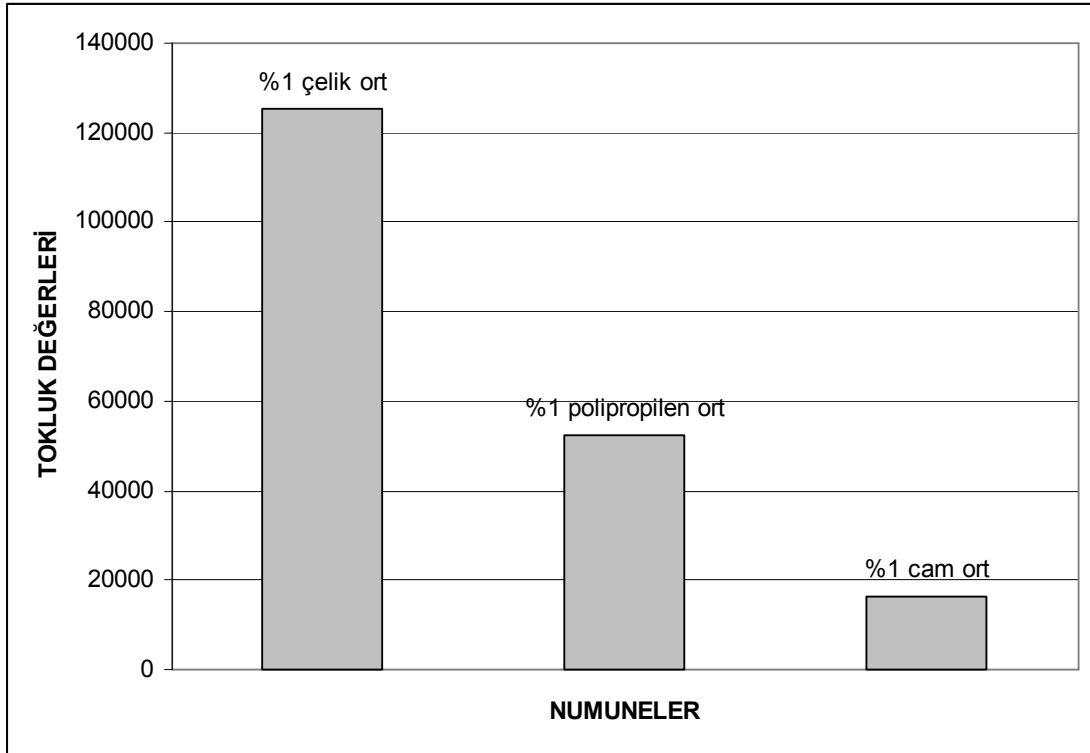
Şekil 4.38. Şahit- Cam lifli numune ortalama tokluk değeri grafiklerinin karşılaştırılması

Ayrıca lif olarak, hacimce yüzde oranı aynı numune grafikleri de karşılaştırılmıştır. Şekil 4.39' da görülen yüzde 0,5 lif oranına sahip numunelerin karşılaştırılmasında çelik lifli beton numunenin en fazla enerji yutma kapasitesine sahip olduğu görülmektedir. Lif türü açısından diğerlerine göre en az enerji yutma kapasitesine sahip lif cam lif olarak görülmektedir.



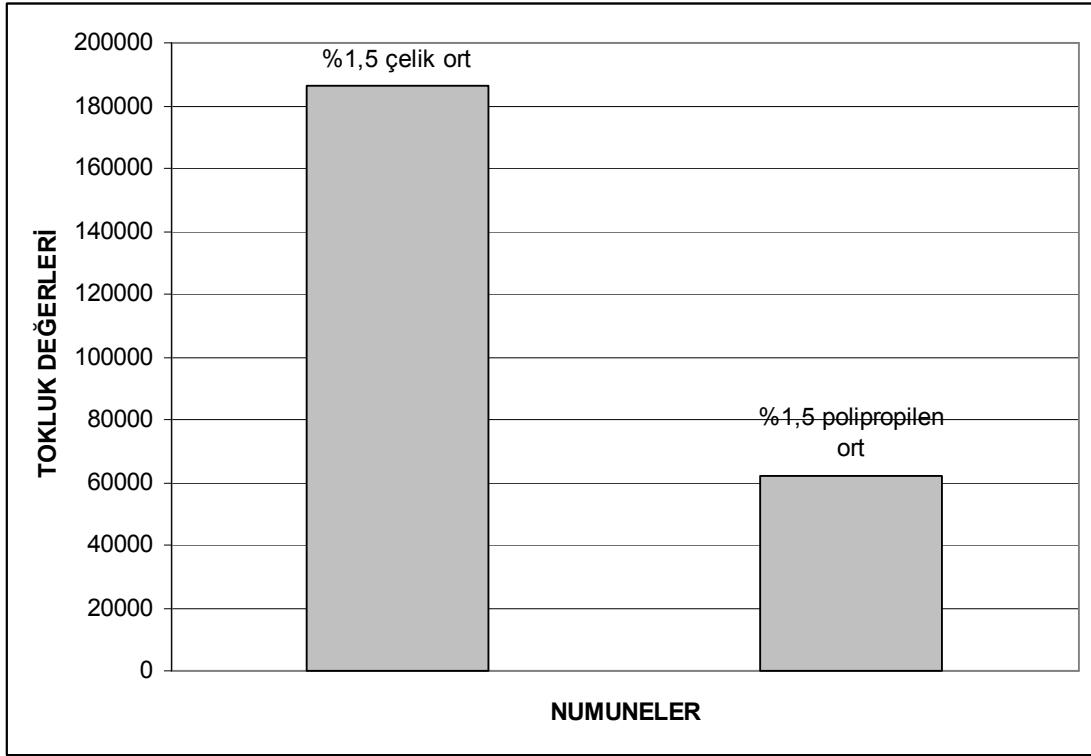
Şekil 4.39. Yüzde 0,5 lif oranına göre ortalama tokluk değeri grafiklerinin karşılaştırılması

Şekil 4.40' da görülen yüzde 1 lif oranına sahip numunelerin karşılaştırılmasında çelik lifli beton numunenin çok belirgin biçimde enerji yutma kapasitesine sahip olduğu görülmektedir. Lif türü açısından diğerlerine göre en az enerji yutma kapasitesine sahip lif cam lif olarak görülmektedir.



Şekil 4.40. Yüzde 1 lif oranına göre ortalama tokluk değeri grafiklerinin karşılaştırılması

Yüzde 1,5 lif oranına sahip numunelerin karşılaştırılmasında çelik lifli ve polipropilen lifli numuneler Şekil 4.41’ de görülmektedir. Çelik lifli beton numune polipropilen lifli numuneye göre daha fazla enerji yutma kapasitesine sahiptir.



Şekil 4.41. Yüzde1,5 lif oranına göre ortalama tokluk değeri grafiklerinin karşılaştırılması

BÖLÜM 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Laboratuarda hazırlanan numunelerin eğilme deney sonuçları incelenmiş ve grafik olarak ifade edilmiştir. Grafikler incelendiğinde beton içersine çeşitli oranlarda katılan Liflerin enerji yutma kapasitesini artırdığı ve süneklilik kazandırdığı tespit edilmiştir. Şahit numuneler hazırlanarak lif çeşit ve oranlarına göre kıyaslama yapılmıştır. Şahit numuneye göre tüm Lifli numunelerin enerji yutma kapasitesinde artış gözlenmiştir.

Lif türüne göre tüm hacimce lif katılım oranlarında (yüzde 0,5-1-1,5) çelik lifli beton numunelerin daha fazla enerji yutma kapasitesine sahip olduğu belirlenmiştir. Çelik lifli numunelerden sonra polipropilen Lifli numunelerin cam Lifli numunelere göre daha fazla tokluk değerine sahip olduğu da yapılan çalışmanın diğer bir sonucudur.

Çalışmalar neticesinde elde edilen sonuçları şu şekilde özetlemek mümkündür;

1- Elde edilen Şahit numunelerle %0,5 lif katkılı numunelerin tokluk değerleri karşılaştırıldığında, çelik lifli numuneler, şahit numunelerden yaklaşık olarak 18 kat, polipropilen Lifli numunelerden yaklaşık 2 kat ve cam Lifli numunelerden yaklaşık 11 kat daha fazla enerjiyi absorbe etmektedir. Polipropilen lif katkılı numuneler incelendiğinde ise, şahit numunelerden yaklaşık 8 kat, cam lif katkılı numunelerden ise 5 kat daha fazla enerji absorbe ederken, cam lif katkılı numuneler ise şahit numunelerden yaklaşık 2 kat daha fazla enerji absorbe etmektedir.

2- Yine şahit numunelerle %1 lif katkılı numunelerin tokluk değerleri karşılaştırıldığında, çelik lifli numuneler, şahit numunelerden yaklaşık olarak 29 kat, polipropilen Lifli numunelerden yaklaşık 2,5 kat ve cam lifli numunelerden yaklaşık 8 kat daha fazla enerjiyi absorbe etmektedir. Polipropilen lif katkılı numuneler

incelendiğinde ise, şahit numunelerden yaklaşık 12 kat, cam lif katkılı numunelerden ise 3 kat daha fazla enerji absorbe ederken, cam lif katkılı numuneler ise şahit numunelerden yaklaşık 4 kat daha fazla enerji absorbe etmektedir.

3- Son olarak şahit numunelerle %1,5 lif katkılı numuneler karşılaştırıldığında, çelik lifli numuneler, şahit numunelerden yaklaşık olarak 42 kat, polipropilen Lifli numunelerden yaklaşık 3 kat polipropilen lif katkılı numuneler incelendiğinde ise, şahit numunelerden yaklaşık 14 kat daha fazla enerji absorbe etmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] GÜNER, M, Yapı Malzemesi ve Beton, sf.1, 1999
- [2] TS 10513, Beton Takviyesinde Kullanılan Çelik Lifler, 1. Baskı, 1992
- [3] ASTM, Amerika Deney ve Malzeme Cemiyeti,
- [4] ACI, Amerika Beton Enstitüsü
- [5] TS 707, Beton Agregalarından Numune Lama ve Deney Numunesi Hazırlama Yöntemi,
- [6] TS 10514, Beton – Çelik Lif Takviyeli – Çelik Lifleri Betona Karıştırma ve Kontrol Kuralları, 1. Baskı, 1992,
- [7] TS 2756, Muayene ve Deney İçin Numune Alma Metotları, 1 Baskı, 1995
- [8] TS 802, Beton Karışım Hesap Esasları, 1. Baskı, 1985
- [9] TS 10515, Beton – Çelik Lif Takviyeli – Eğilme Mukavemeti Deney Metodu, 1. Baskı, 1992
- [10] ÖZALP, F, Ultra Yüksek Performanslı Betonların Mekanik Davranışı, Yüksek Lisans Tezi, 2006

ÖZGEÇMİŞ

1978 yılında Akçaabat' ta doğdu. İlköğrenimini Trabzon'da, orta öğrenimini İstanbul'da bitirdi. 1995 yılında girdiği ÖSS sınavı sonucunda Çanakkale 18 Mart Üniversitesi. ÇMYO İnşaat Bölümünde okumaya hak kazandı ve 1997 yılı sonunda bu bölümden mezun oldu. 1998 yılında Sakarya Üniversitesi TEF Yapı Öğretmenliği Bölümünü kazandı ve bu bölümü 2002 yılında bitirdi. Şu anda, Orient Research isimli inşaat şirketinde teknik eleman olarak çalışmaktadır.