

**T.C.  
YOZGAT BOZOK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Yüksek Lisans Tezi**

**LİF KATKILI ÇİMENTO ESASLI  
KOMPOZİTLERDE LİF SIYRILMA DAVRANIŞININ  
İNCELENMESİ**

**Ali Çağrı ÇAĞLAR**

**Tez Danışmanı**

**Dr. Öğr. Üyesi Yuşa ŞAHİN**

**Yozgat 2019**



**T.C.  
YOZGAT BOZOK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Yüksek Lisans Tezi**

**LİF KATKILI ÇİMENTO ESASLI  
KOMPOZİTLERDE LİF SIYRILMA DAVRANIŞININ  
İNCELENMESİ**

**Ali Çağrı ÇAĞLAR**

**Tez Danışmanı  
Dr. Öğr. Üyesi Yuşa ŞAHİN**

**Bu çalışma, Yozgat Bozok Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi  
tarafından 6601-FBE/18-233 kodu ile desteklenmiştir.**

**Yozgat 2019**



YOZGAT BOZOK ÜNİVERSİTESİ

TEZ ONAY FORMU

T.C.  
YOZGAT BOZOK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

Enstitümüzün İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Tezli Yüksek Lisans Programı 70110715001 numaralı öğrencisi Ali Çağrı ÇAĞLAR'ın hazırladığı "Lif Katkılı Çimento Esaslı Kompozitlerde Lif Sıyrılma Davranışının İncelenmesi" başlıklı tezi ile ilgili tez savunma sınavı, Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin ilgili maddeleri gereğince 08/11/2019 Cuma günü saat 10:30'da yapılmış, tezin onayına oy birliği ile karar verilmiştir.

**Başkan** : Prof. Dr. Yüksel TAŞDEMİR

**Jüri Üyesi** : Dr. Öğr. Üyesi Özgür EKİNCİOĞLU

**Jüri Üyesi** : Dr. Öğr. Üyesi Yuşa ŞAHİN  
(Danışman)

**ONAY:**

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulu'nun 05.../12.../19 tarih ve 56. sayılı Enstitü Yönetim Kurulu Kararı ile onaylanmıştır.

05.../12.../2019

Prof. Dr. Mustafa SAÇMACI  
Müdür



KYT-FRM-110/00

# İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET .....	iii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR .....	v
TABLolar LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ.....	x
1. GİRİŞ .....	1
2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI .....	4
2.1. Lif Katkılı Çimento Esaslı Kompozitlerin Tarihçesi .....	5
2.2. Çimentolu Esaslı Kompozitlerde Kullanılan Lif Tipleri.....	6
2.3. Lif Sıyırılma Davranışı.....	7
2.4. Lif Sıyırılma Davranışını Etkileyen Faktörler .....	8
2.4.1. Karışım Bileşenleri ve Oranlarının Etkisi .....	9
2.4.2. Lif Türü ve Tipinin Etkisi .....	11
2.4.3. Lif Geometrisinin Etkisi.....	15
2.4.4. Lif Gömme Boyunun Etkisi .....	19
2.4.5. Lif Yerleştirme Açısının Etkisi .....	20
2.4.6. Yükleme Hızı Etkisi .....	21
2.5. Lif Sıyırılması Deney Metodu.....	22
3. DENEYSEL ÇALIŞMA .....	31
3.1. Kullanılan Malzemeler.....	31
3.1.1. Çimento .....	31
3.1.2. Agrega .....	32
3.1.3. Kimyasal Katkı.....	33
3.1.4. Lifler.....	33
3.2. Harç Karışımları.....	36
3.3. Numune Üretimi.....	37
3.4. Sıyırılma (Pull-out) Deneyi .....	41
3.5. Deney Sonuçları .....	46
3.5.1. Taze Harç Deney Sonuçları .....	46
3.5.2. Sertleşmiş Harç Deney Sonuçları.....	47

3.5.3. Sıyırma Deneyi Sonuçları .....	48
<b>4. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ .....</b>	<b>50</b>
4.1. Taze Harç Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi .....	50
4.2. Sertleşmiş Harç Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	51
4.3. Sıyırma Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi .....	52
4.3.1. Lif Özelliklerinin Etkisi .....	53
4.3.1.1. Lif narinliğinin etkisi.....	53
4.3.1.2. Kancalı uç etkisi.....	54
4.3.1.3. Kanca boyu etkisi .....	55
4.3.1.4. Lif dayanımı etkisi .....	57
4.3.1.5. Lif türü etkisi.....	58
4.3.2. Matris Özellikleri ve Deney Parametrelerinin Etkisi .....	61
4.3.2.1. Matris dayanımının etkisi.....	61
4.3.2.2. Matris bileşimi etkisi.....	62
4.3.2.3. Numune boyutu etkisi .....	65
4.3.2.4. Gömme boyu etkisi .....	66
4.4. Sıyırma Davranışının Yük Sıyırma Grafikleri ile Analizi .....	67
4.4.1. Lif Narinliğinin Etkisi .....	67
4.4.2. Kancalı Uç Etkisi .....	68
4.4.3. Kanca Boyu Etkisi.....	69
4.4.4. Lif dayanımı etkisi .....	70
4.4.5. Lif türü etkisi.....	71
4.4.6. Matris Dayanımının etkisi.....	73
4.4.7. Matris Bileşiminin etkisi .....	75
4.4.8. Numune boyutu etkisi .....	80
4.4.9. Gömme boyu etkisi .....	82
4.5. Sıyırma Davranışının Kesit Fotoğrafları ile Analizi .....	84
<b>5. SONUÇLAR .....</b>	<b>87</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>91</b>
<b>EKLER .....</b>	<b>97</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>158</b>

# LİF KATKILI ÇİMENTO ESASLI KOMPOZİTLERDE LİF SIYRILMA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Ali Çağrı ÇAĞLAR

Yozgat Bozok Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı  
Yüksek Lisans Tezi

2019; Sayfa: 158

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Yuşa ŞAHİN

## ÖZET

Çimentonun bağlayıcı malzeme olarak kullanıldığı harç, beton vb. malzemeler gevrek malzemelerdir. Çimento esaslı malzemelerin sünekliğini artırmak amacıyla karışımlara farklı tip ve miktarlarda çelik, plastik, cam vb. esaslı kısa kesilmiş lifler katılmaktadır. Liflerin bu malzemelere sağladığı süneklik, tokluk ve dayanım artışları, liflerin çimento esaslı matristen sıyırılma davranışı ile ilişkilidir.

Tez kapsamında deneysel bir çalışma yürütülmüştür. Çimento esaslı harçlara lifler gömülerek numuneler hazırlanmış ve bu numunelerden lifler çekip çıkarılarak sıyırılma davranışları incelenmiştir. Sıyırılma davranışı üzerine lif özelliklerinin, matris özelliklerinin ve deney parametrelerinin etkileri araştırılmıştır. Çalışma kapsamında, farklı özelliklere ve geometrilere sahip çelik ve plastik lifler kullanılarak lif narinliği, kanca ucu, kanca boyu, lif dayanımı ve lif türünün etkileri, 3 farklı agrega (Doğal kum, kırma kum, pomza) türü, 5 farklı çimento/kum oranı ve 4 farklı S/Ç oranı (0,3 – 0,4 – 0,5 – 0,7)'da hazırlanan harçlarla matris dayanımı ve matris bileşiminin etkileri ve 2 farklı gömme boyu (20 mm, 30 mm) ve 2 farklı numune boyutu (4x4x4 cm, 5x5x5 cm) ile deney parametrelerinin sıyırılma davranışı üzerine etkileri araştırılmıştır. Sıyırma (pull-out) deneyi sonucu elde edilen yük-sıyırılma eğrilerinden tepe yükü ve eğri altında kalan alan değerlerine göre liflerin sıyırılma performansları belirlenerek, sıyırılma davranışı üzerinde etkili parametreler ve etki yüzdeleri ortaya konmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Çimento, Lif, Sıyırılma, Kanca Ucu, Sıyırılma Enerjisi.

# INVESTIGATION OF PULL-OUT BEHAVIOR OF FIBER IN FIBER REINFORCED CEMENT BASED COMPOSITES

Ali Çağrı ÇAĞLAR

Yozgat Bozok University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Civil Engineering  
Master of Science Thesis

2019; Page: 158

Thesis Supervisor: Assist. Prof. Dr. Yuşa şAHİN

## ABSTRACT

Paste, mortar, concrete etc. where cement is used as binder, are brittle materials. In order to increase the ductility of cement-based materials, different types and quantities of steel, plastic, glass, etc. based short-cut fibers are added in to the mixture. The ductility, toughness and strength increases provided by the fibers to these materials are related to the pull-out behavior of the fibers from the cement-based matrix.

An experimental study was conducted within the scope of the thesis. Samples were prepared by embedding fibers into cement-based mortars and pull-out behavior was examined by pulling fibers out of these samples. The effects of fiber properties and matrix properties on pull-out behavior were investigated using 10 different fibers, 3 different aggregates at 3 different cement/aggregates and 4 different water/cement ratios. Additionally, effect of the test parameters was investigated using different embedding length (20 mm, 30 mm) and different specimen sizes (4x4x4 cm, 5x5x5 cm). The pull-out performance of the fibers was determined according to the peak load and the area under the load vs pull-out curve, and the effective parameters on the pull-out behavior were revealed.

**Keywords:** Cement, Fiber, Pull-out, Hooked-end, Pull-Out Energy.



## TEŞEKKÜR

Çalışmalarım süresince öncelikli olarak; bilgi ve tecrübesi ile bana her konuda yardımcı olan çok değerli hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Yuşa ŞAHİN'e en içten teşekkürlerimi sunmak isterim.

Yüksek lisans eğitimim süresi boyunca bana yakın ilgi gösteren ve rahat bir ortamda çalışmalarımı sürdürmemi sağlayan Yozgat Bozok Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde görev yapan değerli hocalarıma, deneysel çalışmalarım sırasında yardımcı olan değerli dostum Yunus GÜNDÜZ'e teşekkür ederim.

Hayatta desteklerini benden hiç esirgemeyen sevgili babam Erdoğan ÇAĞLAR' a, sevgili annem Sevim ÇAĞLAR'a, sevgili eşim Őeyma ÇAĞLAR'a, varlığı ile hayatımı anlamlandıran biricik kızım Elif Eylül ÇAĞLAR'a ve tüm çalışma sürecim boyunca çalışmama yardımları dokunan herkese teşekkür ederim.

## TABLULAR LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
<b>Tablo 3.1.</b> Çimento Özellikleri.....	32
<b>Tablo 3.2.</b> Agrega Özellikleri.....	32
<b>Tablo 3.3.</b> Liflerin Özellikleri.....	34
<b>Tablo 3.4.</b> Liflerin Çizimleri ve Fotoğrafları.....	34
<b>Tablo 3.7.</b> Harç Karışımları ve Bileşen Miktarları (kg/m <sup>3</sup> ).....	37
<b>Tablo 3.8.</b> Taze Harç Deney Sonuçları .....	46
<b>Tablo 3.9.</b> Prizmatik (40x40x160 mm) Harç Deney Sonuçları.....	48
<b>Tablo 3.10.</b> Sıyırma Deneyi Sonuçları .....	49
<b>Ek A.2.</b> Liflere Ait Çekme Deneyi Sonuçları.....	101

## ŞEKİLLER LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 2.1. Çelik Tellerin Profilleri ve Kesitleri [32] .....	14
Şekil 2.2. Yük-Sehim Eğrisine Değişik Çelik Tel Tiplerinin Etkisi [34] .....	15
Şekil 2.3. Lif Çekme Numunesi ve Kesit Görünüşü [59] .....	23
Şekil 2.4. Sıyırılma Deneyi Kurulumu [59] .....	24
Şekil 2.5. Numune Hazırlanışı, Boyutları ve Sıyırılma Deney Aparatı [60] .....	25
Şekil 2.6. Çekip-Çıkarma Deneyinde Kullanılan Aparat [61] .....	26
Şekil 2.7. Çekip-Çıkarma Deney Düzeneği [62] .....	27
Şekil 2.8. Çekip-Çıkarma Deney Düzeneği [63] .....	27
Şekil 2.9. Çekip-Çıkarma Deneyinin Şematik Diyagramı [64] .....	28
Şekil 3.1. Agrega Karışımına Ait Granülometri Eğrisi .....	33
Şekil 3.2. Ahşap Ayırıcı Aparat .....	38
Şekil 3.3. Ahşap Kalıp Başlığı Üstten Görünüş .....	38
Şekil 3.4. Ahşap Kalıp Başlığı Yandan Görünüş .....	39
Şekil 3.5. Liflerin Silikon ile Sabitlenmesi .....	40
Şekil 3.6. Liflerin Vibrasyon Sonrası Görüntüleri .....	40
Şekil 3.7. Sıyırma Deney Düzeneği (Ön Görünüş) .....	41
Şekil 3.8. Sıyırma Deney Düzeneği (Sol Yan Görünüş) .....	42
Şekil 3.9. Sıyırma Deney Düzeneği (3D) .....	43
Şekil 3.10. Deney Düzeneği .....	44
Şekil 3.11. Sıyırılma Miktarının Bilgisayardan Takibi .....	45
Şekil 3.12. Yayılma Tablası Deney Düzeneği .....	46
Şekil 3.13. Eğilme Dayanımı Deneyi Düzeneği .....	47
Şekil 3.14. Prizmatik Harç Basınç Dayanımı Deney Düzeneği .....	47
Şekil 4.1. Yayılma Tablası Deney Sonuçları .....	50
Şekil 4.2. Basınç ve Eğilme Dayanımı Değerleri .....	51
Şekil 4.3. Narinlik Etkisi .....	53
Şekil 4.4. Kanca Etkisi .....	54
Şekil 4.5. Kanca Boyu Etkisi .....	56

Şekil 4.6. Lif Dayanımı Etkisi .....	57
Şekil 4.7. Lif Türü Etkisi .....	58
Şekil 4.8. Plastik liflerin Etkisi .....	60
Şekil 4.9. S/Ç Oranı Tepe Yüğü İlişkisi .....	61
Şekil 4.10. S/Ç Oranı Eğri Altında Kalan Alan İlişkisi .....	62
Şekil 4.11. Doğal Kum İçeren Karışımlar .....	63
Şekil 4.12. Kıрма Kum İçeren Karışımlar .....	63
Şekil 4.13. Pomza İçeren Karışımlar .....	63
Şekil 4.14. Doğal ve Kıрма Kum Karşılaştırılması .....	64
Şekil 4.15. Agrega Türü Etkisi .....	64
Şekil 4.16. Numune Boyutu Etkisi (S/Ç: 0,3).....	65
Şekil 4.17. Numune Boyutu Etkisi (S/Ç: 0,7).....	65
Şekil 4.18. Gömülme Boyu Etkisi (S/Ç: 0,3).....	66
Şekil 4.19. Gömülme Boyu Etkisi (S/Ç: 0,7).....	66
Şekil 4.20. Narinlik Etkisi Eğrileri .....	68
Şekil 4.21. Kancalı Uç Etkisi Eğrileri.....	69
Şekil 4.22. Kanca Boyu Etkisi Eğrileri.....	70
Şekil 4.23. Lif Dayanımı Etkisi Eğrileri .....	71
Şekil 4.24. Lif Türü Etkisi Eğrileri .....	72
Şekil 4.25. Plastik Liflere Ait Yük-Sıyrıılma Eğrileri .....	72
Şekil 4.26. Her Bir Lif Türünün Farklı S/Ç oranlarında Yük-Sıyrıılma Eğrileri.....	73
Şekil 4.27. Farklı Ç/K Oranına Sahip Doğal Kum İçeren Karışımlarda Yük-Sıyrıılma Eğrileri.....	76
Şekil 4.28. Farklı Ç/K Oranına Sahip Kıрма Kum İçeren Karışımlarda Yük-Sıyrıılma Eğrileri.....	77
Şekil 4.29. Farklı Ç/K Oranına Sahip Pomza İçeren Karışımlarda Yük-Sıyrıılma Eğrileri.....	78
Şekil 4.30. Farklı Ç/K Oranına Sahip Pomza İçeren Karışımlarda Yük-Sıyrıılma Eğrileri.....	79
Şekil 4.31. Kum Türleri Farklı Ç/K oranları Aynı Karışımlarda Yük-Sıyrıılma Eğrileri.....	80

<b>Şekil 4.32.</b> Her Bir Lif Türünün Farklı S/Ç Oranlarında Yük-Sıyırılma Eğrileri.....	81
<b>Şekil 4.33.</b> Farklı Gömme Boylarına Sahip Numunelerin Yük-Sıyırılma Eğrileri.....	83
<b>Şekil 4.34.</b> Deney Sonrası Kesit Fotoğrafları .....	84
<b>Ek A.1.</b> Liflere Ait Yük-Şekil Değiştirme Grafiği .....	97
<b>Ek B.1.</b> 0,3 S/Ç Oranına Sahip Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği.....	102
<b>Ek B.2.</b> 0,4 S/Ç Oranına Sahip Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği.....	106
<b>Ek B.3.</b> 0,5 S/Ç Oranına Sahip Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği.....	110
<b>Ek B.4.</b> 0,7 S/Ç Oranına Sahip Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği.....	114
<b>Ek B.5.</b> 0,3 S/Ç Oranı ve 30 mm Gömme Boyuna Sahip Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği.....	118
<b>Ek B.6.</b> 0,7 S/Ç Oranı ve 30 mm Gömme Boyuna Sahip Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği.....	122
<b>Ek B.7.</b> 0,5 S/Ç ve 1/2 Ç/K Oranına Sahip Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği	126
<b>Ek B.8.</b> 0,5 S/Ç ve 1/4 Ç/K Oranına Sahip Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği	129
<b>Ek B.9.</b> 0,5 S/Ç ve 1/2 Ç/K Oranına Sahip Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği	132
<b>Ek B.10.</b> 0,5 S/Ç ve 1/3 Ç/K Oranına Sahip Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği .....	135
<b>Ek B.11.</b> 0,5 S/Ç ve 1/4 Ç/K Oranına Sahip Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği .....	138
<b>Ek B.12.</b> 0,5 S/Ç ve 1/1,5 Ç/K Oranına Sahip Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği .....	141
<b>Ek B.13.</b> 0,5 S/Ç ve 1/2 Ç/K Oranına Sahip Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği .....	144
<b>Ek B.14.</b> 0,5 S/Ç ve 1/2,5 Ç/K Oranına Sahip Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği .....	147
<b>Ek B.15.</b> 0,3 S/Ç Oranına Sahip 5*5*5 Boyutunda Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği .....	150
<b>Ek B.16.</b> 0,7 S/Ç Oranına Sahip 5*5*5 Boyutunda Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği .....	154

## KISALTMALAR VE SİMGELER LİSTESİ

ABD: Amerika Birleşik Devleti

ASTM: American Society for Testing and Materials

ÇTDB: Çelik Tel Donatılı Beton

GB: Gömme Boyu

LVDT: Linear Variable Differential Transformer

L/d: Boy/Çap

PAN: Akrilik

PE: Polietilen

PP: Polipropilen

PVA: Polivinilalkol

SEM: Taramalı Elektron Mikroskobu

S/Ç: Su/Çimento

yy: Yüzyıl

Ç/K: Çimento/Kum

$\lambda$ : Narinlik

$f_{su}$ : Lif Çekme Dayanımı

## 1. GİRİŞ

Beton keşif tarihinden çağımıza kadar en yaygın kullanılan yapı malzemesi olma özelliğine sahiptir ancak günümüz yapılaşma koşullarında doğan yeni ihtiyaçları (yüksek dayanımlı beton üretme gereksinimi, yüksek sünekliliğe sahip beton üretimi vb.) karşılamak amacıyla betonun özelliklerinin geliştirilerek günümüz ihtiyaçlarına karşılık vermesi ihtiyacı doğmuştur. Betonun geliştirilmeye ihtiyaç duyulan özelliklerinden olan çatlak dayanımı ve daha sünek malzeme üretme isteğine beton matrisine eklenen çelik ve plastik liflerin önemli ölçüde katkı sağladığı görülmüştür. Bu yönüyle lifler betonda çatlakları önlemek ve sünekliliği artırmak amacıyla kullanılan en yaygın malzemeler arasına girmiştir [1].

Killi harç uygulamaları tarihte karşımıza çıkan ilk harç uygulamaları olarak bilinmektedir. Harçların gelişim süreci bağlı olduğu endüstrinin gelişimiyle paralel olarak farklı medeniyetlerde farklı türlerde ve isimlerde gelişimini sürdürmüştür. Harçlar tarih boyunca Mısır'da alçı, Roma'da kireç ve puzolanik, Osmanlılarda Horasan, XVIII. yy. Avrupa'sında çimento harçları olarak çeşitli yapılarda kullanılmıştır [2].

Yapılan incelemelerde lif kullanımının başlangıcı tarihte betondan farklı malzemeler içerisinde kullanılması ile başlamıştır. Bilinen ilk lif takviyesinin kullanımı kerpiç duvarların sıvasında kullanılan saman takviyeli kilerdir. Bu katkıların çağımıza uyarlanması amacıyla birçok çalışma yapılmış ve önemli mesafeler kat edilmiştir. Lif katkılarının betonda kullanımı ilk olarak 1960 yılları başında beton matrisine cam liflerinin eklenmesiyle başlamıştır. Zamanla görülen eksikliklerin giderilmesi amacıyla farklı lif tipleri ve içerikleri geliştirilmiştir. Geliştirilen lif tiplerinin beton matrisi içerisinde süresiz olarak dağılmış şekilde kullanımının beton matrisinde çatlak oluşumunu önemli ölçüde azalttığı, şekil değiştirme kapasitesini, çarpma ve çekme dayanımını, tokluğunu ve sünekliliğini artırmada önemli ölçüde katkı sağladığı tespit edilmiştir [3].

Yapılan çalışmalar sonucunda betondaki çatlak dayanımı ve sünekliliği artırmanın donatı/lif – matris aderansına bağlı olduğu görülmüştür. Donatı / lif ile matris

arasındaki gerilmelere aderans denir. Aderans kuvveti çok çeşitli değişkenlerden etkilenmekle birlikte bu kuvveti etkileyen başlıca etmenler: Betonun çekme dayanımı, çeliğin akma dayanımı, donatının yüzey geometrisi, donatı çapı, kenetlenme boyu, pas payı, kullanılan agrega cinsi ve matrise eklenen katkı maddeleri olarak sıralanabilir. Aderans kuvvetinin oluşmasına neden olan faktörlerden bazıları ise şu şekildedir;

- Lif ve matris arasında oluşan dış mekanik kuvvetler
- Lif ve matris arasına oluşan kapiler ve moleküler bağ kuvvetleri
- Lif ve matris arasında meydana gelen sürtünme kuvvetleri

Çağımızda beton matrisi ile lif arasındaki aderans dayanımını artırmaya yönelik birçok metot geliştirilmiştir. Geliştirilen metotlar arasında en yaygın olanı çekip – çıkarma (pull-out) yöntemidir [4].

Çimento esaslı harçlar ve betonlar bilindiği üzere düşük gerilme mukavemetine sahip kırılğan bir yapı malzemesidir. Bu malzemelerin düşük gerilme mukavemetine ve kırılğan bir yapıya sahip olmaları düşük gerilme seviyelerinde çatlaklara neden olmaktadır. Çekme kuvvetlerine karşı çelik lif takviyeli betonlar ve harçlar kullanılan en iyi ve popüler kompozit malzemelerdir. Lif–matris arasındaki bağ; gerilme aktarımı görevini üstlenmesinden dolayı, lif takviyeli matrislerin mekanik özelliklerini büyük ölçüde etkiler. Lif–matris arasındaki bağın başlıca etkilendiği hususlar iki başlık altında toplanabilir bunlar matris ve lif özellikleridir [5-6].

Bu çalışma, farklı kanca tipine ve dayanıma sahip çelik lifler ve plastik liflerin, farklı bileşim ve dayanımdaki harçlara farklı gömme boylarında batırılarak üretilen çimento esaslı kompozitlerde lif sıyrılma davranışlarının araştırılmasını ele almıştır. Deneysel çalışma boyunca 10 farklı lif, 3 farklı agrega (kum), 4 farklı su/çimento (S/Ç) oranı, 5 farklı çimento/kum (Ç/K) oranı, 2 farklı gömme boyu ve 2 farklı numune boyutu değişken olarak seçilmiştir. Deneysel çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar en yüksek sıyrılma yükü ve yük-sıyrılma eğrisi altında kalan alan



değerlerine göre analiz edilerek liflerin sıyırılma performansları belirlenmiştir. Ayrıca sıyırılma deneyi yapıldıktan sonra numuneler ortalarından ayrılmış, bu kesitler fotoğraflanmış ve liflerin sıyırılma davranışı incelenmiştir.



## 2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Çeşitli yapılarda kullanılan harçların tarihte ilk olarak kil harç olarak uygulanmaya başlandığı bilgisine rastlanmaktadır. Harçların yapısında kullanılan bağlayıcı malzemelerin bağlı olduğu endüstrinin gelişimi ile orantılı şekilde tarih boyunca harçların farklı medeniyetlerde farklı şekillerde uygulamalarda kullanıldığı görülmektedir. Bunlardan bazıları şu şekildedir; Mısır'da alçı, Roma'da kireç ve puzolanik, Osmanlılarda Horasan, XVIII. yy. Avrupa'sında ise çimento harçlarıdır [2].

Harcın tanımı; belirli oranlarda bağlayıcı malzeme, dolgu malzemesi ve suyun karıştırılması ile oluşturulan ve katılma özelliğine sahip hamur olarak yapılabilir [7]. Başka bir tanımlama şekli ile harç; kum, bağlayıcı malzeme, su ve kullanım amacına göre karışıma eklenen farklı katkı malzemelerinin gene belirli oranlarda karıştırılmasıyla oluşan ve elde edilmek istenen özelliklerine göre geçirimsizlik, doluluk, aderans, mukavemet ve dış etkilere dayanıklılık gibi farklı özelliklere sahip olabilen inorganik hamurdur [8].

Harçlar uygulama alanında ihtiyaç duyulan özelliklere göre hacimleri veya ağırlıkları önceden belirlenen miktarlardaki kum ve bağlayıcı malzemenin karıştırılması ve bu karışıma hidrasyon ile işlenebilme özelliğini sağlamak amacı ile daha önceden hesaplanan yeterli miktardaki suyun ilave edilerek karıştırılmasıyla oluşturulan yapı malzemesidir. Harçlara uygulamada doğacak ihtiyaca göre gerekli olduğu durumlarda farklı özelliklerde katkı maddeleri ve mineral esaslı boya pigmentleri de ilave edilebilir [8].

Çimento esaslı kompozitler olan hamur, harç ve betonun en büyük dezavantajı gevrek veya yarı gevrek malzemeler olmalarından dolayı çekme kuvvetlerine karşı düşük performans sergilemeleridir. Bu dezavantajlarını gidermek için karışımlarına çeşitli boyutlarda, özelliklerde ve tiplerde lifler katılarak başta dayanımları olmak üzere süneklik ve tokluk gibi mekanik özelliklerini artırmak bir çok araştırmaya konu olmuştur.

## 2.1. Lif Katkılı Çimento Esaslı Kompozitlerin Tarihçesi

Yapı malzemelerinden bağlayıcı madde kullanılarak üretilen yapı malzemelerinde lif katkıların kullanılması çok eski tarihlere dayanmaktadır. Tarih boyunca lifler gevrek özelliğe sahip malzemelere süneklik kazandırmak maksadı ile kullanılmıştır [9].

İnceleme yapılan tarihi yapıların bir bölümünde kullanılan balçık karışımlarının içerisine hayvan yele ve kuyruk kıllarının katıldığı görülmüştür. Tarihimizde önemli bir yere sahip olan ve usta olarak isimlendirilen Mimar Sinan'ın (d. 149? – ö. 1588) tasarımını ve uygulamasını üstlendiği birçok eserinde kullanılan ve Horasan harcı adı verilen harç karışımı içerisine saman ve keçi kılı eklediği bilinmektedir.

Lif katkıların tarihi dönemlerde önümüze çıkan en yaygın kullanım alanı güneşte kurutulmak sureti ile üretilen ve kerpiç olarak adlandırılan yapı malzemesi içerisine saman katılmasıdır. Yine günümüze kadar ayakta kalmayı başarmış ve lif katkılı karışımlara canlı olarak gösterebileceğimiz bir örnek olan “AqarQuf” isimli Bağdat'ta bulunan kulenin yapı malzemeleri incelendiğinde güneşte pişirilmiş olan kerpiç tuğlalarda saman katkısının bulunduğu görülmüştür [10].

Liflerin tarihsel gelişim süreci incelendiğinde lif donatılı beton patentinin ilk olarak 1874 senesinde A. Berard tarafından ABD'de alındığı görülmektedir. Çimento hamuru içerisinde asbestli lif katkıların yaygınlaşma süreci ise Hatschek isimli yöntemin 1898 senesinde bulunması ile başlamıştır. Ancak, yapılan çalışmalar neticesinde asbestli liflerin insan sağlığına zarar verdiği tespit edilmiş olup asbestli liflerin kullanımından kaçınılması 1960'lı yıllarından başından itibaren kullanılabilir farklı lif tipleri araştırılmaya başlanmıştır [10].

Çağımızda yaygın olarak kullanılan ve farklı şekillere sahip lif patentleri sırasıyla ABD'de G. Martin (1927), İngiltere'de Zitkeviç (1939), İngiltere'de G. Constantinesco (1943)'de tarafından alınmıştır [11, 12]. Beton matrisleri içerisinde çelik tellerin kullanımına yönelik çalışmalar 1960'ların başlarında başlamıştır [12]. Günümüzde ise lif katkılı betonlar kendisine yaygın olarak kullanım alanı bulmaktadır. Bu uygulamalara; tünel uygulamaları ve endüstriyel zemin betonları,

atık su tankları, yağmur suyu kolektörleri, cephe ve bölme duvar elemanları, atık madde tankları, tünel segmanları, kanalizasyon boruları ve prefabrike yapı elemanları örnek olarak verilebilir [13].

## 2.2 Çimentolu Esaslı Kompozitlerde Kullanılan Lif Tipleri

Beton matrisleri içerisinde ihtiyaç duyulan özelliklere yönelik farklı özelliklerde lifler kullanılmaktadır. Kullanılan lifleri üretilen malzeme türüne göre metalik, sentetik, cam ve doğal (organik ve inorganik) lifler olmak üzere sınıflandırılabilir. Kullanılan lifler istenilen ve kullanılan malzeme türüne göre farklı imalat evreleri sonucunda değişik çap, boy ve geometrik özelliklerde üretilmektedir. Örnek olarak çelik liflerde yüksek karbonlu (kopma dayanımı ~2200 MPa) ve düşük karbonlu (kopma dayanımı ~ 900–1100 MPa) olmak üzere farklı dayanımlara sahip lifler üretilmektedir. Beton matrislerinde kullanılan sentetik liflere, polietilen (PE), akrilik (PAN), polipropilen (PP), polivinilalkol (PVA) ve karbon lifler örnek olarak verilebilir. Beton karışımlarında kullanılan lif katkılarının beton matrisi içerisinde zamanla yapısal özelliklerini kaybetmemesi ve yüksek alkaliniteye sahip ortamlardan etkilenmemesi lif katkılardan beklenen başlıca özelliklerdendir. Kullanılan lif katkılarını geometrik özelliklerine göre “narinlik” veya “görünüm oranı” adı verilen sayısal değişken vasıtası ile sınıflandırılmaktadır. Narinlik; lif boyunun, lif çapına oranı olarak ifade edilir ve boyutsuz değişkendir. Lifler geometrik şekil olarak kare, dairesel, düzensiz veya dikdörtgen en kesite sahip olabilirler. Bu tipteki liflerin narinliğinin hesaplanması için aynı en kesit alanına sahip olan daire çapı göz önüne alınarak hesaplama yapılır [9].

Beton karışımlarında kullanılacak olan lif tiplerinin özellikleri kullanım amacı ve liflerin yapısal özelliklerine göre çok çeşitlidir. Lif katkıların günümüzde beton matrisinde kullanım amacı genel itibari beton ve harçta oluşan plastik rötre çatlaklarını azaltmak oluşan çatlak genişliğinin ve tokluğunun sınırlandırılması ile yüksek sıcaklık etkisine maruz kalan yapı elemanlarının patlamasını önlenmek amacıyla kullanılmaktadır [10].

### 2.3. Lif Sıyırılma Davranışı

Beton karışımlarında kullanılan lif tiplerinden sentetik, cam, çelik ve karbon liflerin en önemli etkilerinden birisi de betonda oluşacak olan çatlak gelişimine engel olmasıdır. Kullanılan lifler betondaki iç gerilmelere sonucunda oluşan mikro çatlakların büyümesi ve ilerlemesini sahip oldukları gerilme aktarma özellikleri sayesinde önlenmektedir. Lif katkıları, şekil ve kullanım miktarlarına bağlı olarak çimento matrisi içerisinde oluşan birtakım gerilmeleri taşımakta ve uygun çimento-matris oranlarında ise gerilmelerin iletilmesine katkı sağlamaktadır [10].

Çelik tel donatılı beton (ÇTDB) içerisinde; kaba ve ince agrega, çimento ve süreksiz olarak dağılım gösteren çelik tellerden oluşan bir betondur. Günümüzde çoğu uygulamada kullanılan betonu güçlendirmek amacıyla kısa boya sahip çelik teller kullanılmaktadır. Kullanılan beton matrislerine lif eklenmesindeki esas amaç, kullanılan yapı malzemesinin tokluğunu ve enerji yutma kapasitesini arttırmaktır. Matris içerisine düzensiz formda lif eklenmesinin amacı, sertleşmiş betonu daha sünek bir kompoziteye dönüştürebilmektir. ÇTDB normal betona kıyasla çatlama öncesi ve sonrasında çok daha büyük gerilmelere dayanım gösterebilmektedir. ÇTDB, matris içerisindeki çelik tellerin kopması veya çimento matrisinden sıyırılmasından sonra faydasız hale gelmektedir [14].

Lif-matris ara yüzeyindeki bağın tespitinde genellikle tek lif sıyırma testi kullanılır. Uygulanan deneyde sıyırılma yüküne karşı sıyırılma miktarı ilişkisi ölçülür. Sıyırma deneyin uygulamasında uygulanan yük ve sıyırılma miktarı eş zamanlı olarak ölçülmeli ve sıyırılma yüküne karşılık sıyırılma miktarı eğrisi çizilmelidir [15].

Son zamanlarda liflerin geometrileri değiştirilerek ve farklı kanca tipleri kullanılarak matristen sıyırılmalarını güçleştirip çimento esaslı malzemelerin mekanik özelliklerinin artırılmasına yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Liflerin sıyırılma davranışı üzerine etkileyen parametrelerin belirlenmesi çimento esaslı malzemelerin performanslarını artırma bakımında ışık tutucu olacaktır.

## 2.4. Lif Sıyırılma Davranışını Etkileyen Faktörler

Lif katkılı betonların mekanik özelliklerine etki eden faktörleri dört ana başlıkta toplamak mümkündür. Bu özellikler;

- Lif ile ilgili faktörler: Telin tipi, narinliği, geometrisi, elastisite modülü, çekme dayanımı, yönlenmesi, dağılımı ve hacim oranıdır.
- Numune ile ilgili faktörler: Kullanılan numunenin boyutu, sahip olduğu geometrisi ve üretim metodudur.
- Matris ile ilgili faktörler: Matrisin sahip olduğu dayanım, elastisite modülü, maksimum çekme şekil değiştirmesi, karşı koyabildiği maksimum çekme dayanımı, kullanılan en büyük agrega boyutu ve matriste oluşan ilk çatlak boyutudur.
- Beton ara yüzey bağ dayanımına benzer olarak tel-matris ara yüzeyi ile alakalı parametrelerdir.

Lif katkıları ile donatılmış betondaki yapılan araştırmalar genellikle oluşan kompozitin davranışında telin hacim oranı ve narinliğinin etkisinin araştırılması üzerinde odaklanmıştır [16].

Banthia [17] konu üzerinde kilometre taşı olarak değerlendirilebilecek çalışmasında tek lif sıyırılma deneyleri yürütmüş ve aşağıdaki sonuçlara ulaşmıştır.

- i. Lif ucunda kanca kullanmak sıyırılma davranışını maksimize etmek için gereklidir. Fakat kanca etkisi üzerinde bir limit vardır. Aşırı kanca kullanmak matriste bozulmalar meydana getirip sıyırılma enerjisini azaltabilir.
- ii. Bağ dayanımını artırma amacıyla matrise eklenecek silis dumanı gibi malzemeler sıyırılma davranışına olumlu etki eder. Fakat matris gevrekleşebilir ve aşırı deforme edilmiş liflerde performanslar düşebilir.
- iii. Kür süresi ve sıcaklığı sıyırılma davranışına olumlu etki eder.
- iv. Test sıcaklığının düşük olması sıyırılma davranışına olumlu etki eder. Sayısal olarak  $-50^{\circ}\text{C}$ 'de test edilmiş numunelerin sıyırılma performansları  $22^{\circ}\text{C}$ 'de test

edilmiş numunelere kıyasla daha yüksek elde edilir. Matris gevrekliğini artıracak silis dumanı gibi malzemelere sıfırın altında sıcaklıklarda olumsuz sonuçlara neden olabilir.

v. Sıyırma deney hızına düz ve kancalı uçlu tellerin tepkileri farklıdır. Kancalı uçlu teller yükleme hızından daha az etkilenir.

#### **2.4.1. Karışım Bileşenleri ve Oranlarının Etkisi**

Chan ve Chu [18] reaktif toz ile üretilmiş matrislerin üzerinde silis dumanı etkisini araştırmak için çelik lif bağ özellikleri ile bağ dayanımı, sıyırma enerjisi vb. özellikleri incelenmiştir. Çalışma sonucunda farklı koşullardaki çelik liflerin sıyırma testi sonuçları rapor edilmiştir. Karışımlarda %0-%40 aralığında silis dumanı kullanılmıştır. Sıyırma testi sonucunda reaktif tozlu beton matrislerin ve çelik liflerin bağ özellikleri incelenmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda silis dumanının lif-matris yüzey özellikleri üzerinde etkili olduğu görülmüştür. Özellikle lif sıyırma enerjisi üzerinde etkili olduğu görülmüştür. Bu özellikler için silis dumanı değeri %20-%30 oranında tutulduğunda optimum değer yakalandığı deney sonuçlarında görülmüştür.

Beglariga ve Yazıcı [19] sıyırma deneyi kullanılarak çelik lif – matris bağ karakterizasyonunu etkileyen bazı faktörler araştırılmıştır. Çalışmada normal matris ve reaktif toz katkılı beton kullanılmıştır. Yapılan çalışmalarda parametreler lif tipi (Düz-Kancalı), gömme boyu, S/Ç oranı, çelik mikro lif ve kür koşulları olarak belirlenmiştir. Çalışma sonucunda gömme boyu arttıkça lif – matris bağ karakterizasyonunun geliştiği görülmüştür. S/Ç oranı düşük karışımlarda, kancalı çelik liflerde gömme boyunun bağ dayanımında etkili olduğu görülmüştür. Bütün kür koşullarında S/Ç oranı azaldıkça sıyırma tepe yükü ve tokluk değerlerinin arttığı görülmüştür.

Deng ve ark. [20] tarafından yapılan çalışmada çelik ve propilen hibrit lif katkılı çimentolu kompozitlere gömülen çelik liflerin bağ dayanımına etkisi araştırılmıştır. Çalışmada 42 grup düz ve kancalı uçlu çelik lif gömülmüş numunelerde tek lif

sıyırılma deneyi yapılmıştır. Çalışmada hibrit lif dozajı, matris dayanımı ve lif gömme boyunun etkileri araştırılmak istenmiş ve analiz edilmiştir. Böylece bağ – yüzey mekanizması incelenmiş ve lif katkı mekanizması taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile görüntülenmiştir. Çalışma sonucuna göre hibrit lif dozajı arttıkça sıyırılma yükünde ve sıyırılma enerjisi kapasitesinde önemli derecede artış olduğu görülmüştür. Polipropilen liflerin bağ–yüzey özelliklerinde baskın faktör olduğu görülmüştür. Düz çelik tellerde kimyasal aderansın etkili olduğu gözlemlenmiştir. Kancalı uçlu çelik liflerin kanca mekanizması hibrit lifli kompozitlerde sıyırılmaya etkisinin olmadığı görülmüştür. Sonuç olarak hibrit lifler için teorik bir model geliştirilebilir olduğu belirlenmiştir.

Isla ve ark. [21] farklı matris ve çelik liflerin sıyırılma davranışı üzerine bir dizi örnek deneyler yapmıştır. Çalışma sonucunda bir sayısal model analizi oluşturulmuştur. Bu sayısal model lifli beton ve matrislerin sıyırılma mekanizmasını içermektedir. Bu mekanizmayı etkileyen başlıca parametreler; kanca tipi, lif tipi, matris tipi ve lif parametreleri olarak sıralanabilir. Yapılan çalışma kapsamında lif dayanımının liflerin kırılmasını etkileyen bir parametre olduğu görülmüştür. Liflerin sıyırılması sonucunda elde edilen veriler kullanılarak sayısal model geliştirilebilir ve lif katkılı betonlar için hesaplama yapılabilir.

Lukasenoks ve ark. [22] lif katkılı betonların davranışı üzerinde beton matris dayanımının etkisini araştırmışlardır. Bu sebeple kirişler üzerine eğilme deneyi yapılmıştır ayrıca lifli karışımlarda tek lif sıyırılma deneyi yapılmıştır. Lif çapları 1,52'den 2,18 mm ye kadar ve 50 mm uzunluğunda seçilmiştir. 3 farklı matris dayanımı kullanılmış olup bunlar düşük, orta ve yüksek olarak adlandırılmıştır. Üretilen kirişlerin boyutu 100x100x400 mm olup içerisinde %15 oranında lif katılmış ve 4 noktadan eğilme testi yapılmıştır. Eğilme deneyi sonuçları çatlak alanındaki liflere göre analiz edilmiştir. Lifli kompozitlerde ilk çatlak dayanımına çelik liflerin önemli derecede katkı sağladığı görülmüştür. Tek lif sıyırılma deneyi sonucuna göre matris dayanımına etkisi olduğu görülmüştür. Lif tepe sıyırılma yükü



matris dayanımı artışına bağlı olarak artış sergilemiştir. Matris dayanım artışından dolayı lif matris aderansında arttığı görülmüştür.

#### **2.4.2. Lif Türü ve Tipinin Etkisi**

Deng ve ark. [23] Çalışma kapsamında çelik donatı ve çimentolu kompozitlerin sıyrılma davranışı üzerinde inceleme yapmışlardır. Çelik donatılı betonların sıyrılma dayanımında çelik donatı ve çimentolu kompozitlerin önemli bir rol aldığı görülmüştür. Çalışma kapsamında 10 grup donatı gömülmüş çimentolu kompozitler ve 2 grup kontrol kompozitleri üretilmiştir. Parametre olarak donatı şekli, donatı çapı, koruyucu kalınlık, kompozit dayanımı ve lif içeriği alınmıştır. Çalışma sonucunda çimentolu kompozitlerin enerji yutma kapasitelerinin normal betona göre 1,71 kat daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Sıyrılma dayanımının ise çimentolu kompozitlerde normal betona göre 2,14 kat artarak 27,7 MPa'dan 57,2 MPa yükseldiği görülmüştür. Çalışma sonucunda genel olarak lif gömme boyu, lif pozisyonu ve lif kompozit (matris) aderansının en etkili parametreler olduğu belirlenmiştir.

Yoo ve ark. [24] yaptıkları çalışma kapsamında çelik lif tiplerinin sıyrılma davranışı ve çekme performansını araştırmıştır. Çalışma kapsamında ultra yüksek performanslı lif katkılı beton numuneler üzerinde 4 farklı tipte çelik lif kullanılmıştır. Bu lif tipleri Düz, kıvrımlı, kancalı ve yarı kancalıdır ayrıca çalışma kapsamında kullanılan lifler  $0^{\circ}$ - $60^{\circ}$  arasında farklı açılarda gömülmüş olup hazırlanan numuneler üzerinde sıyrılma deneyi yapılmıştır. Çalışma sonucunda düz çelik liflere göre diğer liflerin daha iyi performans gösterdiği gözlemlenmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen veriler incelendiğinde en yüksek dayanım gösteren açılarda  $30^{\circ}$  ve  $45^{\circ}$  olduğu tespit edilmiştir. Kancalı çelik lifler; kıvrımlı ve yarı kancalı çelik liflere göre bütün şartlarda (açılarda) en iyi performansı göstermiş olup en yüksek dayanıma sahip lif tipi olmuştur. Çekme dayanımına ilişkin sonuçlarda ise düz çelik liflerde en iyi sonuçlar elde edilmiştir. Bunun nedeninin ise lif sıyrılma dayanımı ile çekme dayanımı arasındaki zayıf ilişkiden kaynaklandığı düşünülmektedir. Çalışma kapsamında edinilen sonuçlar ışığında gelecekte, tespit edilen bu ilişki için bir model

geliştirilebileceği ve konu hakkında daha kapsamlı çalışmalar yapılabileceği görülmüştür.

Wu ve ark. [25] Çalışma kapsamın ultra yüksek performanslı betonlarda çelik liflerin yüksek dayanımı ve dayanıklılığı üzerinde incelemeler yapılmıştır. Çalışmada farklı çelik lifler, farklı oranlarda silis dumanı katılmış matrisler ve farklı kür şekilleri kullanılmıştır. Çalışmada düz, kancalı ve dalgalı olmak üzere 3 farklı tip çelik lif kullanılmıştır. Çalışmada %15 veya %20 oranında silis dumanı katılarak matrisler üretilmiştir. Çalışma sonucunda dalgalı ve kancalı çelik lifler düz çelik liflere göre bağ yapısında önemli derecede yüksek performans sergilemiştir. Kullanılan liflerin eğilme dayanımında ise aynı sonuçlar elde edilmiş olup eğilme dayanımlarında %8-28 ve %17-50 arasında artışlar görülmüştür. Liflerin eğilme dayanımını etkileyen parametrelerin; lif – matris bağı dayanımı, matris eğilme dayanımı (lif içermeyen matris) ve liflerin mekanik ve fiziksel özellikleri olduğu görülmüştür.

Kim ve Yoo [26] Çelik lif gömülmüş ultra yüksek dayanımlı betonlarda lif tipi etkisini ve lif yoğunluğunun etkisini sıyrılma testi ile araştırmışlardır. Çalışmada kullanılan çelik lifler düz, kancalı ve kıvrımlı olmak üzere 3 farklı tiptedir. Çalışmada %1, %2 ve %7 oranında lif katılarak üretilen ultra yüksek dayanımlı betonlar kullanılmıştır. Çalışma sonucunda kıvrımlı çelik lif sıyrılma davranışının üzerinde en iyi sonucu vermiş olup sırasıyla kancalı ve düz çelik lif sıyrılma davranışı üzerinde etkisi araştırılmıştır. Yoğunluk arttıkça yaklaşık %30 oranında bağ kuvveti artışı görülmüştür. Deney sonucunda kancalı ve kıvrımlı çelik lif etkisi sıyrılma dayanımı ve davranışı üzerinde en iyi performansı verdiği görülmüştür.

Conner ve ark. [27] çelik fiberli metalik cam içeren kompozitlerde tokluk üzerinde inceleme yapılmıştır. Çalışma sonucunda tokluk artışının lif bağ karakterizasyonu yüzey kırılma, yüzey kırılma alanı ve lif özelliklerine bağlı olduğu belirlenmiştir. Kırılma enerjisi ve dayanımı %13-%18 oranında artış olduğu ve bu artışın lif – matris aderansına bağlı olduğu gözlemlenmiştir. Sıyrılma davranışı lif özelliklerine, matris özelliklerine ve bağ özelliklerine bağlı olduğu görülmüştür.

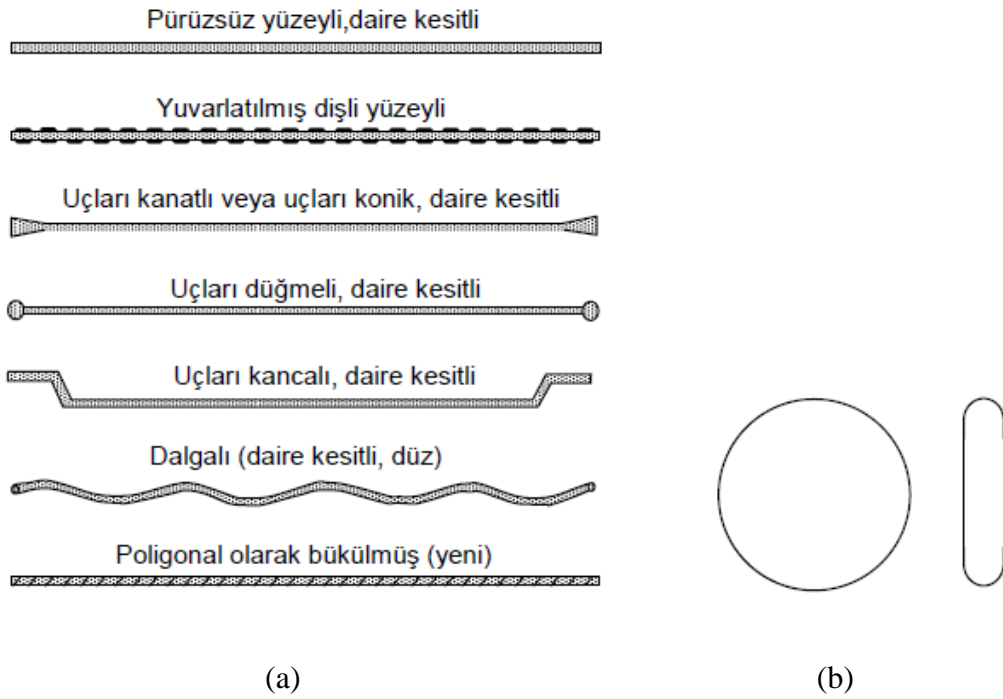
Günümüzde beton matrisinde homojen olarak dağılımı ve daha güçlü tel-matris dayanımının elde edilmesi amacıyla uygun çelik tel tipinin belirlenmesi amacıyla pek çok araştırma yapılmıştır. ASTM A 820 tarafından yapılan bir çalışmada çelik tellerin imalatında kullanılan ürüne bağlı olarak bir sınıflandırma yapılmıştır [14]. Bunlar;

- Tip I: Soğuk şekil değiştirme uygulanmış çelikten yapılmış tel
- Tip II: Plakadan kesilmiş tel
- Tip III: Ergitilerek üretilmiş çelik tel
- Tip IV: Diğer teller

Deforme edilmiş ve dalgalı çelik teller, tüm uzunluğu dalgalı veya sadece uçlarda genişletilmiş olarak üretilmektedir. Kesilmiş tellerden üretilen yuvarlak kesite sahip düz çelik teller, genel olarak 0,25-1 mm arasında çap uzunluklarına sahiptir. Yassı düz çelik teller ise, tipik olarak 0,25-1,14 mm genişlik ve 0,15-0,41 mm kalınlık aralığındaki en kesite sahip olan plaka veya yassılaştırılmış tellerden üretilmektedir. Çelik tellerin karışma, taşıma özelliğini ve matrise olan ankraj özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla yassı veya eğimli şekilde deforme edilmektedir [28]. Uçları kancalı olan çelik tel çeşitleri gibi bazı teller, karışmasının kolaylaştırılması amacıyla tutkalla birbirine yapıştırılmaktadır. Bu uygulama ile amaçlanan tellerin karışım içerisinde kümelenmesini önlemektir [29].

Betonların sahip oldukları mekanik özelliklerinden zayıf olanları iyileştirmek, geliştirmek amacıyla kullanılan çelik teller, ACI 544'e göre; tel boyutunun eşdeğer tel çapına bölünmesi ile elde edilen boy/çap ( $L/d$ ) oranı olan narinlik oranına göre tanımlanmaktadır [30]. Çelik tellerin çekme dayanımı 345-2200 MPa aralığında, uzunlukları 19-60 mm aralığında, narinlikleri (uzunluk/çap) 30-100 aralığında değişmektedir [31]. Günümüzde meydana gelen çelik tel üretim teknolojisi alanındaki gelişmeler sebebiyle çekme dayanımı 2600 MPa'a kadar çıkabilen yüksek performanslı çelik teller üretilmektedir. Çelik telleri en kesitlerine göre dikdörtgen, dairesel, eşkenar, üçgen, kare, poligon (çok köşeli) veya sabit poligon şeklinde üretilmektedir. Karışımda kullanılan tel ve matris arasında daha güçlü

aderans oluşturmak amacıyla tellerin mekanik deformasyonlarının artırılması veya tel uzunluğu boyunca yüzeyi pürüzlendirilmek suretiyle iyileştirilmeler yapılmaktadır. Yapılan bu iyileştirmeler neticesinde çelik teller yüzey durumuna göre nervürlü, düz, düzensiz, zikzaklı (kırımlı), çift baskılı, helezon, uçları kancalı şekilde isimlendirilebilmektedir. Çelik telleri için tipik örnekler Şekil 2.1’de gösterilmektedir.



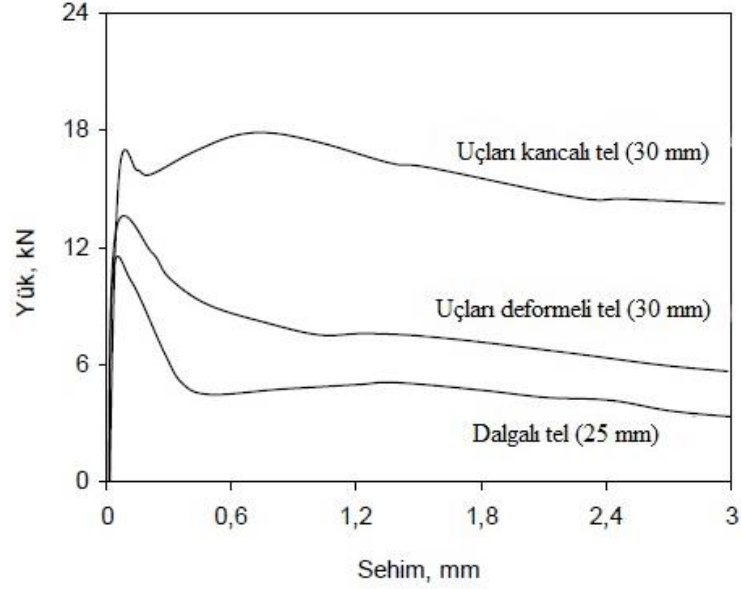
a) Betonda Çoğunlukla Kullanılan Çelik Tellerin Tipik Profilleri  
b) Bazı Araştırmalarda Kullanılmış Eliptik ve Dairesel Teller

**Şekil 2.1.** Çelik Tellerin Profilleri ve Kesitleri [32]

Çelik tel donatılı beton karışımlarında, çoğunlukla bükülmüş kanca uçlu çelik tellerin kullanıldığı görülmüştür. Tel uçlarındaki kancaların amacı liflerin betondaki ankrajını arttırmaktadır. Çelik teller betonarme elemanların içerisinde serbest şekilde dağılması sebebiyle beton elemana bütün doğrultularda takviye sağlamaktadır [33].

Üç farklı şekildeki çelik telin; uçları dalgalı (25 mm), kancalı (30 mm) ve uçları şekillendirilmiş (deformeli) ÇTDB’nin yük-sehim eğrileri üzerindeki etkisi Şekil 2.2’de gösterilmiştir [34]. Uçları kancalı çelik telli betonun diğer iki beton türüne

göre daha fazla çekme dayanımına ve daha başarılı çatlak sonrası davranışa sahip olduğu görülmüştür. Matriste oluşan ilk çatlak sonrası yükteki düşüşün, dalgalı ve uçları deforme olan tellerde diğer tele oranla daha fazla olduğu görülmüştür.



**Şekil 2.2.**Yük-Sehim Eğrisine Değişik Çelik Tel Tiplerinin Etkisi [34]

Nataraja ve ark. [35] tarafından yapılan çalışmalarda basınç dayanımı 30-50 MPa aralığında değişen çelik tel donatılı betonun gerilme-şekil değiştirme eğrisinin belirlenmesi amacıyla, üç hacim oranında (%0,5, %0,75 ve %1) ve iki değişik narinlikte (55 ve 82) dairesel kesitli dalgalı teller kullanılmıştır. Tellerin eklenmesiyle betonun tokluğu, en büyük gerilme, en büyük gerilmedeki şekil değiştirme ve gerilme-şekil değiştirme eğrisine olan etkisi araştırmıştır. Betona dalgalı çelik tel eklenmesi betonun; basınç dayanımını, tokluğu ve en büyük gerilmedeki şekil değiştirme kapasitesini arttırdığı görülmüştür.

#### **2.4.3. Lif Geometrisinin Etkisi**

Ali ve ark. [36] Çelik lif gömülmüş hafif betonlarda bağ performansı etkisi araştırılmıştır. Çalışmada 0, 20 ve 40 kg/m<sup>3</sup> miktarlarında lif katılmış hafif beton karışımları kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan lif 35 mm uzunluğunda, 0,5 mm

çapında ve narinlik oranı 70 olarak seçilmiştir. Çalışma sonucunda lif içeriği arttıkça bağ davranışı performansında artışlar olduğu görülmüştür.

Cao ve Yu [37] ultra yüksek dayanımlı beton matrislerinde açılarla gömülmüş, farklı çaplarda ve gömme boyları farklı olan kancalı liflerin sıyırılma dayanma etkisi araştırılmıştır. Sıyırılma yükü – sıyırılma deplasmanı grafiği lif özelliği ve matris özelliğine göre değişiklik göstermiş olup, bu grafikler analiz edilmiştir. Bu analizde sıyırılma açısının etkisi parametre hesaplanarak ve mekanizma analizinde incelenmiştir. Bu analiz sonuçlarına göre bir analitik model oluşturulmuştur. Bu modele göre farklı lif tipleri, gömme boyları ve lifleri çapları ile kullanılan sıyırılma deneyinde açının etkili olduğu gözlemlenmiştir. Bunlara ek olarak optik mikroskop ve elektrik mikroskobu ile açının etkisi analiz edilmiştir. Bu görüntülerden lif matris aderansının önemli bir faktör olduğu görülmüştür.

Abdallah ve Rees [38] Normal yüksek dayanımlı betonlarda çeşitli kancalı uçlu lifler gömülerek sıyırılma davranışı incelenmiştir. Çalışma sonucuna göre lif tipinin sıyırılma davranışını etkilediği ve daha çeşitli lifler kullanılarak bu davranışı daha kapsamlı araştırmaya ihtiyaç duyulduğu belirtilmiştir. Lif geometrisi, çekme dayanımı ve hatta matris özellikleri için daha kapsamlı bir çalışma yapılabileceği belirtilmiştir.

Abdallah ve ark. [39] farklı kanca uçlarına sahip çelik liflerin yüksek dayanımlı betonlardan sıyırılma davranışlarını incelemişler ve modelleme yapmışlardır. Çalışmalarında 3D, 4D ve 5D kanca geometrisine sahip lifler üzerinde araştırmalar yapmış ve en iyi performansı 3D kanca tipinde elde etmişlerdir ancak bu duruma bir açıklama getirmemişlerdir.

Abdallah ve ark. [40] çalışmalarında farklı kanca ucu geometrisine sahip çelik lifler kullanmışlar ve yüksek dayanımlı kendiliğinden yerleşen betonlar üretmişlerdir. Çalışma sonucunda kanca ucu boyu fazla olan 5D tipi teller ile en yüksek lif kullanım oranında en yüksek süneklik değerlerine ulaşmışlardır.

Abdallah ve Fan [41] yeni nesil geometrik kanca tiplerine sahip çelik teller kullanarak ankraj mekanizması üzerine deneysel bir çalışma yürütmüşlerdir. Ankraj mekanizmasını araştırmak için 4 farklı dayanıma (33-148 MPa) sahip matrislere 3D, 4D ve 5D kanca uçlu çelik telleri gömmüşler ve sıyırma deneyi yapmışlardır. Çalışma sonucunda kanca boyu en fazla olan 5D tipi kancalı uçlu telin tüm matris dayanımlarında diğer tellere kıyasla daha başarılı sıyırılma performansı sergilediği sonucuna ulaşmışlardır. Çalışmada ayrıca ultra yüksek dayanıma sahip betonlarda 3D ve 4D kancalı uçlu tellerin sıyırılırken koptuğu buna karşın 5D kancalı uçlu telin kopmadığı sonucuna varmışlardır. Çalışma sonucunda ultra yüksek performanslı betonlarda kanca ucu daha uzun olan 5D tipi telin yüksek performans için ideal olduğu belirtilmiştir.

Banholzer ve ark. [42] çalışmalarında lif sıyırılma davranışını analitik olarak modellemişlerdir. Modellerinde deneysel çalışmalardan elde ettikleri sonuçları kullanmışlar ve bağ dayanımı kayma ilişkisinin malzeme parametresi olduğunun ve bu nedenle lif ve matris geometrisinden, örneğin, lif çapı ve gömme boyu gibi bağımsız olduğunu öne sürmüşlerdir.

Won ve ark. [43] yay geometrisine sahip teller ile kancalı uçlu teller üzerinde sıyırma deneyleri yapmışlar ve bağ dayanımları açısından bu iki tip tel geometrisini karşılaştırmışlardır. Yay tipi geometriye sahip tellerde farklı açılışları ve kıvrım uzunlukları kullanmışlardır. Çalışma sonucunda kıvrım uzunluğu olan yay tipi tellerin kancalı uçlu tellere kıyasla daha iyi performans sergilediğini ve kıvrım uzunluğu uzadıkça yay yarıçapından bağımsız olarak sıyırılma performanslarının arttığı bulgularına ulaşmışlardır.

Abdallah ve ark. [44] lif sıyırılma davranışı üzerine yüksek sıcaklığın etkisini farklı dayanımlara sahip matrislere gömülmüş kancalı uçlu ve düz teller üzerinde yaptıkları deneysel çalışma ile araştırmışlardır. Çalışma sonucunda kancalı uçlu tellerin daha iyi performans sergilediklerini ve özellikle 400 °C'den sonra çelik tellerin ve

matrisin özelliklerinin çok bozulduğunu tellerin çekme dayanımı değerlerinde azalmalar olmasına karşın sünekliklerinin arttığı bulgularına ulaşmışlardır.

Kullanılan tellerin beton matrisi ile arasında oluşan aderans, telin narinliğine (L/d) bağlıdır. Yaygın olarak kullanılan çelik teller, 50-100 arasında değişen narinliğe sahiptir. Tellerin boyutları ne kadar küçükse taze beton karışımında yayılması o oranda kolay olmaktadır. Kısa telleri karıştırmakta uzun tellere oranla daha kolaydır. Fakat kısa tel kullanılması sonucunda meydana gelen kompozitin özellikleri uzun tellere göre daha küçük olmaktadır. Genel olarak kullanılan tel uzunlukları, 6,4-76 mm arasında değişmektedir [45].

Tel narinliği ve hacim oranı ÇTDB'nin özelliklerini etkileyen en önemli faktörlerdir. Beton üretim aşamasındaki aşamalardan olan karıştırma ve yerleştirme aşamasında telin narinliği önem arz etmektedir. Narinliğin artması sebebi ile tellerin betonda toplanması ve heterojen dağılıma sahip olma olasılığı artmaktadır. Tel uzunluğunun etkisi ise karışımında düz çelik tel kullanılması durumunda önemlidir. Daha büyük narinliğe sahip uzun teller, dayanım artışı ve enerji yutma kapasitesinde daha iyi performans göstermektedir [46].

Gao ve ark. [47] tarafından yapılan çalışmalarda yüksek dayanımlı hafif ağırlıklı betonun poisson oranı ve elastisite modülü üzerinde çelik tellerin etkisi araştırılmış olup eğilme ve kırılma toklukları belirlenmiştir. Yapılan deneyler sonunda, narinliğinin ve tel hacminin eğilme dayanımı ve kırılma tokluğuna belirgin bir etkisi olduğu, basınç dayanımını az miktarda iyileştirdiği ve çekme/basınç dayanımı oranının belirgin bir şekilde arttırdığını tespit etmişlerdir. Narinliğin ve tel hacminin artması sonucunda en büyük yüke karşılık gelen eğilme şekil değiştirmenin (sehim) arttığı ve tellerin çatlak durdurmasına bağlı olarak en büyük yük sonrası yük-sehim eğrisinde ağır bir şekilde azalma olduğu gözlenmiştir.

Mohammadi ve ark. [48] çelik tel donatılı betonunlar üzerinde çelik tel hacim oranının ve tel narinliğinin etkileri basınç, eğilme dayanımı, yarmada çekme ve ultrasonik dalga hızı üzerinde araştırılmıştır. Bu hedef için üç farklı narinlikte (45,65 ve 80) uçları kancalı çelik teller kullanılmıştır. Kullanılan teller beton matrisi



içerisine beton hacminin %0,5, %1 ve %1,5 oranlarında eklenmiştir. Beton matrisine çelik tellerin eklenmesinin, hacim oranına ve narinliğe bağlı olarak betonun eğilme ve yarma-çekme dayanımını önemli oranda arttırdığı bulunmuştur.

#### **2.4.4. Lif Gömme Boyunun Etkisi**

Naik ve ark. [49] Çalışma kapsamında doğal lif katkılı çimento kompozitlerde lif-matris karakterizasyonunu araştırmak için lif sıyırma deneyi yapılmıştır. Çalışma kapsamında doğal lif ve çimento matris ara yüzeyi karakterizasyonu için yeni bir sıyırma testi metodu geliştirilmiştir. Çalışmada tip 1 portland çimento kullanılmış olup S/Ç oranı standart olarak alınmıştır. Üretilen çimento kompozitlerin orta noktasına gömme boyu 10 mm'den 20 mm ye kadar lifler batırılmıştır. Sıyırma deneyinde yükleme hızı 1 mm/dk seçilmiş olup deney sonucunda yük-sıyırma grafiği elde edilmiştir. Tepe yükü ve sıyırma enerjisinin gömme boyuna bağlı olarak artmakta olduğu ve bu artışın %53,2 ile %304 arasında olduğu gözlemlenmiştir. Modelde parametreleri; tepe yükü, polipropilen ve çelik lif dayanımları, standart sıyırma testi parametreleri olarak kabul edilmiştir. Tasarlanan model sonucu ile standart sıyırma testi sonucu arasındaki benzerliğin çok yakın olduğu görülmüştür.

Shannag ve ark. [50] çimentolu matrisler üzerinde çelik lif sıyırma testi için kapsamlı bir deney programı yapılmıştır. Lif katkılı malzemeler üzerinde tokluk özelliği olarak bilinen yüzey özellikleri belirlemek için özellikle tek lif sıyırma aparatı dizayn edilmiştir. Parametreler özellikle yüksek dayanımlı çimentolu matrisler, standart matrisler, lif gömme boyu ve lif yoğunluk etkisi seçilmiştir. Lif katılmayan karışımla hazırlanan lif gömülmüş kontrol matrisi %3-%6 oranında lif katılarak lif gömülmüş matrisler üretilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda;

- Normal matrise göre yüksek dayanımlı çimentolu matrislerde yüzey özelliklerinde önemli derecede iyileşme görülmüştür.
- Lif gömme boyu ve lif yoğunluk etkisi arttıkça, lif sıyırma tepe yükü ve sıyırma enerjisinde artışlar görülmüştür.
- Önemli bağ mekanizması sürtünmeye bağlı olduğu belirlenmiştir.

Teklal ve ark. [51] Çalışmada lif matris yüzey aderansı hakkında lif gömülmüş matrislerin sıyrılma davranışına göre çeşitli analitik modeller gözden geçirilmiştir. İki ana etken olduğu araştırılmış olup, birincisi maksimum yük kriteri, ikincisi ise kırılma mekanizmasıdır. Çalışmada literatürde olan analitik modeller kullanılarak dayanım ve yüzeyde oluşan kritik kırılma enerjisi hesaplanmıştır. Analitik modellerdeki parametreler; modelin geometrisi, liflerin gömülme derinliği, lif çapı, yükleme koşulları ve bileşen özellikleri olarak verilmiştir.

#### **2.4.5. Lif Yerleştirme Açısının Etkisi**

Qi ve ark. [52] Ultra yüksek dayanımlı betonlarda düz ve kancalı uçlu çelik lif gömülmüş numunelerde çeşitli açıların etkisini araştırmak için tek lif sıyrılma deneyi yapmışlardır. 3 farklı çelik lif kullanılmış olup düz ve kancalı uçlu özelliklerine sahiptirler ve  $0^\circ$ ,  $30^\circ$  ve  $45^\circ$  olmak üzere 3 farklı açı ile gömülmüştür. Basınç dayanımı 151,5 MPa olan ultra yüksek dayanımlı betonlardan lifler sıyrılmıştır. Deney sonuçlarına göre açı değeri arttıkça bağ dayanımının arttığı görülmüş olup bu artış %19,2 ile %52,9 oranında değişmektedir. Aynı zamanda kancalı uçlu çelik liflerde bağ dayanımı artışı %10,3 ile %13,6 ve %16,2 ile %26,1 oranında olduğu görülmüştür. Kanca uçlu çelik liflerde toplam sıyrılma enerjisi %50 ile %56,8 oranında arttığı görülmüş olup önemli derecede etkilendiği görülmüştür. Taramalı elektronik mikroskop (SEM) ile görüntülenen numunelerde 2 yeni indis olduğu görülmüştür. Bunlardan birincisi enerji indisi, ikincisi bağ dayanım indisi olup lif – matris bağ davranışını etkilediği görülmüştür. Çalışma sonucuna göre kancalı uçlu çelik lifler küçük çaplı da olsa kullanılarak yapılarda iyileşme sergileyeceği belirtilmiştir.

Banthia ve Trottier [53] çalışmalarında yükleme doğrultusuyla aynı eksende yer alan liflerin yükleme doğrultusuyla eğimli açığa sahip yerleştirilmiş liflere kıyasla daha yüksek sıyrılma dayanımına sahip olduklarını ve tepe yükü değerlerine daha az sehim yaparak ulaştıklarını belirlemişlerdir. Ayrıca, aksenal yerleştirilmiş liflerin daha fazla sıyrılma enerjisi değerlerine sahip olduklarını ortaya koymuşlardır.

Soetens ve ark. [54] araştırmalarında lif yerleştirme açısı farklı olan düz ve kancalı uçlu lifler üzerinde deneysel çalışma yürütmüşler ve sıyırılma davranışını analitik bir modelle tahmin etmeye çalışmışlardır. Çalışmalarında 2 farklı dayanımda harç, 2 farklı karbon oranında dolayısıyla iki farklı dayanımda kancasız ve kancalı uçlu çelik tel kullanmışlardır. Ayrıca çelik tellerde tel çapıda bir değişken olarak seçilmiştir. Lifler farklı gömme boylarında (10 ve 30 mm) ve farklı açılarda (0°, 15°, 30°, 45° ve 60°) harçlara gömülerek sıyırma deneyleri yapılmıştır. Deneysel çalışmaları kapsamında aşağıdaki sonuçları gözlemlemişlerdir.

- ❖ Gömme boyu derinliğinin minimum gömme değerinden daha küçük değerler için yük-sıyırılma grafiği üzerinde belirgin bir etkisi görülmemiştir.
- ❖ Mekanik ankraj etkisinden dolayı kancalı uçlu liflerde daha yüksek sıyırılma yükü değerleri elde edilmiştir. Ayrıca harç dayanımının artması ile liflerin kopma olasılığı artmıştır.
- ❖ Kancalı uçların plastik deformasyonu sıyırılma mekanizmasında kilit rol oynamaktadır. Lifleri deforme edebilmek için daha fazla enerji gerekmiştir.
- ❖ Beklenildiği üzere lif çapı arttıkça sıyırılma yükü değerleri artmıştır. Yük sehim eğrileri incelendiğinde lif çapının artması da tepe yükü sonrası davranışı etkilemiştir.

#### **2.4.6. Yükleme Hızı Etkisi**

McSwain ve ark. [55] ultra yüksek dayanımlı betonlarda önemli olan tokluk ve durabilite hakkında çalışmalar yapmıştır. Çalışmada lif sıyırılma davranışı üzerinde yük etkisi araştırılmıştır. Yaklaşık 90 tane sıyırılma testi yapılmış olup dayanımlar 2.38 ve 76 MPa bulunmuştur. Çalışma sonucunda elde edilen sıyırılma verileri kaydedilip analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre yük etkisi pozitif korelasyon göstermiştir bu korelasyon tepe yükü ve tokluk için oluşturulmuştur ancak sıyırılma testindeki başlangıçta sıyırılan çok az mm için geçerli olduğu saptanmıştır. Bağ kırılma enerjisi ve kırılma üzerine bir analitik sıyırılma modeli uygulanmıştır. Model

sonucuna göre bağ kırılma enerjisi iyi bir sonuç vermemiştir. Ancak kırılma dayanımının %60 oranında arttığı gözlemlenmiştir.

Xu ve ark. [56] Yüksek dayanımlı çelik lif gömülmüş ultra yüksek dayanımlı betonlarda tek lif sıyırılma performansı araştırılmıştır. Çalışmada çeşitli sıyırılma oranı kullanılarak test yapılmış olup dinamik çekme davranışı üzerine araştırma yapılmıştır. Genel olarak çatlak oluşumunun yük oranına bağlı olduğu ve mikro çatlakların çimentolu matrislerin lif gömülen yerlerindeki hasarlardan meydana geldiği düşünülmektedir. Çalışmada 4 farklı yüksek dayanımlı çelik lif kullanılmış olup özellikleri şöyledir; çapı: 0,2 mm ve 0,38 mm olan düz yüksek dayanımlı çelik lif, çapı 0,38 mm olan kıvrımlı yüksek dayanımlı lif, Çalışmada 0,025 mm/s ile 25 mm/s aralığında olmak üzere 4 farklı yükleme hızı kullanılmıştır. Yükleme hızının etkileri maksimum lif çekme dayanımı, kullanılan malzeme, sıyırılma enerjisi, ölçülen bağ kuvveti ve ortalama bağ kuvveti üzerinde hesaplamalar yapılarak analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre yarı kancalı çelik lifler için yüksek yükleme hızında en iyi performans sergilediği görülmüştür ayrıca çalışmada lifler açılı yerleştirilerek lif gömme açısı etkisi de araştırılmıştır. Bu sonuçlara göre lif sıyırılma davranışında yükleme hızı ile lif gömme açısı arasında bir korelasyon olduğu gözlemlenmiştir.

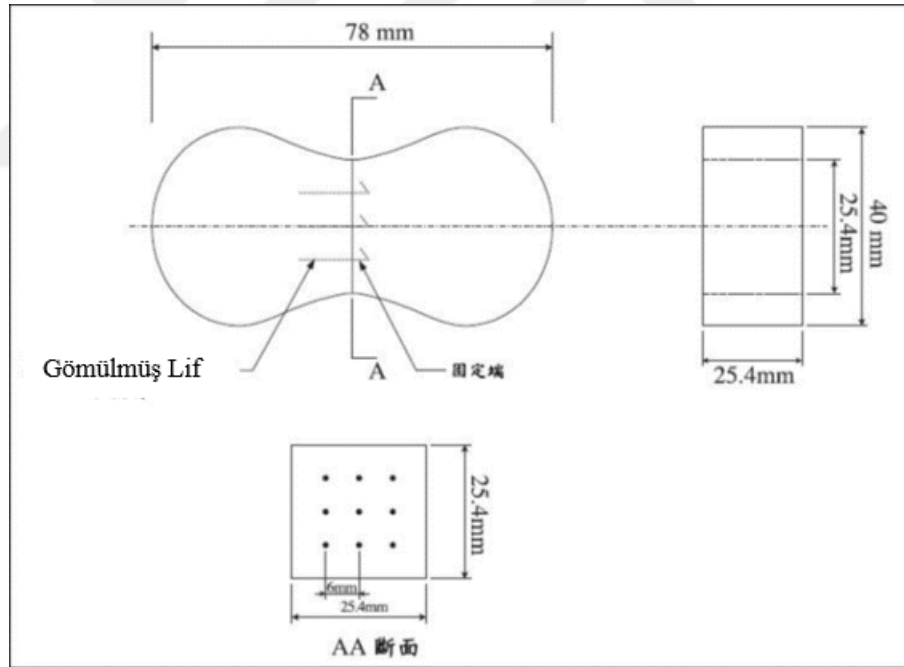
Boshoff ve ark. [57] çimento esaslı kompozitlerde sıyırılma deney sonuçlarına yükleme hızı etkisini araştırmışlardır. Dört farklı yükleme hızında (0,01 mm/s, 0,1 mm/s, 1mm/s, 10 mm/s ve 100 mm/s) ve farklı gömme derinliklerinde gerçekleştirilen deneyler sonucunda yükleme hızının artmasıyla sadece sıyırılma yükünün artmadığı aynı zamanda liflerin kopma olasılıklarında arttığı sonucu bulunmuştur. Ayrıca, gömme boyu derinliğinin kayma sertleşmesi katsayısına ve aray üzey kayma dayanımına etki ettiği sonucu ortaya konmuştur.

## **2.5. Lif Sıyırılması Deney Metodu**

Çekip-çıkarma (pull-out) deneyi, daha büyük hacim ve daha derin betonlarda çekip-çıkarma deneyi yapılmasına imkân sağladığı için penetrasyon direnci testi ve beton

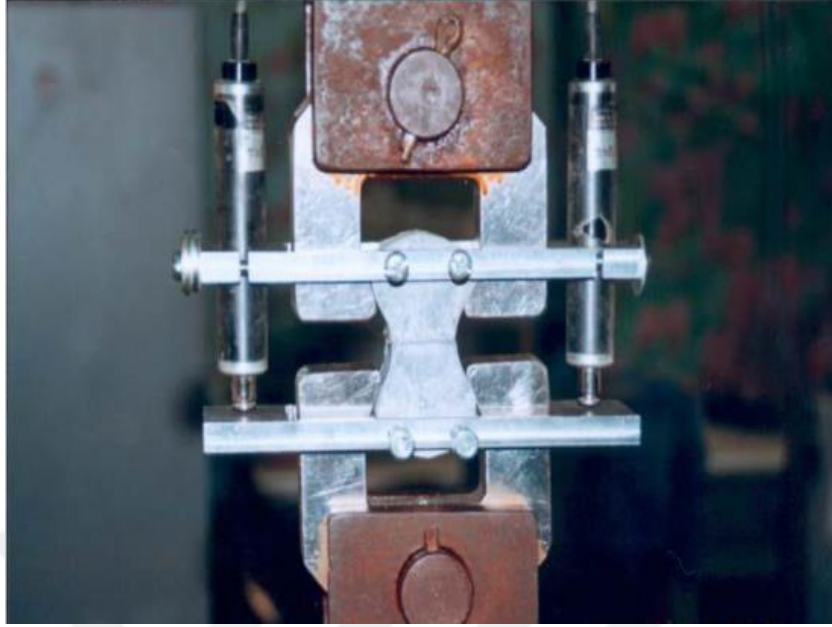
test çekici testine kıyasla daha üstündür ancak yapılan deneylerde elde edilmek istenen betonun arzu edilen dayanıma ulaşip ulaşmadığını belirlemek ise çekip-çıkarma deneyinin kullanılmasına gerek yoktur. Çekip-çıkarma deneyi, matris içine gömülmüş olan donatının veya lif katkılarının daha önceden belirlenmiş olan kuvveti uygulamak için yeterlidir. Yapılan deney esnasında eğer donatı veya lif matristen çekip çıkarılmıyorsa, istenilen dayanımın kazanıldığı varsayılır [58].

Chan ve Chu [59] çalışmada lif çekme testinde uygulanacak örnekleri hazırlamak için köpek kemiği şeklinde kalıp hazırlamışlardır. Matris içerisine 9 adet çelik lif yerleştirmişlerdir. Çelik liflerin kanca uçları numunenin yarısından geçecek şekilde yerleştirilmiş olup lif çekme testi diğer yarısından çekerek yapılmaktadır. Öncelikle lif yerleştirilerek yarım numunenin dökümü yapılmıştır. Ardından çelik lifin kancalı kısmı olan, numunenin diğer yarısına döküm yapılmaktadır (Şekil 2.3).



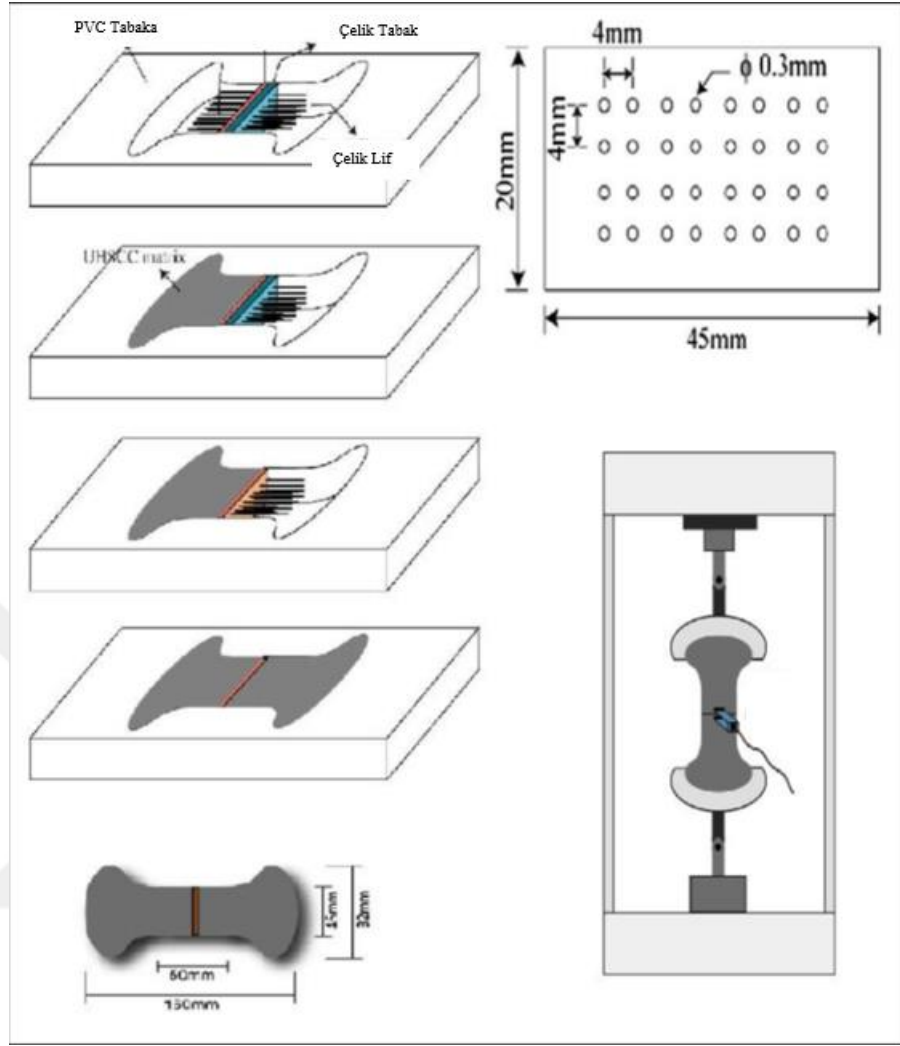
**Şekil 2.3.** Lif Çekme Numunesi ve Kesit Görünüşü [59]

Şekil 2.4'te ise çekip çıkarma deneyinin kullanılmış resmi gösterilmektedir. Çekip çıkarma deneyi boyunca yük hücresi ve LVDT tarafından çekip çıkarma yükü ve sıyrılma mesafesi ölçülmektedir.



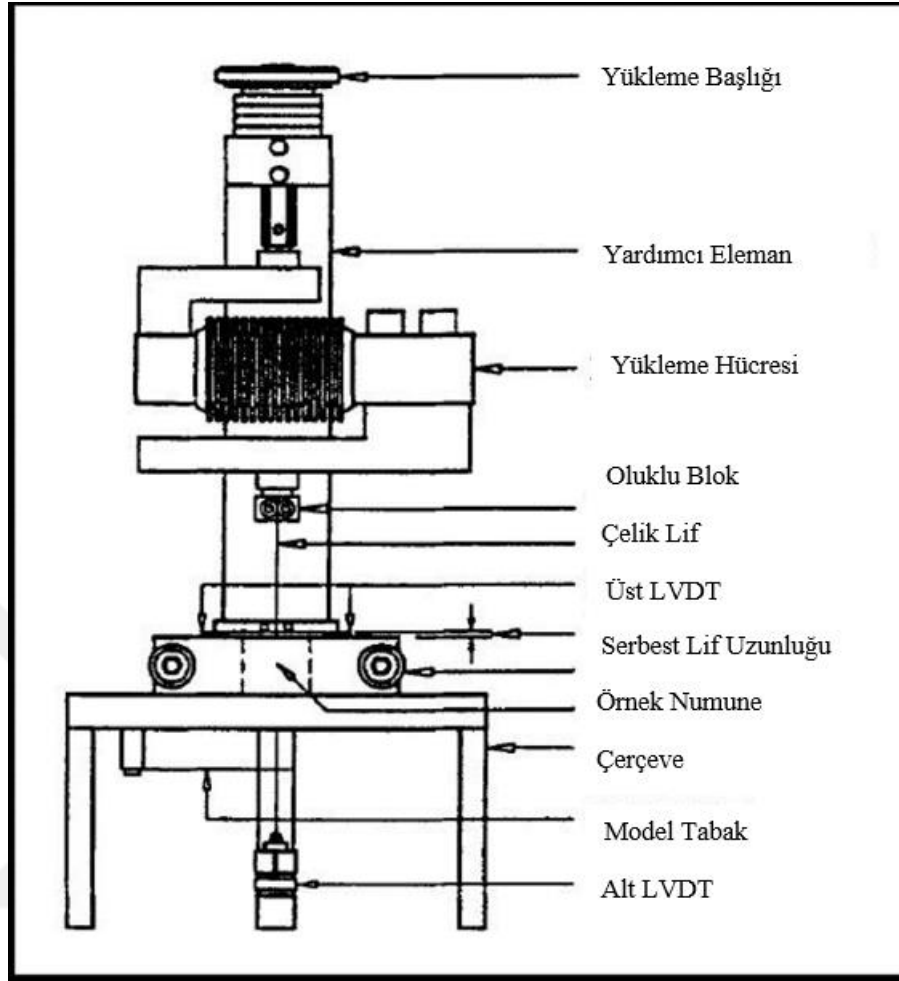
**Şekil 2.4.** Sıyırılma Deneyi Kurulumu [59].

Lee ve ark. [60] çalışmada çift tarafı kesilmiş birçok lif yerleştirilmiş numuneler hazırlamışlardır. Öncelikle bir levha kalıp içine yerleştirilmiştir. Ardından lifler levhaya yerleştirilmiştir. Kalıbın yarısına matris dökümü yapılır. 24 saat sonra merkezdeki çelik levha sökülüp kalıbın diğer yarısına döküm yapılarak numuneler hazırlanmaktadır. Ölçümler numunenin ortasına yerleştirilen ölçüm cihazı ile ölçülmektedir (Şekil 2.5).



**Şekil 2.5.** Numune Hazırlanışı, Boyutları ve Sıyırılma Deney Aparatı [60]

Shannag ve ark. [61] çalışmada çekip-çıkarma deneyinde kullanmak için 25x23x19 mm ölçülerinde üretilen prizmatik şeklinde numuneler hazırlanmıştır. Özel bir aparat kullanarak çelik lifleri düz yerleştirebilmek için özel olarak tasarlanmış bir kalıp üretilmiştir. Kalıplara dökülen karışımlar titreşim yardımıyla sıkıştırma işlemi yapıldı. Ardından kalıpların üzerine plastik örtü ile sarılarak 24 saat oda sıcaklığı altında kür işlemine tabi tutularak numuneler çekip-çıkarma deneyi için hazırlanmıştır. Çalışmada çekip-çıkarma deneyinde kullanılan aparatın şematik diyagramı şekil 2.6'da verilmiştir.



**Şekil 2.6.** Çekip-Çıkarma Deneyinde Kullanılan Aparat [61]

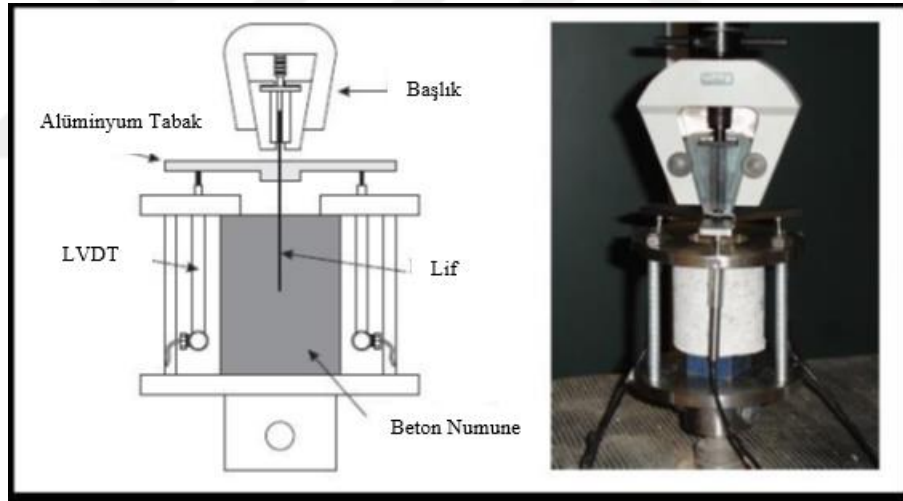
Abu-lebdeh ve ark. [62] çalışmada tek lif gömülmüş çok yüksek dayanımlı ve normal dayanımlı betonlarda çekip-çıkarma davranışını araştırmışlardır. Çalışmada 6 farklı lif ile üretilmiş numuneler üretilmiştir. Çekip-çıkarma deneyi için MTS makinesi kullanılmıştır. Makinedeki kullanılan yük hücresi kapasitesi 9.78 kN olarak seçilmiştir (Şekil 2.7).





Şekil 2.7. Çekip-Çıkarma Deney Düzenegi [62].

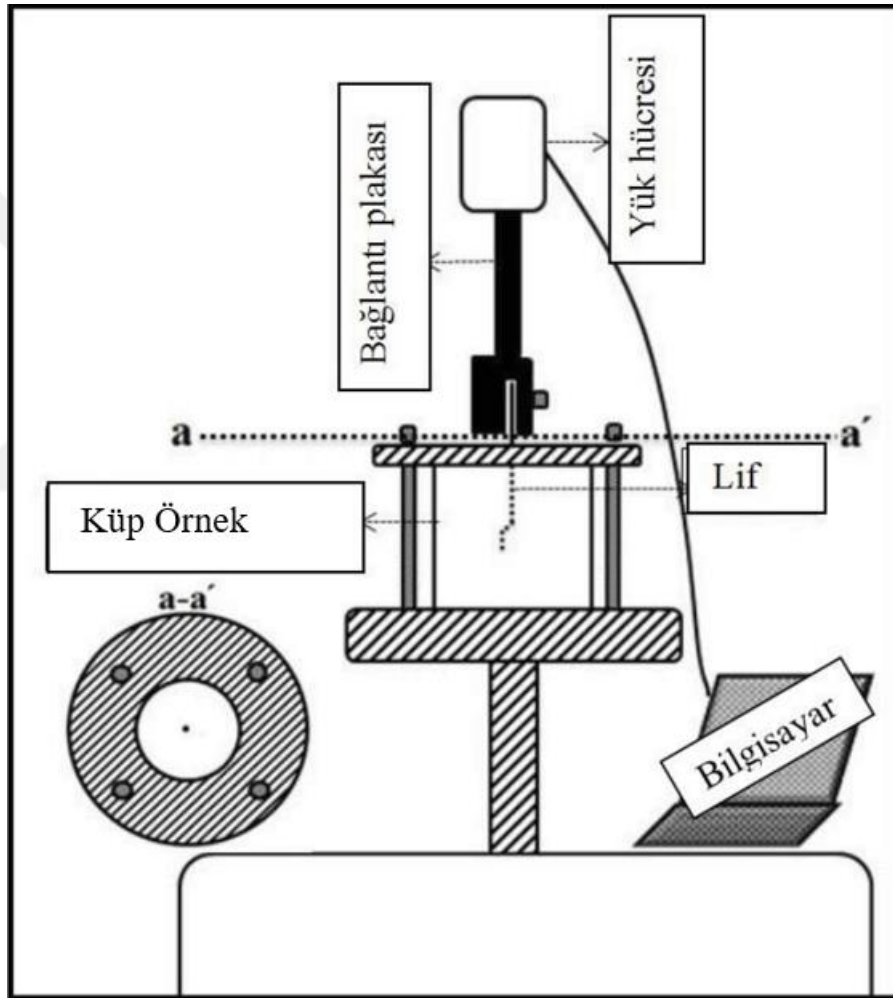
Cunha ve ark. [63] çalışmada çelik lif gömülmüş kendiliğinden yerleşen betonlarda çekip-çıkarma davranışını araştırmışlardır. Çalışmada 30 kN kapasitesindeki yük hücreli servo-hidrolik olan Loyd LR30K makinası kullanılmıştır. Ayrıca çalışmada sıyrılma yük grafiğini elde edebilmek için 3 adet LVDT kullanılmıştır (Şekil 2.8).



Şekil 2.8. Çekip-Çıkarma Deney Düzenegi [63].

Lif-matris arasındaki bağ özelliklerinin tespiti amacıyla tek lifin matristen çekip çıkarılması deneyi yapılmıştır. Çalışma kapsamında kullanılan Çekip-çıkarma deneyine ait diyagramı şekil 2.9'da gösterilmiştir. Yük hücresinin kapasitesi 6 kN'dur. Çekip-çıkarma deneyinin uygulanacağı numuneler deney düzeneğinin alt kısmında bulunan plaka üzerindeki çerçeveye sabitlenmiş, lifin serbest ucu ise bağlantı plakasına tutturulmuştur. Şekil 2.9'da gösterildiği gibi, lif montaj plakası

kapalı döngü kontrol test prosedürü kapsamına göre 1 mm/dk hızla yukarı doğru hareket etmektedir. Matris'ten lifin sıyrıldığı süre zarfında, yüke ilişkin değerler bir bilgisayara bağlanarak kaydedilmiştir. Maksimum çekip-çıkarma yükü ve bu yükteki deplasman gibi önemli parametreler, deney verileri kullanılarak çizilmiş olan çekip-çıkarma yüküne karşı deplasman eğrilerinin analizi ile saptanmıştır. Sıyrılma tokluğunun hesaplanabilmesi için yük-sıyrılma grafiğinin altında kalan alan hesaplanmıştır [64].



Şekil 2.9. Çekip-Çıkarma Deneyinin Şematik Diyagramı [64].

Yapılan bir çalışmada, çelik-beton aderansı kusurlarına taze betonun terleme, çökme ve ayrışmasının etkileri araştırılmıştır. Çalışmanın içeriğinde 3 farklı beton tipi kullanılmıştır bunlar; normal beton, yüksek mukavemetli beton, kendiliğinden

yerleşen betonlardır. Çalışmada kullanılan donatı 10 mm çaplı, nervürsüz çeliktir. Aderans kusurlarının tespit edilmesi maksadı ile çekip-çıkarma testi uygulanarak ölçülen ortalama aderans gerilmesi ve donatı altındaki kusur uzunluğu video-mikroskop vasıtası ile incelenmiştir. Yapılan bu çalışma sonucunda daha öncede betonarme yönetmeliklerinde belirtilen donatı kusurlarının varlığı teyit edilmiştir [65].

Yapılan başka bir çalışmada, donatı ile beton arasında oluşan bağ özelliklerine korozyonun etkisini incelemek amacıyla daha önceden paslandırılmış donatılar betonun içine gömülmüş ve hızlandırılmış elektrik korozyon metodu kullanılarak çekip-çıkarma deneyleri yapılmıştır. Yapılan çalışma kapsamında beton örtü kalınlıklarının donatı çapının 1,5, 2,5 ve 3,5 katı olacak şekilde belirlenmiştir. Deneylerde kullanılan betonlar için su/çimento oranı 0,45, 0,55 ve 0,65 olarak seçilmiştir. Yapılan deneyler neticesinde beton mukavemetinin artmasıyla beraber bağ kuvvetinin de arttığı görülmüştür. Basınç mukavemeti ile bağ mukavemeti arasında yüksek korelasyon ilişkisi olduğu görülmüştür. Yapılan Çekip-çıkarma deneyleri sonucunda, pas oranının artmasıyla ters orantılı olacak şekilde bağ kuvvetinin ve bağ rijitliğinin azaldığı görülmüştür [66].

Agrega tane büyüklüğü ve beton sınıfının çelik donatı ile beton arasındaki aderansını nasıl etkilediğini araştıran çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmada numunelerin orta eksenlerine gömme boyu 10 cm olacak şekilde 12 mm çapında nervürlü çelik çubuklar yerleştirilmiştir. Yapılan çekip-çıkarma deneyleri sonucunda elde edilen sonuçlar kullanılan agrega tane çapının büyüdükçe Çekip-çıkarma kuvvetinin de arttığı, aynı şekilde beton basınç mukavemetinin arttıkça Çekip-çıkarma kuvvetinin de arttığı sonuçları ifade edilmiştir. Ayrıca aderans dayanımı arttıkça kullanılan çelik çubuktaki sıyrılmanın da ters orantılı olarak azaldığı görülmüştür [67].

Sorzia ve ark. [68] çimento matrislerine gömülmüş viskoelastik sentetik liflerin sıyrılma davranışlarını, liflerin aksenal yük altında tokluk değerlerini ve çimento matrisinin lif aderansı üzerine etkilerini araştırmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen

sonuçlara göre tokluk denkleminin ikinci derecede olduğu ve tokluğu etkileyen parametrenin lif sıyırılma süreci olduğu görülmüştür. Yapılan çalışma kapsamında 2 farklı model ile liflerin viskosite parametrelerine bakılmıştır. Bu modeller Rabotnov modeli ve klasik modeldir. Modellerin belirleyici parametrelerinin ise gerilme ve eksenel deplasman olmak üzere iki tane olduğu belirlenmiştir.

Pise ve ark. [69] tek lif gömülmüş betonlarda sıyırılma testi simülasyonu uygulanarak kırılma mekanizması üzerinde elasto-plastik bir model oluşturularak deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Mekanik davranışı açıklamak için Drucker – Praper plastik modeli kullanılmıştır. Çalışmanın amacı tek çelik lif sıyırılma davranışının malzeme davranışına olan etkisinin araştırılmasıdır. Böylece betonun mekanik davranışı üzerinde tek lif sıyırılma testi yapılmıştır. Simüle edilen analiz modeli ile deney verileri arasında karşılaştırma yapılmıştır. Yapılan karşılaştırma sonucu betondaki hasar davranışlarının bu model ile iyi sergilenebileceği görülmüştür.

### **3. DENEYSEL ÇALIŞMA**

Bu tez kapsamında, lif katkılı çimento esaslı kompozitlerde lif sıyırılma davranışı deneysel bir çalışma yapılarak araştırılmıştır. Lif tipi, narinliği, dayanımı ve kanca özellikleri gibi lif özelliklerinin sıyırılma davranışı üzerine etkisi 10 farklı lif kullanılarak incelenmiştir. Sıyırılma davranışı üzerinde lif özelliklerinin etkisinin yanında, matris dayanımının etkisi 4 farklı Su/Çimento (S/Ç) oranında 10 farklı lif ile deneyler yapılarak, matris bileşiminin etkisi 3 farklı kum tipi ve 3 farklı Çimento/Kum (Ç/K) oranında 6 farklı lif ile deneyler yapılarak, numune boyutunun etkisi 4x4 cm ve 5x5 cm boyutlara sahip numuneler üzerinde deneyler yapılarak ve gömme boyunun etkisi 2 farklı gömme boyunda (20 mm ve 30 mm) deneyler yapılarak araştırılmıştır.

Üretilen harçların taze halde harç kıvamı üzerine etkileri yayılma tablası deneyi ile incelenmiştir. Sertleşmiş harç numuneleri üzerinde ise basınç ve eğilme dayanımı deneyleri yapılmıştır.

Çalışma kapsamında, kullanılan malzemeler, üretilen harç karışımları, uygulanan deney yöntemleri ve elde edilen sonuçlar bu bölüm içinde sunulmuştur.

#### **3.1.Kullanılan Malzemeler**

Bu çalışmada çimento, doğal kum, kırma kum, pomza, kimyasal katkı ve sudan oluşan karışımlarla farklı S/Ç oranı ve Ç/K oranına sahip harç tasarımları oluşturulmuştur. Harç karışımlarına lifler gömülerek sıyırma deneyleri gerçekleştirilmiştir.

##### **3.1.1.Çimento**

Çalışma kapsamında CEM I 42,5 R tipi çimento kullanılmıştır. Çimentoya ait fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikler Tablo 3.1’de verilmektedir.

**Tablo 3.1.** Çimento Özellikleri

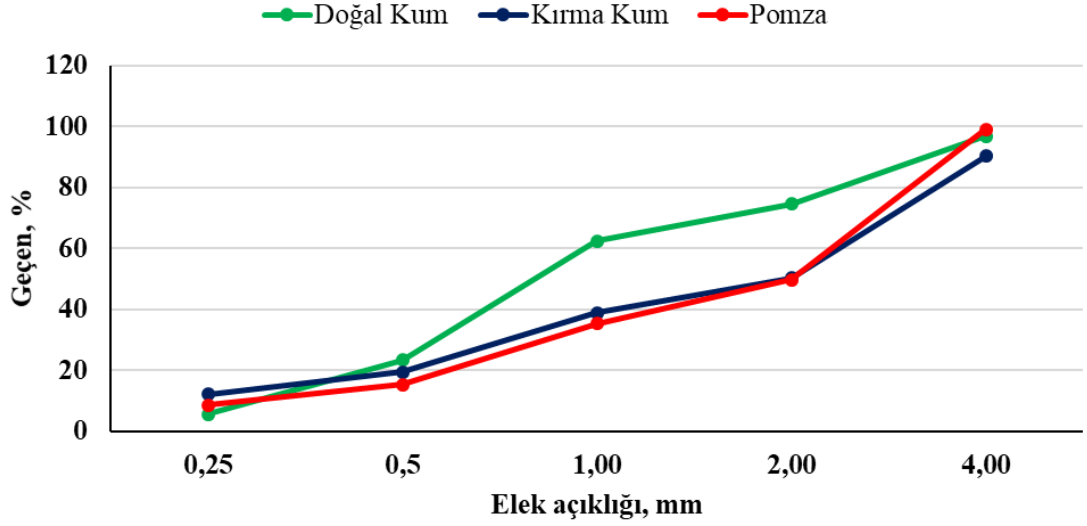
Kimyasal Bileşim	%	Fiziksel Özellikler		Mekanik Özellikler	MPa
CaO	62,3	45µ altı (%)	7,1	2 Günlük	30,4
S. CaO	1,36	Özgül ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )	3,09	7 Günlük	43,1
SiO <sub>2</sub>	18,4	Özgül yüzey Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	3530	28 Günlük	52,2
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,2	Priz başı, dakika	166		
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,4	Priz sonu, dakika	231		
SO <sub>3</sub>	2,67				
MgO	2,4				
Cl	0,012				
K <sub>2</sub> O	1,1				
Na <sub>2</sub> O	0,27				
Çözünmeyen kalıntı	0,84				
Kızdırma kaybı	3,69				

### 3.1.2. Agregata

Çalışma kapsamında kırma kum, doğal kum ve pomza kullanılmıştır. Agregalara ait tane boyut dağılımları ve fiziksel özellikler Tablo 3.2’de verilmektedir. Aynı zamanda agregata karışımına ait granülometri eğrisi Şekil 3.1’de verilmektedir.

**Tablo 3.2.** Agregata Özellikleri

Agregata	Özgül ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )	Su emme (%)	Elek boyutu, mm % Geçen					
			0,25	0,5	1	2	4	8
Kırma Kum	2,62	1,49	12,3	19,4	38,9	50,4	90,3	100
Doğal Kum	2,47	2,91	5,77	23,5	62,5	74,6	96,9	100
Pomza	1,34	29,27	8,7	15,3	35,4	49,8	99,2	100



Şekil 3.1. Agrega Karışımına Ait Granülometri Eğrisi

### 3.1.3. Kimyasal Katkı

Gerekli işlenebilirlik değerlerini elde edebilmek amacıyla bazı karışımlarda yüksek oranda su azaltıcı CHRYSO® Fluid AGA isimli süper akışkanlaştırıcı kimyasal katkı kullanılmıştır.

### 3.1.4. Lifler

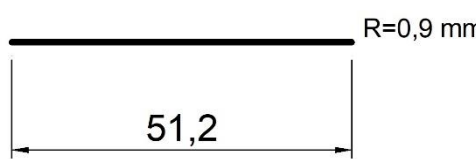

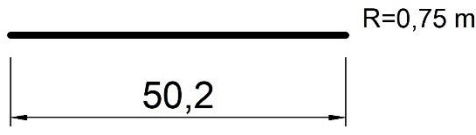

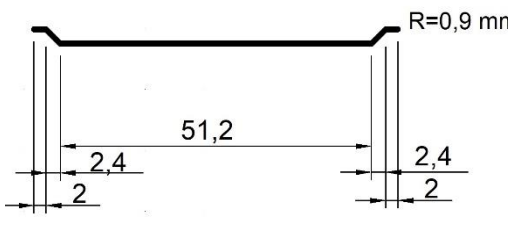

Çalışmada, farklı narinliğe, kanca boylarına, kanca tipine, dayanıma ve farklı malzemeden üretilmiş olan 10 farklı lif kullanılmıştır. Liflerin özellikleri Tablo 3.3'te verilmektedir. Tellere ait çizimler ve görüntüler ise Tablo 3.4'te verilmektedir. Liflere ait çekme deney sonuçları ve grafikleri Ek A'da verilmektedir.

**Tablo 3.3.** Liflerin Özellikleri

No	Lif Tipi	Boy, l (mm)	Çap, d (mm)	Narinlik (l/d)	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Çekme Dayanım, f <sub>su</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	Young Modülü (GPa)
1	3D65/60 (Kancasız)	51,2	0,9	57	7,85	1160	200-210
2	RC80/60BN (Kancasız)	50,2	0,75	67	7,85	1050	200-210
3	3D65/60 BG	60	0,9	65	7,85	1160	200-210
4	4D65/60 BG	60	0,9	65	7,85	1500	200-210
5	5D65/60 BG	60	0,9	65	7,85	2300	200-210
6	RC 80/60 BN	60	0,75	80	7,85	1050	200-210
7	RC 80/60 BP	60	0,71	85	7,85	2000	200-210
8	BARÇİP 54	54	-*	-*	0,89-0,91	640	12
9	ENDURO 600	50	0,7-0,75	66 – 71,4	0,91	550-750	7
10	POLYMACRO PM 39	39	-*	-*	0,91	240	3

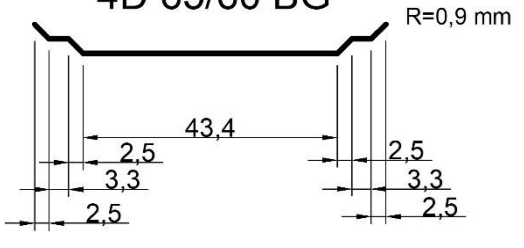

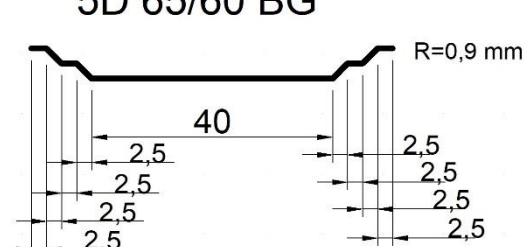

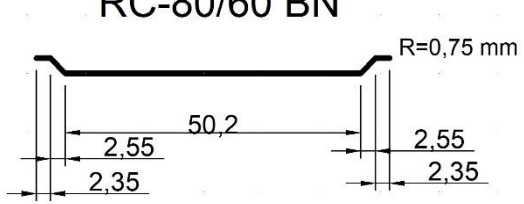

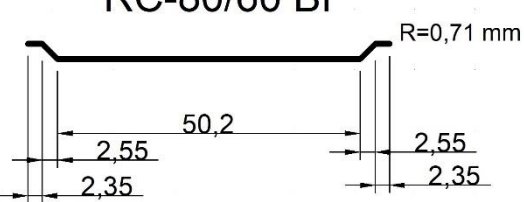

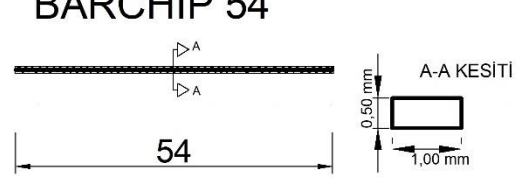

\*Lif kesiti dairesel değildir. Lif kesit özelliği ve ölçümler detaylı olarak tablo 3.4.'de verilmiştir.

**Tablo 3.4.** Liflerin Çizimleri ve Fotoğrafları

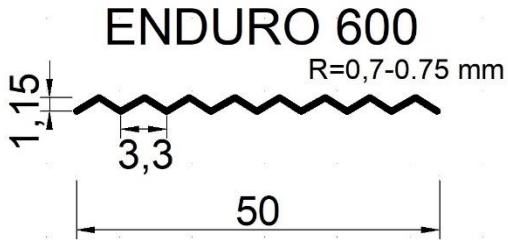
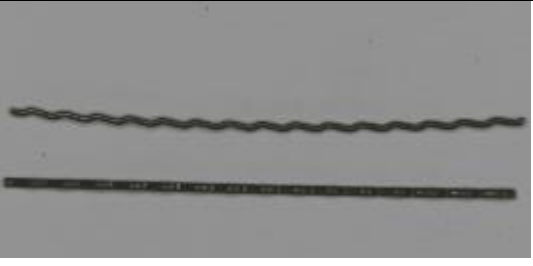
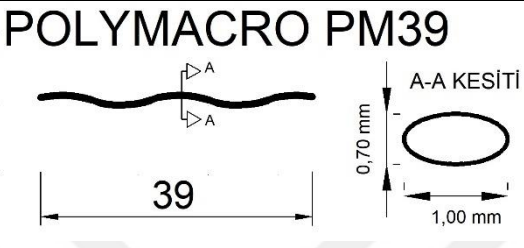
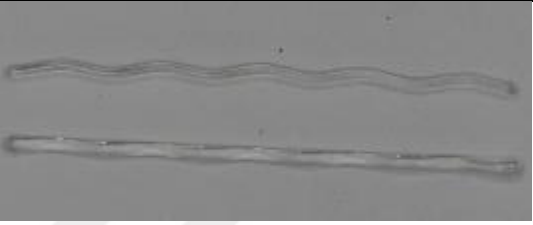
No	Lif Çizimi	Lif Fotoğrafi
1	<b>3D 65/60 BG KANCASIZ</b> 	
2	<b>RC-80/60 BN KANCASIZ</b> 	
3	<b>3D 65/60 BG</b> 	



**Tablo 3.5.** Liflerin Çizimleri ve Fotoğrafları (Devamı)

4	<p><b>4D 65/60 BG</b> <math>R=0,9</math> mm</p> 	
5	<p><b>5D 65/60 BG</b> <math>R=0,9</math> mm</p> 	
6	<p><b>RC-80/60 BN</b> <math>R=0,75</math> mm</p> 	
7	<p><b>RC-80/60 BP</b> <math>R=0,71</math> mm</p> 	
8	<p><b>BARCHIP 54</b></p> 	

**Tablo 3.6.** Liflerin Çizimleri ve Fotoğrafları (Devamı)

9	 <p><b>ENDURO 600</b> R=0,7-0.75 mm 1,15 3,3 50</p>	
10	 <p><b>POLYMACRO PM39</b> A-A KESİTİ 0,70 mm 1,00 mm 39</p>	

### 3.2.Harç Karışımları

Çalışma kapsamında sıyırılma davranışının incelenmesi amacıyla farklı özelliklere sahip lifler farklı bileşimlere sahip harçlara gömülerek numuneler hazırlanmıştır. Harç karışımları ve karışım oranları Tablo 3.5'te verilmiştir. Karışımların kodlanmasında 0,3-0,4-0,5-0,7 değerlerindeki Su/Çimento (S/Ç) oranları sırası ile 3-4-5-7 olarak adlandırılmıştır. Karışımda kullanılan doğal kum, kırma kum ve pomza sırası ile D, K ve P olarak adlandırılmıştır. Harç karışımları için örnek kodlama;

#### ABC

A: S/Ç oranı (3, 4, 5, 7)

B: Kullanılan kum türü (D, K, P)

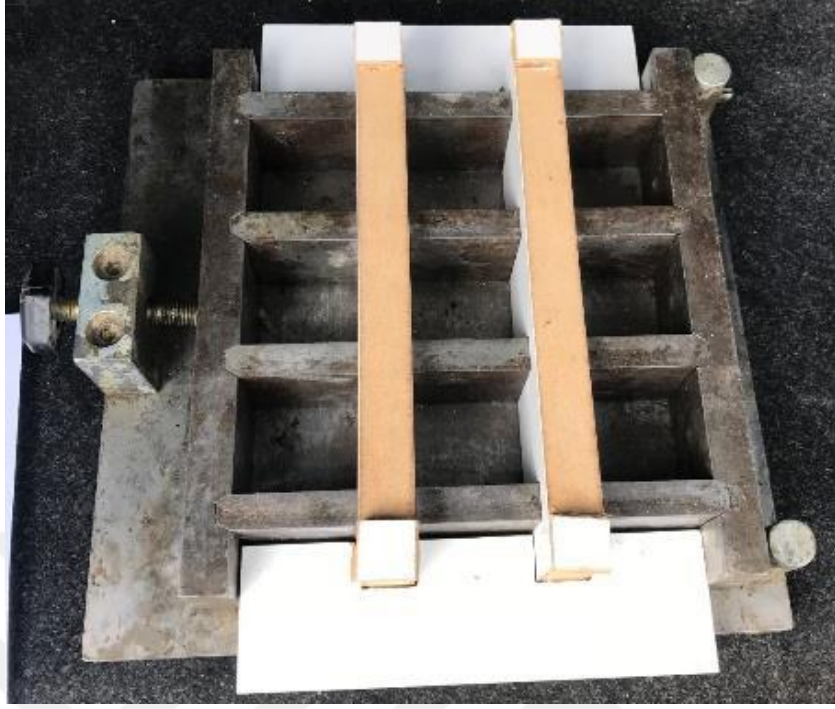
C: Ç/K oranı (1/1,5, 1/2, 1/2,5, 1/3, 1/4),

**Tablo 3.7.** Harç Karışımları ve Bileşen Miktarları (kg/m<sup>3</sup>)

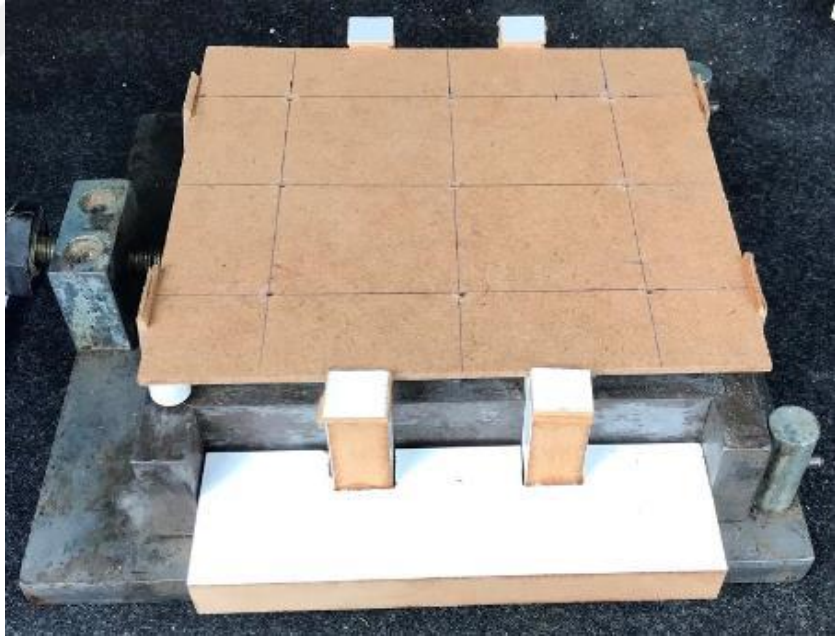
Karışım kodu	Çimento	Su	Doğal Kum	Süperakış.
3D1/3	450	193	1292	20
4D1/3	450	238	1292	8
5D1/2	450	264	861	-
5D1/3	450	283	1292	-
5D1/4	450	303	1722	10
7D1/3	450	373	1292	-
5K1/2	450	241	884	-
5K1/3	450	250	1325	-
5K1/4	450	258	1767	8
5P1/1,5	300	240	360	-
5P1/2	300	270	480	-
5P1/2,5	300	300	600	7,5

### 3.3. Numune Üretimi

Çalışma kapsamında daha önceden hazır bulunan 4x4x16 cm uzunluğundaki çelik kalıplar ahşaptan üretilen ayırıcı aparatlar ile 4x4x4 cm boyutlarına ayrılmıştır (Şekil 3.2). Hazırlanan ayırıcı aparatlar üzerine ahşap kalıp başlığı üretilmiştir (Şekil 3.3 ve Şekil 3.4). Üretilen kalıp başlığında numune ortalarına denk gelecek şekilde de 3 mm çapında delikler açılarak kullanılacak olan liflerin harç numuneler içerisine istenilen açıda ve gömme boyunda gömülmesi sağlanmıştır. Oluşturulan kalıp sistemi ile tek seferde 9 adet numune üretilmesi sağlanmıştır.



Şekil 3.2. Ahşap Ayırıcı Aparat



Şekil 3.3. Ahşap Kalıp Başlığı Üstten Görünüş



**Şekil 3.4.** Ahşap Kalıp Başlığı Yandan Görünüş

Yapılan çalışmada karışım oranları ve özellikleri tablolarda verilen harç karışımları hazırlanmıştır. Hazırlanan harçlar kalıp numunelerine vibrasyon işlemi yapılarak yerleştirilmiştir. Daha önceden gömme boyu ve gömme açısı dikkate alınarak kalıp başlığındaki deliklere silikon ile sabitlenen liflerin bulunduğu kalıp başlığı içerisinde harç dolu olan kalıpların üzerine koyularak deney kapsamında kullanılan liflerin harçların içerisine gömülmesi sağlanmıştır (Şekil 3.5). Liflerin sabitlendiği kalıp başlığı kalıp üzerine yerleştirildikten sonra numuneler tekrar vibrasyon işlemine tabi tutularak liflerin harçlara batırılması esnasında harç matrisi ile lif arasında oluşan boşlukların giderilmesi amaçlanmıştır (Şekil 3.6). Hazırlanan numuneler 24 saat sonra kalıp başlığındaki silikonların liflere zarar vermeden çıkarılmasının ardından kalıp başlığının ve ara bölmelerin sökülmesi işlemleri ile tamamlanmıştır. Numuneler 28 gün boyunca  $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ 'de kirece doymun suda kürlenmiştir. Kür havuzunda numuneler üzerinde kalan lif kısımlarının sudan etkilenerek korozyona uğramaması, numuneler suya üst kısımlarından 1 mm su dışında kalacak şekilde konularak sağlanmıştır. Aynı yöntemler kullanılarak tamamen ahşaptan üretilmiş olan 5x5x5 cm boyutlarında kalıp sistemi kullanılarak 5x5x5 cm boyutlarındaki numuneler üretilmiştir.



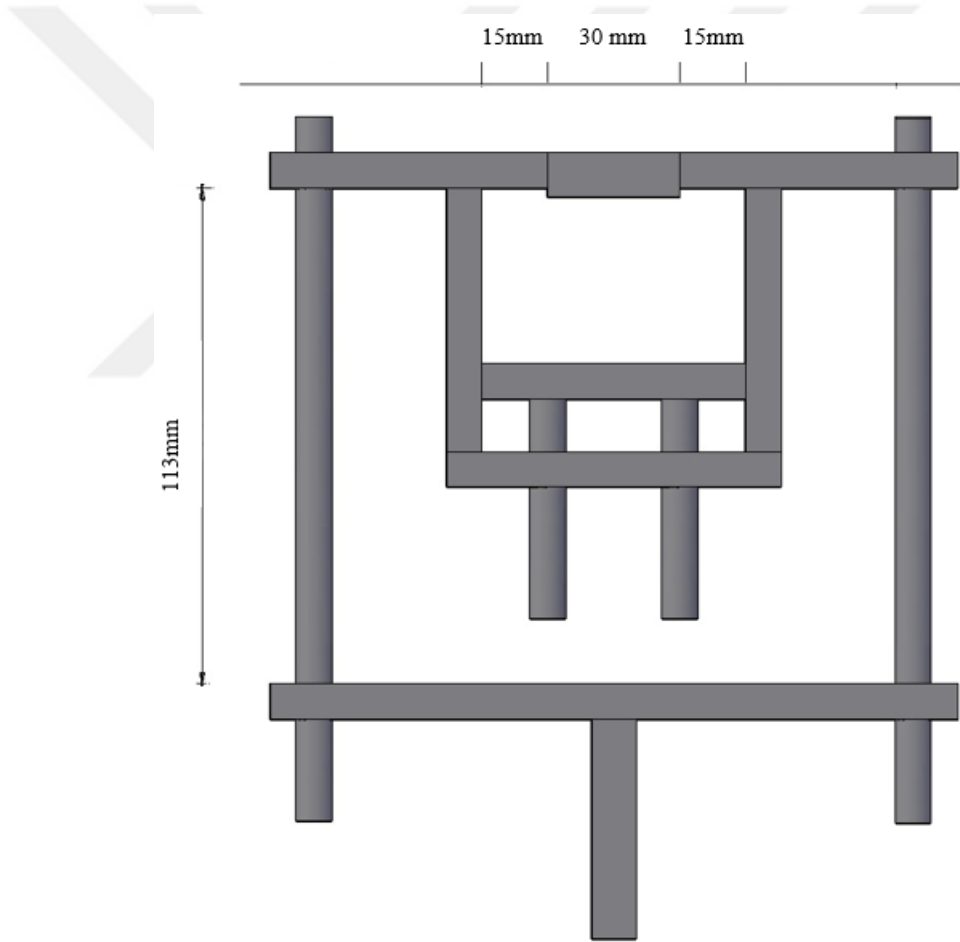
Şekil 3.5. Liflerin Silikon ile Sabitlenmesi



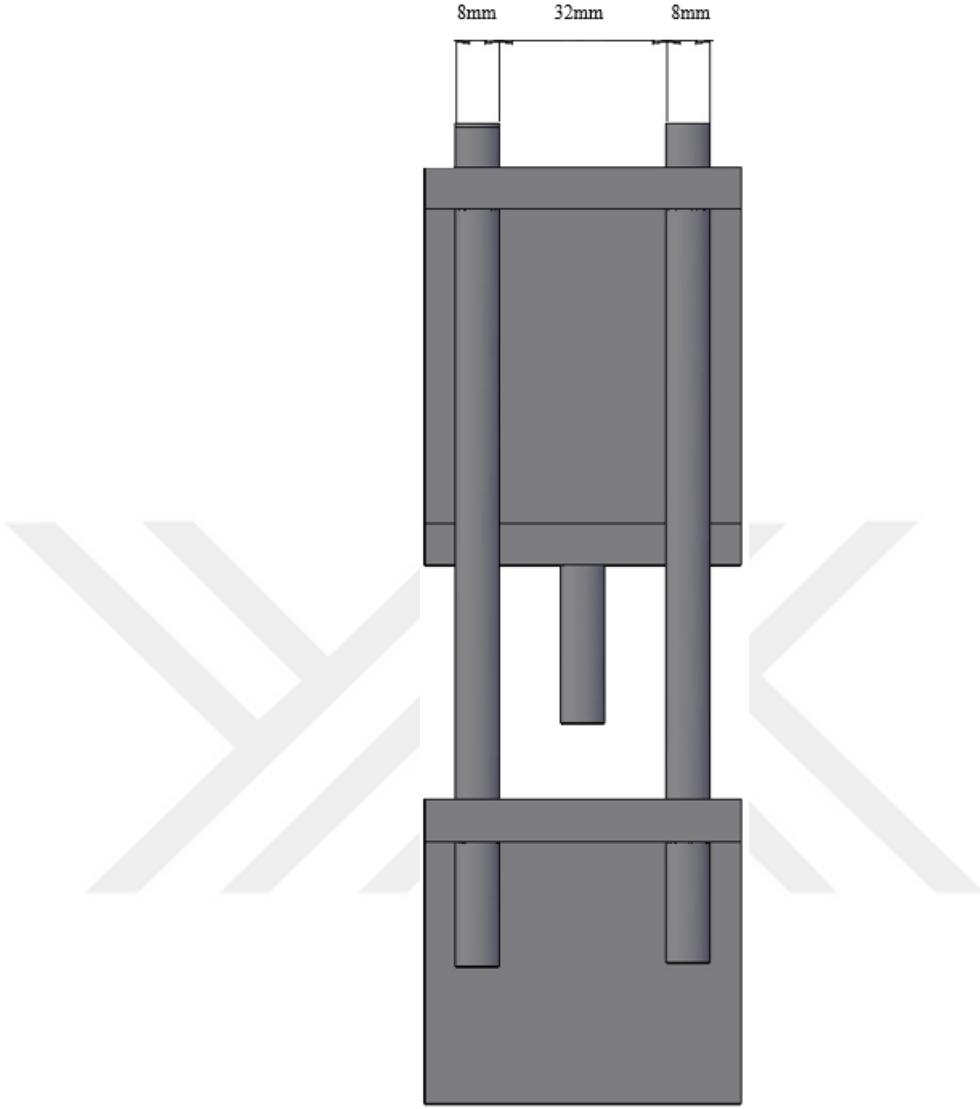
Şekil 3.6. Liflerin Vibrasyon Sonrası Görüntüleri

### 3.4. Sıyırılma (Pull-out) Deneyi

Sıyırılma deneyinin sağlıklı bir şekilde uygulanabilmesi için hazırlanan numunelerin deney düzeneğine aksel bir şekilde yerleştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Numuneler içerisine batırılan liflerin aksellerine dik olarak çekme kuvveti uygulayabilmek ve aksel kuvvet dışında oluşabilecek kesme ve moment kuvvetlerinin önüne geçmek amacıyla numunelerin deney aletine doğrudan yerleştirilmesi yerine kullanılacak bir deney başlığı ile numunelere yalnızca aksel çekme kuvvetinin etki ettirilmesi sağlanmıştır. Bu amaçla tasarlanan düzeneğe ait resimler Şekil 3.7, Şekil 3.8 ve Şekil 3.9'da sunulmaktadır.

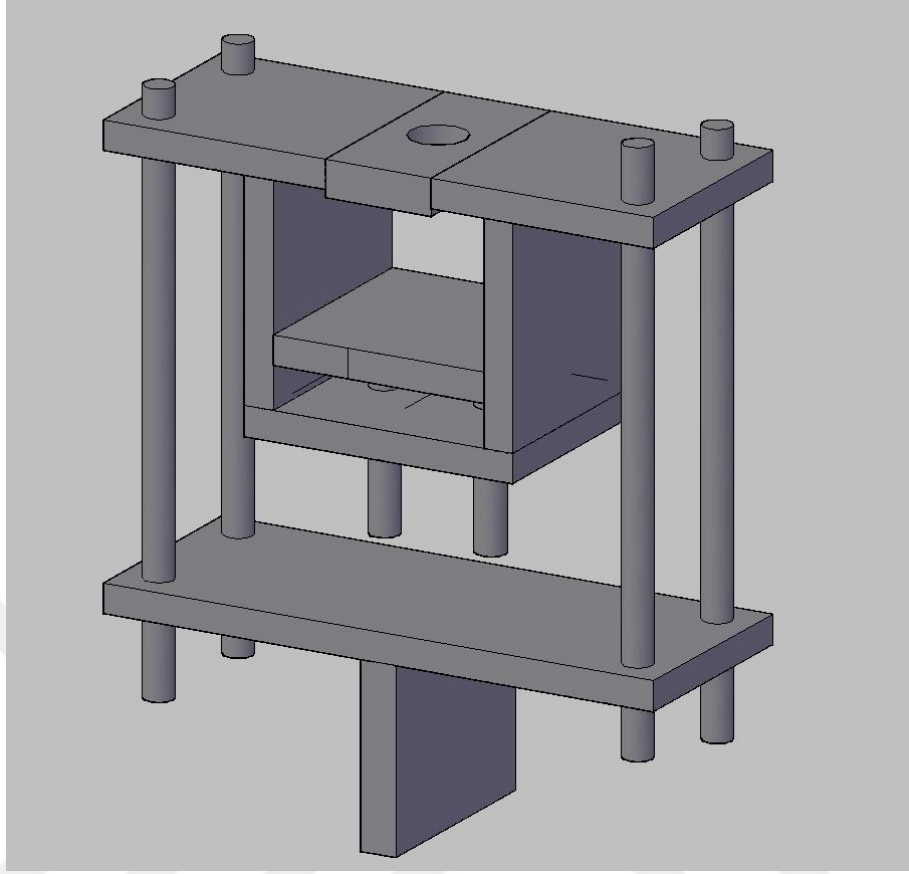


Şekil 3.7. Sıyırılma Deney Düzeneği (Ön Görünüş)



**Şekil 3.8.** Sıyırma Deney Düzeneği (Sol Yan Görünüş)





**Şekil 3.9.** Sıyırma Deney Düzenegi (3D)

Tasarlanan deney başlığı çekme deneyi cihazının alt kancasına deney başlangıcında sabitlenmiştir. Deney başlığının çevresindeki miller sayesinde kullanılacak deney cihazına deney başlığının uyumu sağlanabilmektedir. Hazırlanan deney başlığı alt çeneye sabitlendikten sonra deney başlığı içerisindeki numune yuvası numune ölçülerine göre ayarlanır. Ayarlanan numune yuvasına numune yerleştirilir ve numuneye batırılan telin numuneden arta kalan kısmı başlıkta açılan boşluktan çıkarılarak çekme deneyi cihazının üst kancaları arasına tutturulur. Deney başlığına ve üst kancalara tutturulan numune deney başlığındaki somunlar yardımıyla deney sırasında hareket etmeyecek şekilde sıkılmış ve çekme deneyi başlatılmıştır (Şekil 3.10). Deney cihazına bağlı bilgisayar ve yazılım sayesinde numuneye uygulanan çekme kuvveti ve gömülen lifin sıyırılma miktarı eş zamanlı olarak bilgisayar ekranından takip edilmiştir (Şekil 3.11). Kullanılan çekme deneyi cihazının daha hassas ölçümler yapabilmesi amacıyla 5000 N kapasiteli yük hücresi kullanılmıştır.



**Şekil 3.10.** Deney Düzeneği



**Şekil 3.11.** Sıyırılma Miktarının Bilgisayardan Takibi

Numunelere uygulanan çekme kuvveti gömülü lif boyunun ilk 10 mm'lik kısmının sıyırılma aşaması için lif sıyırılma hızı 1 mm/dk, geri kalan 10 mm'lik kısmı için ise 5 mm/dk olacak şekilde ayarlanmıştır. Uygulanan çekme kuvveti büyüklüğü lifin dakikada 1 mm sıyırılması için uygulanan maksimum çekme kuvveti değerinin %10 değerine düştüğünde deneyin sonlandırılması planlanmıştır ve sisteme bu şekilde ölçüm yapılması girilmiştir. Deney sonucunda elde edilen ham datalar sayesinde numunelere ait yük-sıyırılma grafikleri çizimi yapılmıştır. Hazırlanan tüm numunelere ait deneyler tamamlandıktan sonra deneyi tamamlanan numunelere ait lif ve harç numuneleri başkaca bir deformasyona uğramayacak şekilde korunmuştur. Deney sonucunda lifler ve harç numuneler liflerin sıyırılma davranışı sırasında nasıl bir yol izlediği hakkında bilgi edinilmesi amacıyla tek tek fotoğraflanmıştır. Aynı zamanda sıyırılma davranışı sonucunda liflerin uzunluğu ölçülerek lif boyutunun değişikliği hakkında bilgi edinilmiştir.

### 3.5. Deney Sonuçları

#### 3.5.1. Taze Harç Deney Sonuçları

Çalışma kapsamında üretilen harçların üretimi sırasında taze harçlar üzerinde kıvamının belirlenmesi amacıyla numunelerin TS EN 1015-3'e uygun olarak yayılma tablası deneyi Şekil 3.12'ye göre yapılmıştır. Çalışmada üretilen betonlara ait taze harç sonuçları Tablo 3.6'da verilmektedir.



Şekil 3.12. Yayılma Tablası Deney Düzenegi

Tablo 3.8. Taze Harç Deney Sonuçları

Karışım Kodu	Yayılma (cm)
3D1/3	20,5
4D1/3	23,5
5D1/2	24
5D1/3	20
5D1/4	21,5
7D1/3	25
5K1/2	25
5K1/3	21
5K1/4	20
5P1/1,5	20
5P1/2	17,5
5P1/2,5	21

### 3.5.2. Sertleşmiş Harç Deney Sonuçları

Çalışma kapsamında üretilen 40x40x160 mm boyutundaki prizma numuneler üzerinde TS EN 196-1 standartlarına uygun olarak eğilme deneyi yapılmıştır. Eğilme dayanımı deneyi düzeneği Şekil 3.13'te verilmiştir.



Şekil 3.13. Eğilme Dayanımı Deneyi Düzeneği

Eğilme dayanımı deneyi 50 N/s yükleme hızında ve her bir karışım grubu için üç adet numune üzerinde yapılmıştır. Deney sonucu olarak üç numunenin ortalaması alınmıştır. Eğilme dayanımı deneyinden elde edilen numuneler üzerinde TS EN 196-1 standartlarına uygun olarak basınç deneyi yapılmıştır. Prizmatik harç basınç dayanımı deney düzeneği Şekil 3.14'te verilmiştir.



Şekil 3.14. Prizmatik Harç Basınç Dayanımı Deney Düzeneği

Basınç dayanımı deneyi 2400 N/s yükleme hızında ve eğilme dayanımı deneyi sonrası 2 parçaya ayrılan numunelerden elde edilen toplam 6 adet numune üzerinde yapılmıştır. Deney sonucu 6 adet numuneden elde edilen sonuçların ortalaması alınarak belirlenmiştir. Prizma (40x40x160 mm) harç numunelere ait basınç dayanımı ve eğilme dayanım sonuçları Tablo3.7’de verilmektedir.

**Tablo 3.9.** Prizmatik (40x40x160 mm) Harç Deney Sonuçları

Karışım Kodu	Basınç Dayanımı (MPa)	Eğilme Dayanımı (MPa)
3D1/3	51,60	8,72
4D1/3	47,13	6,93
5D1/2	42,88	3,38
5D1/3	41,25	5,00
5D1/4	37,45	7,21
7D1/3	23,99	3,83
5K1/2	48,24	7,35
5K1/3	42,40	8,65
5K1/4	40,93	9,10
5P1/1,5	15,56	2,70
5P1/2	17,40	1,91
5P1/2,5	19,00	1,88

### 3.5.3. Sıyırma Deneyi Sonuçları

Sıyırma deneyi sonuçları Tablo 3.8’de verilmektedir. Karışımların kodlanmasında lif tipleri Tablo 3.4’teki sıra numarasına göre 1-10 arasında belirtilmiştir. GB, gömme boyu 30 mm olan numuneleri ve NB ise numune boyutu 5x5 cm olan numuneleri göstermektedir. Örnek kodlama;

#### ABCD-E

A: S/Ç oranı (3, 4, 5, 7)

B: Lif tipi (1-10)

C: Kullanılan kum türü (D, K, P)

D: Ç/K oranı (1/1,5, 1/2, 1/2,5, 1/3, 1/4),

E: GB (Gömme Boyu) ve NB (Numune boyutu)

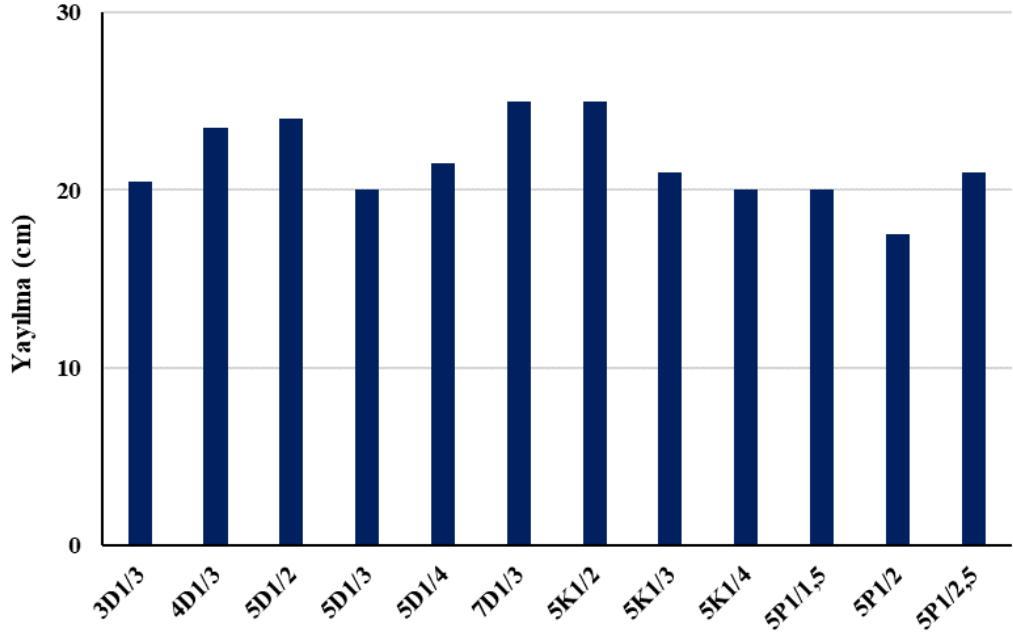
**Tablo 3.10. Sıyırma Deneyi Sonuçları**

Numune Kodu	Tepe Yüğü (N)	Eğri Altında Kalan Alan (N.mm)	Numune Kodu	Tepe Yüğü (N)	Eğri Altında Kalan Alan (N.mm)	Numune Kodu	Tepe Yüğü (N)	Eğri Altında Kalan Alan (N.mm)
31D1/3	265,9	1858,8	51D1/2	78,3	577,8	51P1/2.5	72,0	592,3
32D1/3	169,0	1579,7	52D1/2	61,5	621,0	52P1/2.5	66,7	342,7
33D1/3	438,7	3265,7	53D1/2	359,8	2841,7	53P1/2.5	322,4	2968,3
34D1/3	453,9	3270,6	54D1/2	366,2	4012,7	54P1/2.5	306,1	2841,7
35D1/3	981,5	6135,4	55D1/2	745,9	4792,1	55P1/2.5	624,7	4063,1
36D1/3	220,3	1258,3	56D1/2	197,9	1570,6	56P1/2.5	166,3	1233,1
37D1/3	351,1	2261,4	51D1/4	109,2	466,1	31D1/3-GB	186,5	1398,8
38D1/3	188,8	1677,5	52D1/4	75,5	461,4	32D1/3-GB	186,8	732,6
39D1/3	144,6	633,1	53D1/4	292,4	2073,9	33D1/3-GB	384,3	3467,4
310D1/3	92,6	888,7	54D1/4	277,3	1931,0	34D1/3-GB	391,2	3760,4
41D1/3	248,5	1547,3	55D1/4	718,8	3725,6	35D1/3-GB	961,1	7372,7
42D1/3	108,4	633,1	56D1/4	196,7	1163,2	36D1/3-GB	185,8	1803,3
43D1/3	417,0	2504,3	51K1/2	79,2	792,4	37D1/3-GB	366,8	3486,2
44D1/3	455,2	2540,7	52K1/2	73,4	421,2	38D1/3-GB	196,5	1430,9
45D1/3	795,6	4333,1	53K1/2	365,0	3189,1	71D1/3-GB	76,4	1007,8
46D1/3	247,3	1179,6	54K1/2	407,9	3654,7	72D1/3-GB	46,4	431,4
47D1/3	326,0	2232,7	55K1/2	854,4	5413,9	73D1/3-GB	384,2	4685,2
48D1/3	173,1	1826,5	56K1/2	213,3	1161,9	74D1/3-GB	286,2	3845,5
49D1/3	182,4	1512,8	51K1/3	93,7	878,1	75D1/3-GB	702,6	8014,4
410D1/3	88,0	774,1	52K1/3	73,2	507,7	76D1/3-GB	223,5	2034,4
51D1/3	107,4	1098,8	53K1/3	325,7	2461,8	77D1/3-GB	290,8	3848,0
52D1/3	91,3	549,5	54K1/3	375,2	2993,7	78D1/3-GB	171,1	1678,1
53D1/3	330,2	2369,1	55K1/3	769,1	4743,7	31D1/3-NB	81,5	224,1
54D1/3	390,3	3099,9	56K1/3	184,8	1335,5	32D1/3-NB	67,4	131,4
55D1/3	788,7	5670,9	51K1/4	97,7	1273,0	33D1/3-NB	208,9	2313,0
56D1/3	197,7	997,4	52K1/4	144,0	661,4	34D1/3-NB	174,6	1718,5
57D1/3	286,1	2158,9	53K1/4	331,5	2915,7	35D1/3-NB	368,1	3493,2
58D1/3	157,1	1466,5	54K1/4	407,3	3465,1	36D1/3-NB	131,5	481,2
59D1/3	141,3	964,4	55K1/4	784,1	5897,2	37D1/3-NB	195,9	1486,7
510D1/3	67,5	702,3	56K1/4	240,8	1500,7	38D1/3-NB	83,7	398,8
71D1/3	109,5	782,0	51P1/1,5	87,3	693,9	39D1/3-NB	49,3	170,2
72D1/3	83,7	423,4	52P1/1,5	71,6	345,6	310D1/3-NB	24,9	100,1
73D1/3	355,6	3559,4	53P1/1,5	341,7	3201,6	71D1/3-NB	36,4	418,3
74D1/3	298,2	3090,5	54P1/1,5	308,8	2917,0	72D1/3-NB	20,9	239,6
75D1/3	611,0	5888,4	55P1/1,5	604,7	4231,8	73D1/3-NB	318,4	2259,0
76D1/3	216,8	1912,7	56P1/1,5	203,2	1492,2	74D1/3-NB	182,3	1824,7
77D1/3	312,3	3219,6	51P1/2	44,2	487,9	75D1/3-NB	403,4	2891,0
78D1/3	193,3	2470,4	52P1/2	42,4	263,3	76D1/3-NB	38,9	53,6
79D1/3	151,9	1772,0	53P1/2	286,0	2677,4	77D1/3-NB	81,3	1304,4
710D1/3	75,3	700,3	54P1/2	279,6	2660,1	78D1/3-NB	108,4	661,9
			55P1/2	421,0	3061,4	79D1/3-NB	113,6	997,9
			56P1/2	174,6	1209,1	710D1/3-NB	33,5	112,7

## 4. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

### 4.1.Taze Harç Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Harçlar taze halde iken yayılma tablası deneyi yapılmıştır. Yayılma tablası deney sonuçlarına ait çubuk grafikler Şekil 4.1’de verilmektedir.



Şekil 4.1. Yayılma Tablası Deney Sonuçları

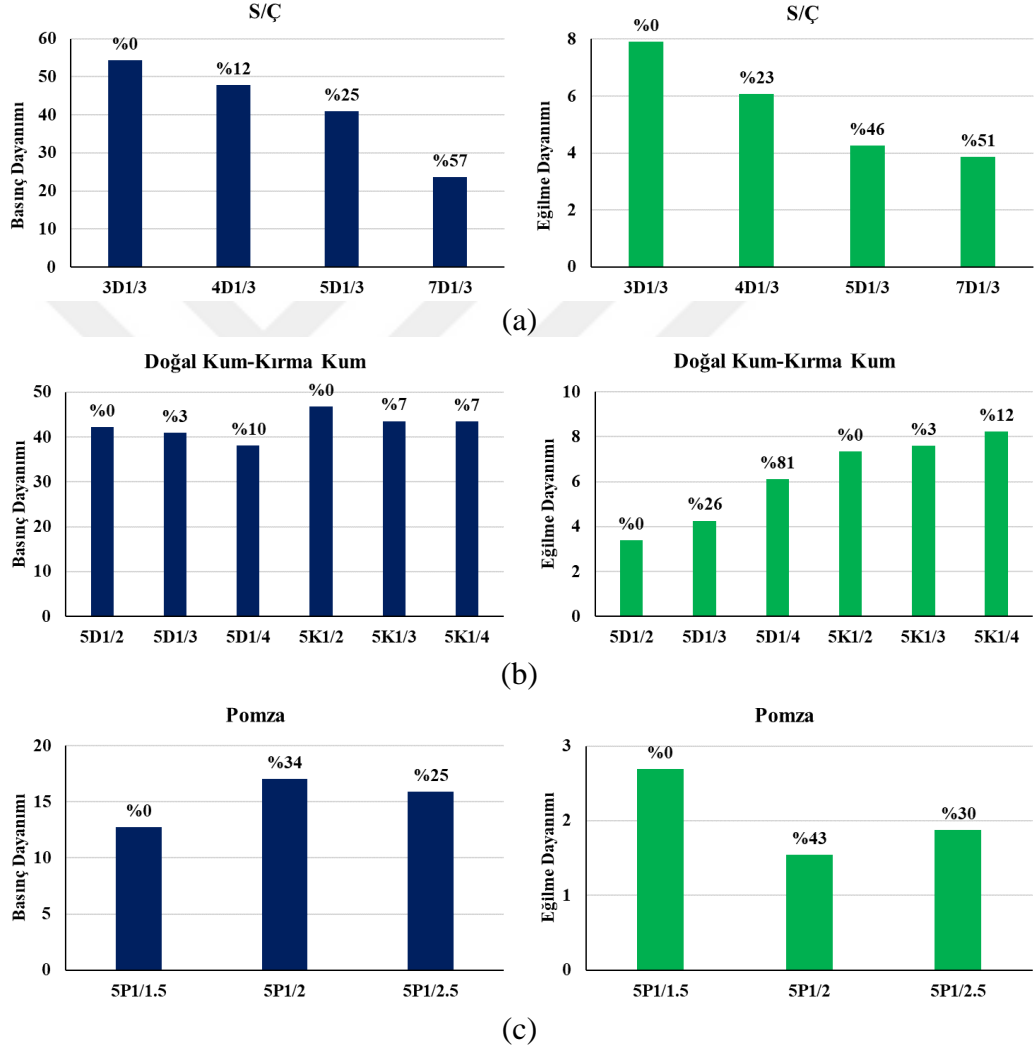
Çalışma kapsamında hazırlanan karışımlarda çimento/kum (Ç/K) oranı 1/3 olan S/Ç oranının sırasıyla 0,3, 0,4, 0,5 ve 0,7 olduğu 3D1/3, 4D1/3, 5D1/3 ve 7D1/3 kodlu karışımlarda yayılma değerleri  $22,5 \pm 2,5$  cm aralığında elde edilmiştir. S/Ç oranının düşük olduğu 3D1/3 ve 4D1/3 kodlu karışımlarda ve Ç/K oranının düşük olduğu 5D1/4, 5K1/4 ve 5P1/2,5 ve karışımlarında yayılma değerlerini artırmak amacıyla süperakışkanlaştırıcı katkı kullanılmıştır.

S/Ç oranının sabit tutulduğu Ç/K oranının değiştiği numunelerde artan kum miktarında dolayı kıvamın azaldığı karışımlarda süperakışkanlaştırıcı katkı kullanılmıştır. Böylece, bu karışımlarda yayılma değerleri  $21 \pm 4$  cm aralığında elde edilmiştir.



## 4.2. Sertleşmiş Harç Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Harçlar sertleşmiş halde iken mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla basınç ve eğilme dayanımı deneylerine tabi tutulmuşlardır. Prizmatik (4x4x16 cm) numuneler üzerinde yapılan basınç ve eğilme dayanımı deney sonuçları Şekil 4.2’de sunulmaktadır.



Şekil 4.2. Basınç ve Eğilme Dayanımı Değerleri

Şekil 4.2. (a)’da S/Ç oranının artmasıyla harçların basınç ve eğilme dayanımlarının azaldığı görülmüştür. Grafik üzerinde azalma %’leri verilmekte olup dayanımlar arasındaki en büyük fark %56,5’tir.

Şekil 4.2. (b)'de farklı oranlarda doğal ve kırma kum içeren harçların basınç ve eğilme dayanımları karşılaştırılması sunulmuştur. Her iki agrega türünü içeren harçlarda Ç/K oranı arttıkça basınç dayanımları azalmış, buna karşın eğilme dayanımları artmıştır. Dayanımlardaki artış ve azalış miktarları çubuklar üzerinde verilmiştir. Basınç dayanımındaki en fazla azalmalar doğal kum ve kırma kum için sırasıyla %9,7, ve %7,1 olarak elde edilmiştir. Eğilme dayanımındaki en fazla artışlar doğal kum ve kırma kum için sırasıyla %80,9, %11,8 olarak elde edilmiştir. Kırma kum içeren harçların doğal kum içeren harçlara kıyasla daha yüksek dayanımlara sahip oldukları görülmüştür. En yüksek basınç dayanımları Ç/K oranı yüksek olan (1/2) karışımlarda elde edilmiştir. En yüksek basınç dayanımları doğal kumlu karışımlarda 42,22 MPa ve kırma kumlu karışımlarda 46,81 MPa olarak elde edilmiştir. En yüksek eğilme dayanımları Ç/K oranı düşük olan (1/4) karışımlarda elde edilmiştir. En yüksek eğilme dayanımları doğal kumlu karışımlarda 6,12 MPa ve kırma kumlu karışımlarda 8,22 MPa olarak elde edilmiştir.

Şekil 4.2. (c)'de pomza kumu içeren harçlara ait basınç ve eğilme dayanımı değerleri Ç/K oranları karşılaştırılarak sunulmuştur. Pomza kumu kullanılması ile beklenildiği üzere doğal ve kırma kumun kullanıldığı numunelere göre dayanımlar belirgin olarak azalmıştır. Ç/K oranı 1/2 olan harçlarda doğal, kırma ve pomza kumun kullanıldığı numunelerde basınç dayanımları sırasıyla 42,2, 46,8 ve 16,5 MPa olarak elde edilmiştir. Eğilme dayanımları ise doğal, kırma ve pomza kumun kullanıldığı numunelerde sırasıyla 3,38, 7,35 ve 2,54 MPa olarak elde edilmiştir.

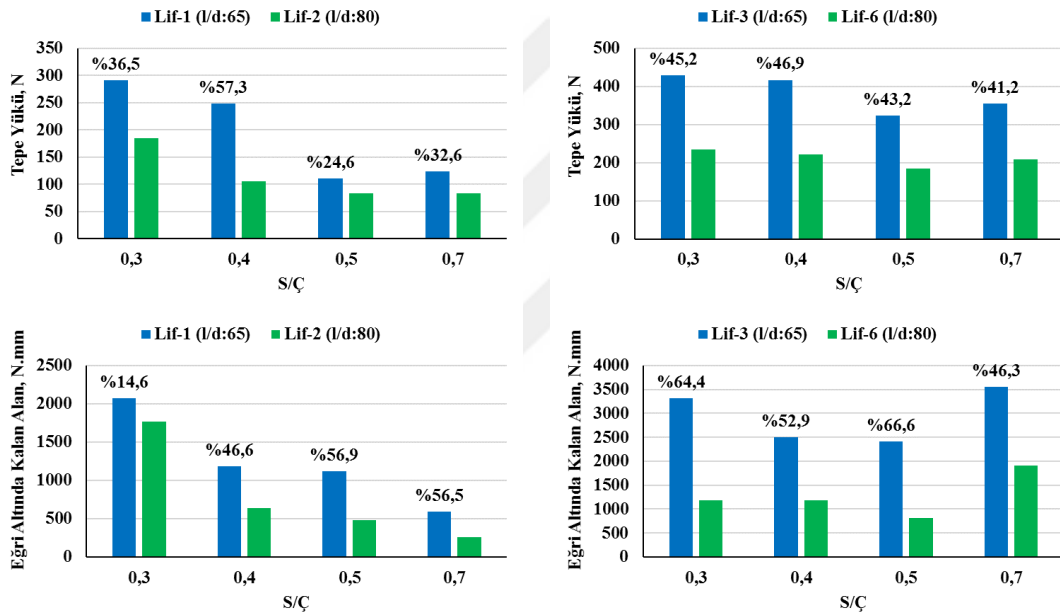
### **4.3. Sıyırma Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi**

Bu bölümde sıyırma deneyi sonuçları lif narinliğinin etkisi, kancalı uç etkisi, kanca boyu etkisi, lif dayanımı etkisi ve lif türü etkisi başlıkları altında en yüksek sıyırma yükü ve eğri altında kalan alanlar dikkate alınarak değerlendirilecektir. Lif özelliklerinin etkisinin yanında sıyırma davranışı üzerinde matris dayanımının etkisi (4 farklı S/Ç oranında), matris bileşiminin etkisi (3 farklı kum tipi ve 3 farklı Ç/K oranında), numune boyutunun etkisi (4x4 ve 5x5 numuneler üzerinde), gömme boyunun etkisi (2 ve 3 cm gömme derinliklerinde)'de değerlendirilecektir.

### 4.3.1. Lif Özelliklerinin Etkisi

#### 4.3.1.1. Lif narinliğinin etkisi

Sıyırılma davranışı üzerine lif narinliğinin etkisi yaklaşık aynı boya ve dayanıma sahip ve uçları kancasız 1 (l:51,2 mm, d:0,9 mm,  $\lambda$ :57) ve 2 (l:50,2 mm, d:0,75 mm,  $\lambda$ :67) kodlu numuneler ile aynı boya ve dayanıma sahip ve uçları kancalı 3 (l:60 mm, d:0,9 mm,  $\lambda$ :65) ve 6 (l:60 mm, d:0,75 mm,  $\lambda$ :80) kodlu numunelere ait sonuçlar karşılaştırılarak araştırılmıştır. Sıyırılma davranışına lif narinliğinin etkisi Şekil 4.3'te gösterilmektedir.



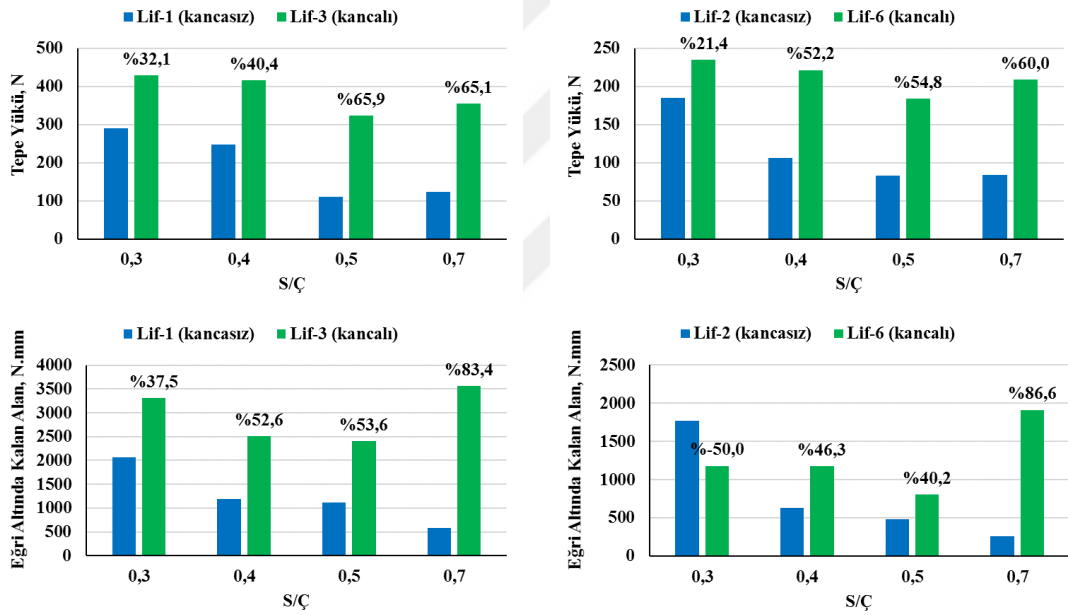
Şekil 4.3. Narinlik Etkisi

Şekil 4.3.'te S/Ç oranından bağımsız olarak narinliği düşük olan 1 kodlu lif'in hem tepe yükü hem de eğri altında kalan alan değerleri narinliği yüksek olan 2 kodlu lif'e kıyasla daha yüksek olarak elde edilmiştir. Benzer olarak narinliği düşük olan 3 kolu lif narinliği yüksek olan 6 kodlu lif'e kıyasla daha yüksek tepe yükü ve eğri altında kalan alan değerlerine sahiptir. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde narinliğin artmasının sıyırılma performansını olumsuz etkilediği sonucuna varılabilir. Narinlik değerlerindeki artış yüzdeleri çubuk grafikler üzerinde verilmiştir. Narinliğin artması sonucunda tepe yükü değerlerinde %25-%45 oranında azalmalar görülmüştür.

Benzer olarak narinliğin artmasıyla eğri altında kalan alanlarda %45-%65 oranında azalmalar olduğu görülmüştür.

#### 4.3.1.2. Kancalı uç etkisi

Sıyırılma davranışı üzerine kancalı uç etkisini araştırmak için 3 kodlu lifin kancaları kesilerek 1 kodlu lif elde edilmiş ve bu iki lifin performansları karşılaştırılmıştır. Benzer olarak, 6 kodlu lifin kancaları kesilerek 2 kodlu lif oluşturulmuştur. Böylelikle narinlik ve dayanım gibi lif özellikleri karşılaştırılacak numunelerde sabit tutulmuş sadece kanca etkisi incelenmiştir. Sıyırılma davranışına kanca etkisi Şekil 4.4’de gösterilmektedir.



Şekil 4.4. Kanca Etkisi

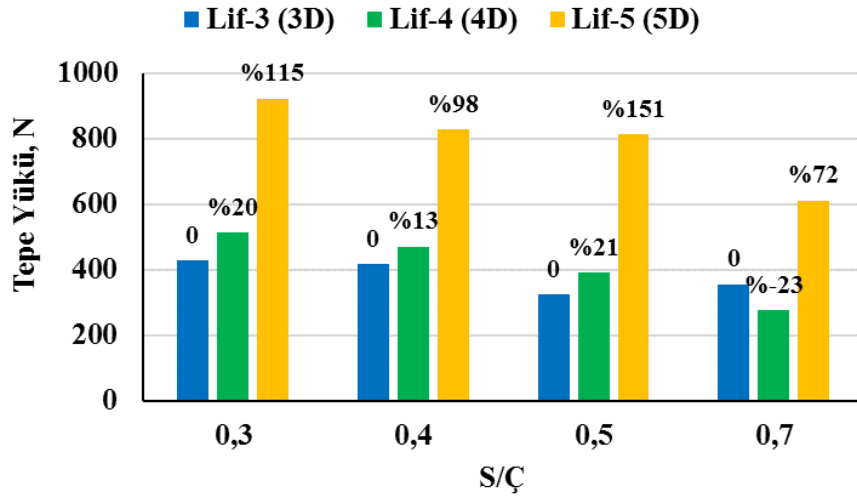
Şekil 4.4.’de S/Ç oranından bağımsız olarak kancalı uçlu 3 ve 6 kodlu liflerin kancalı uçsuz (düz) 1 ve 2 kodlu liflere kıyasla daha yüksek tepe yükü ve eğri altında kalan alan değerlerine sahip olarak daha iyi performans sergiledikleri belirlenmiştir. Kanca kullanımının tepe yükü ve eğri altında kalan alan değerleri üzerindeki artış yüzdeleri çubuk grafikler üzerinde verilmiştir. Kanca kullanılmasıyla tepe yükü değerlerinde %65 civarında artışlar görülmüştür. Eğri altında kalan alan değerlerinde ise matris dayanımının azalmasıyla yani S/Ç oranının artmasıyla kancalı uç

kullanılmasının %80 civarında artış sağladığı görülmüştür. Hem tepe yükü değerlerinde hem de eğri altında kalan alan değerlerindeki artış yüzdeleri S/Ç oranının artmasıyla artmıştır.

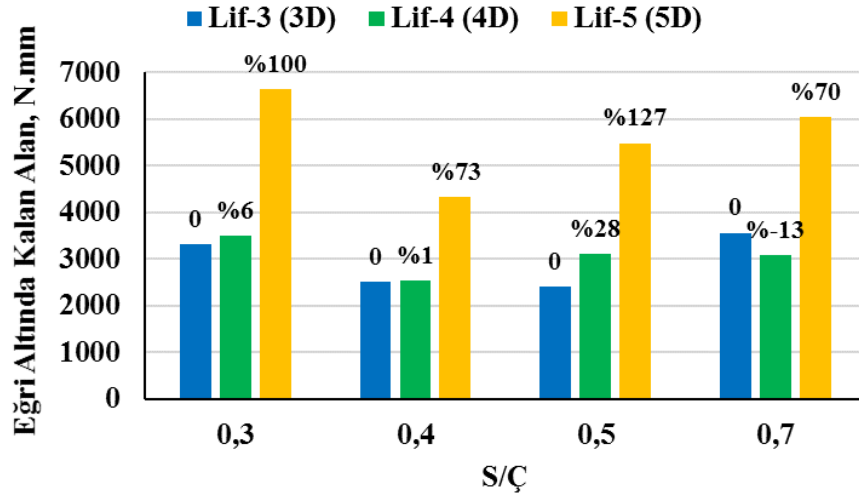
#### 4.3.1.3. Kanca boyu etkisi

Sıyırılma davranışı üzerine kanca boyunun etkisi aynı boy (60 mm) ve çapa (0,90 mm) farklı kanca tipi ve boyuna sahip 3, 4 ve 5 kodlu lifler kullanılarak araştırılmıştır. Liflerin kanca boylarının yanında çekme dayanımları da farklıdır. Bu başlık altında lif dayanımının etkisi ihmal edilip bir sonraki başlık altında incelenecektir. Lif dayanımları 3, 4 ve 5 kodlu lifler için sırasıyla, 1160 MPa, 1500 MPa ve 2300 MPa'dır.

Sıyırılma davranışına kanca boyu ve tipinin etkisi Şekil 4.5'de verilmektedir.



(a) Tepe Yüğü Değerleri



(b) Eğri Altında Kalan Alan Değerleri

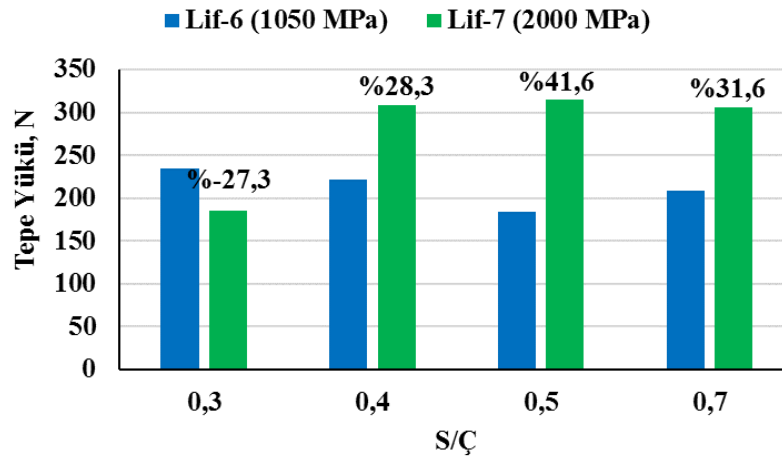
Şekil 4.5. Kanca Boyu Etkisi

Şekil 4.5.'de kanca boyu en fazla olan 5 kodlu lifin diğer liflere kıyasla hem tepe yükü değerlerinde hem de eğri altında kalan alan değerlerinde daha yüksek değerlere sahip olarak daha iyi sıyrılma performansı sergilediği görülmüştür. Kanca boyu fazla olan 4 kodlu lifin 3 kodlu life kıyasla genel olarak daha iyi performans sergilediği fakat performanstaki artışın 5 kodlu lifin etkisiyle karşılaştırılmayacağı söylenebilir. Kanca boyu tipi ve uzunluğunun tepe yükü ve eğri altında kalan alan değerleri üzerindeki artış yüzdeleri çubuk grafikler üzerinde verilmiştir. Kanca boyunun artmasıyla 5 kodlu lifin kullanıldığı karışımlarda 3 kodlu lifin kullanıldığı karışımlara kıyasla tepe yükü değerlerinde %72-%151 arasında artışlar görülmüştür. Orta kanca boyu uzunluğuna sahip 4 kodlu lifin kullanıldığı karışımlarda 3 kodlu lifin kullanıldığı karışımlara kıyasla tepe yükü değerlerinde %13-%21 arasında artışlar görülmüştür. S/Ç oranı arttıkça tepe yükü değerlerinde azalmalar görülmüştür. En uzun kanca boyuna sahip 5 kodlu lifin kullanıldığı karışımlarda 3 kodlu lifin kullanıldığı karışımlara kıyasla eğri altında kalan alan değerlerinde %70-%127 arasında artışlar görülmüştür. Orta kanca boyu uzunluğuna sahip 4 kodlu lifin kullanıldığı karışımlarda 3 kodlu lifin kullanıldığı karışımlara kıyasla eğri altında kalan alan değerlerinde %1-%28 arasında artışlar görülmüştür. S/Ç oranı 0,3'ten 0,4'e artınca tepe yükü ve eğri altında kalan alan artış yüzdelerinde azalmalar

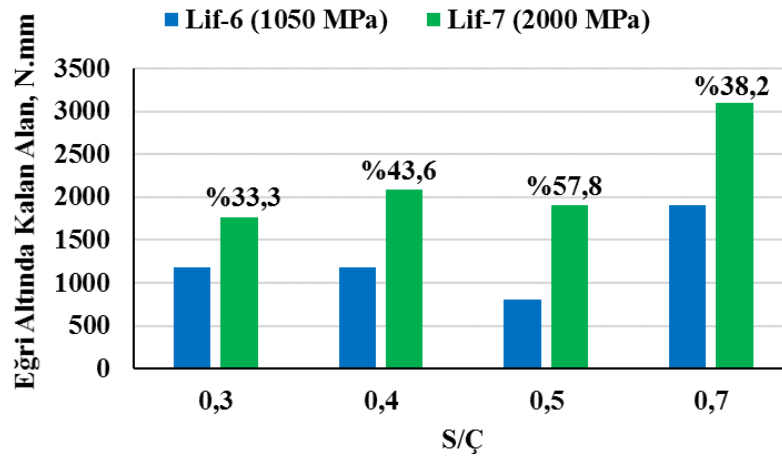
görülmüştür. S/Ç oranı 0,4'ten 0,7'e arttıkça ise eğri altında kalan alan değerlerinde artışlar görülmüştür.

#### 4.3.1.4. Lif dayanımı etkisi

Sıyırılma davranışı üzerine lif dayanımının etkisi aynı boya ve yaklaşık aynı narinliğe sahip ve uçları aynı kanca tipi ve boyuna sahip fakat farklı çekme dayanımları olan 6 kodlu (fsu: 1050 MPa) lif ile 7 kodlu (fsu: 2000 MPa) lifin sonuçları karşılaştırılarak araştırılmıştır. Sıyırılma davranışına lif dayanımının etkisi Şekil 4.6'da verilmektedir.



(a) Tepe Yüğü Değerleri



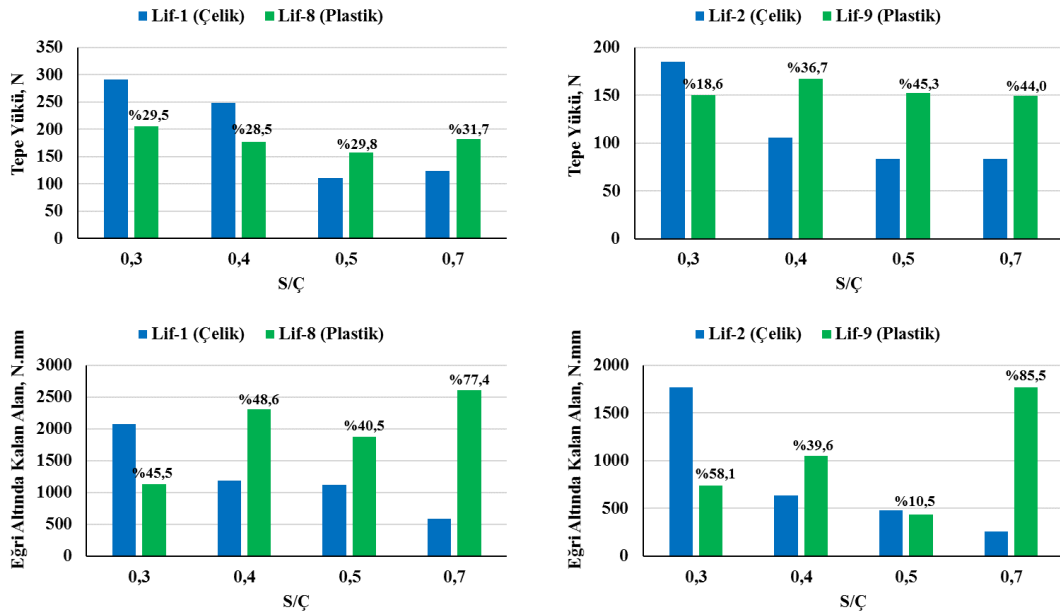
(b) Eğri Altında Kalan Alan Değerleri

Şekil 4.6. Lif Dayanımı Etkisi

Şekil 4.6.'da dayanımı yüksek olan 7 kodlu lifin düşük dayanımlı 6 kodlu life kıyasla hem tepe yükü değerlerinde hem de eğri altında kalan alan değerlerinde daha yüksek değerlere sahip olarak daha iyi sıyırılma performansı sergilediği görülmüştür. Lif dayanımının tepe yükü ve eğri altında kalan alan değerleri üzerindeki artış yüzdeleri çubuk grafikler üzerinde verilmiştir. Yüksek dayanımlı lif kullanılmasıyla tepe yükü değerlerinde %27-%42 arasında çeşitli oranlarda artışlar elde edilmiştir. Yüksek dayanımlı lif kullanılmasıyla eğri altında kalan alan değerlerinde ise %33-%58 arasında çeşitli oranlarda artışlar elde edilmiştir. Yüksek dayanıma sahip tellerin S/Ç oranı arttıkça yani matris dayanımı düştükçe hem tepe yükü hem de eğri altında kalan alan değeri performanslarının arttığı söylenebilir. Düşük dayanımlı tel kullanımında ise tersi bir durum gözlenmiş olup, S/Ç oranı arttıkça hem tepe yükü hem de eğri altında kalan alan değeri performanslarının azaldığı (0,7 S/Ç oranı hariç) görülmüştür.

#### 4.3.1.5. Lif türü etkisi

Sıyırılma davranışı üzerine lif türünün etkisi yaklaşık aynı boya ve çapa sahip 1 kodlu (çelik) lif ile 8 kodlu (plastik) lifin ve ayrıca aynı boya ve yaklaşık aynı çapa sahip olan 2 kodlu (çelik) lif ile 9 kodlu (plastik) lifin tepe yükü ve eğri altında kalan alan karşılaştırmaları yapılarak değerlendirilmiştir. Çelik ve plastik liflere ait tepe yükü ve eğri altında kalan alan değerleri karşılaştırmaları Şekil 4.7.'da verilmektedir.

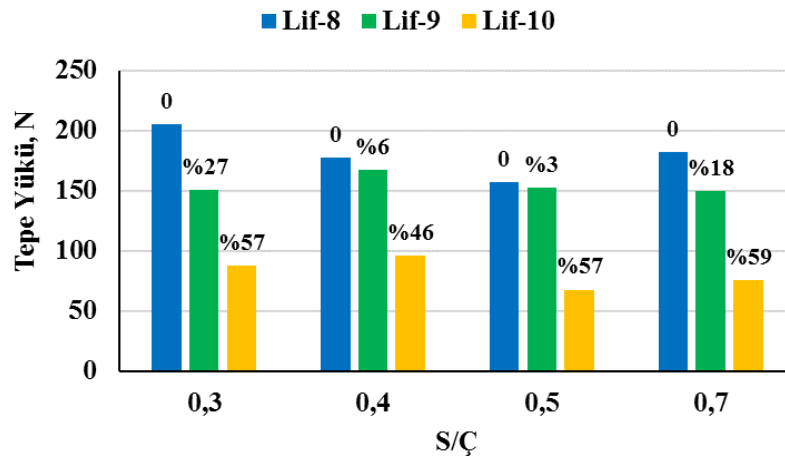


Şekil 4.7. Lif Türü Etkisi

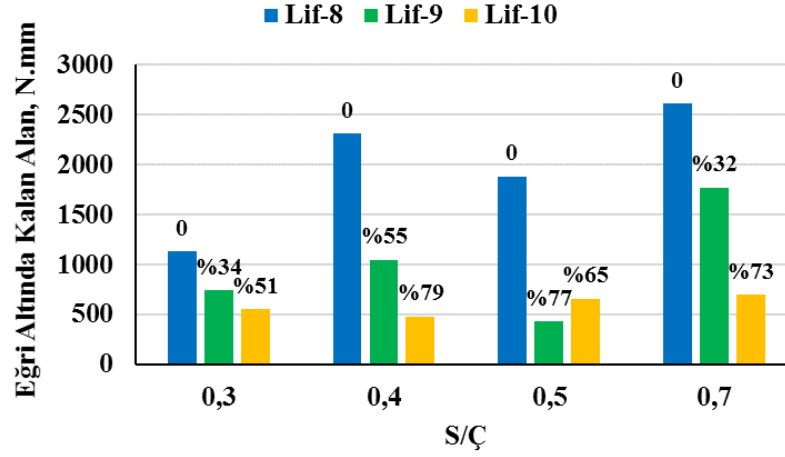


Şekil 4.7. incelendiğinde gerek 1 kodlu (çelik) lif ile 8 kodlu (plastik) lif' in karşılaştırıldığı grafiklerde gerekse de 2 kodlu (çelik) lif ile 9 kodlu (plastik) lif' in grafiklerde çelik liflerin düşük S/Ç oranına sahip yüksek dayanımlı karışımlarda hem tepe yükü hem de eğri altında kalan alan performansları açısından plastik liflere üstünlük sağladığı görülmüştür. Bununla beraber S/Ç oranının artmasıyla yani karışım dayanımlarının azalmasıyla plastik lifler çelik liflere kıyasla hem tepe yükü hem de eğri altında kalan alan değerlerinde daha iyi performans sergilemişlerdir. Tepe yükü ve eğri altında kalan alan değerlerindeki çelik lif' e kıyasla plastik lifli karışımlardaki artış ve azalış yüzdeleri çubuk grafikler üzerinde verilmiştir. Tepe yükü değerlerinde 0,3 S/Ç oranında plastik lif kullanılmasıyla %18,6 ve %29,5 azalma görülmüştür. Yüksek S/Ç oranına sahip (0,4 0,5 ve 0,7) karışımlarda ise plastik lif kullanılmasıyla tepe yükü değerlerinde %29,8-%45,3 arasında artışlar elde edilmiştir. Benzer olarak, eğri altında kalan alan değerlerinde 0,3 S/Ç oranında plastik lif kullanılmasıyla %45,5 ve %58,1 azalma görülmüştür. Yüksek S/Ç oranına sahip (0,4 0,5 ve 0,7) karışımlarda ise plastik lif kullanılmasıyla eğri altında kalan alan değerlerinde %39,6-%85,5 arasında artışlar elde edilmiştir. Özellikle, düşük dayanımlı karışımlarda (S/Ç:0,7) plastik lif performanslarının ve yüksek dayanımlı karışımlarda (S/Ç:0,3) ise çelik tel performanslarının üstünlüğü ortaya çıkarılmıştır.

Farklı geometrilere sahip 8, 9 ve 10 kodlu plastik liflerin sıyrılma davranışı performansları Şekil 4.8.'de sunulmaktadır.



(a) Tepe Yükü Değerleri



(b) Eğri Altında Kalan Alan Değerleri

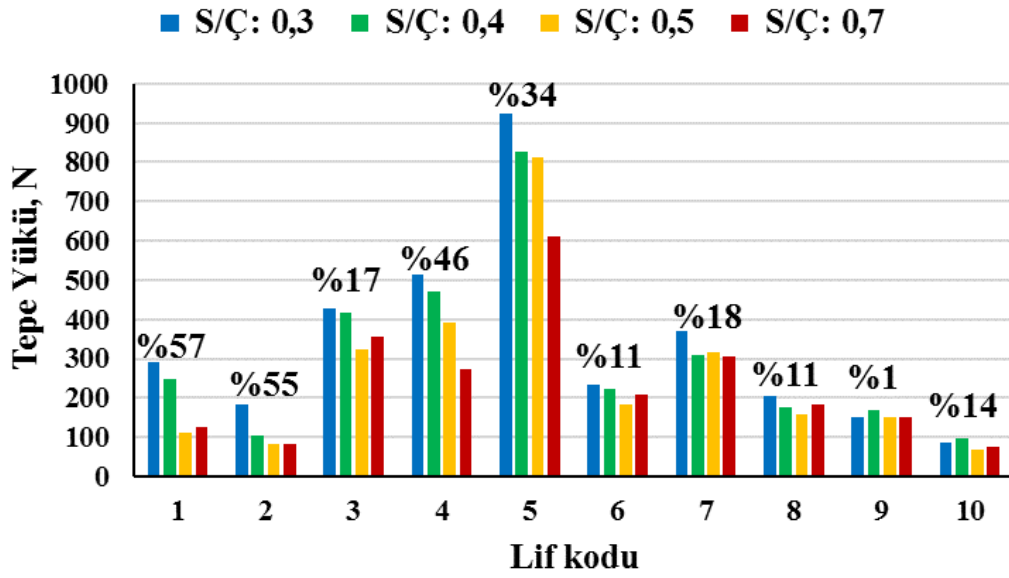
#### Şekil 4.8. Plastik liflerin Etkisi

Şekil 4.8.'de uzunlukları yaklaşık aynı çapları ise farklı olan plastik 8 kodlu (1:54 mm, d:0,9 mm,  $\lambda$ :60) lifin 9 kodlu (1:50 mm, d:0,75 mm,  $\lambda$ :80) lif'e kıyasla daha yüksek tepe yükü ve eğri altında kalan alan değerlerine sahip olduğu görülmüştür. Dalgalı şekle sahip 10 kodlu lifin ise düşük sıyrılma performansına sahip olduğu belirlenmiştir. Düşük performans sergileyen 9 ve 10 kodlu liflerin 8 kodlu lif'e kıyasla tepe yükü ve eğri altında kalan alan değerleri üzerindeki azalma yüzdeleri çubuk grafikler üzerinde verilmiştir. Tepe yükü değerlerinde 9 kodlu lif için azalma oranları %3-%27 arasında değişirken 10 kodlu lif için bu oranların %46-%59 arasında değiştiği belirlenmiştir. Eğri altında kalan alan değerlerinde ise azalma oranları tepe yükü değerlere kıyasla artmıştır. Eğri altında kalan alan değerlerinde 9 kodlu lif için azalma oranları %32-%77 arasında değişirken 10 kodlu lif için bu oranların %51-%79 arasında değiştiği belirlenmiştir. Plastik liflerde tepe yükü ve eğri altında kalan alan değerlerinde S/Ç oranının artmasıyla belirgin artış veya azalış gözlenmemiştir. Bununla beraber, plastik liflerin yüksek dayanımlı matrislerde daha düşük sıyrılma performansı sergilediği söylenebilir.

### 4.3.2. Matris Özellikleri ve Deney Parametrelerinin Etkisi

#### 4.3.2.1. Matris dayanımının etkisi

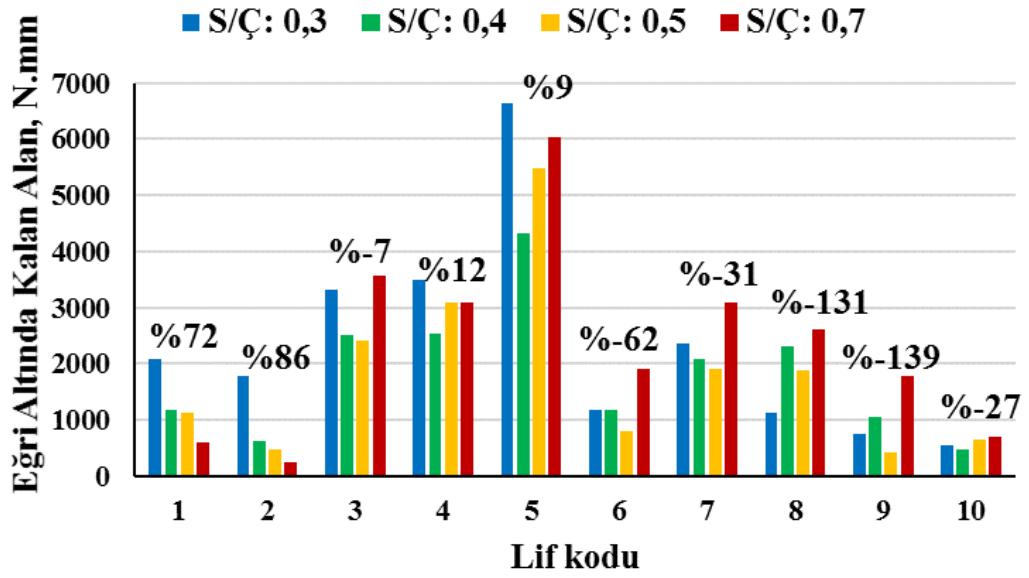
Sıyırılma davranışı üzerine matris dayanımının etkisi farklı S/Ç oranına (0,3, 0,4, 0,5 ve 0,7) sahip karışımlara farklı özelliklerdeki teller gömülmesiyle yapılan sıyırma deneyi ile araştırılmıştır. Her bir lif için farklı S/Ç oranlarındaki tepe yükü değerleri Şekil 4.9.'da verilmektedir.



Şekil 4.9. S/Ç Oranı Tepe Yükü İlişkisi

Matris dayanımının düşmesiyle her bir lif türünde tepe yükü değerlerinde azalmalar görülmüştür. Her bir lif için 0,3 S/Ç oranındaki tepe yükü değerlerinin 0,7 S/Ç oranındaki tepe yükü değerlerine göre azalma miktarları çubuk grafiklerin üzerlerinde yüzdesel olarak verilmiştir. Matris dayanımının düşmesiyle tepe yükü değerlerinde en fazla azalmalar uçlarında kanca bulunmayan 1 ve 2 kodlu liflerde sırasıyla %57 ve %55 oranlarında elde edilmiştir. Plastik liflerde, matris dayanımına bağlı tepe yükü değerlerindeki değişimler çelik liflere kıyasla daha az olmuştur.

Her bir lif için farklı S/Ç oranlarındaki eğri altında kalan alan değerleri Şekil 4.10.'da verilmektedir.



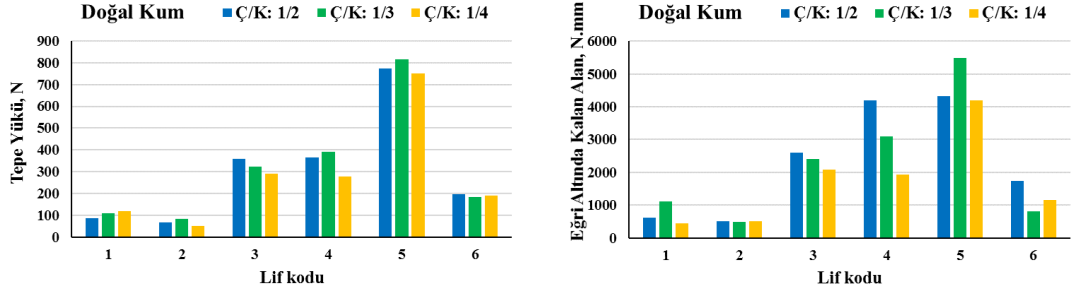
Şekil 4.10. S/Ç Oranı Eğri Altında Kalan Alan İlişkisi

Matris dayanımının düşmesiyle çelik liflerde eğri altında kalan alan değerlerinde genellikle azalmalar görülmüş buna karşın plastik liflerde (8, 9 ve 10) ise eğri altında kalan alan değerlerinde artışlar görülmüştür. Her bir lif için 0,3 S/Ç oranındaki eğri altında kalan alan değerlerinin 0,7 S/Ç oranındaki eğri altında kalan alan değerlerine göre azalma veya artma miktarları çubuk grafiklerin üzerlerinde yüzdesel olarak verilmiştir. Eğri altında kalan alan değerlerinde matris dayanımına bağlı en fazla düşüş uçları kancasız olan 1 ve 2 kodlu liflerde sırasıyla %72 ve %86 olarak elde edilmiştir. Diğer çelik liflerde ise eğri altında kalan alan değerleri S/Ç oranı 0,5'e kadar düşmüş fakat 0,7 S/Ç oranında artış göstermiştir. Plastik liflerde ise matris dayanımı düştükçe eğri altında kalan alan değerlerinde 8, 9 ve 10 kodlu lifler için sırasıyla, %131, %139 ve %27 artışlar elde edilmiştir.

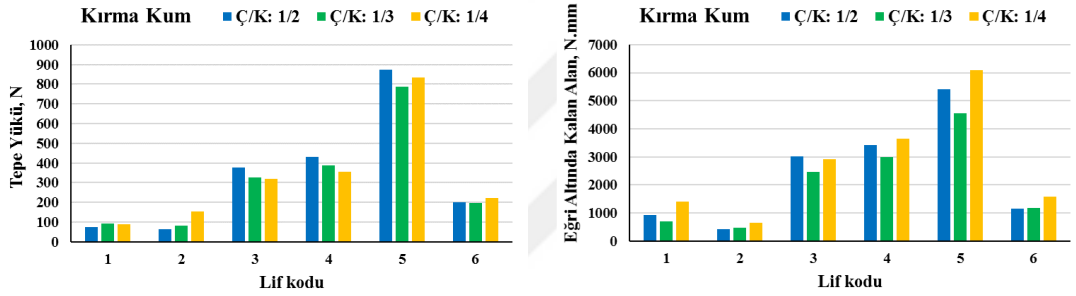
#### 4.3.2.2. Matris bileşimi etkisi

Sıyırılma davranışı üzerine matris bileşiminin etkisi 3 farklı kum (Doğal, kırma ve pomza) ve 3 farklı Ç/K oranında (Doğal ve kırma kum için; 1/2, 1/3 ve 1/4 pomza için; 1/1,5, 1/2 ve 1/2,5) hazırlanan karışımlara 6 farklı lif gömülerek araştırılmıştır. 6 farklı lif'e ait tepe yükü ve eğri altında kalan alan değerleri doğal kum, kırma kum

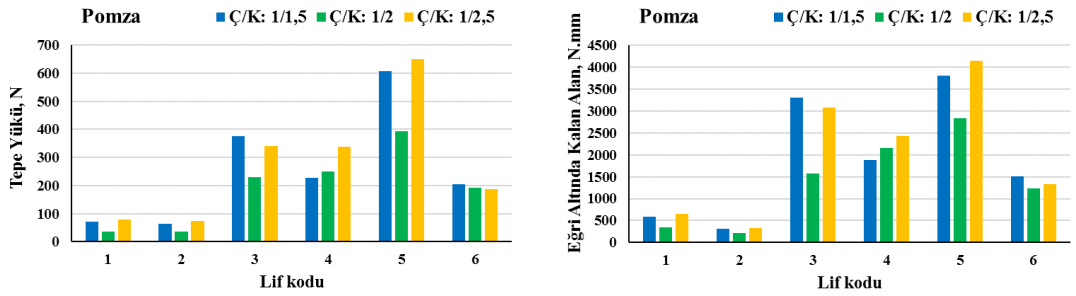
ve pomza içeren karışımlar için sırasıyla Şekil 4.11, Şekil 4.12 ve Şekil 4.13'te verilmektedir.



Şekil 4.11. Doğal Kum İçeren Karışımlar



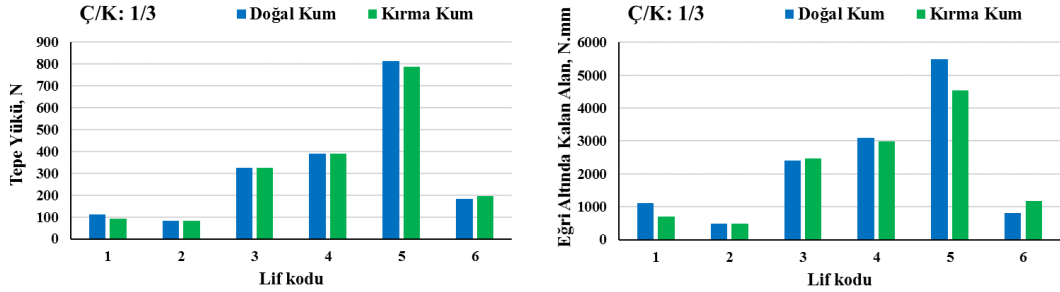
Şekil 4.12. Kırma Kum İçeren Karışımlar



Şekil 4.13. Pomza İçeren Karışımlar

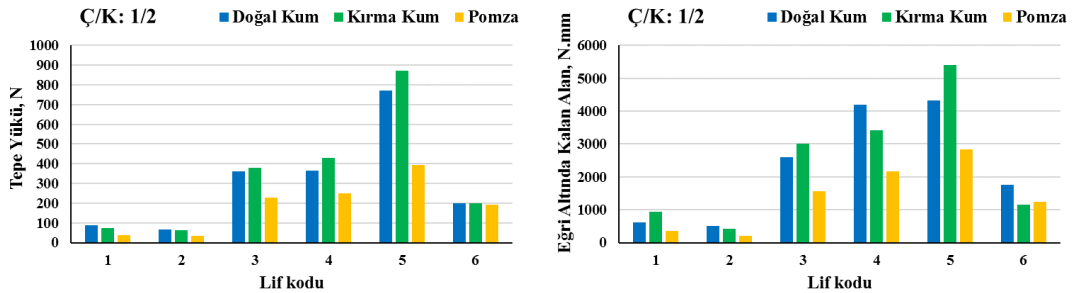
Çimento/kum oranının değişmesiyle her bir kum türü için ve her bir lif için tepe yükü ve eğri altında kalan alan değerlerinde belirgin artış veya azalışlar elde edilmemiştir. Ç/K oranı 1/2'den 1/3'e geçilirken değerlerde azalma varsa Ç/K oranı 1/4 olduğunda değerler tekrar artış gösterebilmiştir. Değişim yüzdeleri ise genelde %10'un altında kalmıştır.

Çimento/kum oranında bağımsız olarak agrega türünün etkisi doğal ve kırma kum içeren karışımların aynı Ç/K (1/3) oranında karşılaştırılması ile yapılmıştır (Şekil 4.14).



Şekil 4.14. Doğal ve Kırma Kum Karşılaştırılması

Ç/K oranının değerler üzerine belirgin bir etkisinin olmadığı Şekil 4.11, Şekil 4.12 ve Şekil 4.13 değerlendirilerek ortaya konmuştur. Bu sonuçla agrega türünün etkisi Şekil 4.14'de 1/3 Ç/K oranında doğal ve kırma kum için yapılmış ve her bir lif türü için agrega türünün teppe yükü ve eğri altında kalan alan değerleri üzerine dolayısıyla sıyrılma davranışı üzerine belirgin bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Kum türünün etkisi pomza agregasını da içerecek 1/2 Ç/K için Şekil 4.15'de verilmektedir.



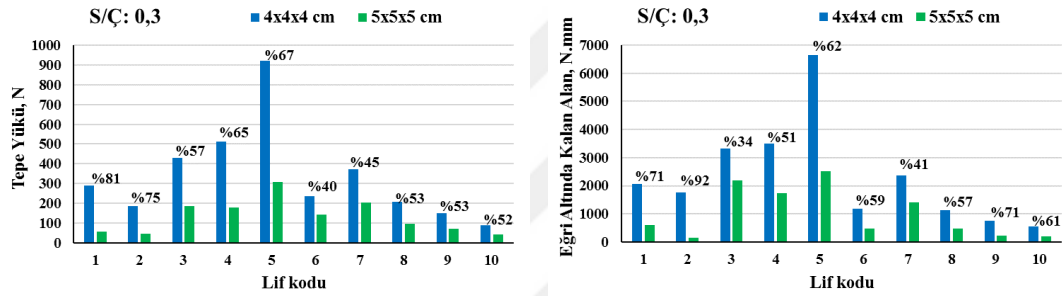
Şekil 4.15. Agrega Türü Etkisi

Şekil 4.15'de pomza agregası kullanımının doğal kum ve kırma kum kullanımına kıyasla sıyrılma davranışının genel olarak olumsuz etkilediği görülmüştür. 6 kodlu lifin kullanıldığı karışımlarda ise pomza içeren karışımlar doğal kum ve kırma kum içeren karışımlarla yakın performanslar sergilemişlerdir. Doğal kum ve kırma kum

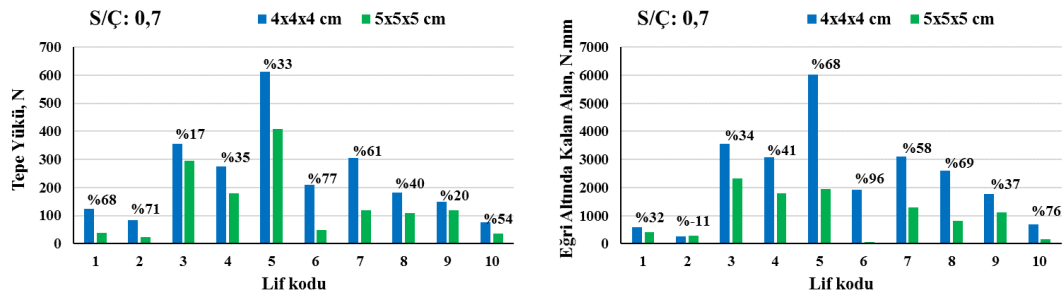
içeren karışımlar 1/3 Ç/K oranında olduğu gibi 1/2 Ç/K oranında da yakın performanslar sergilemişlerdir.

#### 4.3.2.3. Numune boyutu etkisi

Sıyırılma davranışı üzerine numune boyutunun etkisi 4x4x4 cm ve 5x5x5 cm boyutlara sahip numuneler üzerinde araştırılmıştır. Numunelere iki farklı S/Ç oranına (0,3 ve 0,7) sahip karışımlar dökülmüş ve 10 farklı lif 20 mm gömülmüştür. S/Ç oranı 0,3 olan karışımların sonuçları Şekil 4.16 ve S/Ç oranı 0,7 olan karışımların sonuçları Şekil 4.17’de verilmektedir.



Şekil 4.16. Numune Boyutu Etkisi (S/Ç: 0,3)



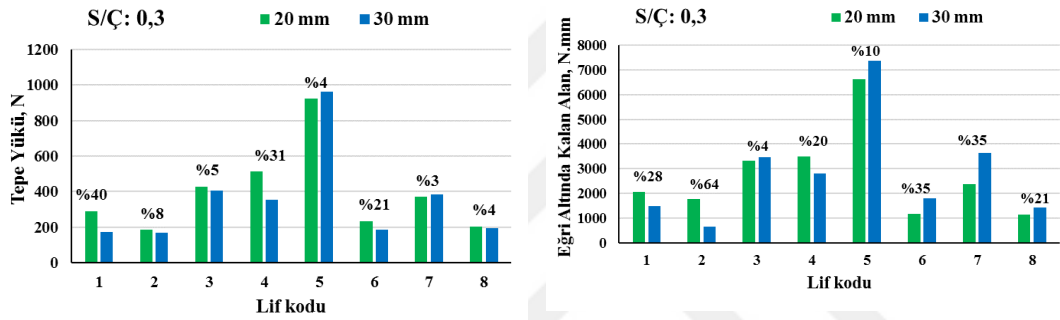
Şekil 4.17. Numune Boyutu Etkisi (S/Ç: 0,7)

Yüksek dayanıma sahip (S/Ç:0,3) karışımlarda ve düşük dayanıma sahip (S/Ç:0,3) karışımlarda numune boyutunun artmasının tepeli yükü ve eğri altında kalan alan değerlerini olumsuz etkileyerek düşürdüğü görülmüştür. Bu sonuçlara lif türünün etkisinin olmadığı belirlenmiştir. Grafiklerde çubuklar üzerinde 4x4x4 ve 5x5x5 boyutlu numuneler arasındaki değişimler yüzdesel olarak verilmiştir. Yüksek dayanımlı karışımlarda tepeli yükü değerlerindeki azalmalar %40-%81 ve eğri altında kalan alan değerlerindeki azalmalar %34-%92 arasında elde edilmiştir. Düşük

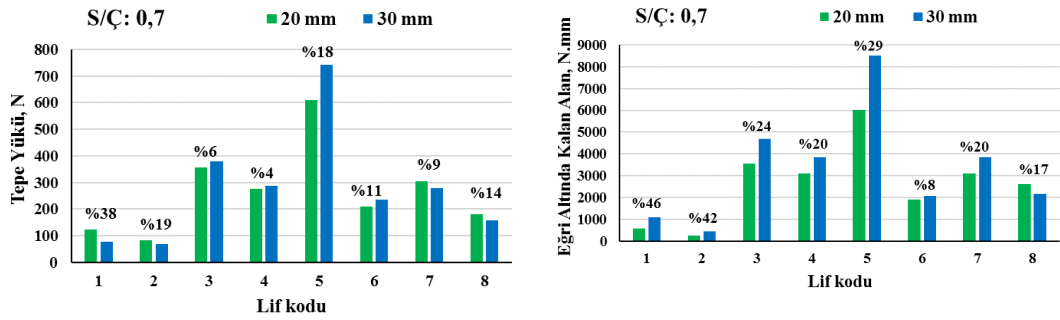
dayanımlı karışımlarda ise tepe yükü değerlerindeki azalmalar %17-%77 ve eğri altında kalan alan değerlerindeki azalmalar %11-%96 arasında elde edilmiştir.

#### 4.3.2.4. Gömme boyu etkisi

Sıyırılma davranışı üzerine gömme boyu etkisi 2 farklı S/Ç oranındaki (0,3 ve 0,7) karışımlara 8 farklı lifin 20 mm ve 30 mm gömülmesiyle elde edilen numuneler üzerinde araştırılmıştır. S/Ç oranı 0,3 olan karışımların sonuçları Şekil 4.18 ve S/Ç oranı 0,7 olan karışımların sonuçları Şekil 4.19'de verilmektedir. Eğri altında kalana alana değerleri 20 mm kadar hesaplanmış ve karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.18. Gömülme Boyu Etkisi (S/Ç: 0,3)



Şekil 4.19. Gömülme Boyu Etkisi (S/Ç: 0,7)

Yüksek dayanıma sahip karışımlarda gömme boyunun tepe yükü değerleri üzerine belirgin bir etkisi görülmemiştir. Eğri altında kalan alan değerlerinde ise bazı liflerde azalma bazılarında artışlar elde edilmiş olup değişim yüzdeleri çubuk grafikler üzerinde verilmiştir. Düşük dayanıma sahip karışımlarda ise gömme boyunun tepe yükü değerleri üzerine yüksek dayanımlı karışımlarda olduğu gibi belirgin bir etkisi görülmemiştir. Eğri altında kalan alan değerlerinde ise gömme boyu arttıkça değerler



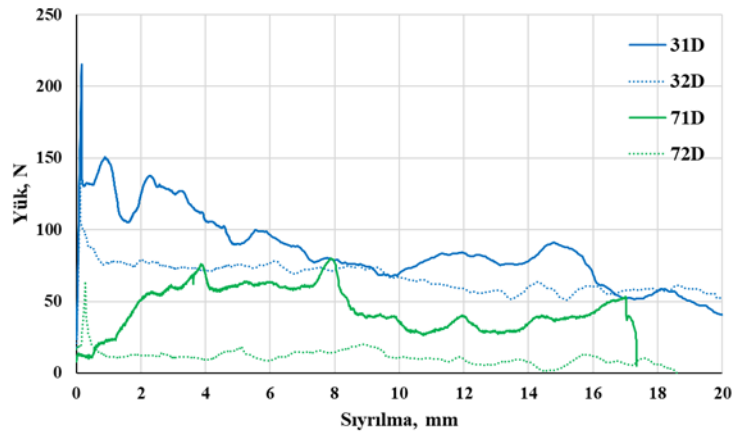
genelde artmış olup en fazla artışlar uçları kancasız olan 1 ve 2 kodlu lifler de sırasıyla %46 ve %42 olarak elde edilmiştir.

#### 4.4. Sıyırılma Davranışının Yük Sıyırılma Grafikleri ile Analizi

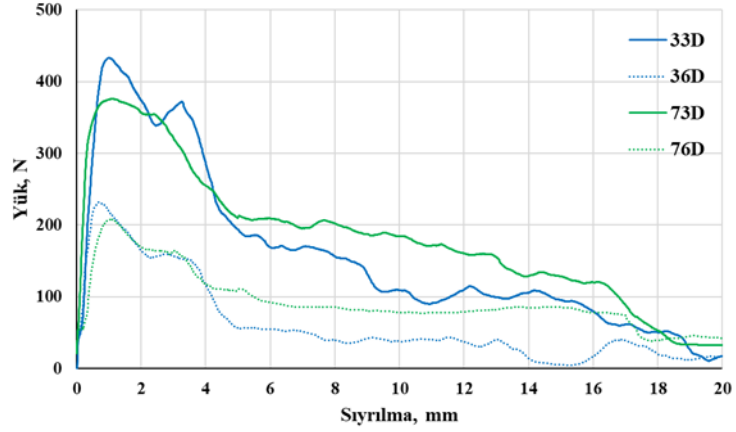
Sıyırılma davranışının Yük-Sıyırılma grafikleri ile analizi narinlik etkisi, kancalı uç etkisi, kanca boyu etkisi, lif dayanımı etkisi, lif türü etkisi, matris dayanımı etkisi ve matris bileşimi etkisi başlıkları altında aşağıda incelenmiştir.

##### 4.4.1. Lif Narinliğinin Etkisi

Narinlik etkisi yaklaşık aynı boya ve dayanıma sahip ve uçları kancasız 1 (l:51,2 mm, d:0,9 mm,  $\lambda$ :57) ve 2 (l:50,2 mm, d:0,75 mm,  $\lambda$ :67) kodlu numuneler ile aynı boya ve dayanıma sahip ve uçları kancalı 3 (l:60 mm, d:0,9 mm,  $\lambda$ :65) ve 6 (l:60 mm, d:0,75 mm,  $\lambda$ :80) kodlu numunelere ait yük-sıyırılma eğrileri karşılaştırılarak araştırılmıştır. Her bir seriye ait 3 grafikten bir tanesi seçilerek karşılaştırmalarda kullanılmıştır. Karşılaştırmalar iki farklı S/Ç oranında (0,3 ve 0,7) yapılmış olup grafikler Şekil 4.20'de gösterilmektedir.



(a) Kancasız uçlu 1 ve 2 kodlu numuneler



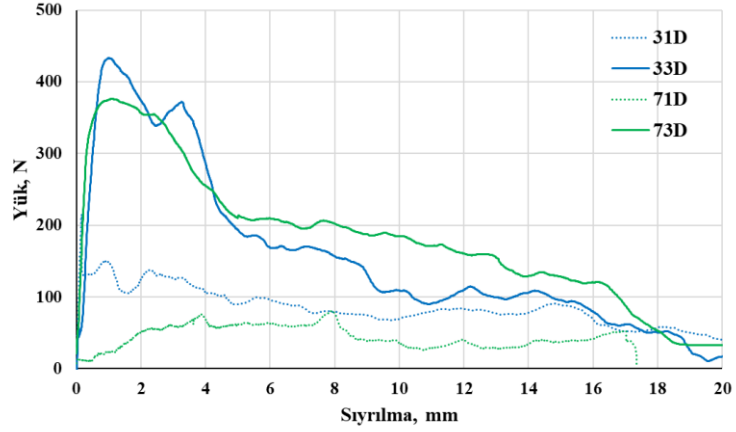
(b) Kancalı uçlu 3 ve 6 kodlu numuneler

#### Şekil 4.20. Narinlik Etkisi Eğrileri

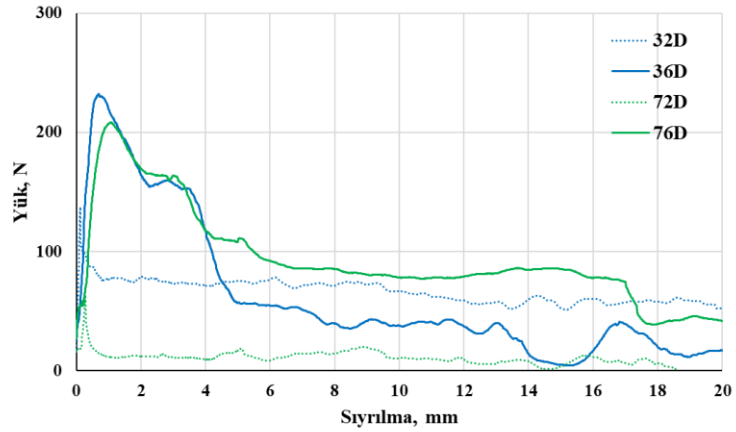
Narinliği düşük yani çapları daha fazla olan tellerin hem tepe yüklerinin hem de eğri altında kalan alanlarının narinliği yüksek olan tellere kıyasla daha fazla olduğu görülmüştür. Bununla birlikte, kancalı uçsuz tellerin hemen hemen hiç sıyırılma yapmadan tepe yükü değerlerine ulaştığı ve sonrasında yük değerlerinde ani bir düşüş olduğu görülmüştür. Kancalı uçlu tellerde ise tepe yüküne ulaşılırken kancasız tellere göre sıyırılma yaptığı ve tepe yükünden sonra ise yük değerlerinde daha az bir düşüş olduğu gözlenmiştir.

#### 4.4.2. Kancalı Uç Etkisi

Sıyırılma davranışı üzerine kancalı uç etkisini araştırmak için 3 kodlu lifin kancaları kesilerek 1 kodlu lif elde edilmiş ve bu iki lifin performansları karşılaştırılmıştır. Benzer olarak, 6 kodlu lifin kancaları kesilerek 2 kodlu lif oluşturulmuştur. Böylelikle narinlik ve dayanım gibi lif özellikleri karşılaştırılacak numunelerde sabit tutulmuş sadece kanca etkisi incelenmiştir. Sıyırılma davranışına kancalı uç etkisi Şekil 4.21’de gösterilmektedir.



(a) Kancasız uçlu 1 ve Kancalı Uçlu 3 kodlu numuneler



(b) Kancasız uçlu 2 ve Kancalı uçlu 6 kodlu numuneler

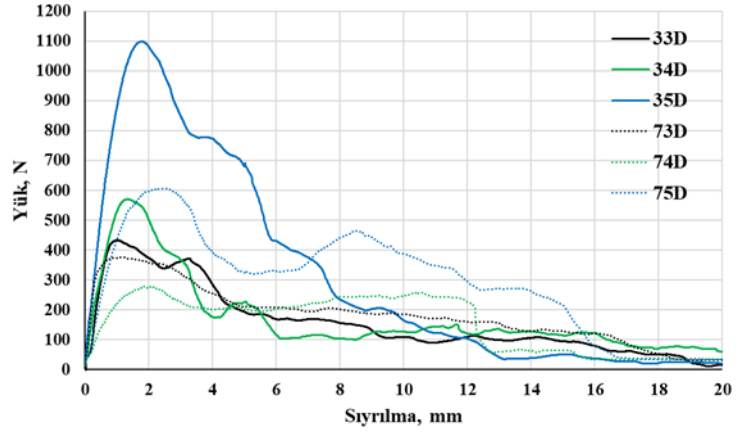
**Şekil 4.21.** Kancalı Uç Etkisi Eğrileri

Kancalı uçlu tellerin hem tepe yüklerinin hem de eğri altında kalan alanlarının kancasız uçlu tellere kıyasla belirgin olarak fazla olduğu görülmüştür. Bununla birlikte, kancalı uçsuz tellerin hemen hemen hiç sıyırılma yapmadan tepe yükü değerlerine ulaştığı ve sonrasında yük değerlerinde ani bir düşüş olduğu görülmüştür. Kancalı uçlu tellerde ise tepe yüküne ulaşılırken kancasız tellere göre sıyırılma yaptığı ve tepe yükünden sonra ise yük değerlerinde daha az bir düşüş olduğu gözlenmiştir.

#### 4.4.3. Kanca Boyu Etkisi

Sıyırılma davranışı üzerine kanca boyunun etkisi aynı boy (60 mm) ve çapa (0,90 mm) farklı kanca tipi ve boyuna sahip 3, 4 ve 5 kodlu lifler kullanılarak araştırılmıştır. Liflerin kanca boylarının yanında çekme dayanımları da farklıdır. Bu

başlık altında lif dayanımının etkisi ihmal edilip bir sonraki başlık altında incelenecektir. Lif dayanımları 3, 4 ve 5 kodlu lifler için sırasıyla, 1160 MPa, 1500 MPa ve 2300 MPa'dır. Her bir seriye ait 3 grafikten bir tanesi seçilerek karşılaştırmalarda kullanılmıştır. Karşılaştırmalar iki farklı S/Ç oranında (0,3 ve 0,7) yapılmış olup grafikler Şekil 4.22'de gösterilmektedir.

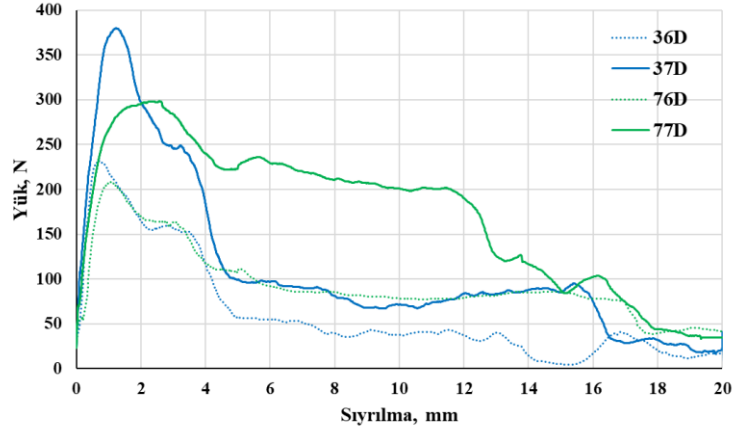


Şekil 4.22. Kanca Boyu Etkisi Eğrileri

Kanca boyu en fazla olan 5 kodlu lifin diğer liflere kıyasla hem tepe yükü değerlerinde hem de eğri altında kalan alan değerlerinde daha yüksek değerlere sahip olarak daha iyi sıyırma performansı sergilediği görülmüştür. S/Ç oranı arttıkça tepe yükü değerlerinde azalmalar görülmüştür.

#### 4.4.4. Lif dayanımı etkisi

Sıyırma davranışı üzerine lif dayanımının etkisi aynı boya ve yaklaşık aynı narinliğe sahip ve uçları aynı kanca tipi ve boyuna sahip fakat farklı çekme dayanımları olan 6 kodlu (fsu: 1050 MPa) lif ile 7 kodlu (fsu: 2000 MPa) lifin yük-sıyırma eğrileri karşılaştırılarak incelenmiştir. Her bir seriye ait 3 grafikten bir tanesi seçilerek karşılaştırmalarda kullanılmıştır. Karşılaştırmalar iki farklı S/Ç oranında (0,3 ve 0,7) yapılmış olup grafikler Şekil 4.23'te gösterilmektedir.

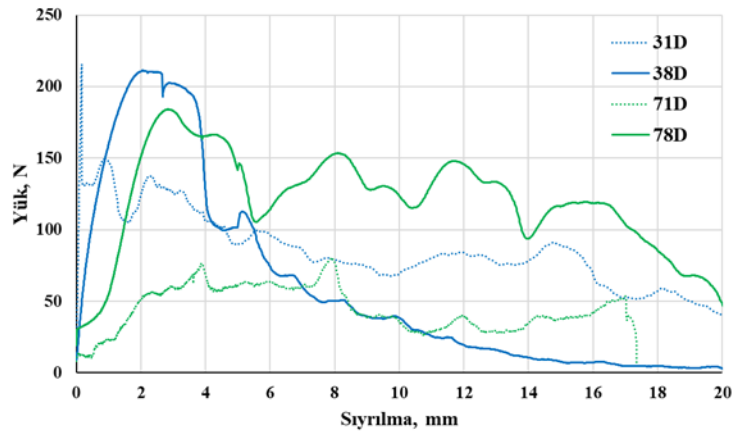


Şekil 4.23. Lif Dayanımı Etkisi Eğrileri

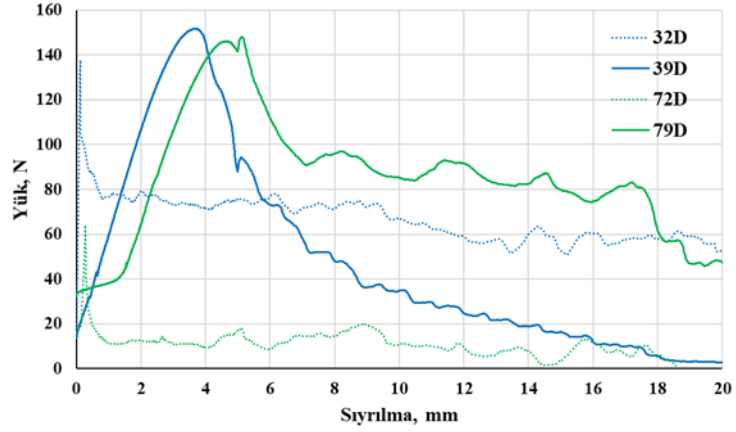
Dayanımı yüksek olan 7 kodlu lifin düşük dayanımlı 6 kodlu life kıyasla hem tepe yükü değerlerinde hem de eğri altında kalan alan değerlerinde daha yüksek değerlere sahip olarak daha iyi sıyırılma performansı sergilediği görülmüştür.

#### 4.4.5. Lif türü etkisi

Sıyırılma davranışı üzerine lif türünün etkisi yaklaşık aynı boya ve çapa sahip 1 kodlu (çelik) lif ile 8 kodlu (plastik) lifin ve ayrıca aynı boya ve yaklaşık aynı çapa sahip olan 2 kodlu (çelik) lif ile 9 kodlu (plastik) lifin yük-sıyırılma eğrileri karşılaştırılarak incelenmiştir. Her bir seriye ait 3 grafikten bir tanesi seçilerek karşılaştırmalarda kullanılmıştır. Karşılaştırmalar iki farklı S/Ç oranında (0,3 ve 0,7) yapılmış olup grafikler Şekil 4.24'da gösterilmektedir.



(a) 1 kodlu çelik ve 8 kodlu plastik numuneler

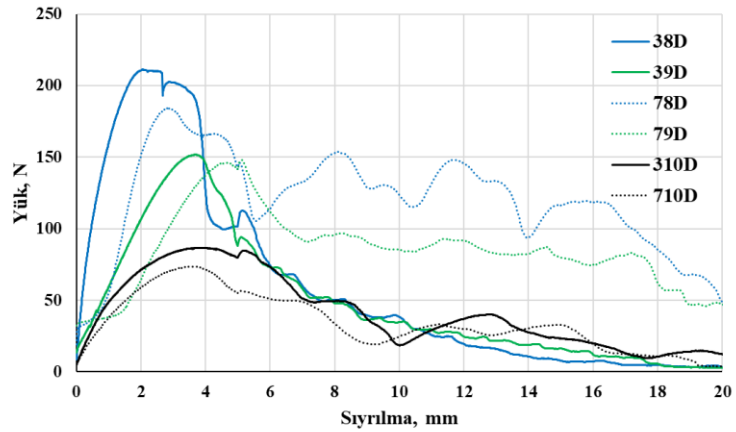


(b) 2 kodlu çelik ve 9 kodlu plastik numuneler

**Şekil 4.24.** Lif Türü Etkisi Eğrileri

Çelik liflerin tepe yüküne kadar belirgin bir sıyrılma yapmadığı buna karşın plastik liflerin tepe yüküne ulaşmaya kadar belirgin olarak sıyrılma yaptığı görülmüştür. Bununla beraber S/Ç oranının artmasıyla yani karışım dayanımlarının azalmasıyla plastik lifler çelik liflere kıyasla hem tepe yükü hem de eğri altında kalan alan değerlerinde daha iyi performans sergilemişlerdir.

Farklı geometrilere sahip 8, 9 ve 10 kodlu plastik liflerin sıyrılma davranışı performansları Şekil 4.25.'de sunulmaktadır.



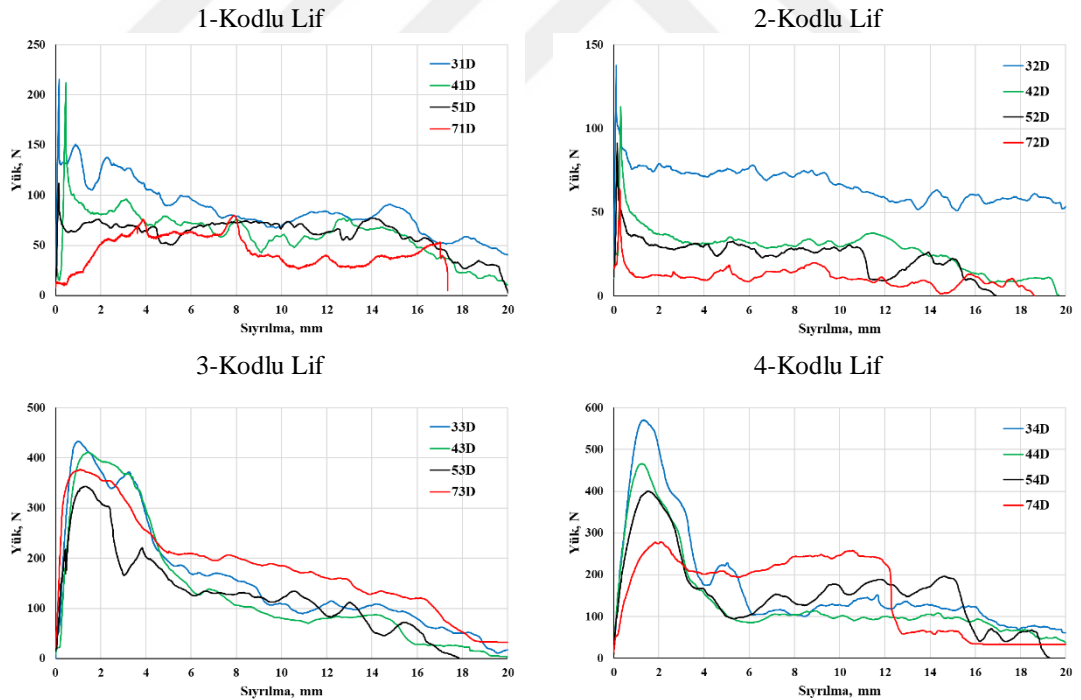
**Şekil 4.25.** Plastik Liflere Ait Yük-Sıyrılma Eğrileri

Şekil 4.25.'de uzunlukları yaklaşık aynı çapları ise farklı olan plastik 8 kodlu (l:54 mm, d:0,9 mm,  $\lambda$ :60) lifin 9 kodlu (l:50 mm, d:0,75 mm,  $\lambda$ :80) lif'e kıyasla daha

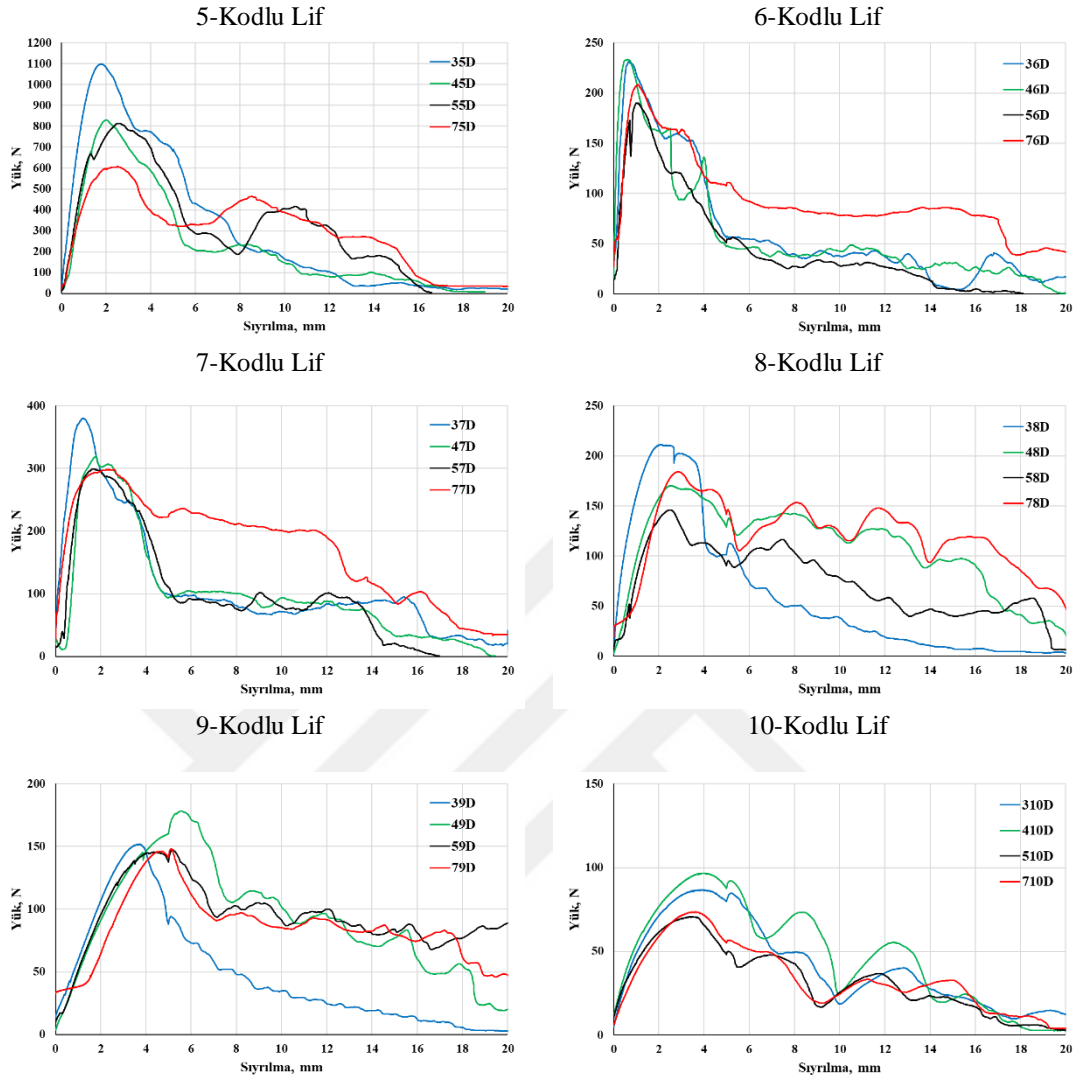
yüksek tepe yükü ve eğri altında kalan alan değerlerine sahip olduğu görülmüştür. Dalgalı şekle sahip 10 kodlu lifin ise düşük sıyırılma performansına sahip olduğu görülmüştür. Tepe yükü fazla olan liflerin tepe yüküne ulaşıncaya kadar daha az sıyırılma yaptığı gözlenmiştir. Madde 4.3.1.5.'te plastik liflerin yüksek dayanımlı matrislerde daha düşük sıyırılma performansı sergilediği belirlenmiştir. Yük-sıyırılma grafikleri incelendiğinde plastik liflerde S/Ç oranının artmasıyla tepe yükü değerlerinde belirgin düşüşler gözlenmemiştir. Düşük S/Ç oranına sahip karışımlarda plastik lifler tepe yükünden sonra ani sıyırılırken, düşük S/Ç oranına sahip matrislerde bu davranış gözlenmemiş plastik lifler sıyırılmaya karşı yüksek direnç göstermeye devam etmiştir.

#### 4.4.6. Matris Dayanımının etkisi

Her bir lif türü için farklı S/Ç oranlarına ait yük-sıyırılma eğrileri Şekil 4.26'de verilmektedir.



Şekil 4.26. Her Bir Lif Türünün Farklı S/Ç oranlarında Yük-Sıyırılma Eğrileri



**Şekil 4.26.** Her Bir Lif Türünün Farklı S/Ç oranlarında Yük-Sıyırılma Eğrileri (Devamı)

Şekil 4.26'daki eğriler incelendiğinde;

Tepe yükü değerlerine ulaşmaya kadarki kısımlarda, genel olarak S/Ç oranı arttıkça eğim azalmıştır. Başka bir ifadeyle, lifler yüksek S/Ç oranına sahip harçlardan sıyılırken daha fazla sıyırılma yapmışlardır.

Tepe yükü değerlerinin genel olarak S/Ç oranının artması ile azaldığı, bununla birlikte, bazı lif türlerinde 0,7 S/Ç oranında tepe yüklerinde artışlar gözlenmiştir.



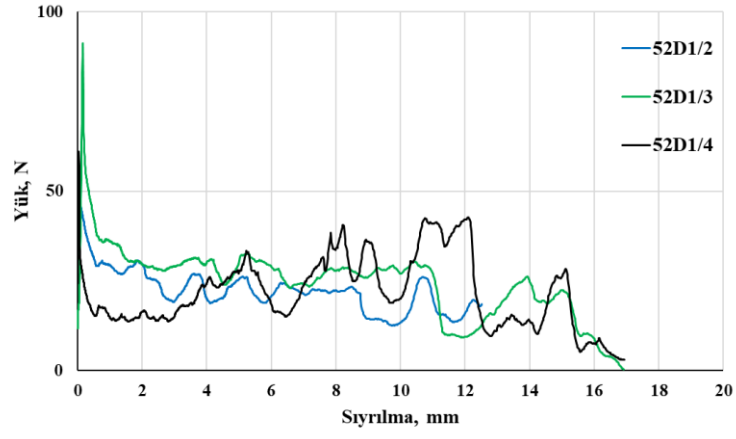
Tepe yükü sonrası davranışlarda ise genel olarak düşük S/Ç oranlarında sıyırılmanın artmasıyla yük değerlerinde daha keskin düşümler gözlenirken, yüksek S/Ç oranında sıyırılmanın artmasıyla yük değerlerindeki düşüşlerin daha az olduğu görülmüştür. Bu nedenle, yüksek S/Ç oranlarında eğri altında kalan alan değerlerinde artışlar elde edilmiştir.

#### **4.4.7. Matris Bileşiminin etkisi**

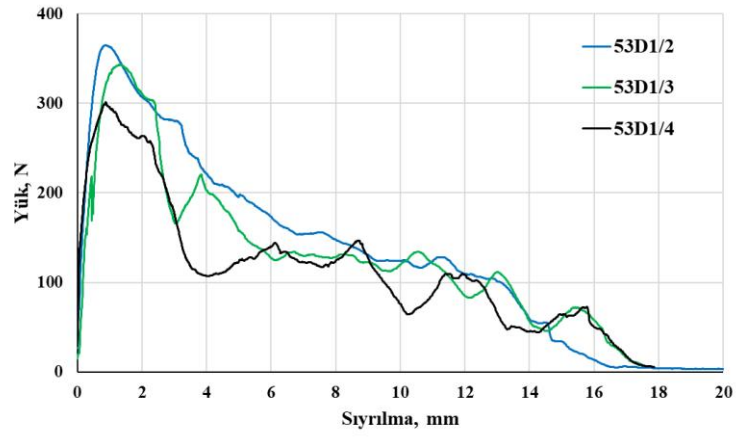
Matris bileşiminin sıyırılma davranışı üzerine belirgin bir etkisinin olmadığı daha önceki bölümlerde elde edilmiştir. Bu bölümde bazı lif türlerinin çeşitli kum türlerinde yük-sıyırılma eğrileri aşağıdaki şekillerde verilmiştir.



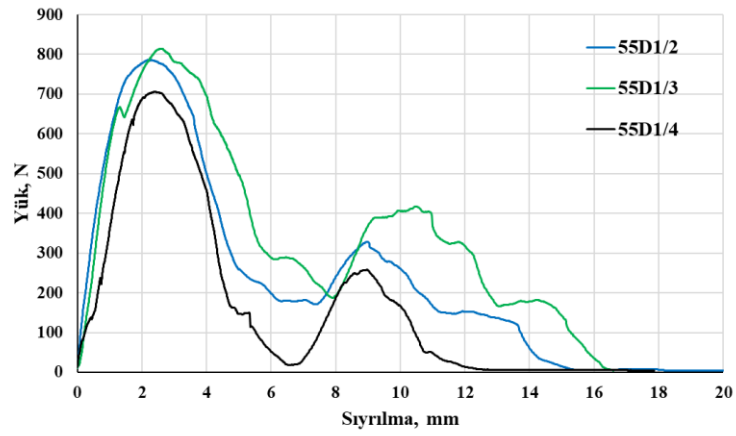
### 2 Kodlu Lif



### 3 Kodlu Lif

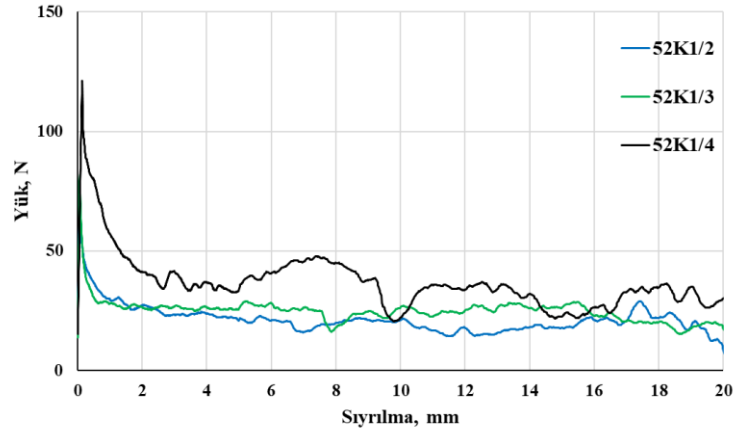


### 5 Kodlu Lif

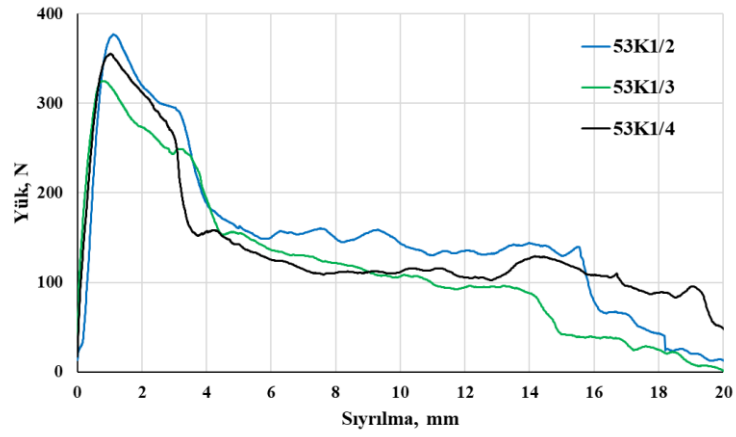


**Şekil 4.27.** Farklı Ç/K Oranına Sahip Doğal Kum İçeren Karışımlarda Yük-Sıyılma Eğrileri

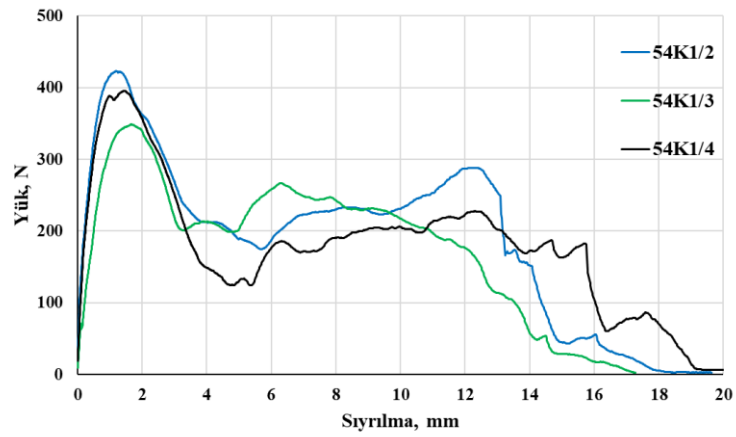
### 2 Kodlu Lif



### 3 Kodlu Lif

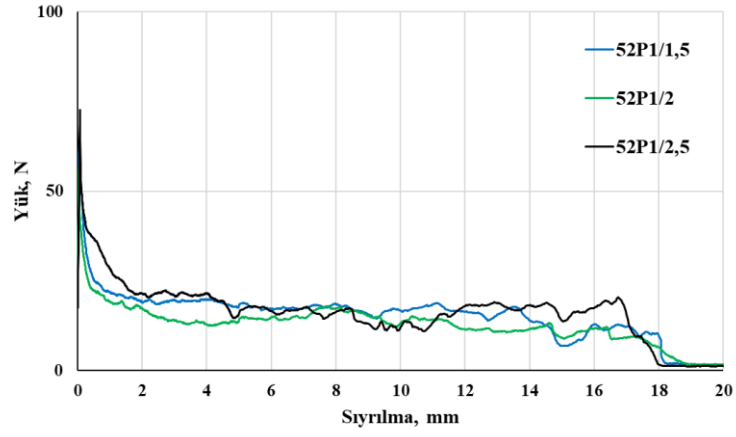


### 4 Kodlu Lif

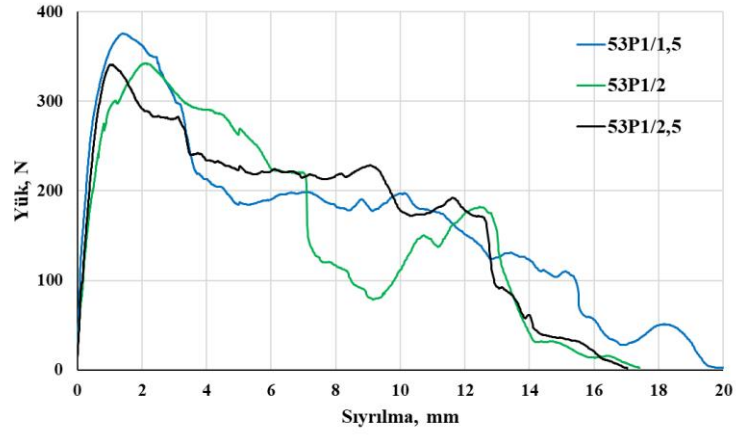


**Şekil 4.28.** Farklı Ç/K Oranına Sahip Kıırma Kum İçeren Karışımlarda Yük-Sıyılma Eğrileri

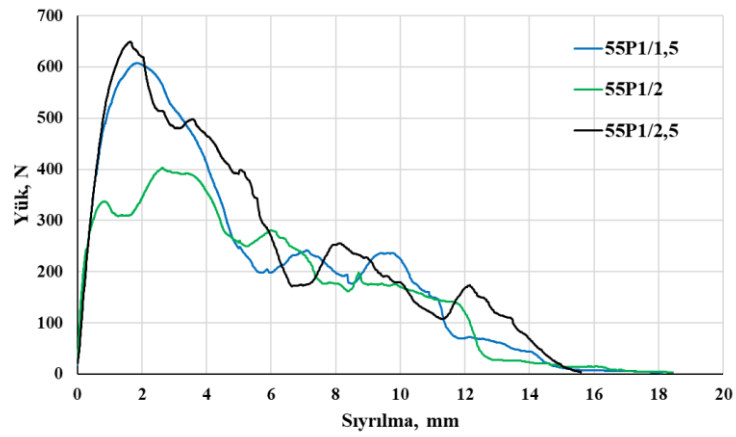
### 2 Kodlu Lif



### 3 Kodlu Lif

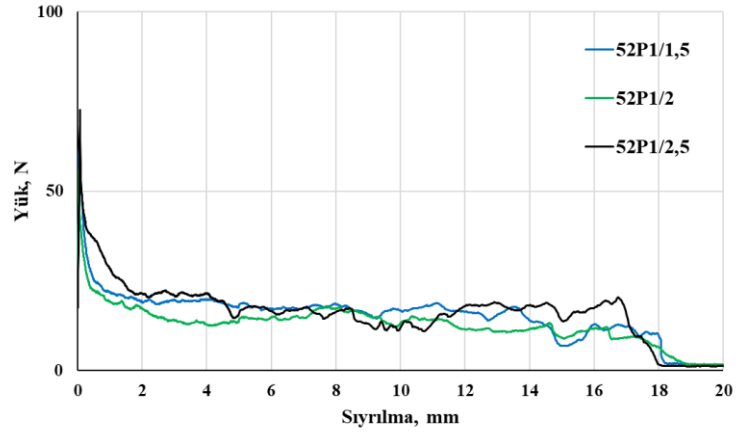


### 5 Kodlu Lif

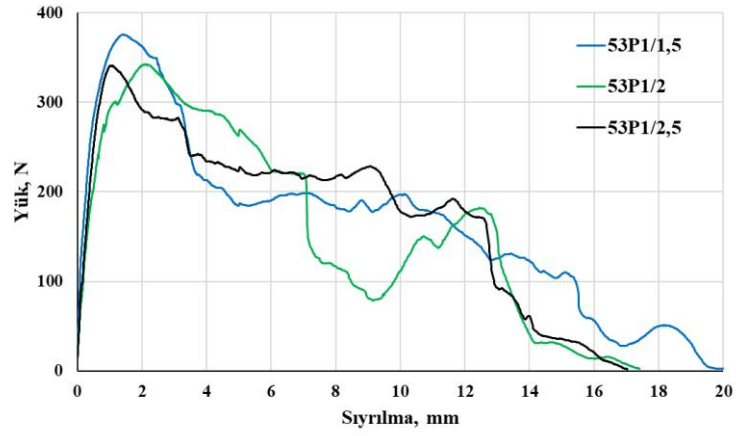


**Şekil 4.29.** Farklı Ç/K Oranına Sahip Pomza İçeren Karışımlarda Yük-Sıyılma Eğrileri

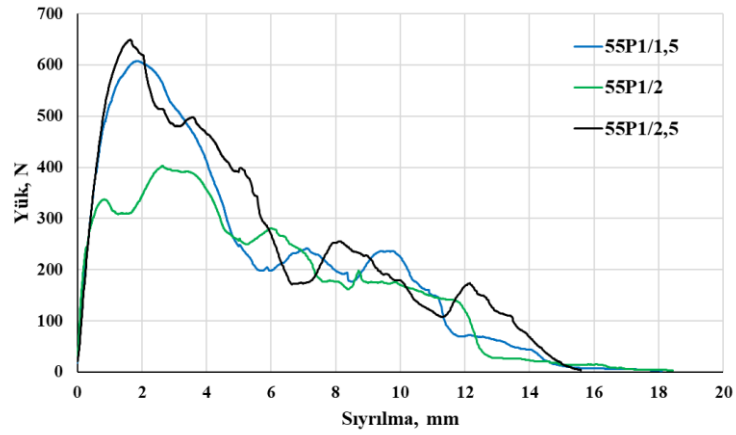
### 2 Kodlu Lif



### 3 Kodlu Lif

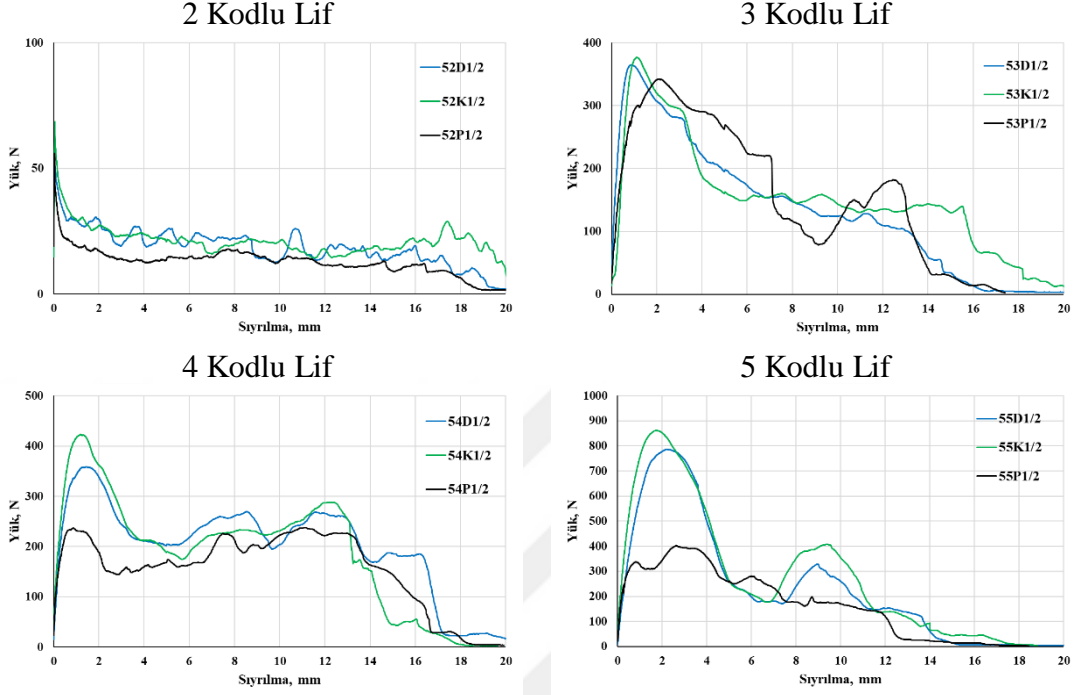


### 5 Kodlu Lif



**Şekil 4.30.** Farklı Ç/K Oranına Sahip Pomza İçeren Karışımlarda Yük-Sıyılma Eğrileri

Kum türleri farklı fakat Ç/K oranları aynı olan karışımlardaki lif sıyrılma deneylerine ait eğriler Şekil 4.31’de verilmektedir.

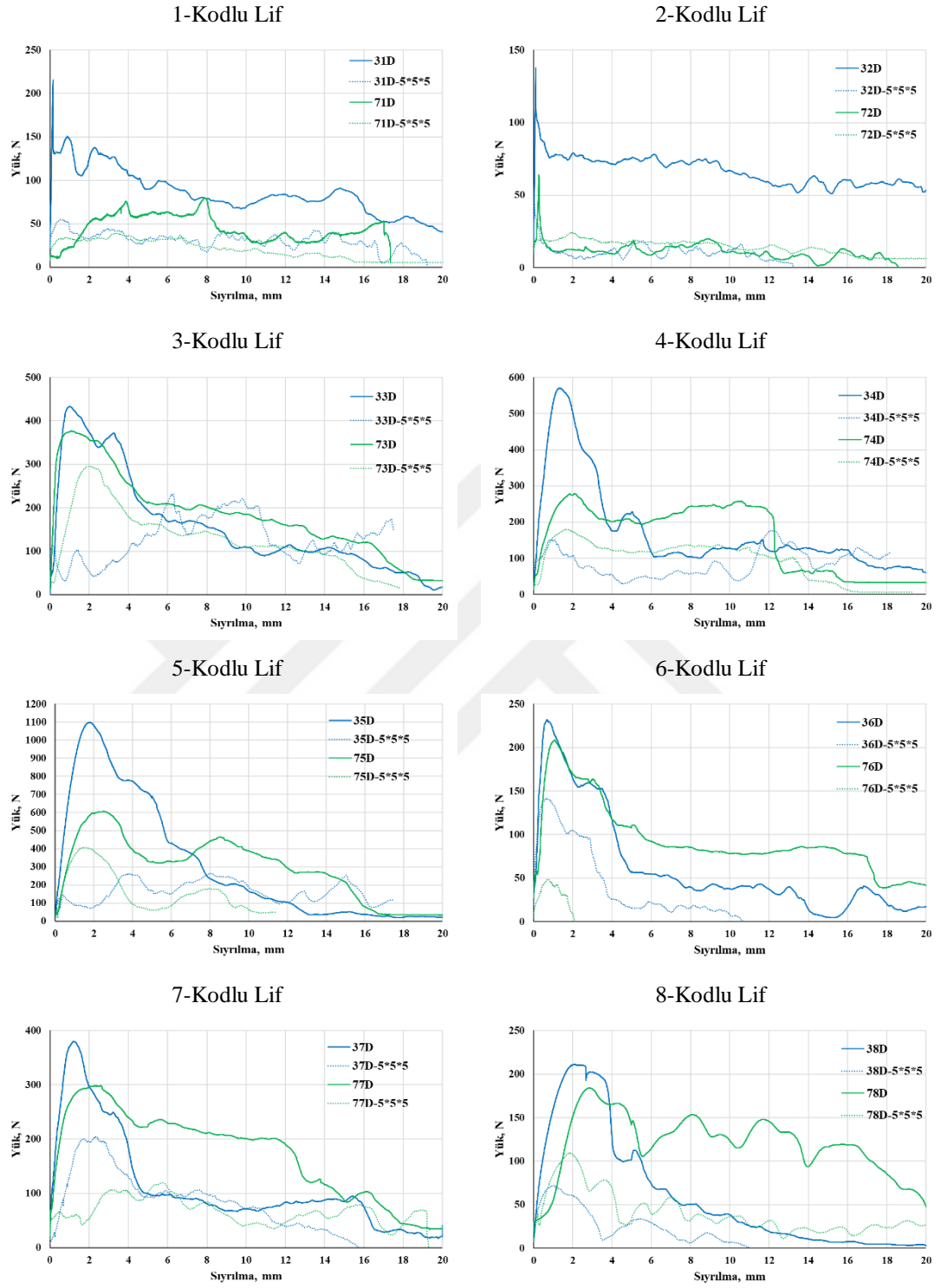


Şekil 4.31. Kum Türleri Farklı Ç/K oranları Aynı Karışımlarda Yük-Sıyrılma Eğrileri

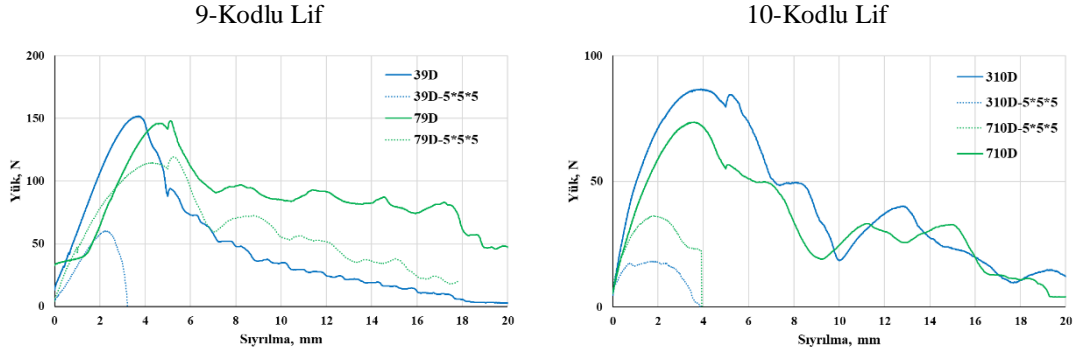
Her bir lif türünde pomza agregası kullanılan karışımlarda tepe yükü değerlerinin diğerlerine kıyasla daha düşük olduğu görülmüştür. Buna birlikte tepe yükünde sonraki davranışlarda belirgin farklılıklar görülmemiştir.

#### 4.4.8. Numune boyutu etkisi

Her bir lif türü için farklı S/Ç oranlarına ait yük-sıyrılma eğrileri Şekil 4.32’de verilmektedir.



Şekil 4.32. Her Bir Lif Türünün Farklı S/Ç Oranlarında Yük-Sıyrılma Eğrileri



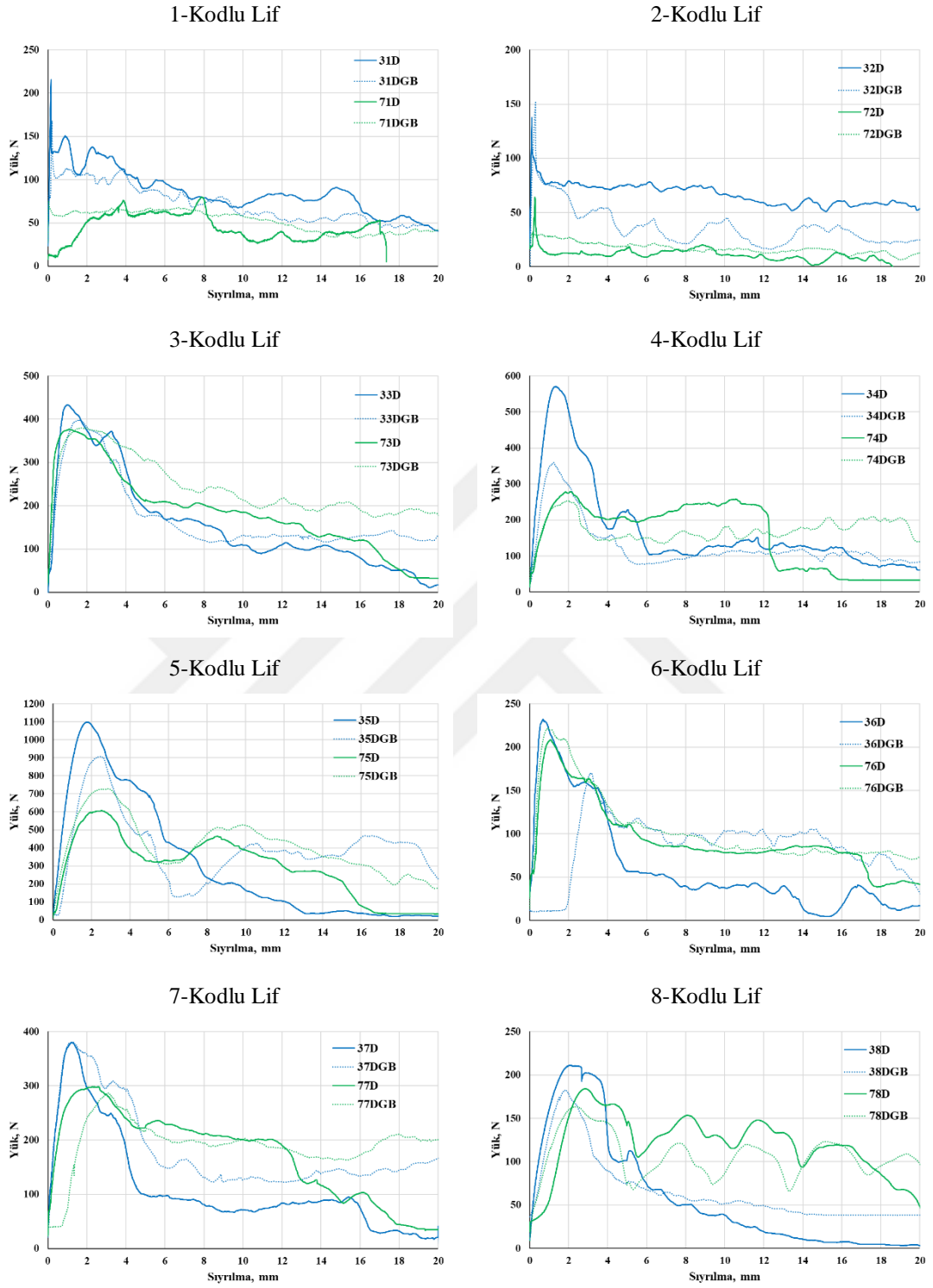
**Şekil 4.32.** Her Bir Lif Türünün Farklı S/Ç oranlarında Yük-Sıyrılma Eğrileri (Devamı)

Kenarları 4 cm olan küp numunelerle kenarları 5 cm olan küp numunelerde yapılan sıyrılma deneyi eğrileri incelendiğinde, genel olarak büyük boyutlu numunelerde tepe yüklerinin daha düşük olduğu, bununla birlikte tepe yükü sonrası davranışların benzer olduğu görülmüştür. Ayrıca, büyük boyutlu numunelerde lifler daha erken sıyrılmış bazı liflerde 20 mm'den çok daha erken 4-5 mm'lerde tamamen sıyrılma gerçekleşmiştir. Bunun sonucunda, 20 mm'ye kadarki alanın kullanıldığı eğri altında kalan alan değerlerindeki aşırı düşük sonuçlar açıklanmıştır.

#### 4.4.9. Gömme boyu etkisi

Çalışma kapsamında 2 farklı gömme derinliğinde deneyler yapılmıştır. Gömme boyu farklı olan liflere ait yük-sıyrılma eğrileri Şekil 4.33'de verilmektedir. Grafiklerde düz çizgiler 20 mm, kesikli çizgiler ise 30 mm gömülmüş numunelere ait eğrileri göstermektedir. Gömme derinliği ölçümleri 8 farklı lif üzerinde yapılmış olup her bir seriden seçilen bir eğri karşılaştırmalarda kullanılmıştır. Gömme boyları farklı olan numunelere ait yük-sıyrılma eğrilerinde her iki S/Ç oranında da belirgin bir farklılık görülmemiştir.

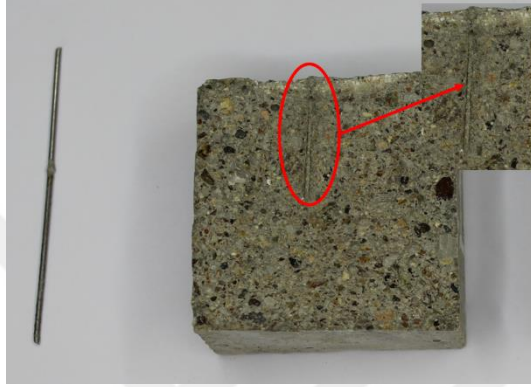




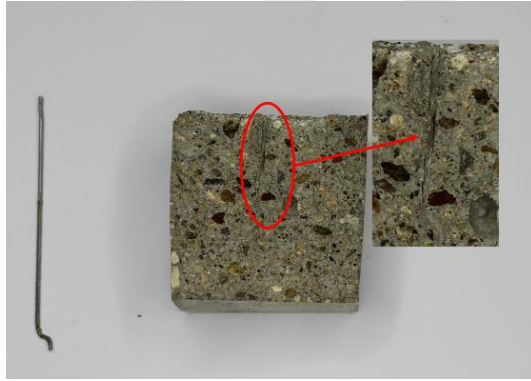
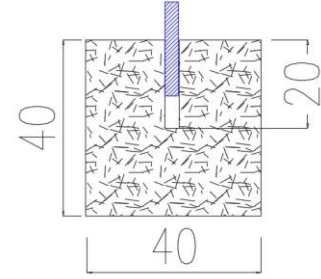
Şekil 4.33. Farklı Gömme Boylarına Sahip Numunelerin Yük-Sıyrılma Eğrileri

#### 4.5. Sıyrılma Davranışının Kesit Fotoğrafları ile Analizi

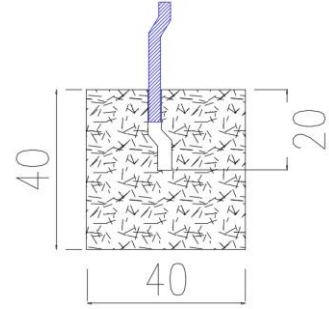
Bu bölümde sıyrılma davranışı, deneyi tamamlanmış numunelerin liflerin gömüldüğü bölümden yarılmasıyla elde edilen kesitlerin görüntülerin analiz edilmesiyle araştırılmaktadır. Kancasız ve kancalı uçlu çelik lifler ile dalgalı biçimli plastik liflere ait kesit fotoğrafları ve deney sonrası kesit çizimleri Şekil 4.34'de verilmektedir.



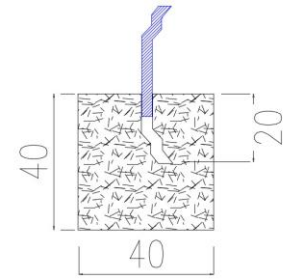
(a) 1 kodlu kancasız uçlu düz çelik lif



(b) 3 kodlu kancalı uçlu çelik lif



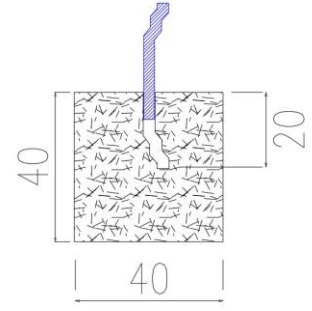
(c) 4 kodlu kancalı uçlu çelik lif



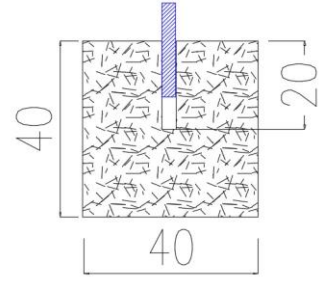
Şekil 4.34. Deney Sonrası Kesit Fotoğrafları



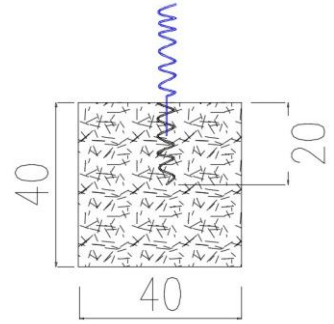
(d) 5 kodlu kancalı uçlu çelik lif



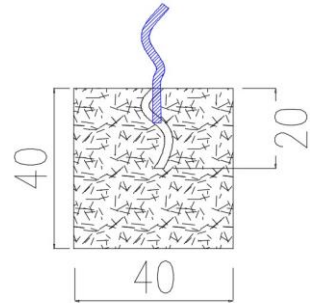
(e) 8 kodlu düz plastik lif



(f) 9 kodlu dalgalı biçimli plastik lif



(g) 10 kodlu dalgalı biçimli plastik lif



Şekil 4.34. Deney Sonrası Kesit Fotoğrafları (Devamı)

Kesit fotoğrafları incelendiğinde;

Kancasız uçlu liflerin sıyrılırken matrise herhangi bir tahribat vermediği ve gömülme eksenini boyunca sıyrılma yaptığı görülmüştür.

Kancalı uçlu çelik liflerin kancalarının düzleştiği ve kesit boyunca matrisi sadece kancanın olduğu bölümde lokal olarak tahrip edip devamında lifin sıyrıldığı kanaldan düzleşerek çıktığı görülmüştür.

Plastik liflerde liflerin gömülü bölümlerinin deforme olup düzleştiği bununla beraber matriste tahribat oluşturmayıp lifi sıyrıldığı kanaldan dalgalı kısımların düzleşerek çıktığı gözlenmiştir.

## 5. SONUÇLAR

Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde özetlenmektedir.

1. Matris dayanımı ve bileşiminin etkisinin incelendiği bölümlerde elde edilen sonuçlarda, kırma kum içeren harçların doğal kum içeren harçlara kıyasla daha yüksek dayanımlara sahip oldukları görülmüştür. Aynı zamanda pomza kumu içeren harçlarda, doğal ve kırma kum içeren harçlara göre dayanımlar belirgin olarak azalmıştır. Doğal ve kırma kum içeren harçlarda Ç/K oranı arttıkça basınç dayanımları azalmıştır. Basınç dayanımındaki en fazla azalmalar doğal kum ve kırma kum için sırasıyla %9,7, ve %7,1 olarak elde edilmiştir. Buna rağmen Ç/K oranı arttıkça eğilme dayanımları artmıştır. Eğilme dayanımındaki en fazla artışlar doğal kum ve kırma kum için sırasıyla %80,9 ve %11,8 olarak elde edilmiştir.
2. Lif narinliğinin artmasının sıyırılma performansını olumsuz etkilediği belirlenmiştir. Narinliğin artmasıyla birlikte hem tepe yükü değerleri hem de eğri altında kalan alan değerleri azalmıştır. Narinliğin artması sonucunda tepe yükü değerlerinde en fazla %45 oranında azalma elde edilmiştir. Benzer olarak narinliğin artmasıyla eğri altında kalan alanlarda ise en fazla %65 oranında azalma elde edilmiştir.
3. Kanca uçlu tel kullanımının sıyırılma performansını belirgin olarak arttırdığı belirlenmiştir. Kanca kullanılmasıyla hem tepe yükü değerleri hem de eğri altında kalan alan değerleri artmıştır. Kanca kullanılmasıyla tepe yükü değerlerinde en fazla %65 civarında artış elde edilmiştir. Eğri altında kalan alan değerlerinde ise en fazla %80 civarında artış elde edilmiştir.
4. Kanca boyu uzunluğunun sıyırılma performansını artırıcı etkisi olduğu belirlenmiştir. Kanca boyu en fazla olan 5 kodlu lifin diğer liflere kıyasla hem tepe yükü değerlerinde hem de eğri altında kalan alan değerlerinde daha yüksek değerlere sahip olarak daha iyi sıyırılma performansı sergilediği görülmüştür. Kanca boyu fazla olan 4 kodlu lifin 3 kodlu life kıyasla genel olarak daha iyi performans sergilediği fakat bu performanstaki artışın 5 kodlu

lifin 3 kodlu life kıyasla sergilediği performans ile karşılaştırılmayacağı söylenebilir. 5 kodlu lifin kullanıldığı karışımlarda 3 kodlu lifin kullanıldığı karışımlara kıyasla tepe yükü değerlerinde en fazla %151 civarında artış elde edilmiştir. Eğri altında kalan alan değerlerinde ise bu artış en fazla %127 civarında artış elde edilmiştir.

5. Lif dayanımının yüksek olmasının sıyırılma performansın artırdığı belirlenmiştir. Lif dayanımının artmasıyla beraber tepe yükü ve eğri altında kalan alan değerleri artmıştır. Yüksek dayanımlı lif kullanılmasıyla tepe yükü değerlerinde en fazla %42 oranında artış elde edilmiştir. Yüksek dayanımlı lif kullanılmasıyla eğri altında kalan değerlerinde ise en fazla %58 oranında artış elde edilmiştir.
6. Lif türü etkisi araştırılmasında çelik lif ile plastik lif karşılaştırılması yapılmıştır. Yüksek dayanımlı karışımlarda çelik lifli numunelerin tepe yükü değerleri ve eğri altında kalan alan değerleri plastik lifli numunelere göre daha yüksek çıkmıştır. Ancak karışım dayanımının azalmasıyla plastik lifli numunelerin tepe yükü değerleri ve eğri altında kalan alan değerleri çelik lifli numunelere göre daha yüksek çıkmıştır. Plastik liflerin yüksek dayanımlı matrislerde daha düşük sıyırılma performansı sergilediği gözlenmiştir.
7. Matris dayanımının düşmesiyle her bir lif türünde tepe yükü değerlerinde azalmalar belirlenmiştir. Matris dayanımının düşmesiyle tepe yükü değerlerinde en fazla azalma ucunda kanca bulunmayan 1 kodlu lifte %57 oranında elde edilmiştir. Matris dayanımının düşmesiyle çelik liflerde eğri altında kalan alan değerlerinde genellikle azalmalar görülmüş, buna karşın, plastik liflerde (8, 9 ve 10) ise eğri altında kalan alan değerlerinde artışlar görülmüştür. Eğri altında kalan alan değerlerinde matris dayanımına bağlı en fazla düşüş ucu kancasız olan 2 kodlu lifte %86 oranında elde edilmiştir. Plastik liflerde ise matris dayanımı düştükçe eğri altında kalan alan değerlerinde en fazla artış 9 kodlu lifte %139 oranında elde edilmiştir.

8. Ç/K oranının değişmesiyle her bir kum türü için ve her bir lif için tepe yükü ve eğri altında kalan alan değerlerinde belirgin artış veya azalışlar elde edilmemiştir. Kum türünün etkisi araştırıldığında pomza agregası kullanımının doğal kum ve kırma kum kullanımına kıyasla sıyırılma davranışını genel olarak olumsuz etkilediği görülmüştür.
9. Yüksek dayanıma sahip (S/Ç:0,3) karışımlarda ve düşük dayanıma sahip (S/Ç:0,7) karışımlarda numune boyutunun artmasının tepe yükü ve eğri altında kalan alan değerlerini olumsuz etkilediği belirlenmiştir. Bu sonuçlara lif türünün etkisinin olmadığı belirlenmiştir. Yüksek dayanımlı karışımlarda tepe yükü değerlerindeki en fazla azalma %81 ve eğri altında kalan alan değerlerindeki en fazla azalma %92 oranında elde edilmiştir. Düşük dayanımlı karışımlarda ise tepe yükü değerlerindeki en fazla azalma %77 ve eğri altında kalan alan değerlerindeki en fazla azalma %96 oranında elde edilmiştir.
10. Yüksek dayanıma sahip karışımlarda gömme boyunun tepe yükü değerleri üzerine belirgin bir etkisi görülmemiştir. Eğri altında kalan alan değerlerinde ise bazı liflerde azalma bazılarında artışlar elde edilmiştir. Düşük dayanıma sahip karışımlarda ise gömme boyunun tepe yükü değerleri üzerine yüksek dayanımlı karışımlarda olduğu gibi belirgin bir etkisi görülmemiştir. Eğri altında kalan alan değerlerinde ise gömme boyu arttıkça değerler genelde artmış olup maksimum artış ucu kancasız olan 1 kodlu lifte %46 oranında elde edilmiştir.
11. Çelik liflerin tepe yüküne kadar belirgin bir sıyırılma yapmadığı buna karşın plastik liflerin tepe yüküne ulaşmaya kadar belirgin olarak sıyırılma yaptığı görülmüştür. Tepe yükü fazla olan liflerin tepe yüküne ulaşmaya kadar daha az sıyırılma yaptığı gözlenmiştir.
12. Tepe yükü değerlerine ulaşmaya kadarki kısımlarda, genel olarak S/Ç oranı arttıkça eğim azalmıştır. Başka bir ifadeyle, lifler yüksek S/Ç oranına sahip harçlardan sıyırılırken daha fazla sıyırılma yapmışlardır. Tepe yükü sonrası

davranışlarda ise genel olarak düşük S/Ç oranlarında sıyırılmanın artmasıyla yük değerlerinde daha keskin düşüşler gözlenirken, yüksek S/Ç oranında sıyırılmanın artmasıyla yük değerlerindeki düşüşlerin daha az olduğu görülmüştür. Bu nedenle, yüksek S/Ç oranlarında eğri altında kalan alan değerlerinde artışlar elde edilmiştir.

13. Kenarları 4 cm olan küp numunelerle kenarları 5 cm olan küp numunelerde yapılan sıyırma deneyi eğrileri incelendiğinde, genel olarak büyük boyutlu numunelerde tepe yüklerinin daha düşük olduğu, bununla birlikte tepe yükü sonrası davranışların benzer olduğu görülmüştür. Ayrıca, büyük boyutlu numunelerde lifler daha erken sıyırılmış bazı liflerde 20 mm'den çok daha erken 4-5 mm'lerde tamamen sıyırılma gerçekleşmiştir. Bu sonuçla, 20 mm'ye kadarki alanın kullanıldığı eğri altında kalan alan değerlerindeki aşırı düşük sonuçlar açıklanmıştır.

14. Kesit fotoğrafları incelendiğinde; kancasız uçlu liflerin sıyırılırken matrise herhangi bir tahribat vermediği ve gömülme eksenini boyunca sıyırılma yaptığı görülmüştür. Kancalı uçlu çelik liflerin kancalarının düzleştiği ve kesit boyunca matrisi sadece kancanın olduğu bölümde lokal olarak tahrip edip devamında lifin sıyırıldığı kanaldan düzleşerek çıktığı görülmüştür. Plastik liflerde liflerin gömülü bölümlerinin deforme olup düzleştiği bununla beraber matrisede tahribat oluşturmayıp liflerin sıyırıldığı kanaldan dalgalı kısımların düzleşerek çıktığı gözlenmiştir.



## KAYNAKLAR

1. Köksal, F., Çelik Tel Donatılı Betonların Mekanik Davranışı ve Optimum Tasarımı, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2004.
2. Mavi, Ö., Kireç, Harç ve Sıvaların Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2000.
3. Taşdemir, M.A., Çelik Tel Takviyeli Betonların Mekanik Davranışı, Çelik Tel Donatılı Beton Sempozyumu, Sabancı Center, İstanbul, 9-11, 24 Kasım 1999.
4. Bingöl, A.F., Gul, R., Donatı-Beton Aderansı, Yüksek Sıcaklıkların Beton Dayanımına ve Aderansa Etkileri Konusunda Bir Derleme. *Tubav Bilim Dergisi*, 2(2), 211, 230, 2009.
5. Taşdemir, M.A., Bayramov F., Yüksek Performanslı Çimento Esaslı Kompozitlerin Mekanik Davranışı, *İtü dergisi/d* Cilt 1, Sayı 2, 125-144, Aralık 2002.
6. Taşdemir, M.A., İlki, A., Yerlikaya, M., Mechanical Behaviour of Steel Fibre Reinforced Concrete Used in Hydraulic Structures, Proceedings of HYDRO, International Conference of Hydro power and Dams, Antalya, Turkey, 159-166, November 4-7, 2002.
7. Akman, S., Tasdemir, M.A., Taşıyıcı Malzeme Olarak Perlit Betonu. 1. Ulusal Perlit Kongresi Bildirileri, MTA, 40-48, Ankara, 1977.
8. Eriç, M., Yapı Fiziği ve Malzemesi, Literatür Yay., İstanbul, 1994.
9. ACI Committee 544, Guide For Proportioning Mixing Placing and Finishing Steel Fibre Reinforced Concrete, *ACI Materials Journal*, 90 (1), 94-101, 1993.
10. Bentur, A., Mindess, S., Fibre Reinforced Cementitious Composites, Elsevier Applied Science, London and Newyork, 1990.
11. Naaman, A.E., Fiber Reinforcement for Concrete, *Concrete International*, 21-25, March, 1985.
12. Romualdi, J. P., Batson, G. B., Mechanics of Crack Arrest in Concrete. J. Eng. Mech. Div., ASCE, Vol. 89, No. EM3, 147-168, June 1963.
13. Tasdemir, M.A., ve ark., Prefabrik Elemanlar İçin Çelik Tel Donatılı Betonlar, *Beton Prefabrikasyon*, Sayı 63, 5-12, Temmuz 2002.

14. ACI Committee 544.1R, Fibre Reinforced Concrete, American Concrete Institute, Michigan, USA, 1996.
15. Tuyan, M., Yazıcı, H., Pull-Out Behavior of Single Steel Fiber From SIFCON Matrix, *Construction and Building Materials*, 35, 571-577. 2012.
16. Dubey, A., Fiber Reinforced Concrete: Characterization of Flexural Toughness Some Studies on Fiber-Matrix Bond-Slip Interaction, Ph.D. Thesis, The University of British Columbia, Canada, 1999.
17. Banthia, N., A Study of Some Factors Affecting The Fiber–Matrix Bond in Steel Fiber Reinforced Concrete, *Can. J. Civ. Eng.* 17, 610–620, 1990.
18. Chan, Y., Chu, S., Effect of Silica Fume on Steel Fiber Bond Characteristics in Reactive Powder Concrete, *Cement and Concrete Research*, 34, 1167–1172, 2004.
19. Beglarigale, A., Yazıcı, H., Pull-Out Behavior of Steel Fiber Embedded in Flowable RPC and Ordinary Mortar, *Construction and Building Materials*, 75, 255–265, 2015.
20. Deng, F., Ding, X., Chi, Y., Xu, L., Wang, L., The Pull-Out Behavior of Straight and Hooked-End Steel Fiber From Hybrid Fiber Reinforced Cementitious Composite: Experimental Study and Analytical Modelling, *Composite Structures*, 206, 693–712, 2018.
21. Isla, F., Ruano, G., Luccioni, B., Analysis of Steel Fibers Pull-Out Experimental Study, *Construction and Building Materials*, 100, 183–193. 2015.
22. Lukasenoks, A., Macanovskis, A., Krasnikovs, A., Matrix Strength Influence on Composite Fibre Reinforced Concrete Behaviour in Flexure and Single Fibre Pull-Out, *Engineering for Rural Development*, 23, 2018.
23. Deng, M., Pan, J., Sun, H., Bond Behavior of Steel Bar Embedded in Engineered Cementitious Composites Under Pullout Load, *Construction and Building Materials*, 168, 705–714, 2018.
24. Yoo, D., Kim, S., Kim, J., Chun, B., An Experimental Study on Pullout and Tensile Behavior of Ultra-High Performance Concrete Reinforced with Various Steel Fibers, *Construction and Building Materials*, 206, 46–61, 2019.
25. Wu, Z., Shi, C., Khayat, K.H., Multi-Scale Investigation of Microstructure, Fiber Pullout Behavior, and Mechanical Properties of Ultra-High Performance Concrete with Nano- CaCO<sub>3</sub> Particles, *Cement and Concrete Composites*, 86, 255-265, 2018.

26. Kim, J., Yoo, D., Effects of Fiber Shape and Distance on The Pullout Behavior of Steel Fibers Embedded in Ultra-High-Performance Concrete, *Cement and Concrete Composites*, 103, 213–223, 2019.
27. Conner, R.D., Dandliker, R.B., Johnson, W.L., Mechanical Properties of Tungsten and Steel Fiber Reinforced  $Zr_{41.25}Ti_{13.75}Cu_{12.5}Ni_{10}Be_{22.5}$  Metallic Glass Matrix Composites, Pergamon, 46, 17, 6089-6102, 1998.
28. Concrete Society, Concrete Industrial Floors-A Guide to Their Design and Construction, Technical Report, No.34, The Concrete Society, Slough, 1994.
29. Baran, E., Akis, T., Yeşilmen, S., Pull-Out Behavior of Prestressing Strands in Steel Fiber Reinforced Concrete, *Construction and Building Materials*, 28, 362–371, 2012.
30. Sancak, E., Ünal, O., Hafif Betonda Çelik Lif Kullanımının Beton Özelliklerine Etkisi, *A.K.Ü. Fen Bilimleri Dergisi*, 2(1), 79-88, 2000.
31. Knapton, J., Ground Bearing Concrete Slabs, Thomas Telford, London, 2003.
32. Naaman, A.E., Engineered Steel Fibers With Optimal Properties For Reinforcement of Cement Composites, *Journal of Advanced Concrete Technology*, 1 (3), 241-252, 2003.
33. Beksa Firması, Çelik Tel Takviyeli Betonun Özellikleri, Beksa Broşürleri Basımevi, İzmit, 1998.
34. Balaguru, P.N., Shah, S.P., Fiber-Reinforced Cement Composites, Mc Graw-Hill International Editions, New York, 1992.
35. Nataraja, M.C., Dhang, N., Gupta, A.P., Stress-Strain Curves for Steel-Fiber Reinforced Concrete Under Compression, *Cement and Concrete Composites*, 21, 383-390, 1999.
36. Ali, A., Iqbal, S., Holschemacher, K., Bier, T.A., Effect of Fibers on Bond Performance of Lightweight Reinforced Concrete, *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 60(1), 97-102, 2016.
37. Cao, Y.Y.Y., Yu, Q.L., Effect of Inclination Angle on Hooked End Steel Fiber Pullout Behavior in Ultra-High Performance Concrete, *Composite Structures*, 201, 151–160, 2018.
38. Abdallah, S., Rees, D.W.A., Comparisons Between Pull-Out Behaviour of Various Hooked-End Fibres in Normal-High Strength Concretes, *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 2019.
39. Abdallah, S., Fan, M., Rees, D.W.A., Analysis and Modelling of Mechanical Anchorage of 4D/5D Hooked End Steel Fibres, *Mater. Des.*, 2016.

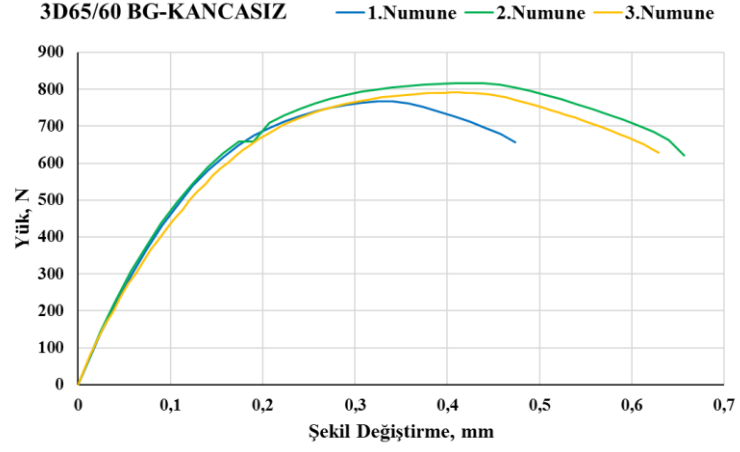
40. Abdallah, S., Fan, M., Zhou, X., Le Geyt, S., Anchorage Effects of Various Steel Fibre Architectures for Concrete Reinforcement, *Int. J. Concr. Struct. Mater.*, 2016.
41. Abdallah, S., Fan, M., Anchorage Mechanisms of Novel Geometrical Hooked-End Steel Fibres, *Mater. Struct. Constr.*, 2017.
42. Banholzer, B., Brameshuber, W., Jung, W., Analytical Evaluation of Pull-Out Tests-The Inverse Problem, *Cem. Concr. Compos.*, 2006.
43. Won, J.P., Lee, J.H., Lee, S.J., Bonding Behaviour of Arch-Type Steel Fibres in A Cementitious Composite, *Compos. Struct.*, 2015.
44. Abdallah, S., Fan, M., Cashell, K.A., Bond-Slip Behaviour of Steel Fibres in Concrete After Exposure to Elevated Temperatures, *Constr. Build. Mater.*, 2017.
45. Köksal, F., Eyyubov, C., Özcan, D.M., Çelik Tel İçeriğinin Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisi, 5. İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler Kongresi, 169-179, İstanbul, Eylül 25-27, 2002.
46. Shah, S.P., Rangan B.V., Fiber Reinforced Concrete Properties, *ACI Materials Journal*, 68 (2), 126-137, 1971.
47. Gao, J., Sun, W., Morino, K., Mechanical Properties of Steel Fiber Reinforced, High-Strength, Lightweight Concrete, *Cement and Concrete Composites*, 19, 307-313, 1997.
48. Mohammadi, Y., Singh, S.P. Kaushik, S.K., Properties of Steel Fibrous Concrete Containing Mixed Fibres in Fresh and Hardened State, *Construction and Building Materials*, 22 (5), 956-965, 2008.
49. Naik, D.L., Sharma, A., Chada, R.R., Kiran, R., Sirotiak, T., Modified Pullout Test for Indirect Characterization of Natural Fiber and Cementitious Matrix Interface Properties, *Construction and Building Materials*, 208, 381–393, 2019.
50. Shannag, M.J., Brincker, R., Hansen, W., Pullout Behavior of Steel Fibers From Cement-Based Composites, *Cement and Concrete Research*, 27, 6, 925-936, 1997.
51. Teklal, F., Djebbar, A., Allaoui, S., Hivet, G., Joliff, Y., Kacimi, B., A Review of Analytical Models to Describe Pull-Out Behavior – Fiber/Matrix Adhesion, *Composite Structures*, 201, 791–815, 2018.
52. Qi, J., Wu, Z., Ma, Z.J., Wang, J., Pullout Behavior of Straight and Hooked-End Steel Fibers in UHPC Matrix with Various Embedded Angles, *Construction and Building Materials*, 191, 764–774, 2018.

53. Banthia, N., Trottier, J.F., Concrete Reinforced with Deformed Steel Fibers, Part I: Bond-Slip Mechanisms, *ACI Mater. J.* 91, 1994.
54. Soetens, T., Van Gysel, A., Matthys, S., Taerwe, L., A Semi-Analytical Model to Predict The Pull-Out Behaviour of Inclined Hooked-End Steel Fibres, *Constr. Build. Mater.* 43, 253–265, 2013.
55. McSwain, A.C., Berube, K.A., Cusatis, G., Landis, E.N., Confinement Effects on Fiber Pullout Forces for Ultra-High-Performance Concrete, *Cement and Concrete Composites*, 91, 53–58, 2018.
56. Xu, M., Hallinan, B., Wille, K., Effect of Loading Rates on Pullout Behavior of High Strength Steel Fibers Embedded in Ultra-High Performance Concrete, *Cement and Concrete Composites*, 70, 98-109, 2016.
57. Boshoff, W.P., Mechtcherine, V., Van Zijl, G.P.A.G., Characterising the Time-Dependant Behaviour on The Single Fibre Level of SHCC: Part 2: The Rate Effects on Fibre Pull-Out Tests, *Cem. Concr. Res.*, 2009.
58. Malhotrav, M., Evaluation of the Pull-Out Test to Determine Strength of in-situ Concrete. *Materials and Structures*, 8(1), 19-31, 1975.
59. Chan Y.W., Chu, S.H., Effect of Silica Fume on Steel Fiber Bond Characteristics in Reactive Powder Concrete. *Cement and Concrete Research*, 34(7), 1167-1172, 2004.
60. Lee, Y., Kang, S.T., Kim J.K., Pull-Out Behavior of Inclined Steel Fiber in an Ultra-High Strength Cementitious Matrix. *Construction and Building Materials*, 24(10), 2030-2041. 2010.
61. Shannag, M.J., Brincker, R., Hansen, W., Pull-Out Behavior of Steel Fibers From Cement-Based Composites. *Cement and Concrete research*, 27(6), 925-36, 1997.
62. Abu-Lebdeh, T., Hamoush, S., Heard, W., Zornig, B., Effect of Matrix Strength on Pull-Out Behavior of Steel Fiber Reinforced Very High Strength Concrete Composites. *Construction and Building Materials*, 25(1), 39-46, 2011.
63. Cunha, V., Barros, J., Sena-Cruz, J.M., Pullout Behavior of Steel Fibers in Self-Compacting Concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 22(1), 1-9, 2010.
64. Beglarigale, A., Yazıcı, H., The Effect of Alkali–Silica Reaction on Steel Fiber–Matrix Bond Characteristics of Cement Based Mortars. *Construction and Building Materials*, 47, 845-860, 2013.

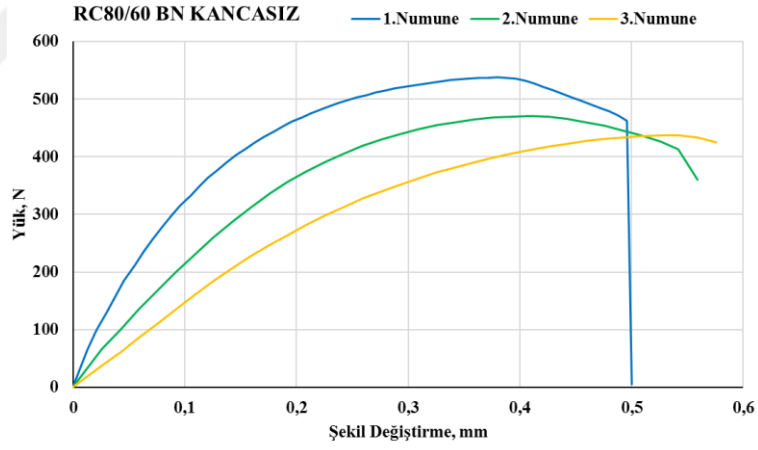
65. Soylev, T.A., Celik-Beton Ara Yüzey Kalitesinin İncelenmesi. *Beton 2004 Kongresi Bildirileri*, İstanbul, 2004.
66. Lee, H., Noguchi, T., Tomosawa, F., Evaluation of the Bond Properties Between Concrete and Reinforcement as a Function of The Degree of Reinforcement Corrosion. *Cement and Concrete Research*, 32(8), 1313-1318, 2002.
67. Ünal, Y., Aderansın Betonun Agrega Tane Çapı ve Dayanımına Bağlı Olarak Değişimi Üzerine Bir Araştırma, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Elâzığ, 1998.
68. Sorzia, A., Lanzoni, L., Radi, E., Pullout Modelling of Viscoelastic Synthetic Fibres for Cementitious Composites, *Composite Structures*, 223, 2019.
69. Pise, M., Brands, D., Gebuhr, G., Schröder, J., Anders, S., Analysis of Pullout Behavior of Single Steel Fibers Embedded in Concrete Using Phase-Field Modeling, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2018.

## EKLER

### Ek A. Liflere Ait Çekme Deney Sonuçları ve Grafikleri

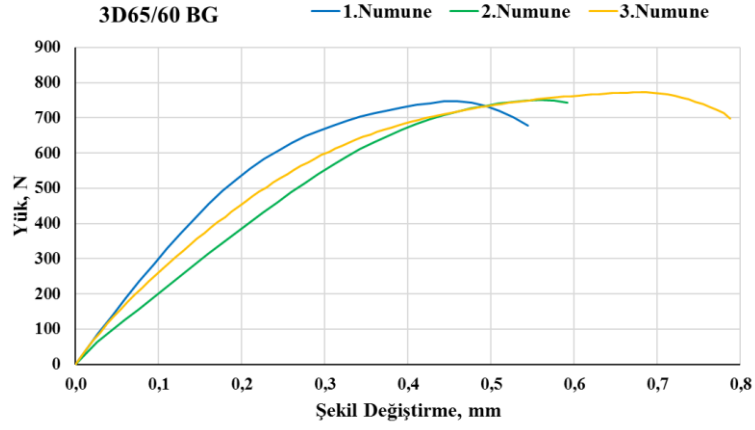


3D65/60 BG-Kancasız Liflere Ait Yük-Şekil Değişirme Grafiği

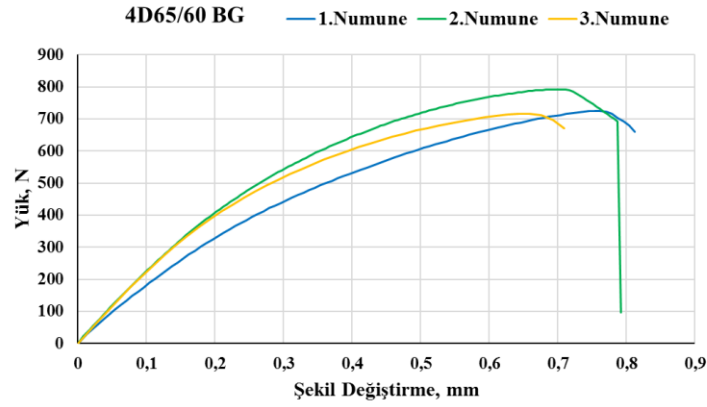


RC80/60 BN-Kancasız Liflere Ait Yük-Şekil Değişirme Grafiği

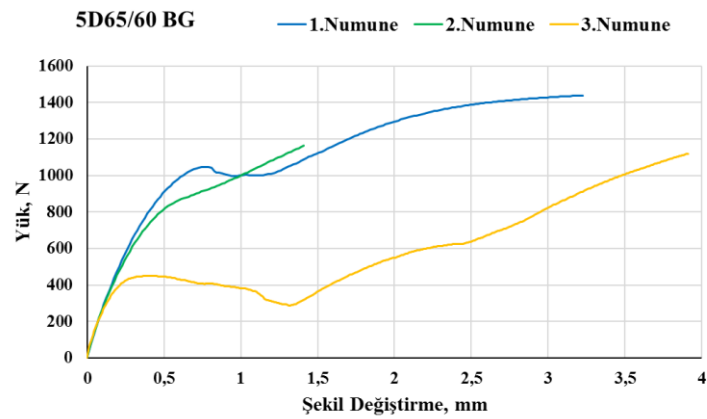
Ek A.1. Liflere Ait Yük-Şekil Değişirme Grafiği



3D65/60 BG Liflere Ait Yük-Şekil Değişirme Grafiği



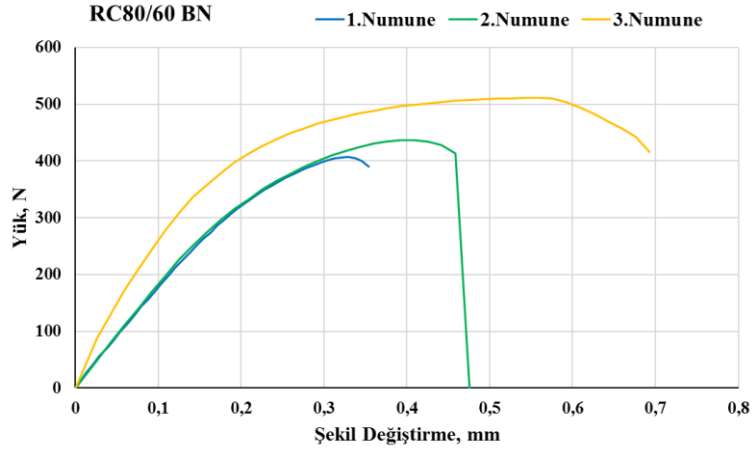
4D65/60 BG Liflere Ait Yük-Şekil Değişirme Grafiği



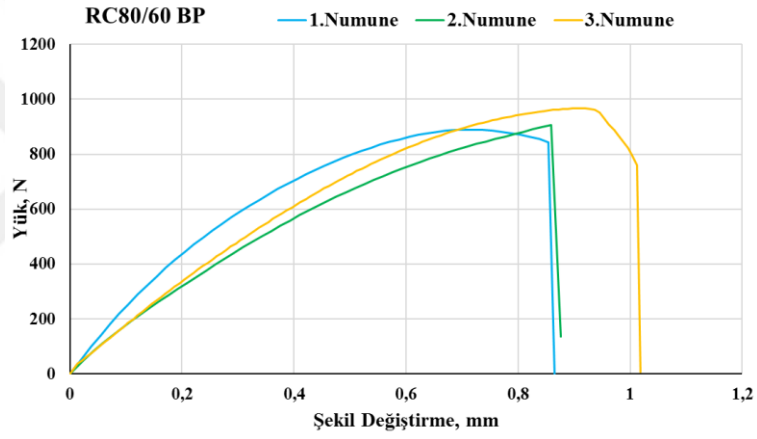
5D65/60 BG Liflere Ait Yük-Şekil Değişirme Grafiği

**Ek A.1.** Liflere Ait Yük-Şekil Değişirme Grafiği (Devamı)



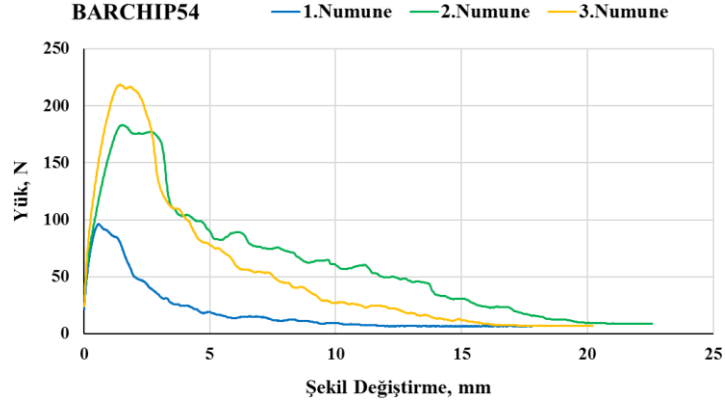


RC80/60 BN Liflere Ait Yük-Şekil Değişirme Grafiği

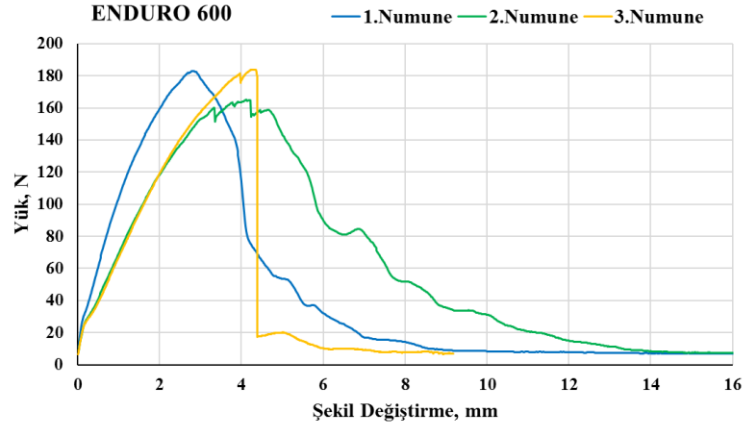


RC80/60 BP Liflere Ait Yük-Şekil Değişirme Grafiği

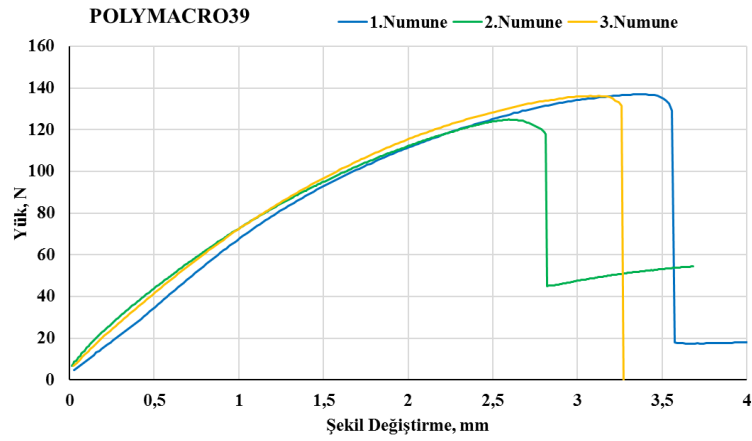
**Ek A.1.** Liflere Ait Yük-Şekil Değişirme Grafiği (Devamı)



BARCHIP54 Liflere Ait Yük-Şekil Değişirme Grafiği



ENDURO600 Liflere Ait Yük-Şekil Değişirme Grafiği



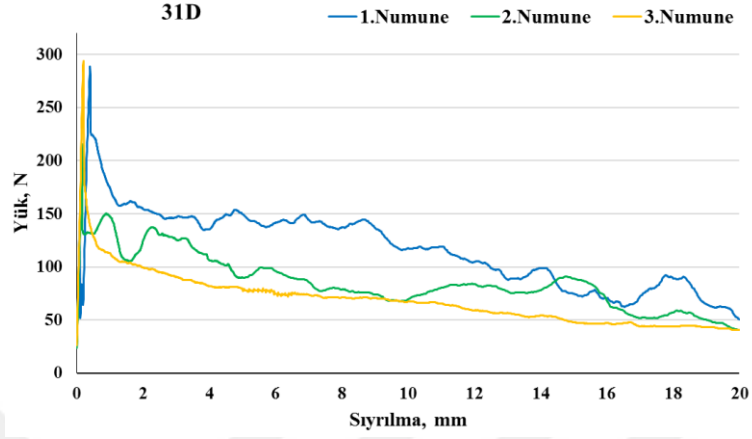
POLYMACRO39 Liflere Ait Yük-Şekil Değişirme Grafiği

**Ek A.1.** Liflere Ait Yük-Şekil Değişirme Grafiği (Devamı)

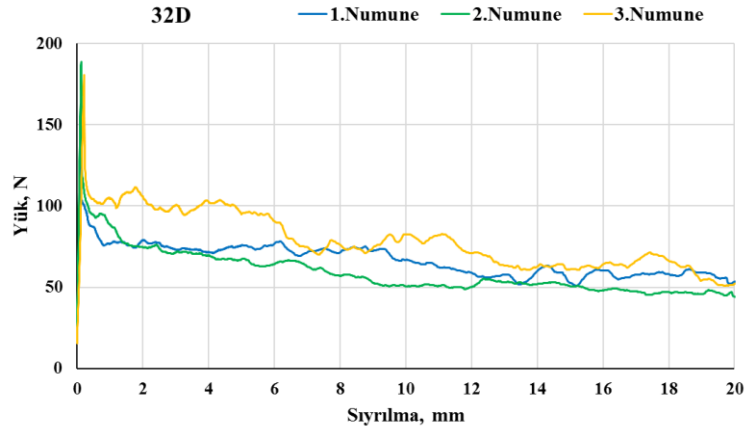
**Ek A.2. Liflere Ait Çekme Deneyi Sonuçları**

No	Lif Tipi	Yük (N)	Lif Kesit Alanı (mm <sup>2</sup> )	Çekme Dayanım, $f_{su}$ (N/mm <sup>2</sup> )
1	3D65/60 (Kancasız)	791,469	0,6362	1244,057
2	RC80/60 BN (Kancasız)	481,838	0,4418	1090,63
3	3D65/60 BG	756,616	0,6362	1189,27
4	4D65/60 BG	792,606	0,6362	1245,84
5	5D65/60 BG	1437,011	0,6362	2258,741
6	RC 80/60 BN	461,767	0,4418	1045,195
7	RC 80/60 BP	907,028	0,3959	2291,053
8	BARÇİP 54	218,405	0,5	436,81
9	ENDURO 600	182,649	0,3849-0,4418	474,54
10	POLYMACRO PM 39	132,652	0,5498	241,27

## Ek B. Sıyırma Deneyi Grafikleri

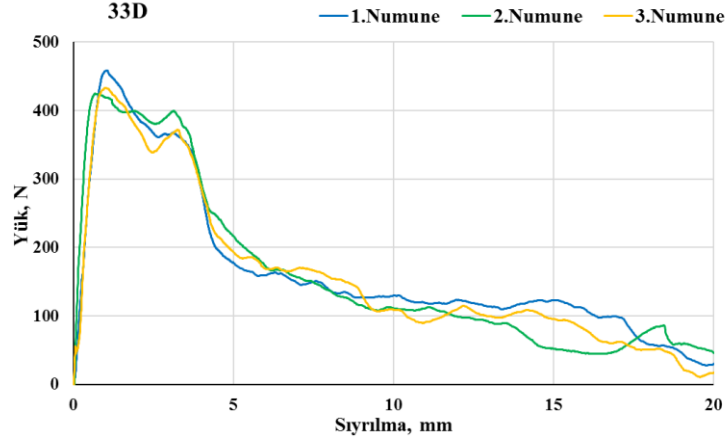


31D Numunelere Ait Yük-Sıyırma Grafiği

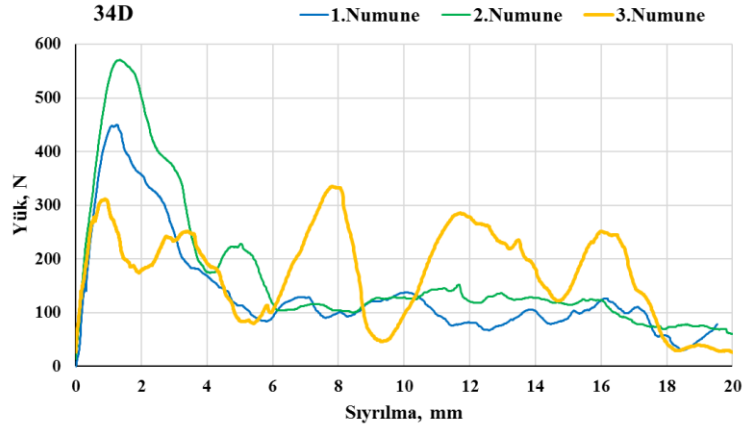


32D Numunelere Ait Yük-Sıyırma Grafiği

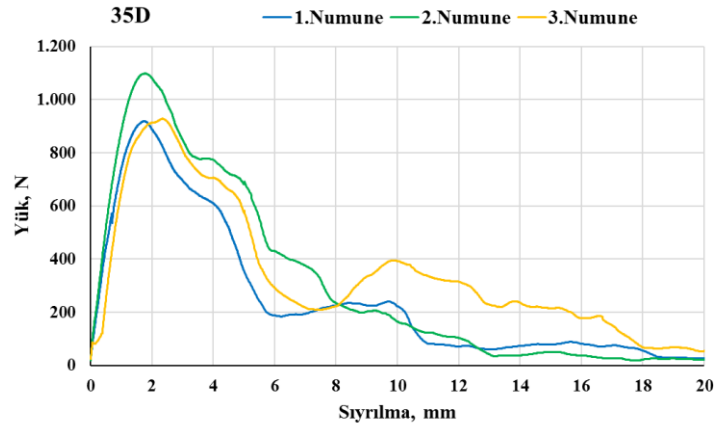
Ek B.1. 0,3 S/Ç Oranına Sahip Numunelere Ait Yük-Sıyırma Grafiği



33D Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği

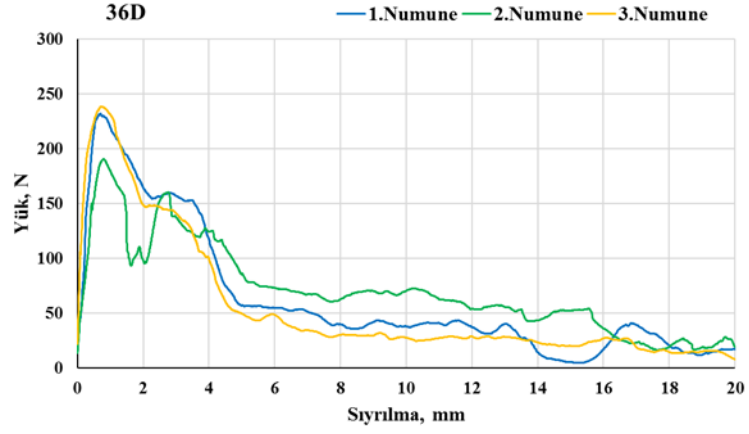


34D Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği

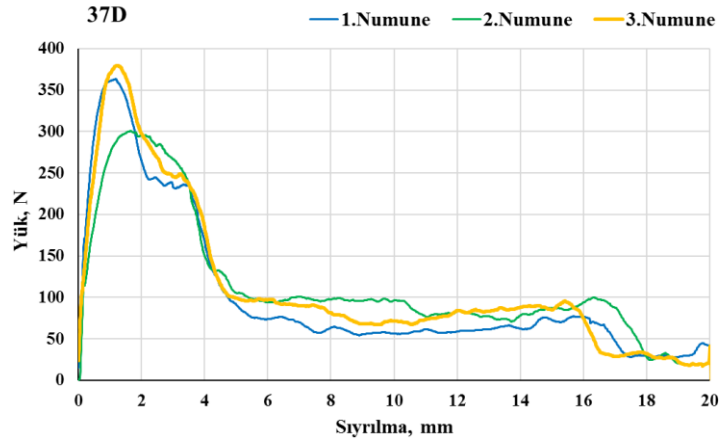


35D Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği

**Ek B.1.** 0,3 S/Ç Oranına Sahip Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği  
(Devamı)

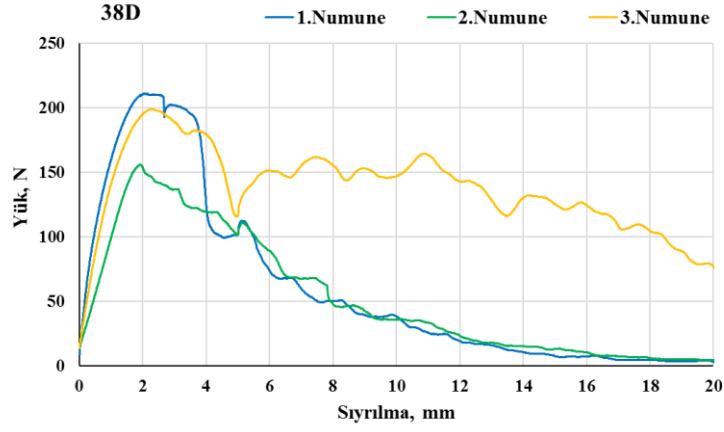


36D Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği

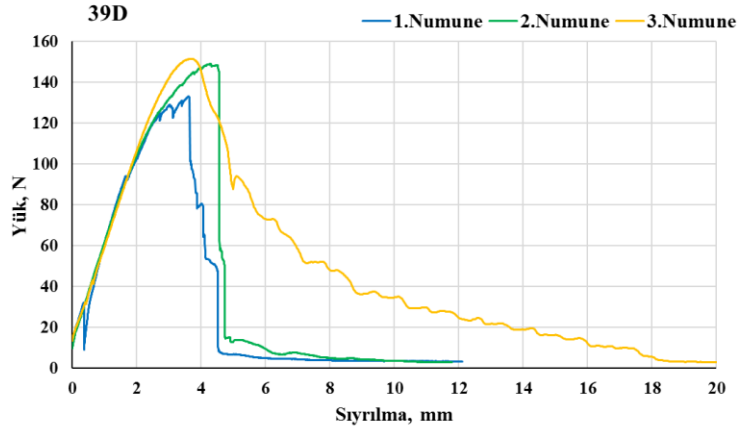


37D Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği

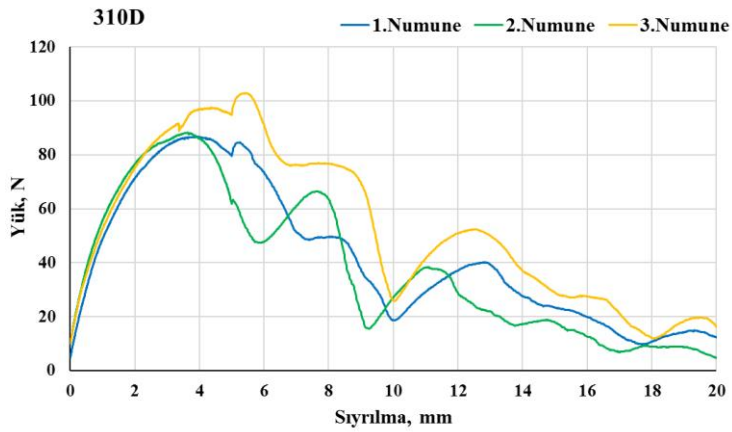
**Ek B.1.** 0,3 S/Ç Oranına Sahip Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği  
(Devamı)



38D Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği

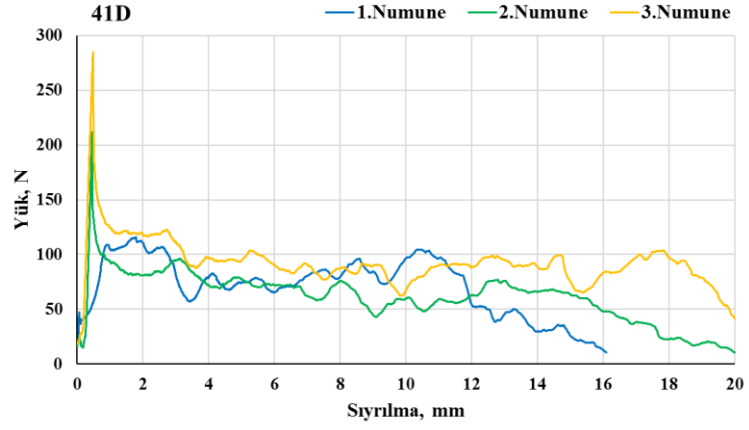


39D Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği

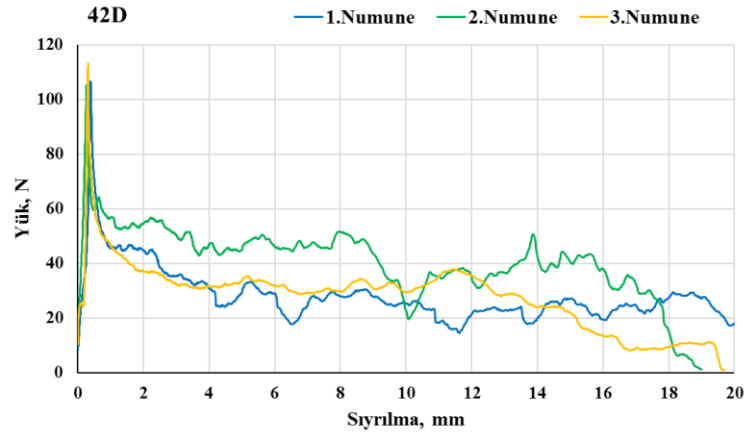


310D Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği

**Ek B.1.** 0,3 S/Ç Oranına Sahip Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği (Devamı)



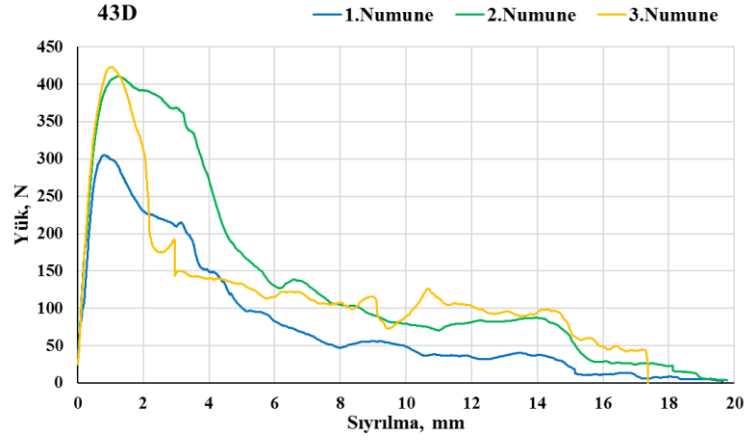
41D Numunelere Ait Yük-Sıyrılma Grafiği



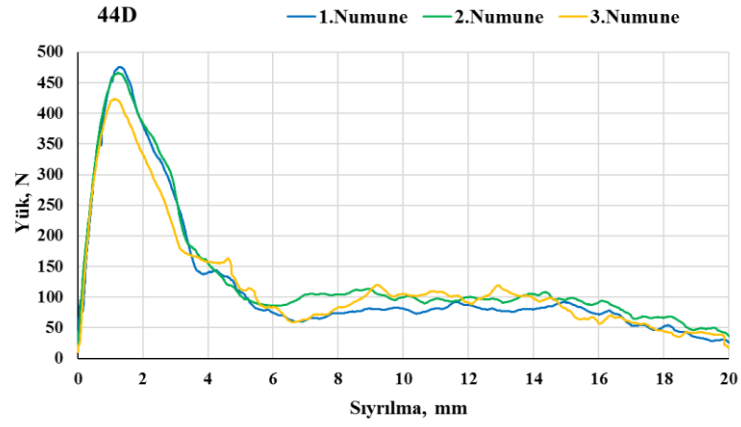
42D Numunelere Ait Yük-Sıyrılma Grafiği

**Ek B.2.** 0,4 S/Ç Oranına Sahip Numunelere Ait Yük-Sıyrılma Grafiği

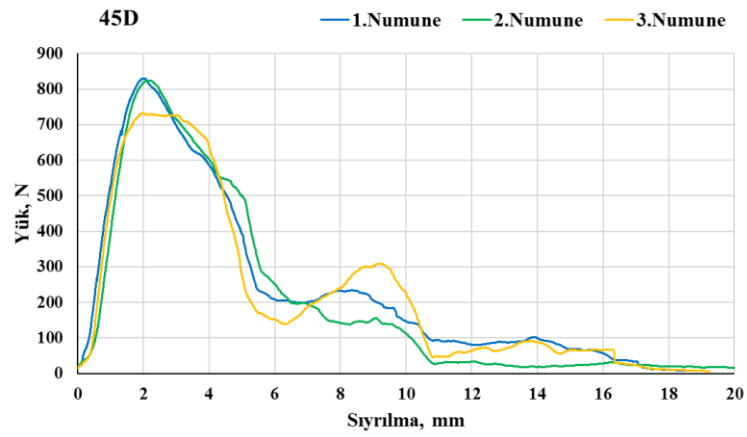




43D Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği

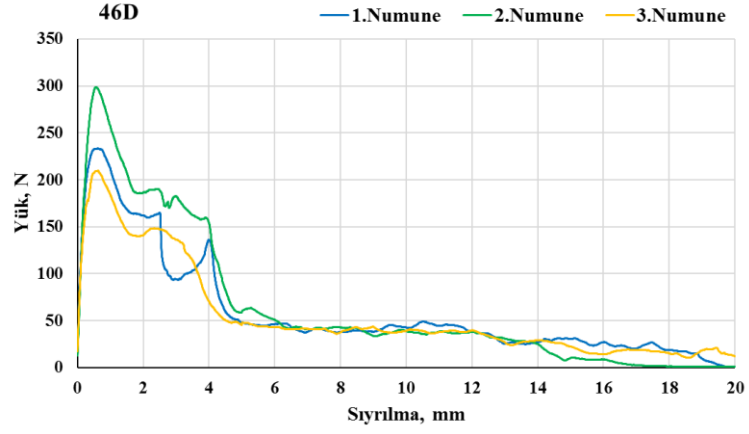


44D Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği

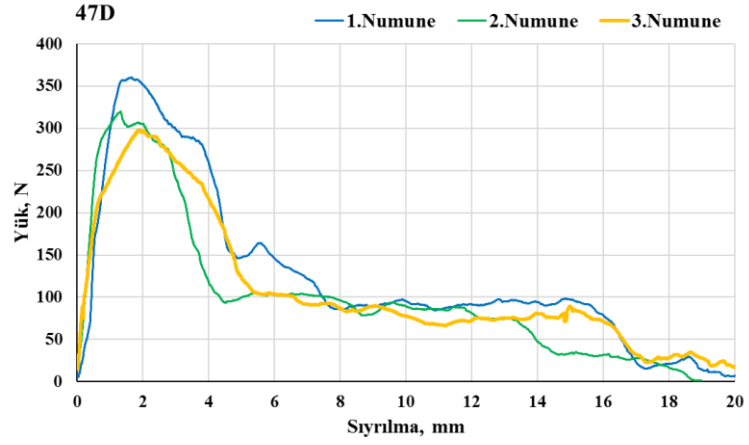


45D Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği

**Ek B.2.** 0,4 S/Ç Oranına Sahip Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği  
(Devamı)

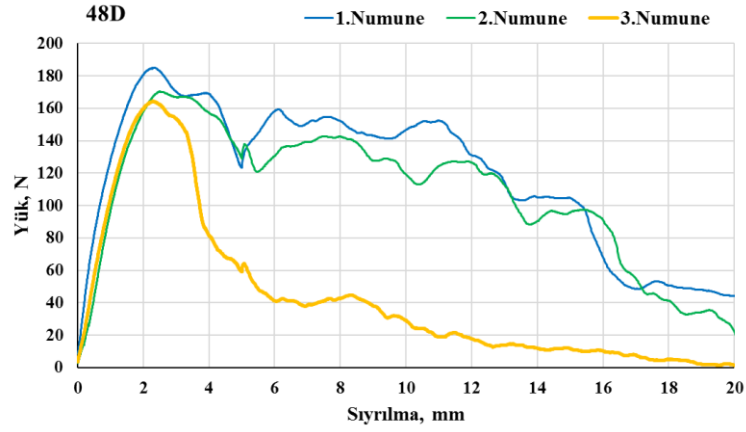


46D Numunelere Ait Yük-Sıyrılma Grafiği

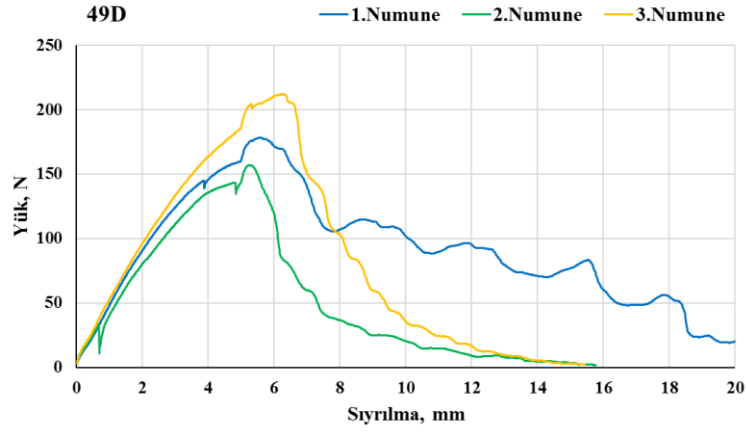


47D Numunelere Ait Yük-Sıyrılma Grafiği

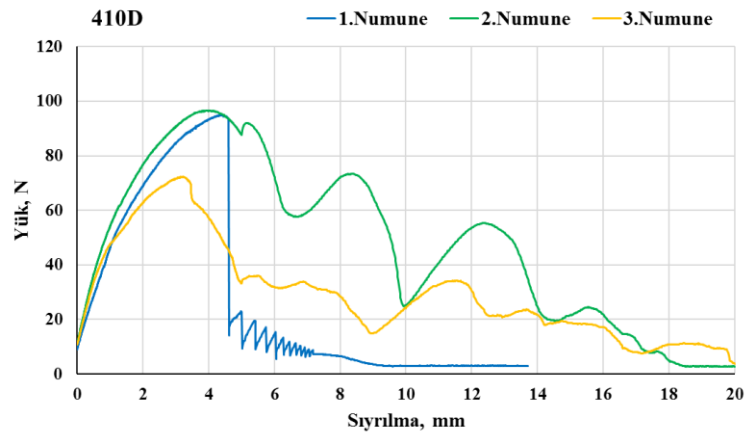
**Ek B.2.** 0,4 S/Ç Oranına Sahip Numunelere Ait Yük-Sıyrılma Grafiği  
(Devamı)



48D Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği

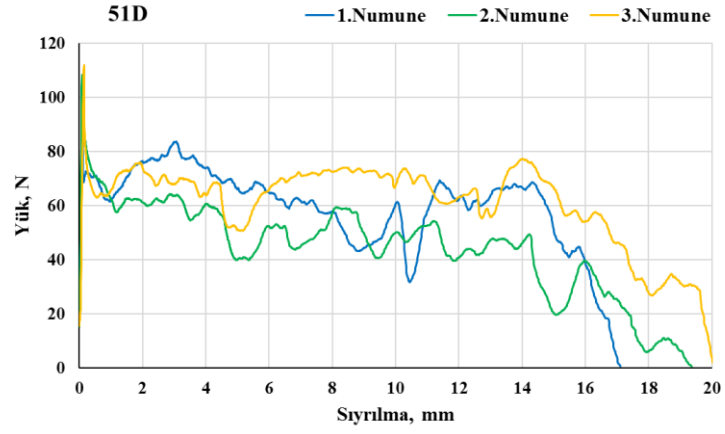


49D Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği

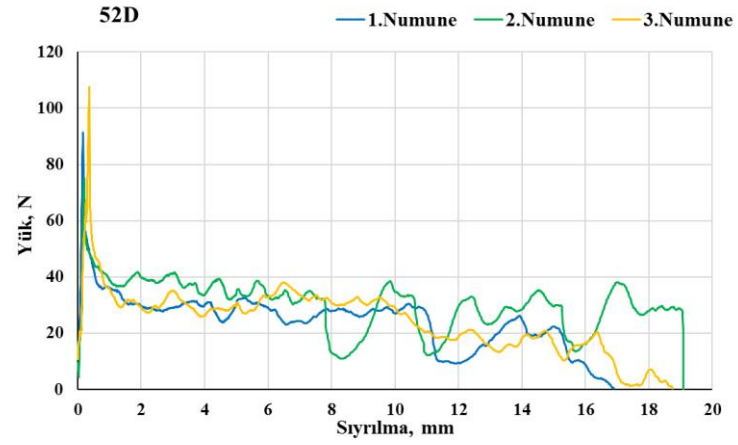


410D Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği

**Ek B.2.** 0,3 S/Ç Oranına Sahip Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği  
(Devamı)

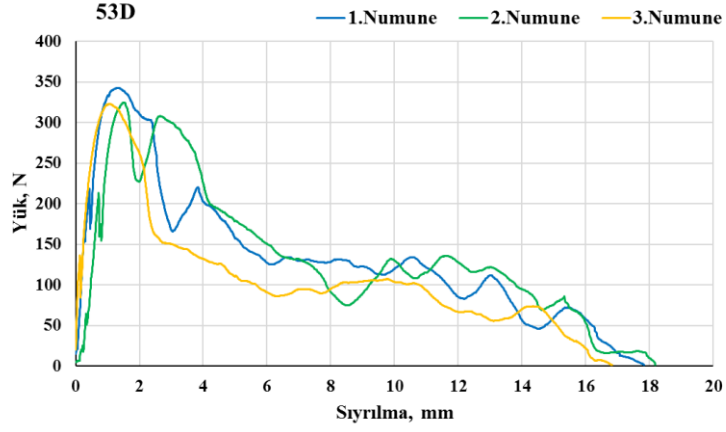


51D Numunelere Ait Yük-Sıyırma Grafiği

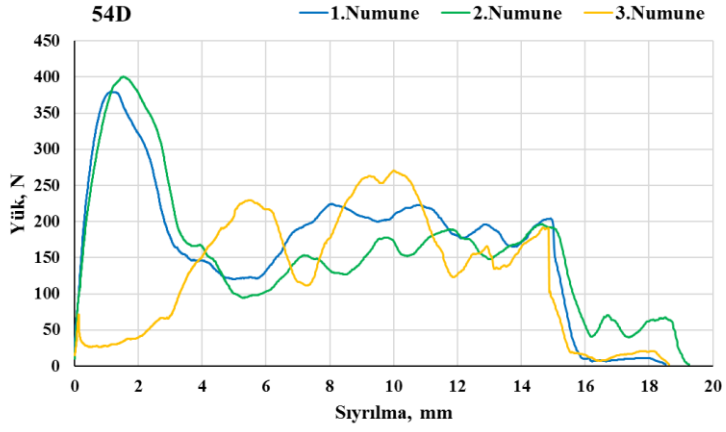


52D Numunelere Ait Yük-Sıyırma Grafiği

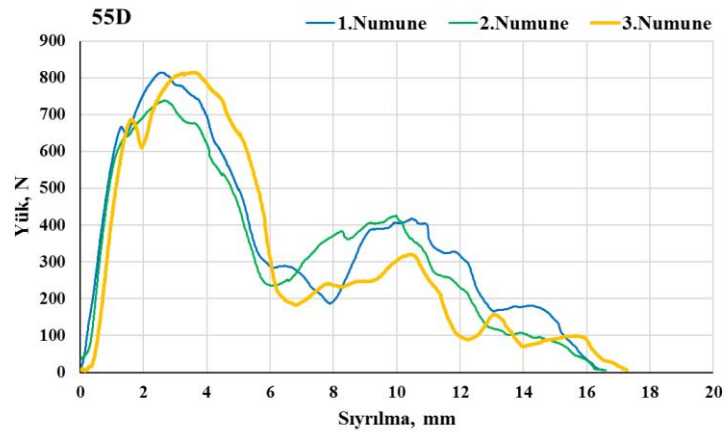
**Ek B.3.** 0,5 S/Ç Oranına Sahip Numunelere Ait Yük-Sıyırma Grafiği



53D Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği

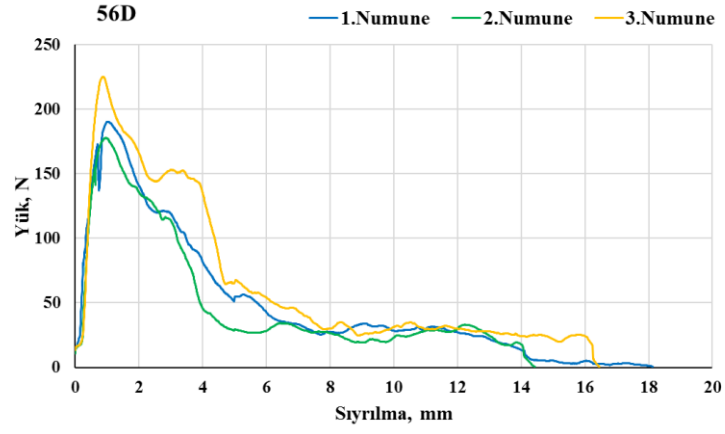


54D Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği

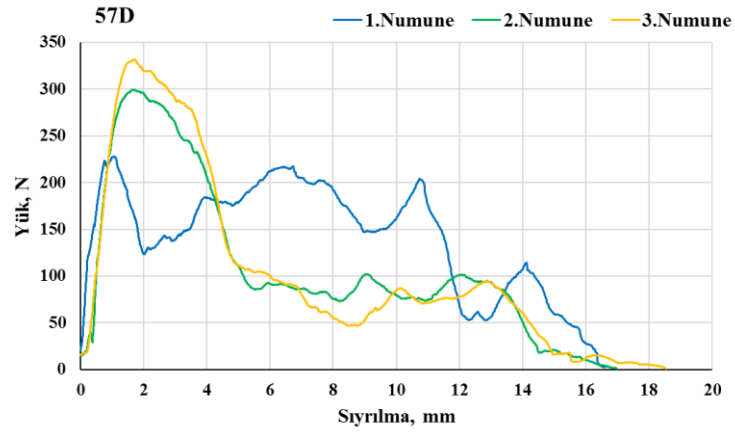


55D Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği

**Ek B.3.** 0,5 S/Ç Oranına Sahip Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği  
(Devamı)

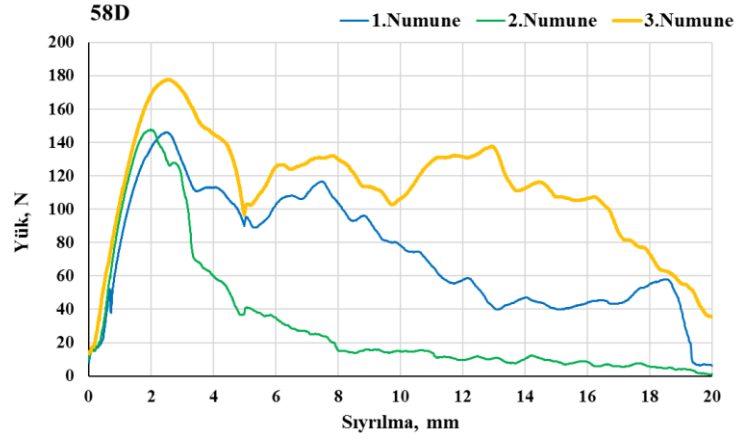


56D Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği

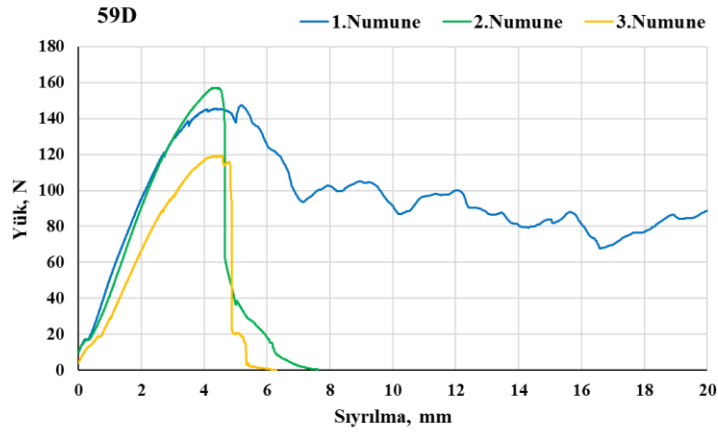


57D Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği

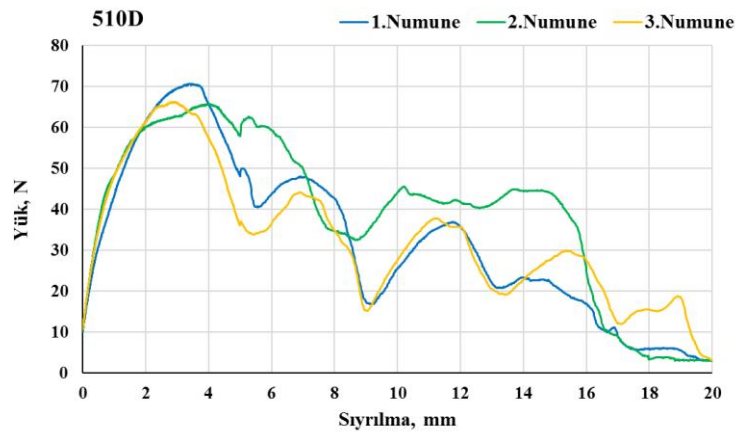
**Ek B.3.** 0,5 S/Ç Oranına Sahip Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği  
(Devamı)



58D Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği

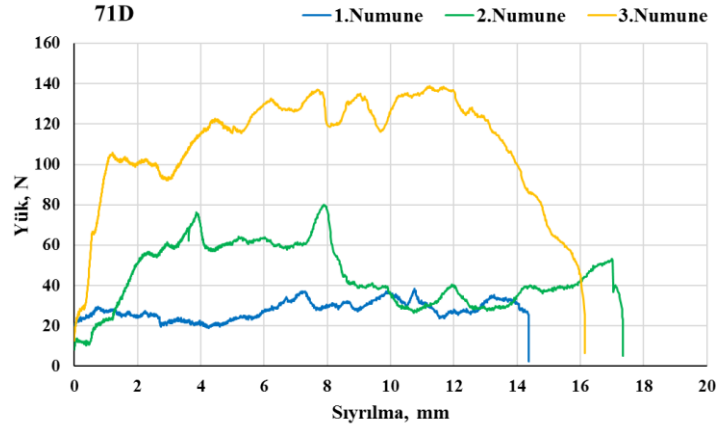


59D Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği

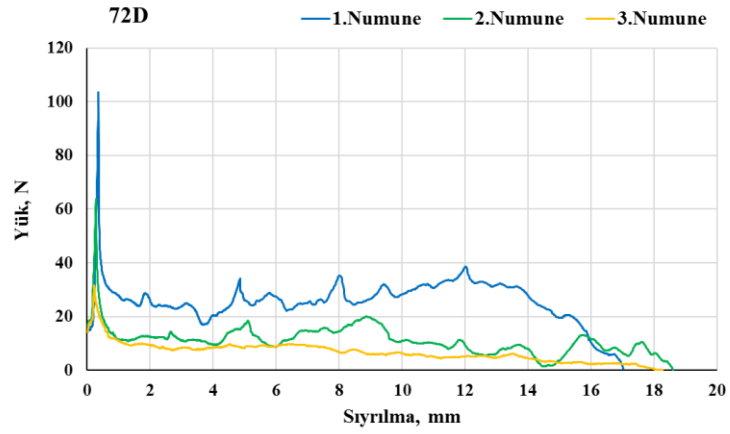


510D Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği

**Ek B.3.** 0,5 S/Ç Oranına Sahip Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği  
(Devamı)



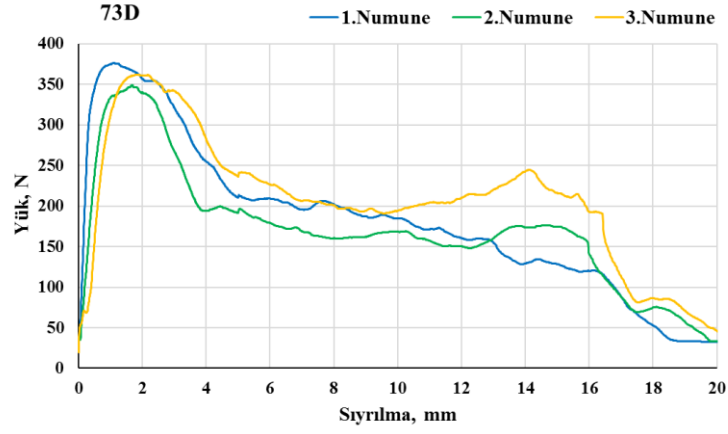
71D Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği



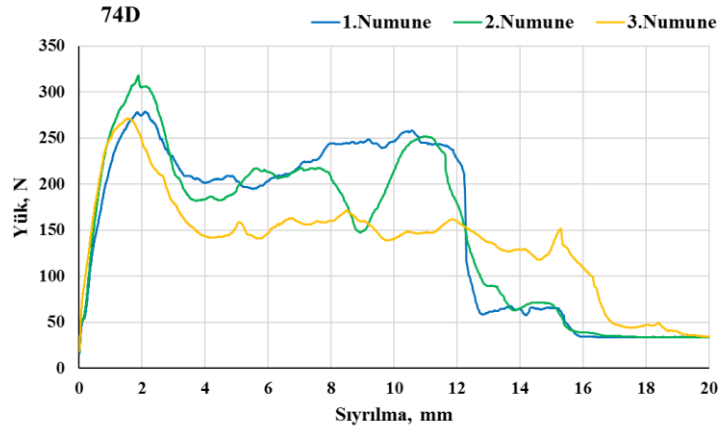
72D Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği

Ek B.4. 0,7 S/Ç Oranına Sahip Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği

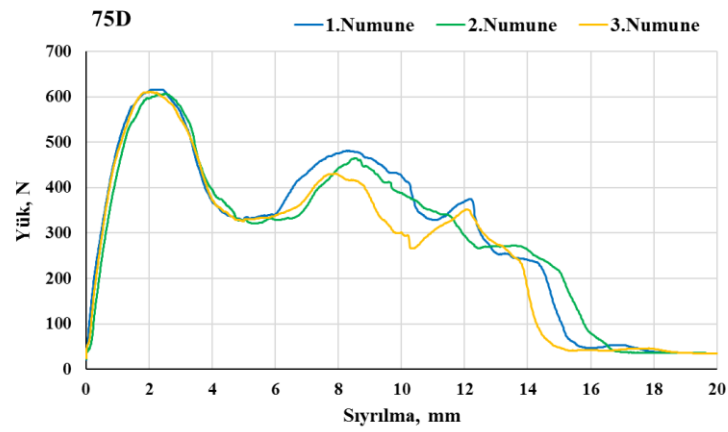




73D Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği

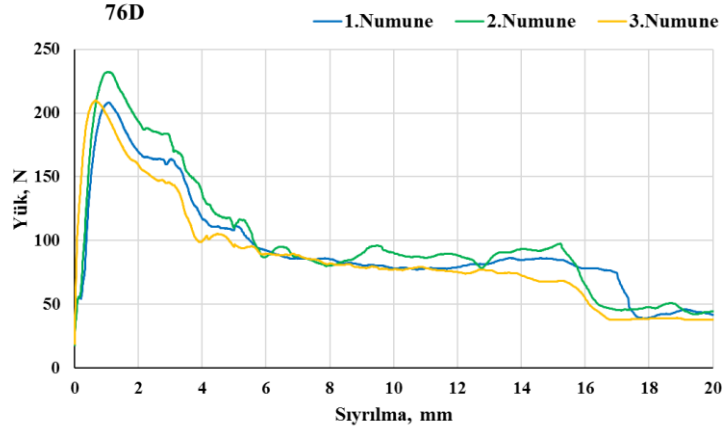


74D Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği

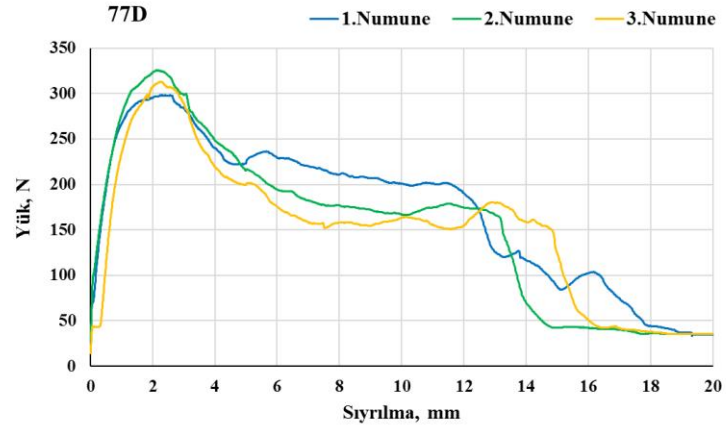


75D Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği

**Ek B.4.** 0,7 S/Ç Oranına Sahip Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği  
(Devamı)

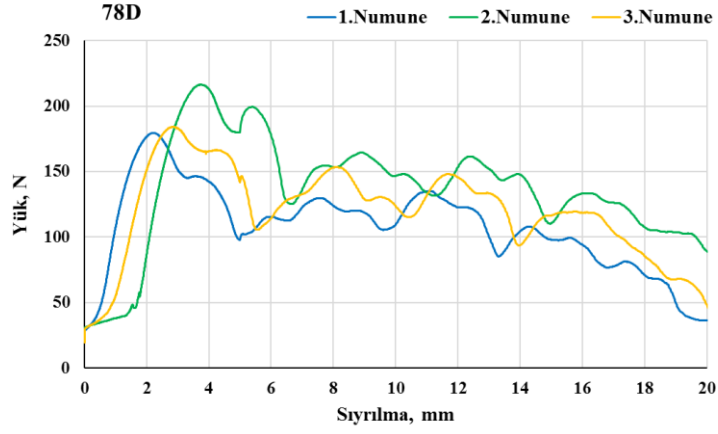


76D Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği

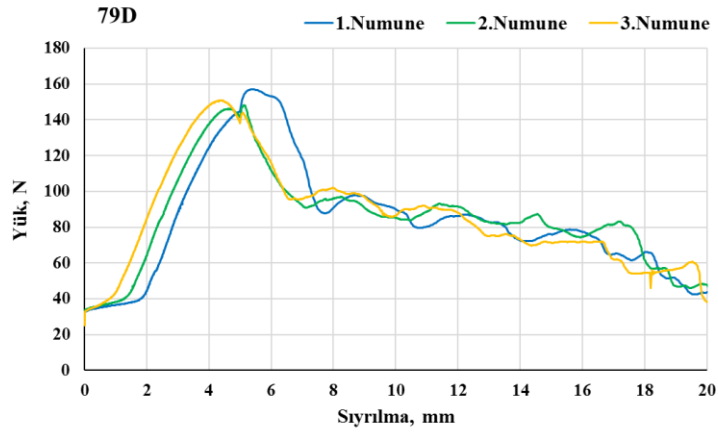


77D Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği

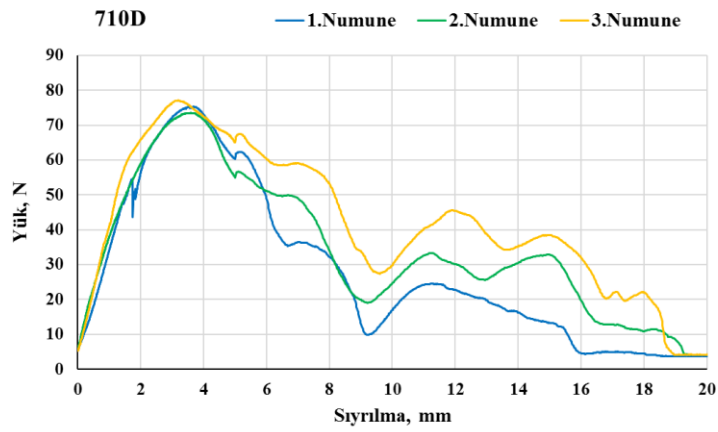
**Ek B.4.** 0,7 S/Ç Oranına Sahip Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği  
(Devamı)



78D Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği

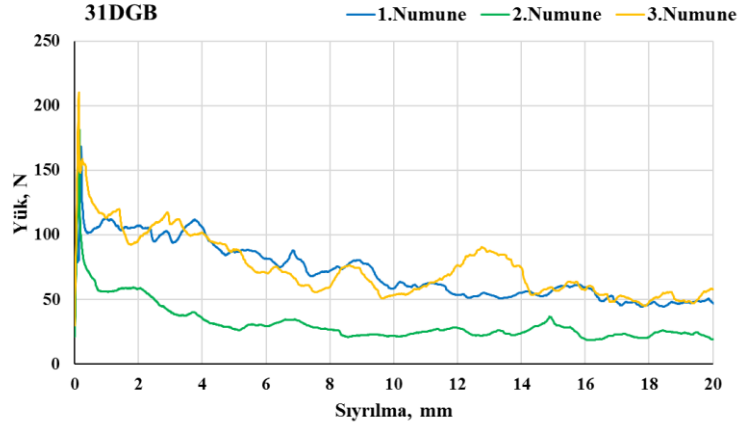


79D Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği

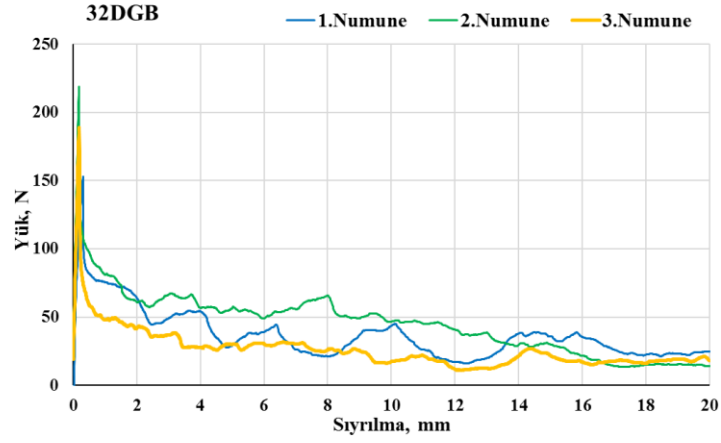


710D Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği

**Ek B.4.** 0,7 S/Ç Oranına Sahip Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği  
(Devamı)

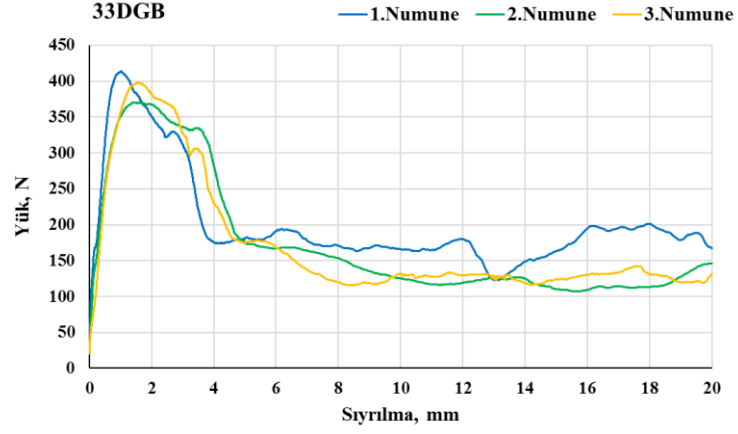


31DGB Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği

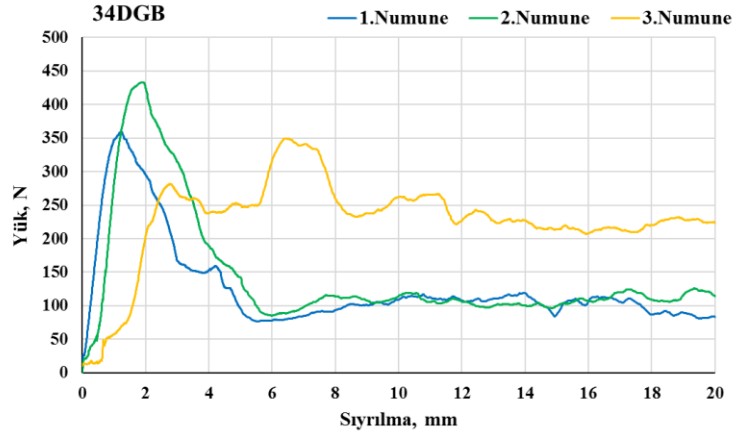


32DGB Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği

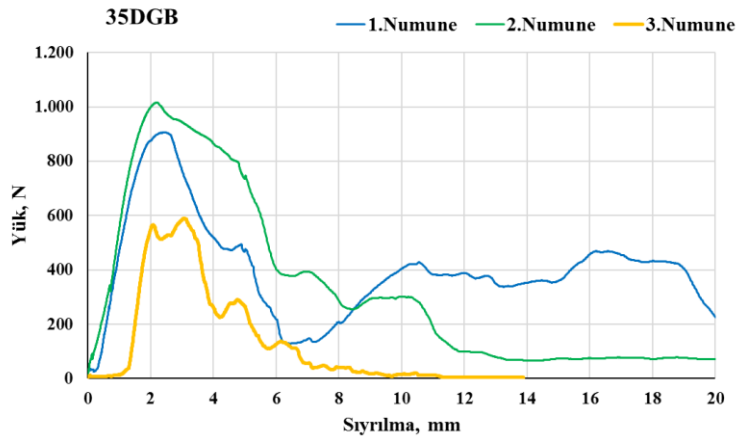
**Ek B.5.** 0,3 S/Ç Oranı ve 30 mm Gömme Boyuna Sahip Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği



33DGB Numunelere Ait Yük-Sıyrılma Grafiği

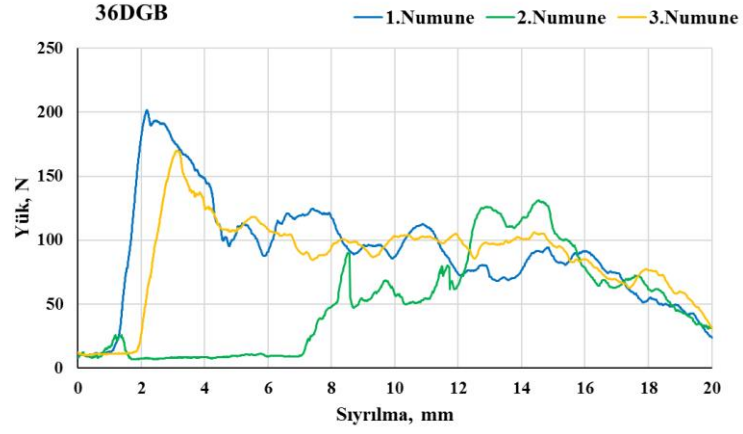


34DGB Numunelere Ait Yük-Sıyrılma Grafiği

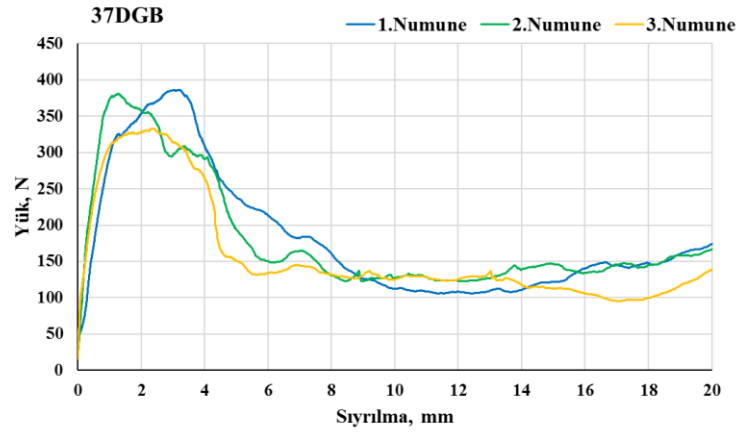


35DGB Numunelere Ait Yük-Sıyrılma Grafiği

**Ek B.5.** 0,3 S/Ç Oranı ve 30 mm Gömme Boyuna Sahip Numunelere Ait Yük-Sıyrılma Grafiği (Devamı)

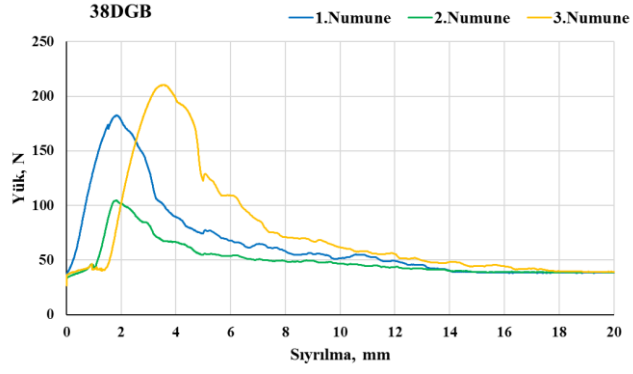


36DGB Numunelere Ait Yük-Sıyrılma Grafiği



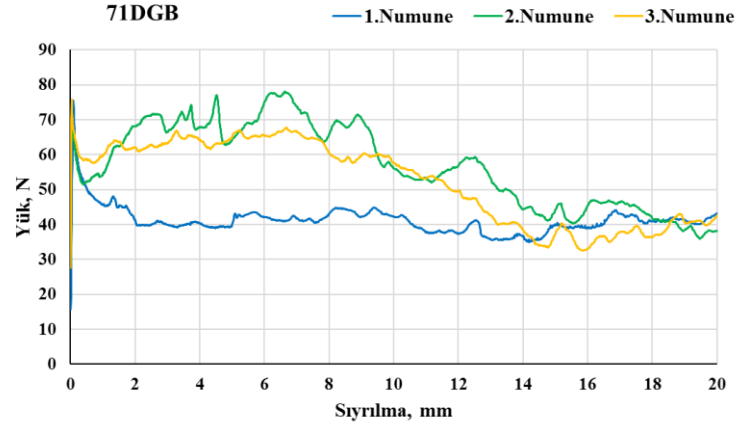
37DGB Numunelere Ait Yük-Sıyrılma Grafiği

**Ek B.5.** 0,3 S/Ç Oranı ve 30 mm Gömme Boyuna Sahip Numunelere Ait Yük-Sıyrılma Grafiği (Devamı)

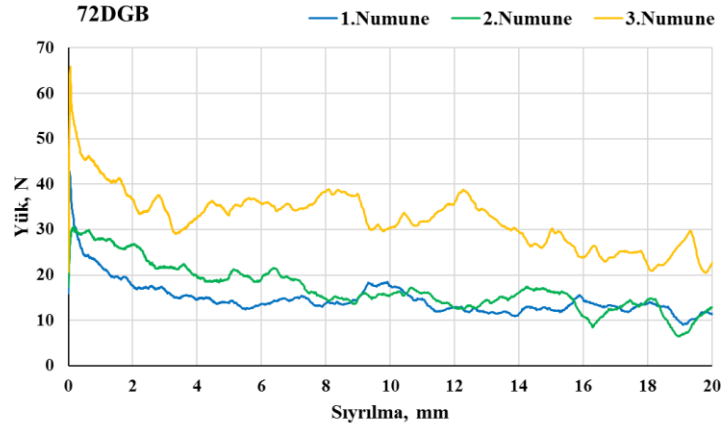


38DGB Numunelere Ait Yük-Sıyırma Grafiği

**Ek B.5.** 0,3 S/Ç Oranı ve 30 mm Gömme Boyuna Sahip Numunelere Ait Yük-Sıyırma Grafiği (Devamı)



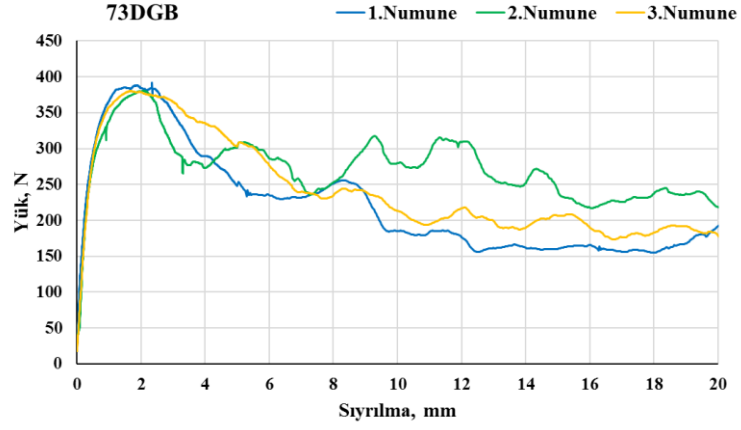
71DGB Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği



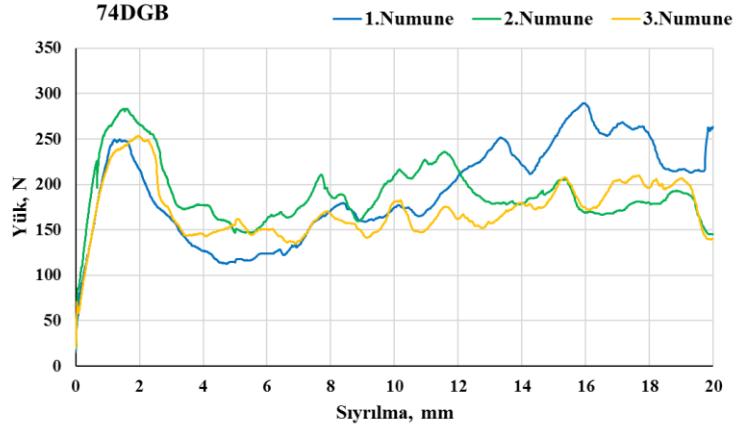
72DGB Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği

**Ek B.6.** 0,7 S/Ç Oranı ve 30 mm Gömme Boyuna Sahip Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği

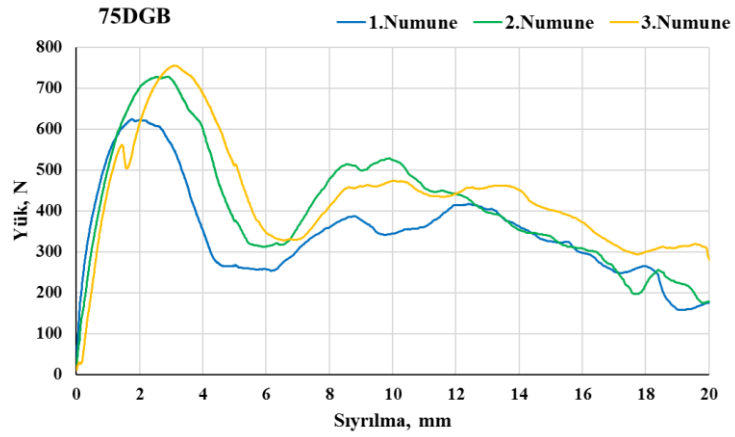




73DGB Numunelere Ait Yük-Sıyrılma Grafiği

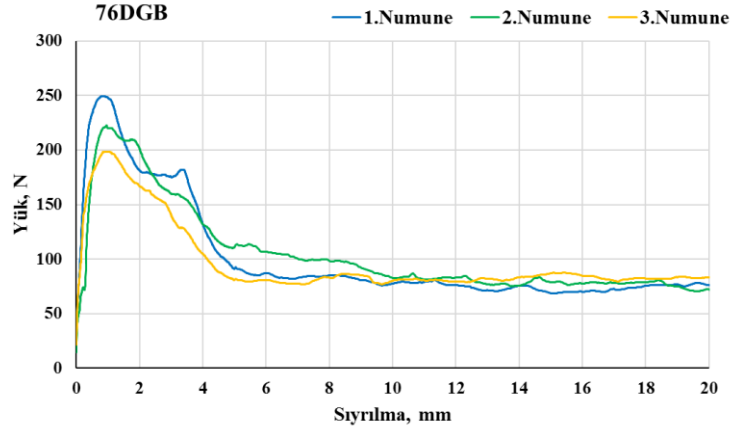


74DGB Numunelere Ait Yük-Sıyrılma Grafiği

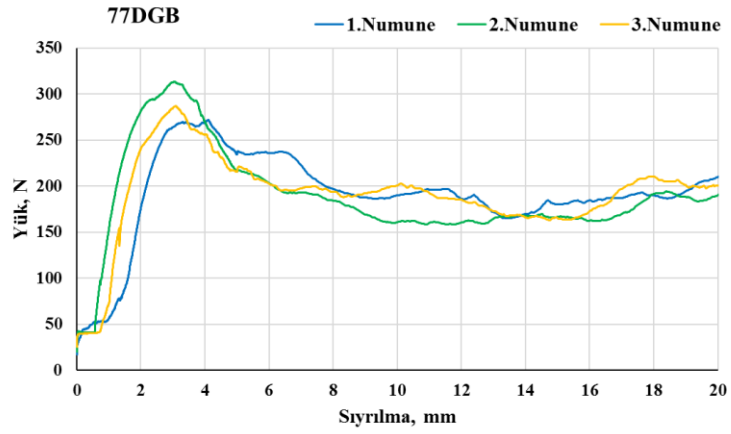


75DGB Numunelere Ait Yük-Sıyrılma Grafiği

**Ek B.6.** 0,7 S/Ç Oranı ve 30 mm Gömme Boyuna Sahip Numunelere Ait Yük-Sıyrılma Grafiği (Devamı)

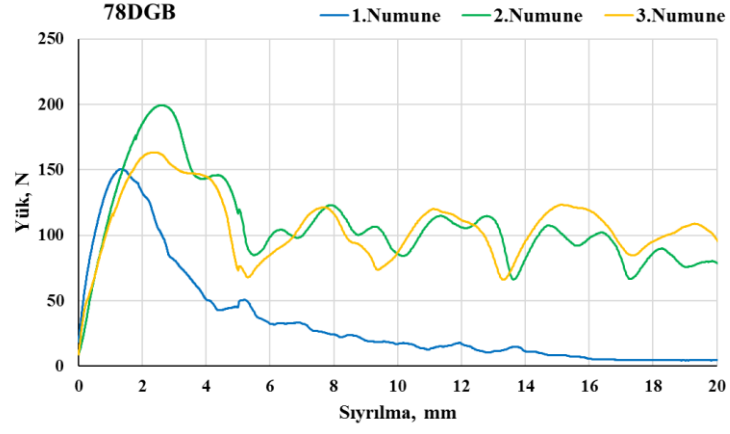


76DGB Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği



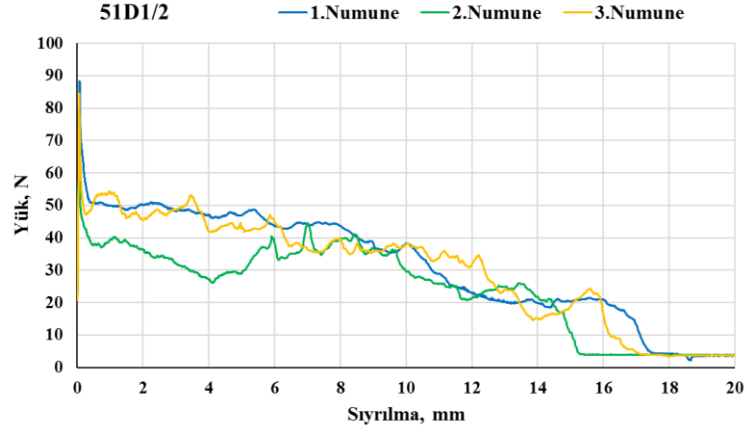
77DGB Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği

**Ek B.6.** 0,7 S/Ç Oranı ve 30 mm Gömme Boyuna Sahip Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği (Devamı)

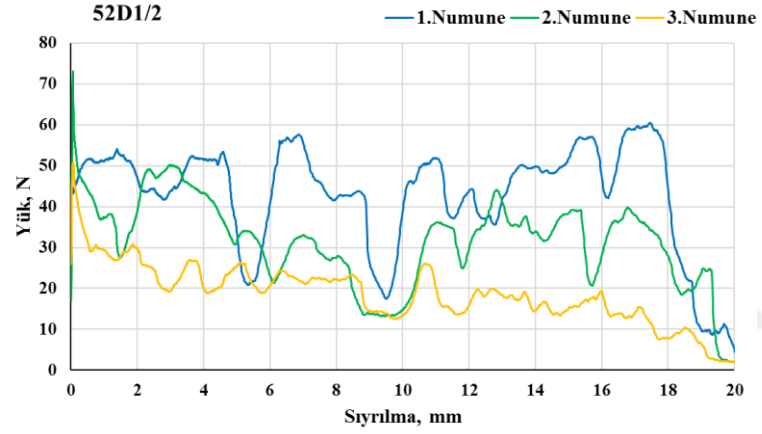


78DGB Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği

**Ek B.6.** 0,7 S/Ç Oranı ve 30 mm Gömme Boyuna Sahip Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği (Devamı)

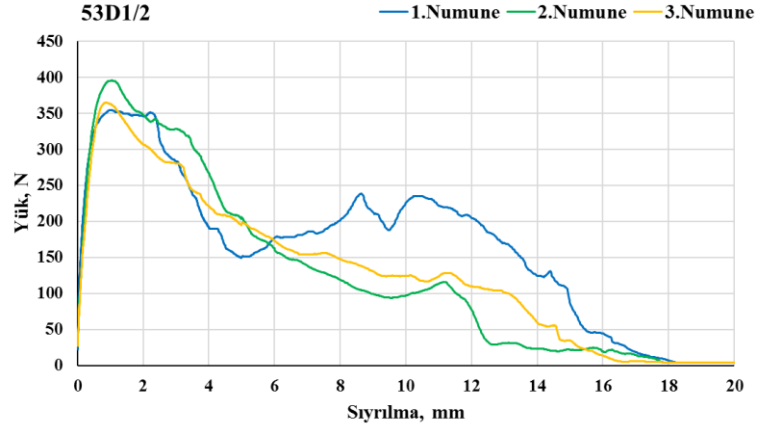


51D1/2 Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği

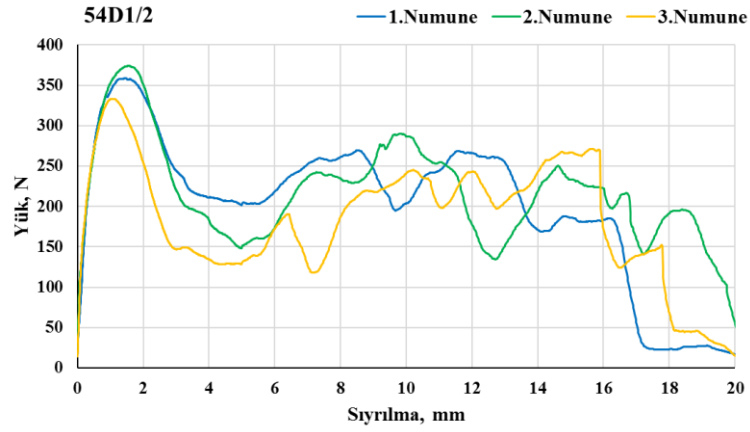


52D1/2 Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği

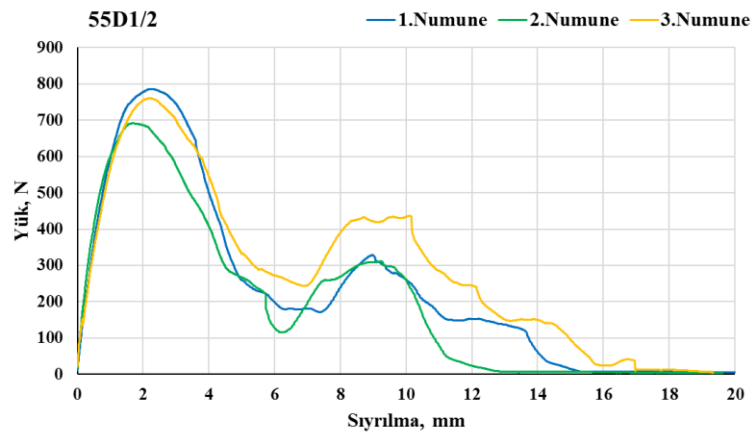
**Ek B.7.** 0,5 S/Ç ve 1/2 Ç/K Oranına Sahip Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği



53D1/2 Numunelere Ait Yük-Sıyrılma Grafiği

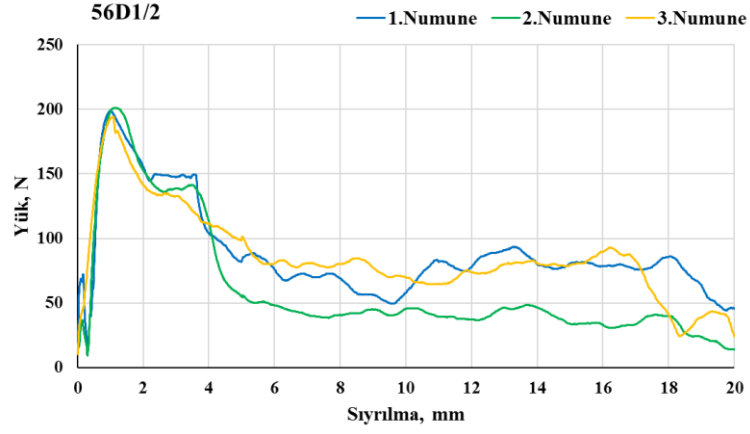


54D1/2 Numunelere Ait Yük-Sıyrılma Grafiği



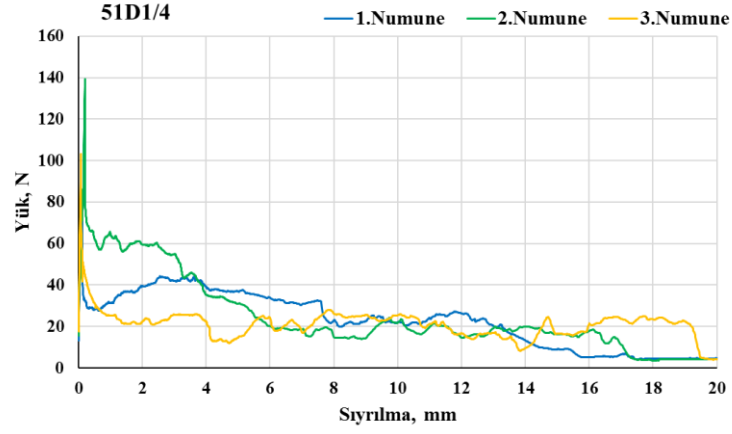
55D1/2 Numunelere Ait Yük-Sıyrılma Grafiği

**Ek B.7.** 0,5 S/Ç ve 1/2 Ç/K Oranına Sahip Numunelere Ait Yük-Sıyrılma Grafiği (Devamı)

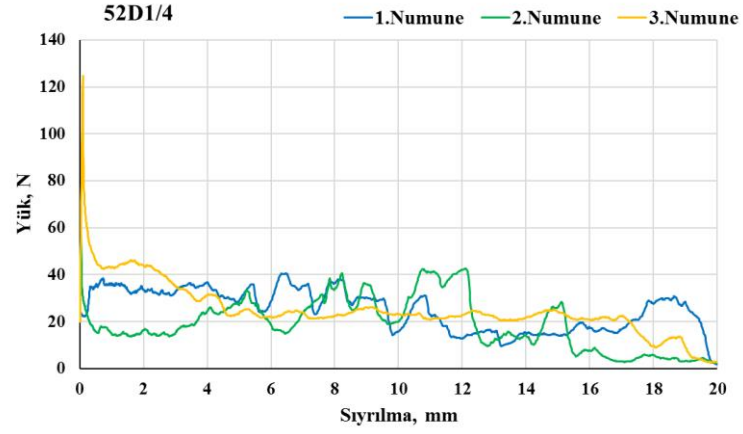


56D1/2 Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği

**Ek B.7.** 0,5 S/Ç ve 1/2 Ç/K Oranına Sahip Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği (Devamı)

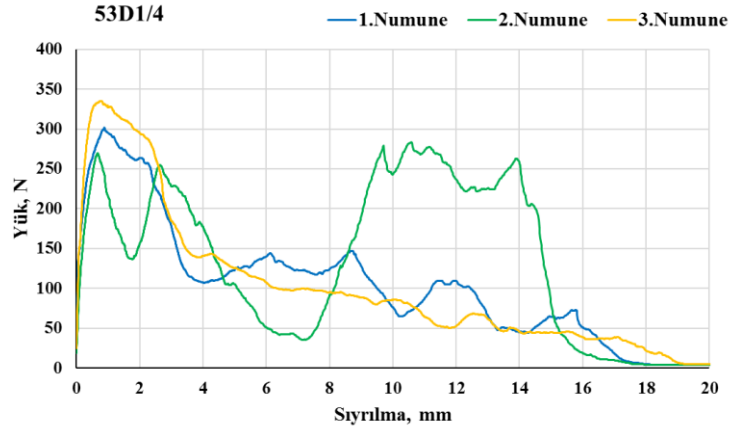


51D1/4 Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği

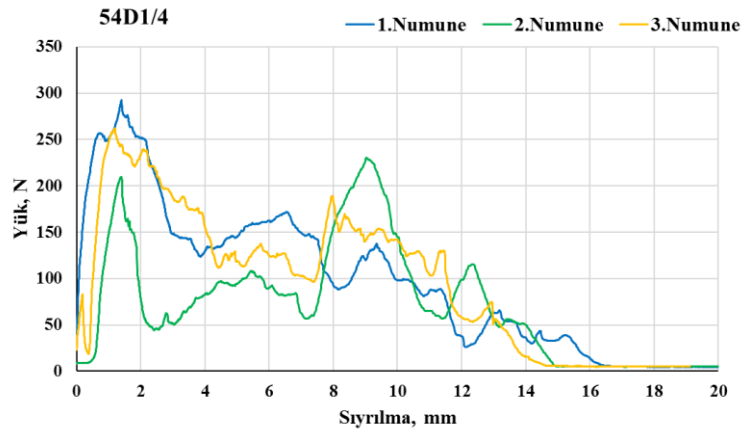


52D1/4 Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği

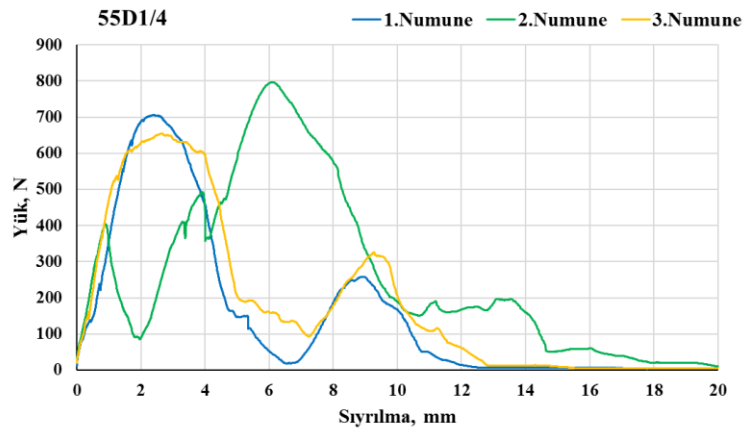
**Ek B.8.** 0,5 S/Ç ve 1/4 Ç/K Oranına Sahip Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği



53D1/4 Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği



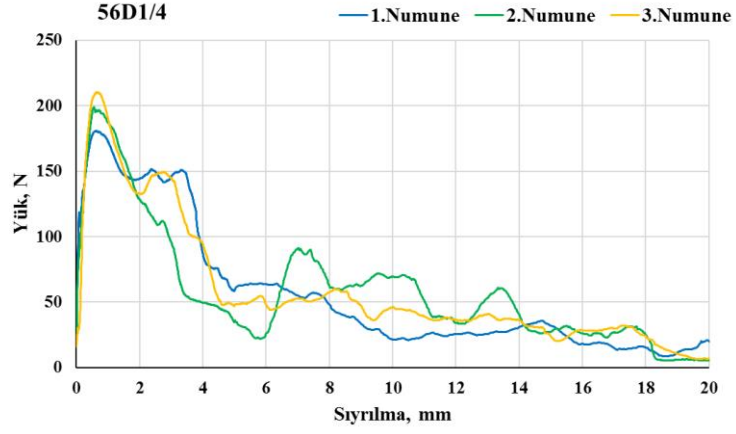
54D1/4 Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği



55D1/4 Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği

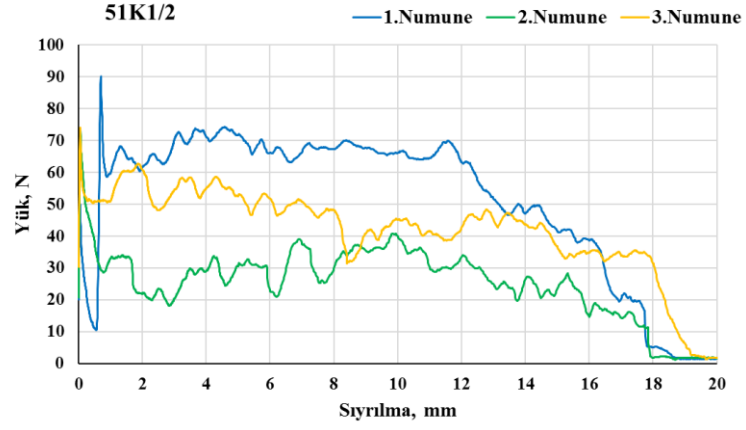
**Ek B.8.** 0,5 S/Ç ve 1/4 Ç/K Oranına Sahip Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği (Devamı)



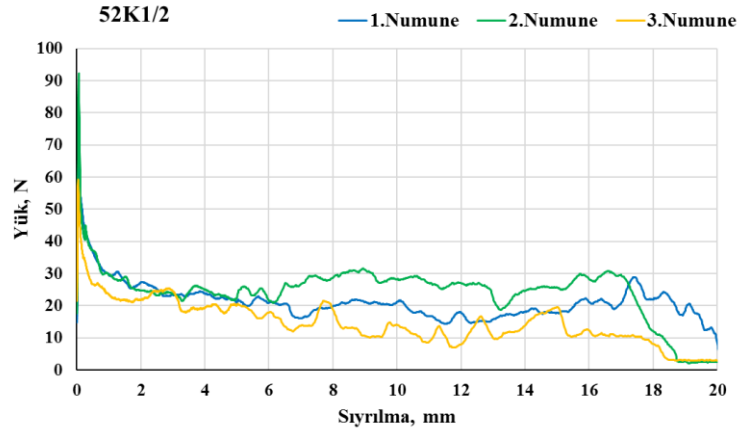


56D1/4 Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği

**Ek B.8.** 0,5 S/Ç ve 1/4 Ç/K Oranına Sahip Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği (Devamı)

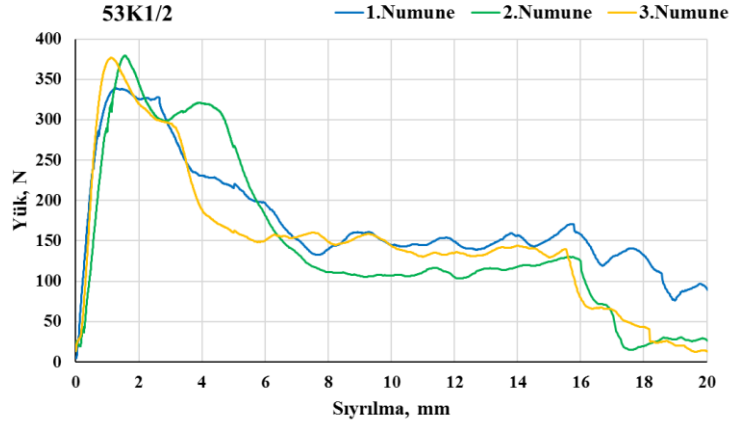


51K1/2 Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği

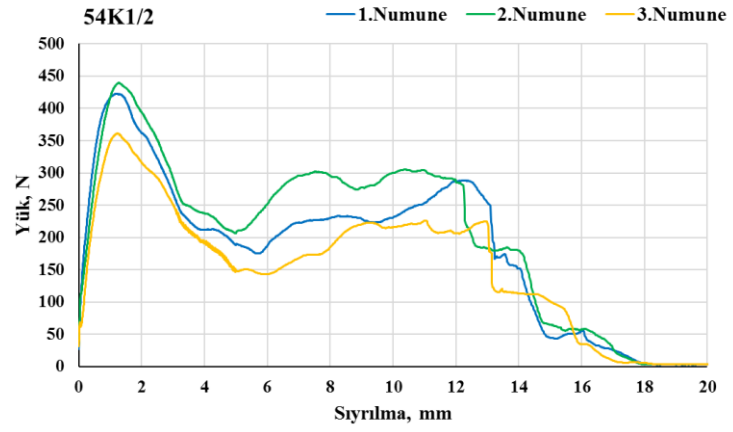


52K1/2 Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği

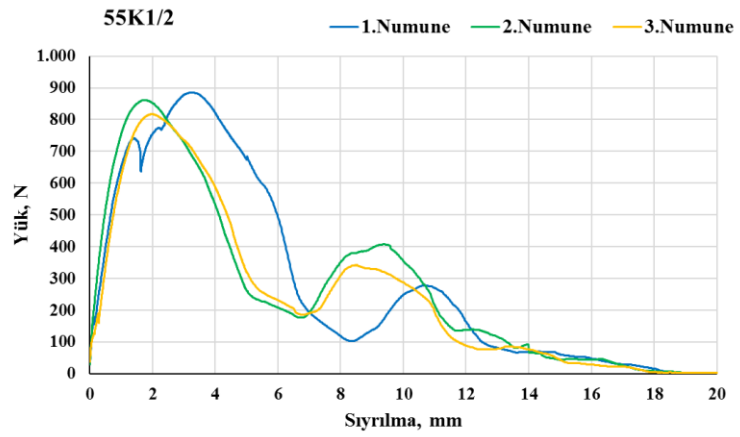
**Ek B.9.** 0,5 S/Ç ve 1/2 Ç/K Oranına Sahip Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği



53K1/2 Numunelere Ait Yük-Sıyrılma Grafiği

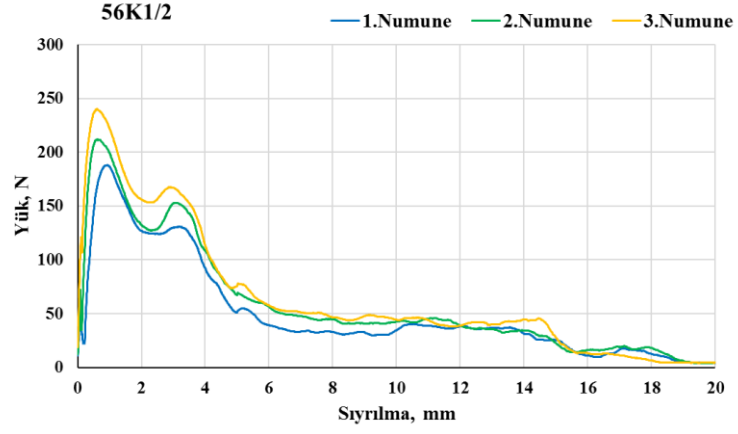


54K1/2 Numunelere Ait Yük-Sıyrılma Grafiği



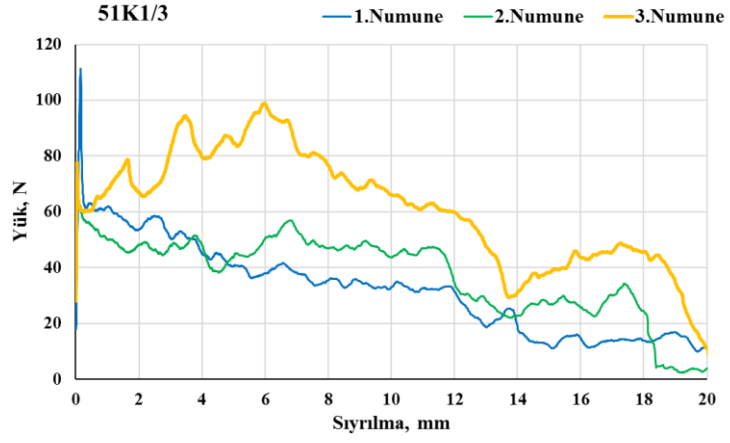
55K1/2 Numunelere Ait Yük-Sıyrılma Grafiği

**Ek B.9.** 0,5 S/Ç ve 1/2 Ç/K Oranına Sahip Numunelere Ait Yük-Sıyrılma Grafiği (Devamı)

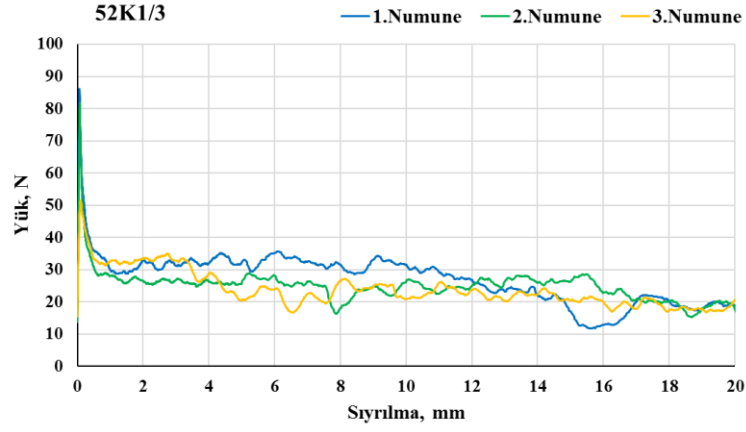


56K1/2 Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği

**Ek B.9.** 0,5 S/Ç ve 1/2 Ç/K Oranına Sahip Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği (Devamı)

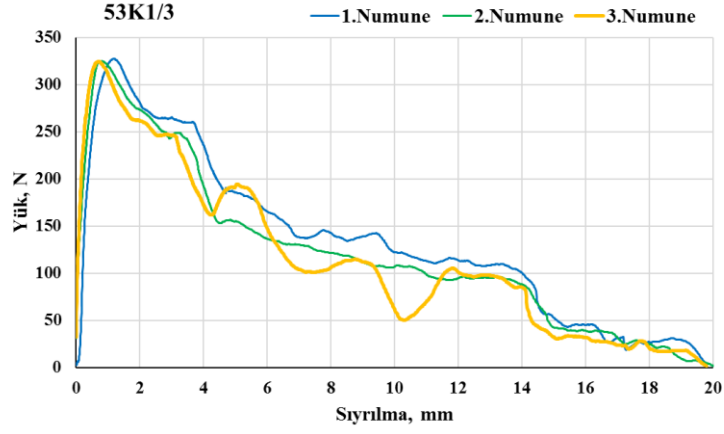


51K1/3 Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği

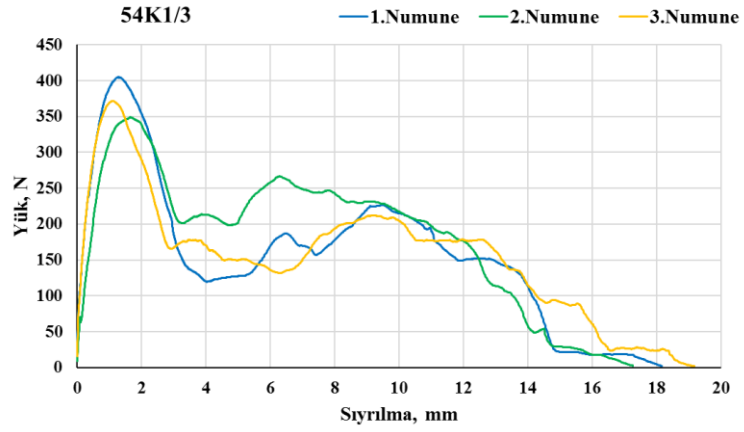


52K1/3 Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği

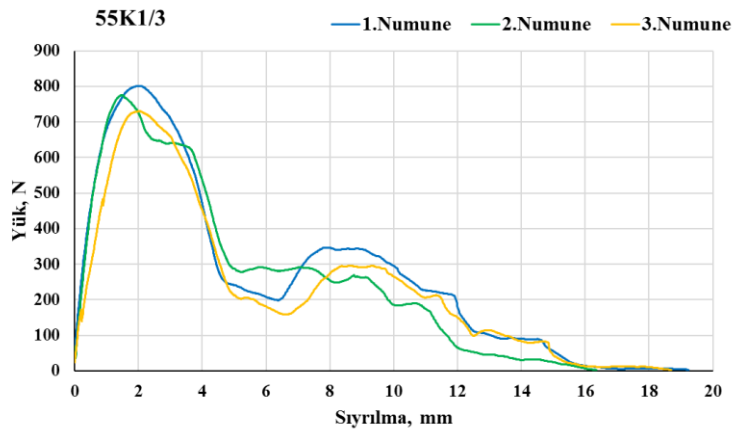
**Ek B.10.** 0,5 S/Ç ve 1/3 Ç/K Oranına Sahip Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği



53K1/3 Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği

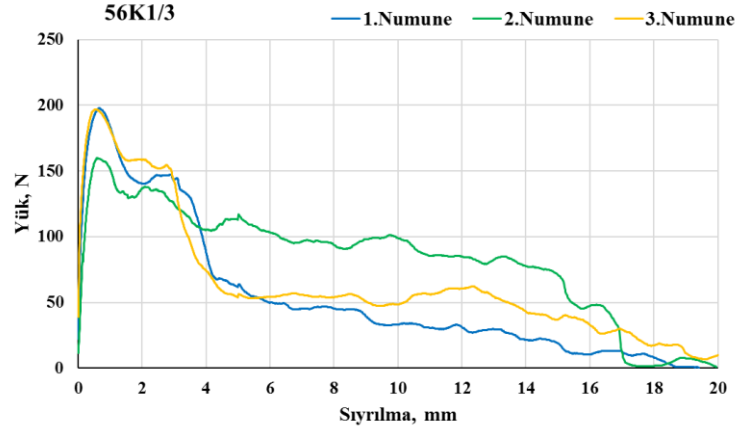


54K1/3 Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği



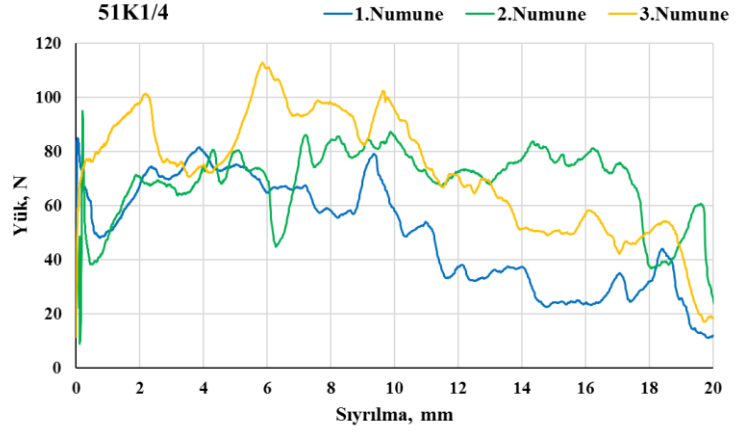
55K1/3 Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği

**Ek B.10.** 0,5 S/Ç ve 1/3 Ç/K Oranına Sahip Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği (Devamı)

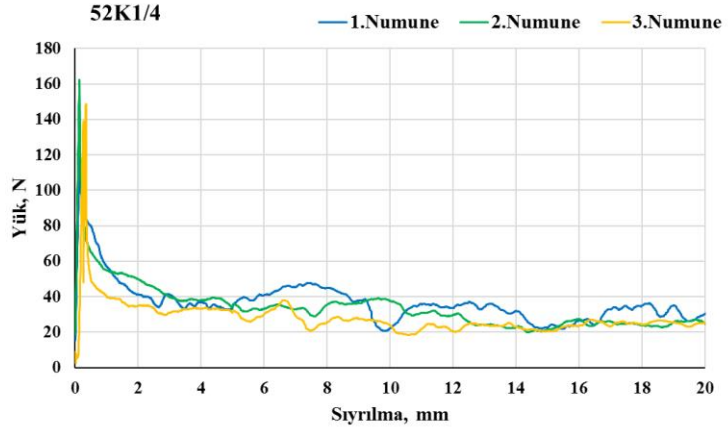


56K1/3 Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği

**Ek B.10.** 0,5 S/Ç ve 1/3 Ç/K Oranına Sahip Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği (Devamı)



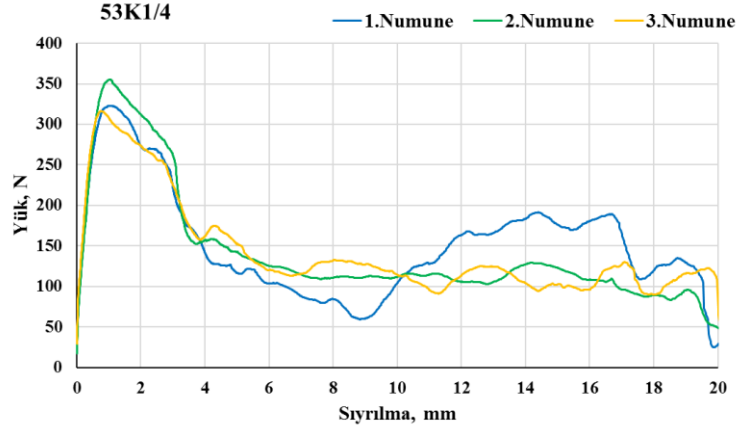
51K1/4 Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği



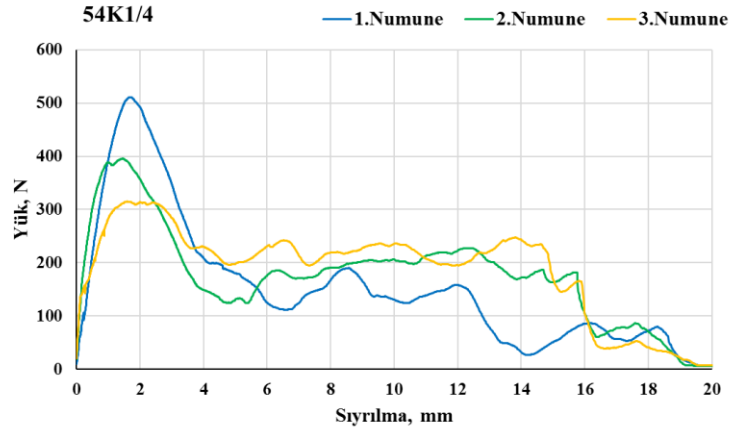
52K1/4 Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği

**Ek B.11.** 0,5 S/Ç ve 1/4 Ç/K Oranına Sahip Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği

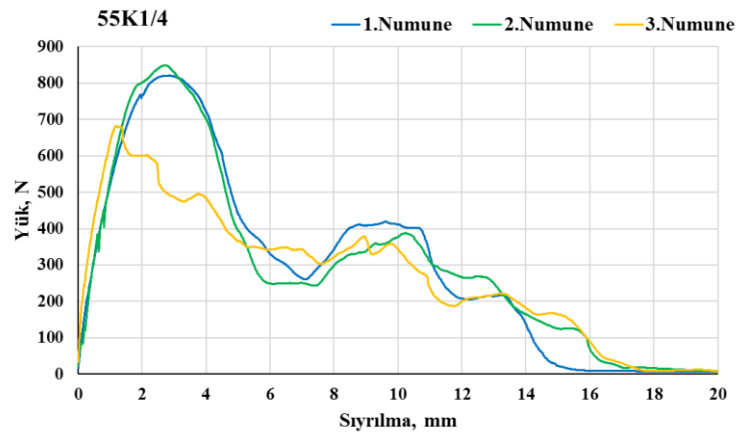




53K1/4 Numunelere Ait Yük-Sıyrılma Grafiği

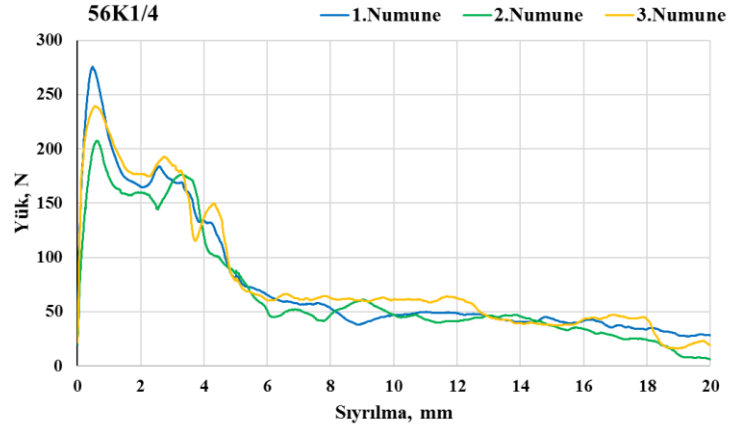


54K1/4 Numunelere Ait Yük-Sıyrılma Grafiği



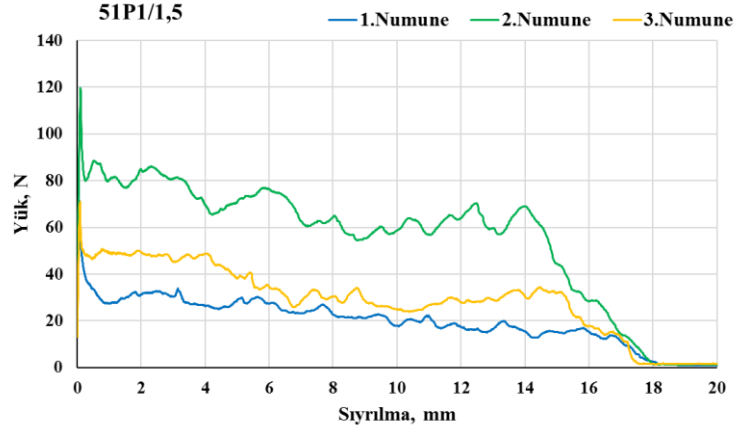
55K1/4 Numunelere Ait Yük-Sıyrılma Grafiği

**Ek B.11.** 0,5 S/Ç ve 1/4 Ç/K Oranına Sahip Numunelere Ait Yük-Sıyrılma Grafiği (Devamı)

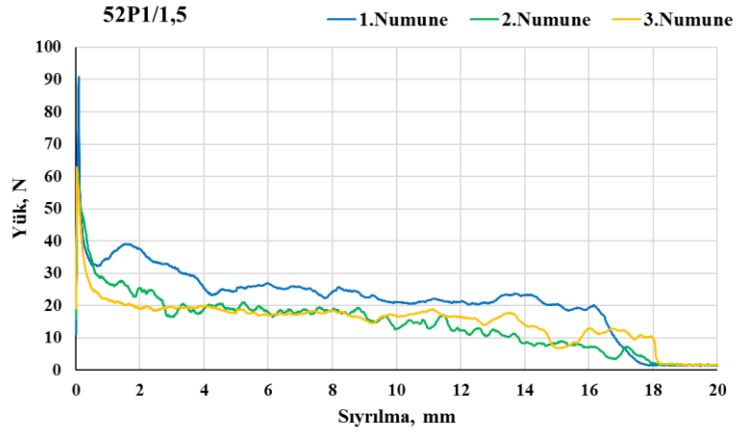


56K1/4 Numunelere Ait Yük-Sıyırma Grafiği

**Ek B.11.** 0,5 S/Ç ve 1/4 Ç/K Oranına Sahip Numunelere Ait Yük-Sıyırma Grafiği (Devamı)

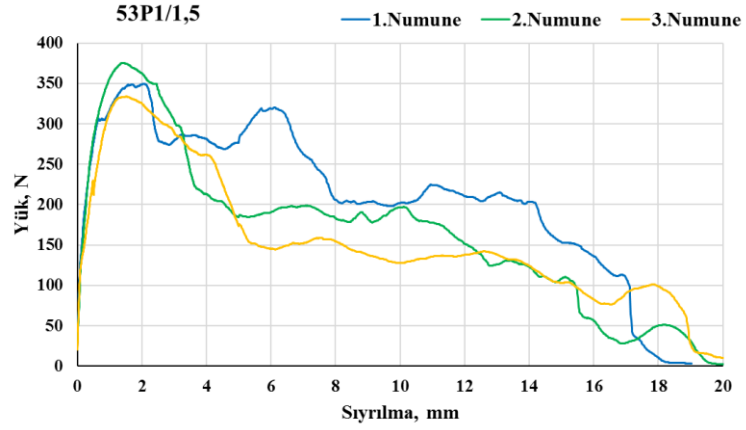


51P1/1,5 Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği

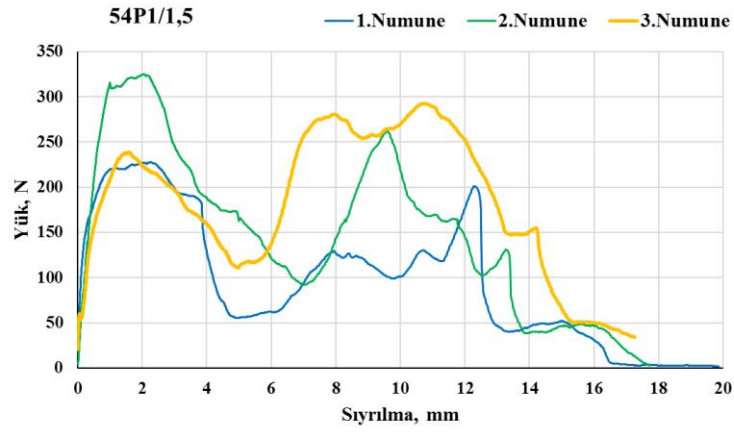


52P1/1,5 Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği

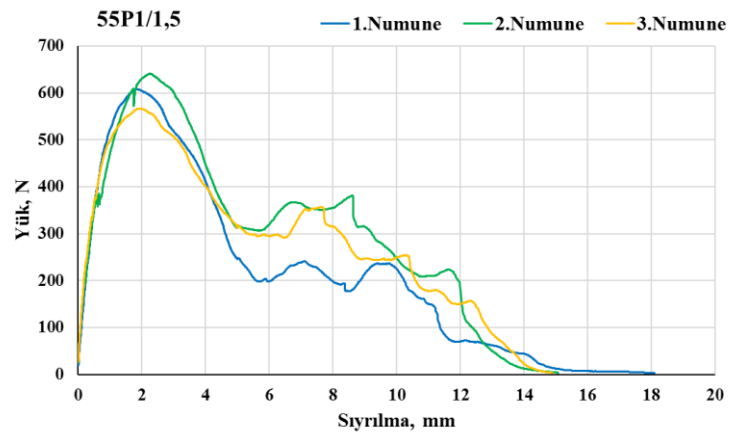
**Ek B.12.** 0,5 S/Ç ve 1/1,5 Ç/K Oranına Sahip Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği



53P1/1,5 Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği

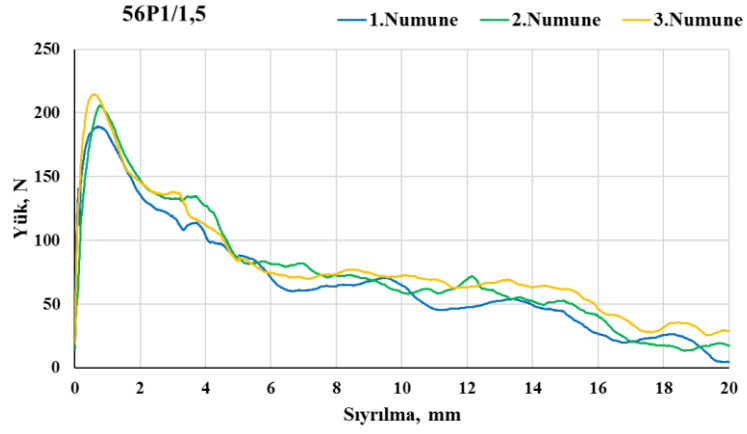


54P1/1,5 Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği



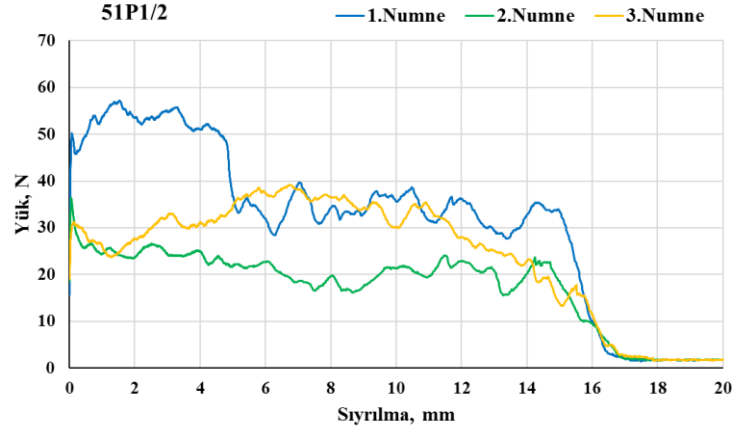
55P1/1,5 Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği

**Ek B.12.** 0,5 S/Ç ve 1/1,5 Ç/K Oranına Sahip Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği (Devamı)

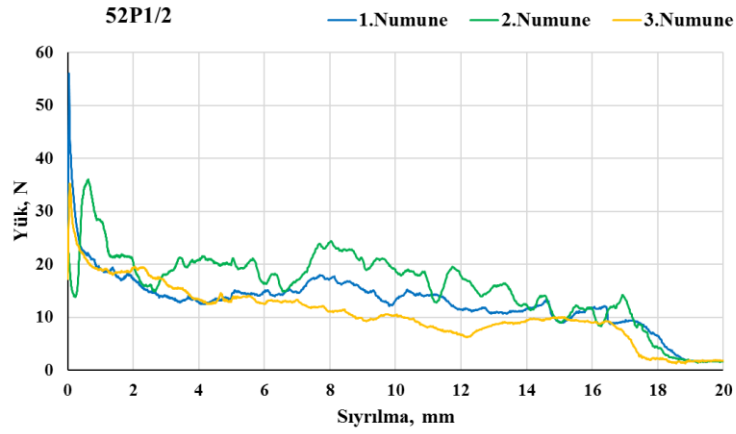


56P1/1,5 Numunelere Ait Yük-Sıyılma Grafiği

**Ek B.12.** 0,5 S/Ç ve 1/1,5 Ç/K Oranına Sahip Numunelere Ait Yük-Sıyılma Grafiği (Devamı)

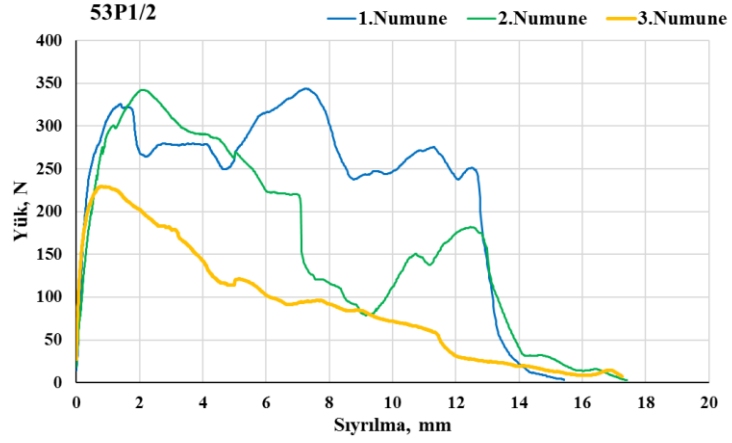


51P1/2 Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği

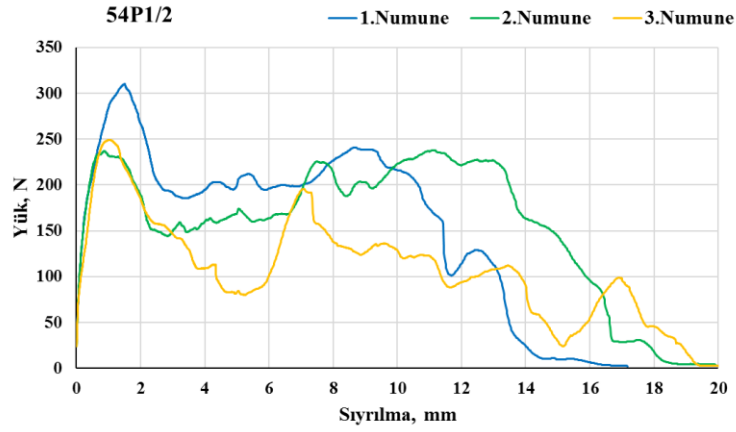


52P1/2 Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği

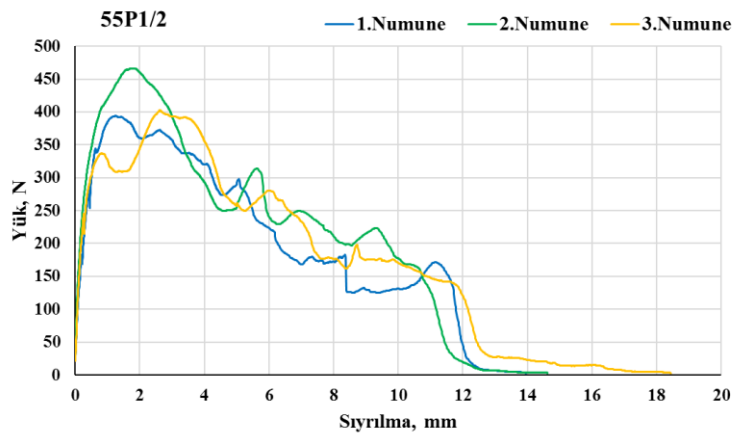
**Ek B.13.** 0,5 S/Ç ve 1/2 Ç/K Oranına Sahip Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği



53P1/2 Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği

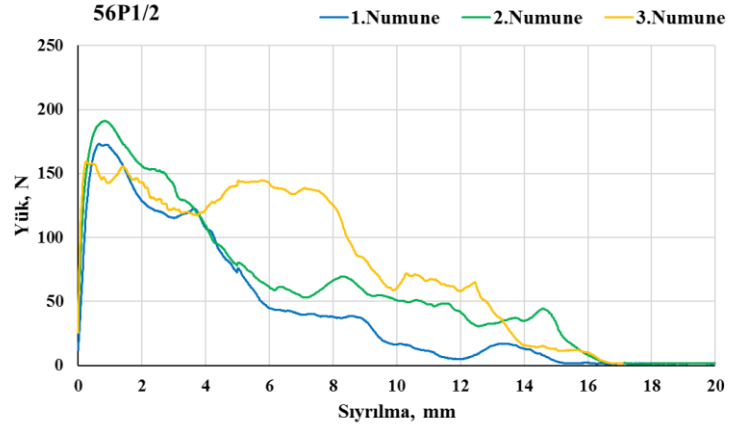


54P1/2 Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği



55P1/2 Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği

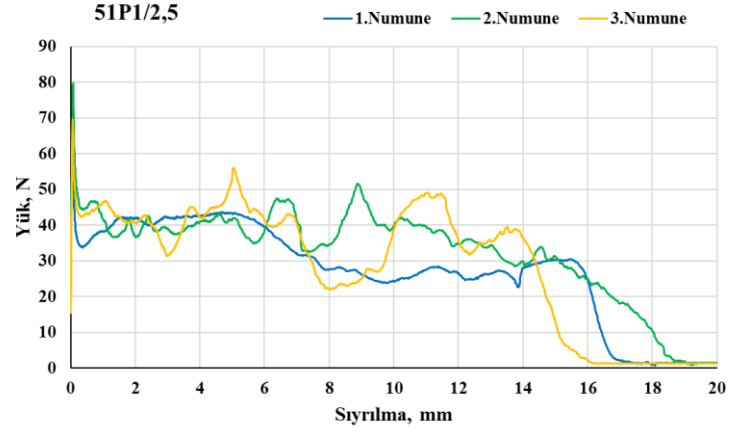
**Ek B.13.** 0,5 S/Ç ve 1/2 Ç/K Oranına Sahip Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği (Devamı)



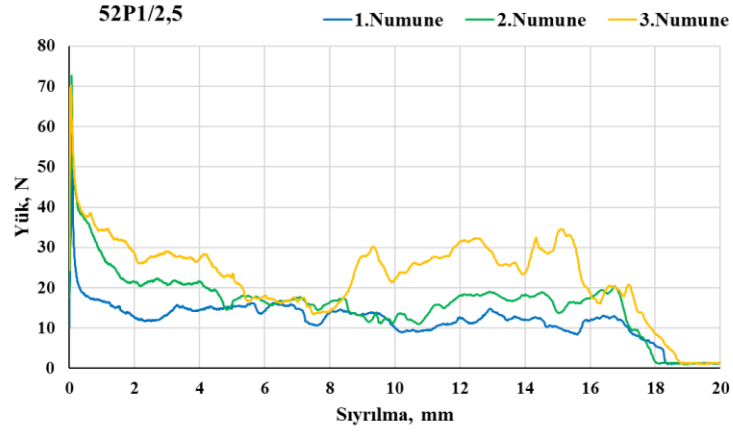
56P1/2 Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği

**Ek B.13.** 0,5 S/Ç ve 1/2 Ç/K Oranına Sahip Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği (Devamı)



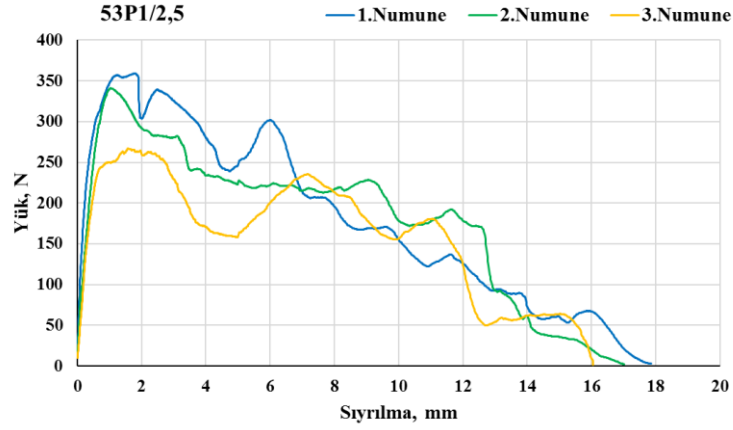


51P1/2,5 Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği

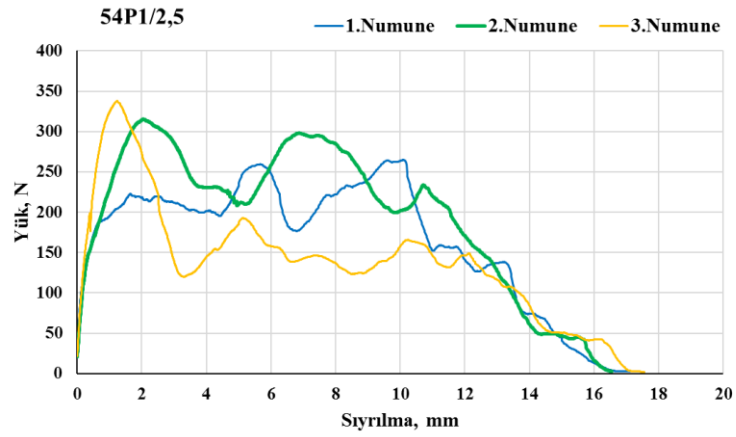


52P1/2,5 Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği

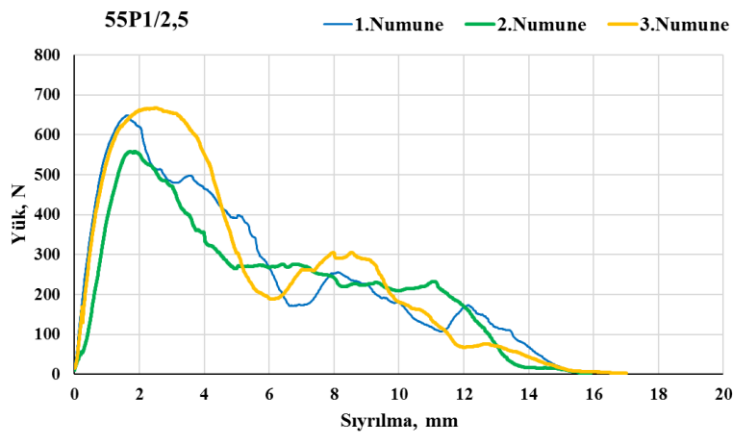
**Ek B.14.** 0,5 S/Ç ve 1/2,5 Ç/K Oranına Sahip Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği



53P1/2,5 Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği

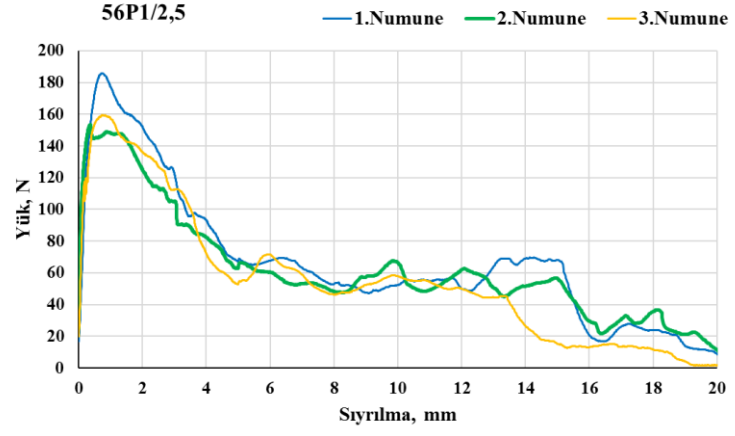


54P1/2,5 Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği



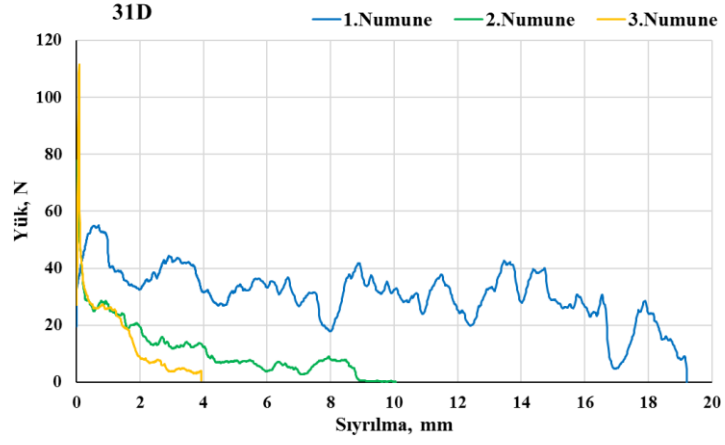
55P1/2,5 Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği

**Ek B.14.** 0,5 S/Ç ve 1/2,5 Ç/K Oranına Sahip Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği (Devamı)

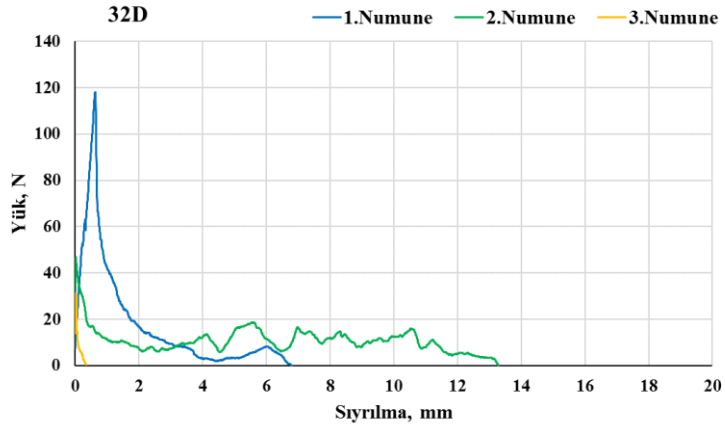


56P1/2,5 Numunelere Ait Yük-Sıyrılma Grafiği

**Ek B.14.** 0,5 S/Ç ve 1/2,5 Ç/K Oranına Sahip Numunelere Ait Yük-Sıyrılma Grafiği (Devamı)

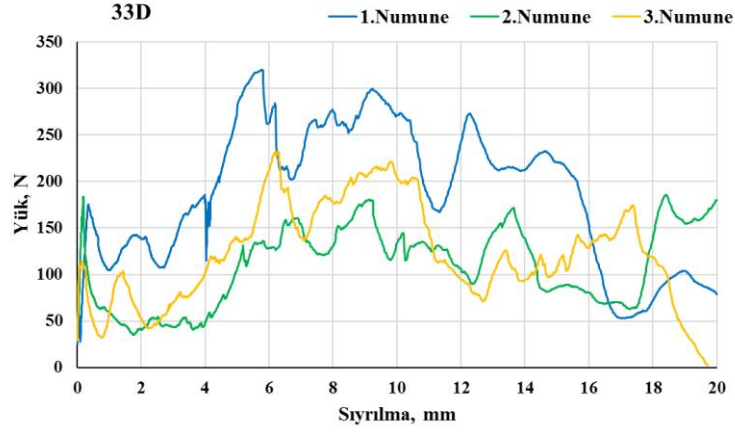


31D Numunelere Ait Yük-Sıyrılma Grafiği

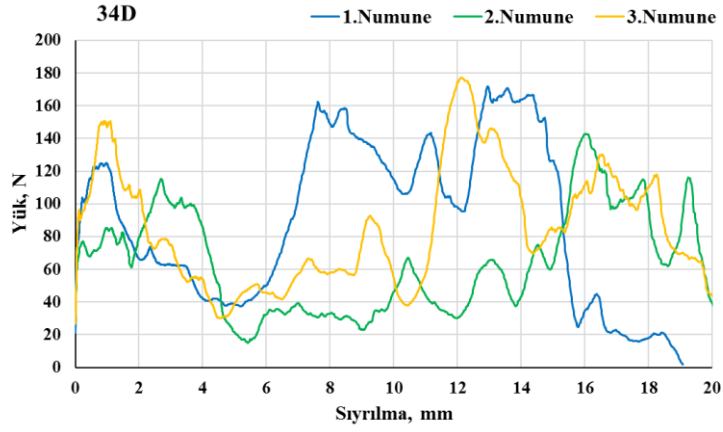


32D Numunelere Ait Yük-Sıyrılma Grafiği

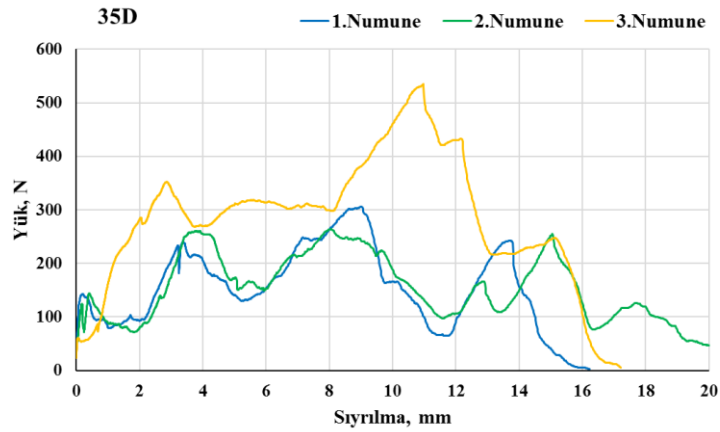
**Ek B.15.** 0,3 S/Ç Oranına Sahip 5\*5\*5 Boyutunda Numunelere Ait Yük-Sıyrılma Grafiği



33D Numunelere Ait Yük-Sıyrılma Grafiği

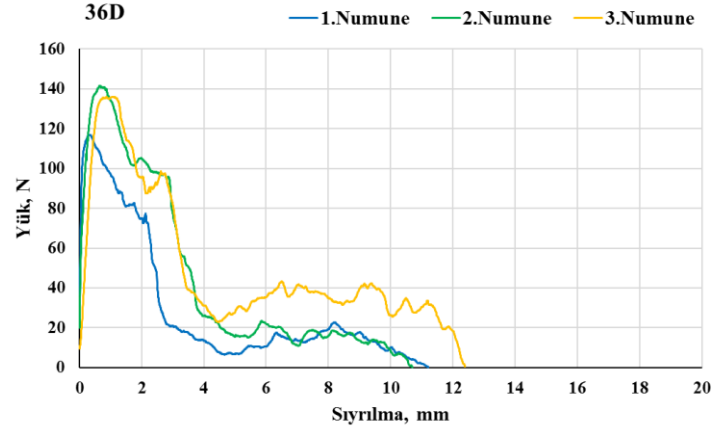


34D Numunelere Ait Yük-Sıyrılma Grafiği

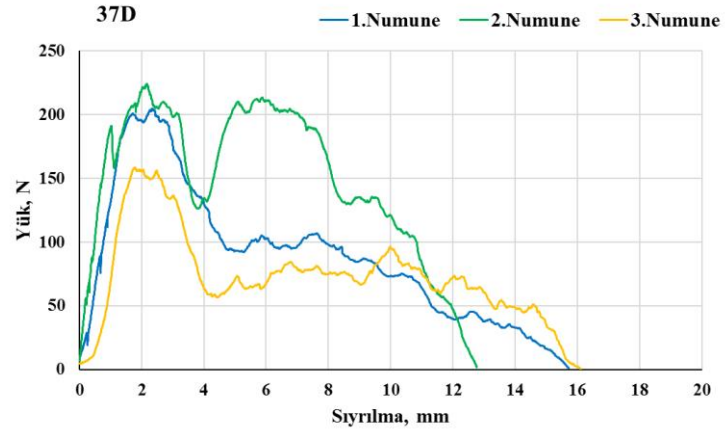


35D Numunelere Ait Yük-Sıyrılma Grafiği

**Ek B.15.** 0,3 S/Ç Oranına Sahip 5\*5\*5 Boyutunda Numunelere Ait Yük-Sıyrılma Grafiği (Devamı)

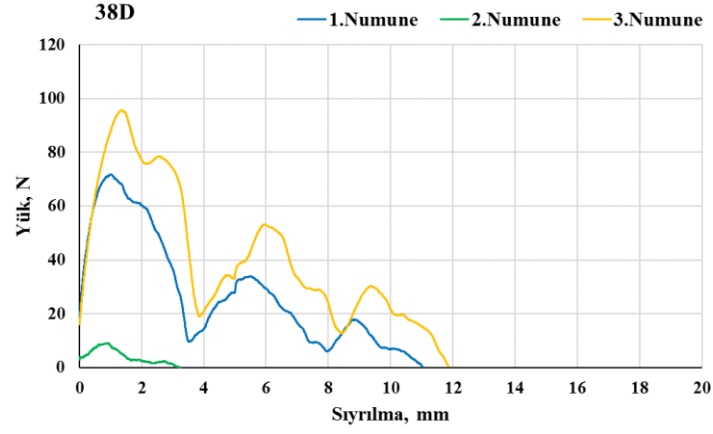


36D Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği

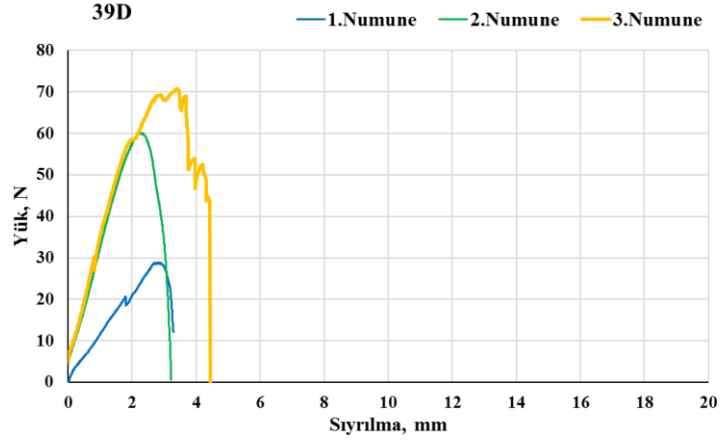


37D Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği

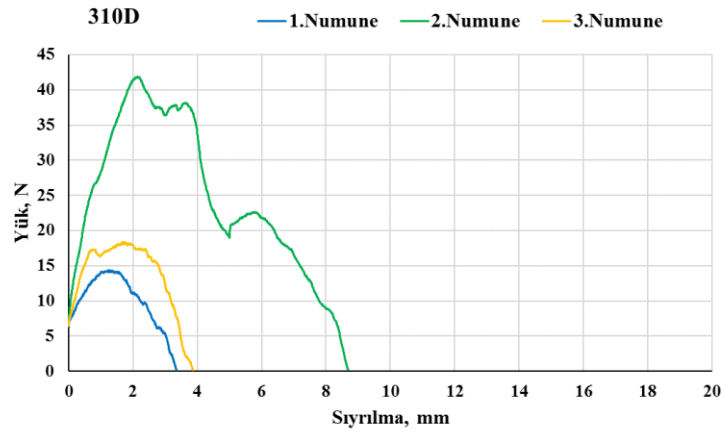
**Ek B.15.** 0,3 S/Ç Oranına Sahip 5\*5\*5 Boyutunda Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği (Devamı)



38D Numunelere Ait Yük-Sıyırma Grafiği

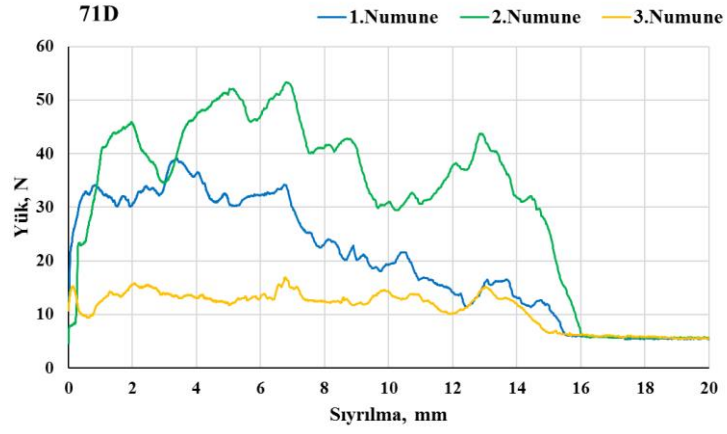


39D Numunelere Ait Yük-Sıyırma Grafiği

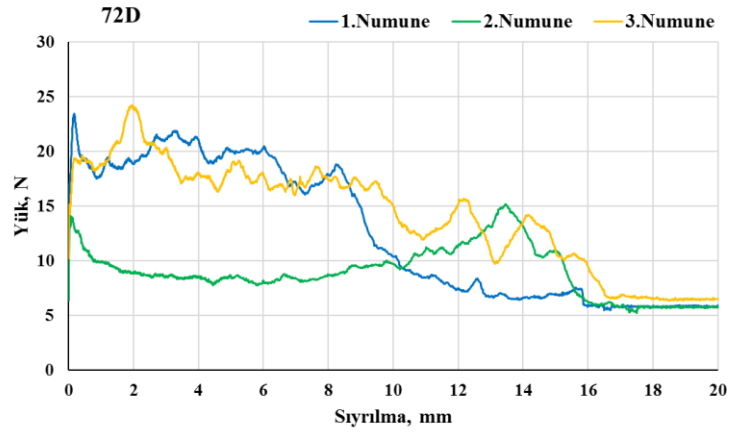


310D Numunelere Ait Yük-Sıyırma Grafiği

**Ek B.15.** 0,3 S/Ç Oranına Sahip 5\*5\*5 Boyutunda Numunelere Ait Yük-Sıyırma Grafiği (Devamı)



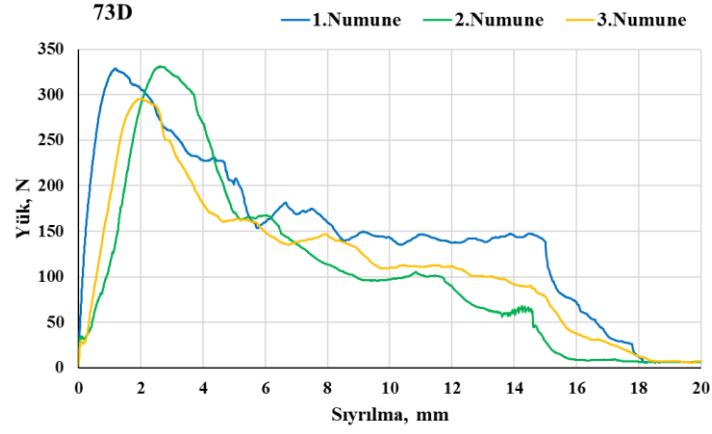
71D Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği



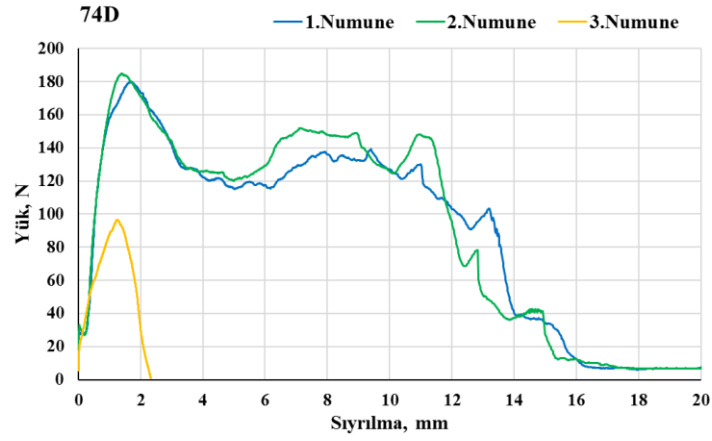
72D Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği

**Ek B.16.** 0,7 S/Ç Oranına Sahip 5\*5\*5 Boyutunda Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği

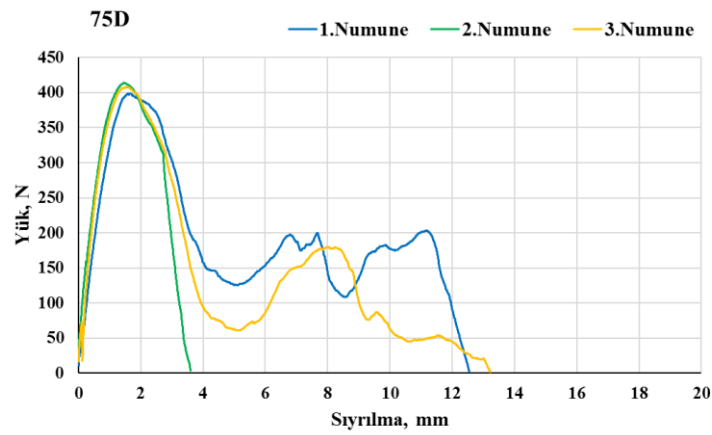




73D Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği

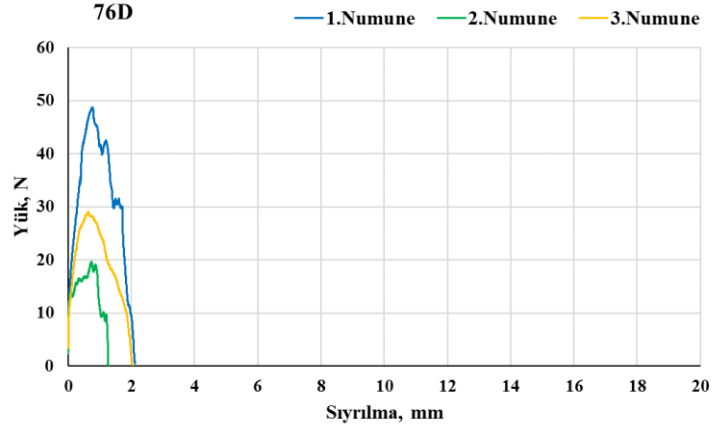


74D Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği

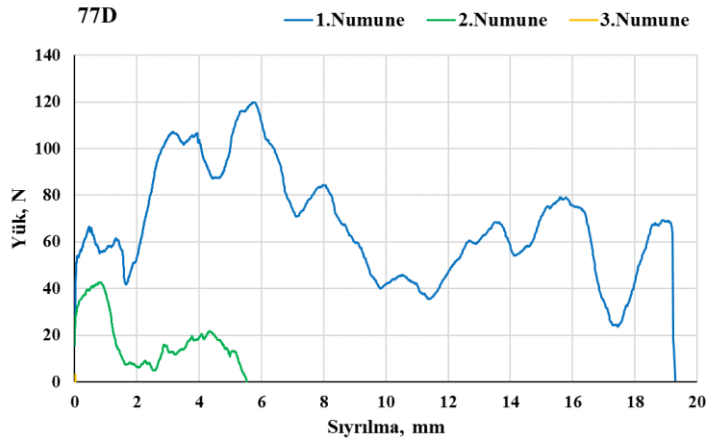


75D Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği

**Ek B.16.** 0,7 S/Ç Oranına Sahip 5\*5\*5 Boyutunda Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği (Devamı)

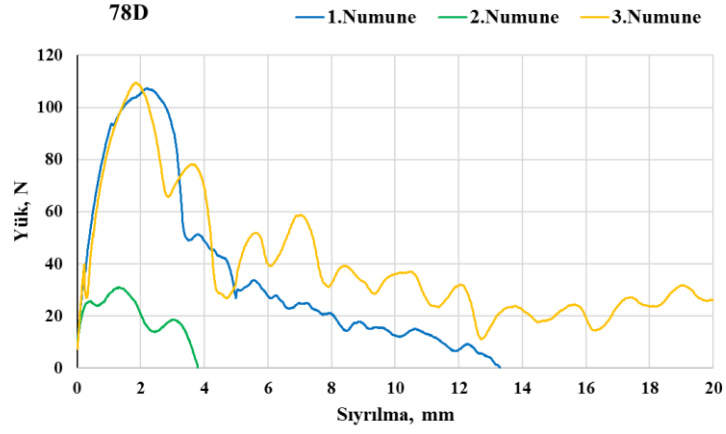


76D Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği

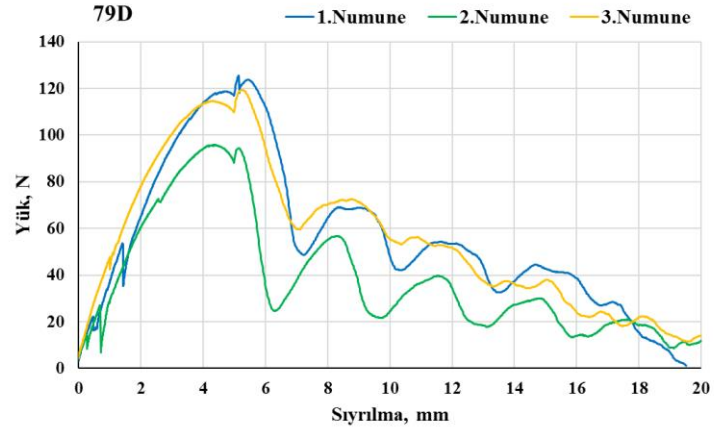


77D Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği

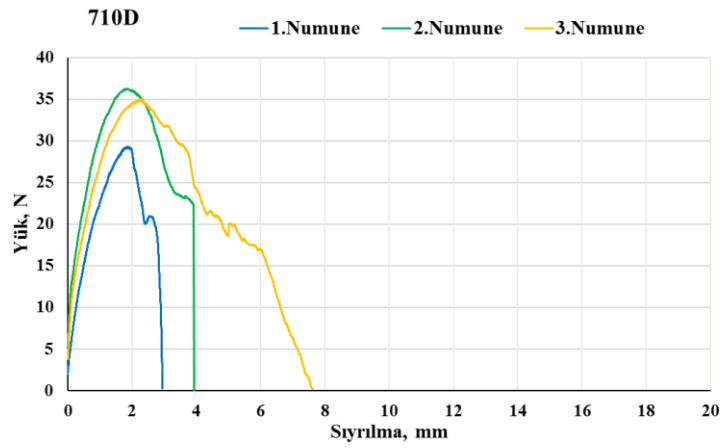
**Ek B.16.** 0,7 S/Ç Oranına Sahip 5\*5\*5 Boyutunda Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği (Devamı)



78D Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği



79D Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği



710D Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği

**Ek B.16.** 0,7 S/Ç Oranına Sahip 5\*5\*5 Boyutunda Numunelere Ait Yük-Sıyırılma Grafiği (Devamı)

## ÖZGEÇMİŞ

Ali Çağrı ÇAĞLAR, 1990 yılında Yozgat'ta doğdu. Orta ve lise öğrenimini sırasıyla Sakarya Ortaokulu ve Yozgat Anadolu Öğretmen Lisesinde tamamlamıştır. 2009 yılında Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünde lisans eğitimine başlamış olup 2013 yılında başarıyla bitirmiştir.

2015 yılında Yozgat Bozok Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yapı Mühendisliği Programında Yüksek Lisans eğitimine başlamıştır.

### **İletişim Bilgileri:**

**Adres** : A. Nohutlu Mah. Güneş Sk. Eser Apt. Kat:2 Daire:2 66100 YOZGAT

**Tel** : 0 354 212 22 48

**E-Posta** : alicagricaglar@gmail.com