T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

DOĞAL ELYAF TAKVİYELİ KOMPOZİT MALZEMELERİN VAKUM DESTEKLİ REÇİNE TRANSFER KALIPLAMA YÖNTEMİYLE ÜRETİLEREK MEKANİK VE METALOGRAFİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Seçkin KANDEMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN
Doç. Dr. Yahya TAŞGIN

TUNCELİ– 2022

T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

DOĞAL ELYAF TAKVİYELİ KOMPOZİT MALZEMELERİN VAKUM DESTEKLİ REÇİNE TRANSFER KALIPLAMA YÖNTEMİYLE ÜRETİLEREK MEKANİK VE METALOGRAFİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Seçkin KANDEMİR
(171107106)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN
Doç. Dr. Yahya TAŞGIN

TUNCELİ– 2022

T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

DOĞAL ELYAF TAKVİYELİ KOMPOZİT MALZEMELERİN VAKUM DESTEKLİ REÇİNE TRANSFER KALIPLAMA YÖNTEMİYLE ÜRETİLEREK MEKANİK VE METALOGRAFİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Seçkin KANDEMİR
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez 08/06/2022 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından **oybirliği** ile kabul edilmiştir.

İmza	**İmza**	**İmza**
Doç. Dr. Yahya TAŞGIN (Munzur Üniversitesi)	Doç. Dr. Uğur ÇALIGÜLÜ (Fırat Üniversitesi)	Doç.Dr. Gökhan KAHRAMAN (Munzur Üniversitesi)
DANIŞMAN	**ÜYE**	**ÜYE**

Bu tez, Enstitümüz Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda hazırlanmıştır.

Doç. Dr. Murat KORUNUR
Enstitü Müdürü

NOT: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı "Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu"'ndaki hükümlere tabidir.

08/06/2022

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi ve hiçbir şekilde "intihal içermediğini" beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

İmza
Seçkin KANDEMİR

Danışman
Doç. Dr. Yahya TAŞGIN

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam sırasında kıymetli bilgi, birikim ve tecrübeleri ile bana yol gösteren ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen değerli danışman hocam sayın Doç. Dr. Yahya TAŞGIN'a, sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım..

Bu süreçte maddi manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan başta babam olmak üzere aileme ve tüm arkadaşlarıma da sonsuz teşekkür ederim.

Seçkin KANDEMİR
TUNCELİ–202*2*

İÇİNDEKİLER

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ I
TEŞEKKÜR II
İÇİNDEKİLER III
ŞEKİLLER LİSTESİ V
TABLOLAR LİSTESİ XI
SEMBOLLER LİSTESİ XII
ÖZET XIII
ABSTRACT XIV
1. GİRİŞ 1
2. GENEL BİLGİLER 3
2.1. Kompozit Malzemeler 3
2.1.1. Kompozit malzemelerin tarihsel süreci 6
2.1.2. Kompozit malzemelerin genel kullanım alanları 8
2.1.3. Kompozit malzemelerin sınıflandırılması 13
2.1.3.1. Kompozitlerin matris malzemesine göre sınıflandırılması 13
2.1.3.1.1. Polimer matrisli kompozit malzemeler 13
2.1.3.1.2. Metal matrisli kompozit malzemeler 14
2.1.3.1.3. Seramik matrisli kompozit malzemeler 16
2.1.3.2. Kompozit malzemelerin takviye türüne göre sınıflandırılması 17
2.1.3.2.1. Elyaf takviyeli kompozitler 18
2.1.3.2.2. Parçacık takviyeli kompozitler 19
2.1.3.2.3. Tabakalı kompozit malzemeler 20
2.1.3.2.4. Karma kompozit malzemeler 20
2.1.4. Kompozit malzeme üretiminde kullanılan polimerler 21
2.1.5. Kompozit malzeme takviye elyafları 23
2.1.5.1. Cam elyaf takviye malzemesi 24
2.1.5.2. Karbon elyaf takviye malzemesi 26
2.1.5.3. Aramid elyaf takviye malzemesi 26
2.1.5.4. Bor elyaf takviye malzemesi 26
2.1.5.4. Doğal elyaf takviye malzemesi 27
3. POLİMER MATRİSLİ KOMPOZİTLERDE UYGULANAN ÜRETİM YÖNTEMİ 28
3.1. Vakum Destekli Reçine Transfer Yöntemi 31
4. DOĞAL FİBER MALZEMELER 29
4.1. Doğal Lifin Yapısı 32
4.2. Dolğal Liflerin Sınıflandırılması 33
4.3. Gövde Lifleri 36
4.3.1. Jüt lifi 37
4.3.2. Keten lifi 39
4.3.3. Kenevir lifi 41
4.3.4. Bambu lifi 42
4.3.5. Rami lifi 43
5. LİTERATÜR İNCELEMESİ 44
6. MATERYAL METOT 48
6.1. Kompozit Malzeme Üretiminde Kullanılan Malzemeler 48
6.2. Takviye Malzemeleri 48
6.2.1. Jüt kumaş 48

6.2.2. Keten kumaş 48
6.2.3. Kenevir kumaş 49
6.2.4. Pamuk kumaş 49
6.2.5. Yün kumaş 49
6.2.6. Sisal lifi 50
6.2.7. Hindistan cevizi lifi 50
6.2.8. Cam elyaf 50
6.2.9. Karbon elyaf 51
6.3. Matris Malzemesi Hazırlanması 51
6.4. Kompozit Malzemelerin Üretilmesi 52
6.5. Üretilen Deney Numuneleri 56
6.5.1. Numunelerin çekme testi için hazırlanması 57
6.6. Çekme Testi 58
6.7. Elektron Mikroskobu (SEM) İncelemeleri 60
7. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ 62
7.1. Çekme Testi Sonuçları 62
7.2. Deney Numunelerinin Elektron Mikroskobunda Analizleri 75
8.SONUÇ VE ÖNERİLER 123
9. KAYNAKLAR… 125
ÖZGEÇMİŞ 131

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Kompozit malzemenin şematik tanımı 3
Şekil 2.2. Kompozit malzemelerde fiber ve matris malzemeler 4
Şekil 2.3. Kompozit malzeme oluşumu 5
Şekil 2.4. Kerpiç oluşturulması 6
Şekil 2.5. Beton 8
Şekil 2.6. Kompozit malzemelerin kullanım alanları 8
Şekil 2.7. Kompozit malzemelerin deniz sanayisinde kullanımı 10
Şekil 2.8. Boeing 787´de kullanılan kompozit malzemeler 10
Şekil 2.9. Doğal kompozit malzemelerden üretilen otomobil parçaları 11
Şekil 2.10. Polimer matrisli kompozit 14
Şekil 2.11. Metal matrisli kompozit mikroyapı 15
Şekil 2.12. Sic matrisli seramik kompozitler 16
Şekil 2.13. Kompozit malzemelerin takviye türüne göre sınıflandırılması 17
Şekil 2.14. Cam elyaf malzemesi 19
Şekil 2.15. Partikül takviyeli kompozitler 19
Şekil 2.16. Tabakalı kompozit örneği 20
Şekil 2.17. Monomer yapıların polimerleşmesi 21
Şekil 2.18. Elyaf takviyelerin dokuma türleri 24
Şekil 2.19. Cam elyaf üretim sistemi 25
Şekil 2.20. Bor elyafın üretim 27
Şekil 2.21. Ti matris içerisinde bor elyafı sem görüntüsü 28
Şekil 2.22. Birtakım doğal elyaf lif çeşitleri 29
Şekil 3.1. Reçine transfer kalıplama 30
Şekil 4.1. Jüt, kenevir ve keten bitkileri ve lifleri 40
Şekil 4.2. Doğal liflerin yapısı 43
Şekil 4.3. Doğal liflerin sınıflandırılması 45
Şekil 4.4. Doğal lif takviyeli kompozit üretim şeması 46
Şekil 4.5. Jüt bitkisi 47
Şekil 4.6. Jüt lifi üretim süreci 48
Şekil 4.7. Dokuma jüt kumaşları 49
Şekil 4.8. Keten lifi mikro yapısı 50
Şekil 4.9. Keten bitkisi ve lifi 50
Şekil 4.10. Kenevir bitkisi 51
Şekil 4.11. Kenevir hasadı ve lifleri… 52
Şekil 4.12. Bambu elyafı ve bambu bitkisi 52
Şekil 4.13. Rami lifinin üretimi… 54
Şekil 6.1. Jüt kumaş 54
Şekil 6.2. Keten kumaş 54
Şekil 6.3. Kenevir kumaş 54
Şekil 6.4. Pamuk kumaş 54
Şekil 6.5. Yün kumaş 54
Şekil 6.6. Sisal lifi 54
Şekil 6.7. Hindistan cevizi lifi 54
Şekil 6.8. Cam elyaf 54
Şekil 6.9. Karbon elyaf 54
Şekil 6.10. Kullanılan hassas terazi 51
Şekil 6.11. Ayırıcı film tabakası 54

Şekil 6.12. Kumaşların tabakalı olarak yerleştirilmesi 54
Şekil 6.13. Soyma kumaşı 54
Şekil 6.14. Reçine dağıtıcı 54
Şekil 6.15. Spiral hortum montajı 54
Şekil 6.16. Vakum torbası kullanımı 54
Şekil 6.17. Vakum destekli reçine transfer işlemi 55
Şekil 6.18. Kürlemeye bırakılan malzemeler 55
Şekil 6.19. Kompozit malzeme söküm işlemi 56
Şekil 6.20. Giyotin makas kullanımı 57
Şekil 6.21. ASTM D638 Standardı Numune Ölçüsü 57
Şekil 6.22. Çekme testi numuneleri 58
Şekil 6.23. Çekme test cihazı 59
Şekil 6.24. Çekme testi sonrası numuneler 59
Şekil 6.25. SEM analizlerinin yapıldığı elektron mikroskobu 60
Şekil 6.26. SEM cihazına numunelerin yerleştirilmesi 60
Şekil 7.1. Jüt elyaf takviyeli N-1 çekme numunesi gerilme – yüzde uzama grafiği 63
Şekil 7.2. Keten elyaf takviyeli N-2 çekme numunesi gerilme – yüzde uzama grafiği 63
Şekil 7.3. Kenevir elyaf takviyeli N-3 çekme numunesi gerilme – yüzde uzama grafiği 64
Şekil 7.4. Pamuk elyaf takviyeli N-4´ün çekme numunesi gerilme – yüzde uzama grafiği 65
Şekil 7.5. Yün elyaf takviyeli N-5´in çekme numunesi gerilme – yüzde uzama grafiği 65
Şekil 7.6. Sisal lifi takviyeli N-6 çekme numunesinin gerilme – yüzde uzama grafiği 66
Şekil 7.7. Hindistan cevizi lifi takviyeli N-7 çekme numunesinin gerilme – yüzde uzama grafiği 60
Şekil 7.8. Jüt ve keten elyaf takviyeli N-8 çekme numunesinin gerilme - yüzde uzama grafiği 65
Şekil 7.9. Jüt ve kenevir elyaf takviyeli N-9 çekme numunesinin gerilme - yüzde uzama grafiği 68
Şekil 7.10. Jüt ve yün elyaf takviyeli N-10 çekme numunesinin gerilme – yüzde uzama grafiğ 68
Şekil 7.11. Jüt ve pamuk elyaf takviyeli N-11 çekme numunesinin gerilme – yüzde uzama grafiği 69
Şekil 7.12. Keten ve kenevir elyaf takviyeli N-12 çekme numunesinin gerilme - yüzde uzama grafiği 70
Şekil 7.13. Keten ve pamuk elyaf takviyeli N-13 çekme numunesinin gerilme - yüzde uzama grafiği 70
Şekil 7.14. Keten ve yün elyaf takviyeli N-14 çekme numunesinin gerilme - yüzde uzama grafiği 71
Şekil 7.15. kenevir ve pamuk elyaf takviyeli N-15 çekme numunesinin gerilme - yüzde uzama grafiği 71
Şekil 7.16. kenevir ve yün elyaf takviyeli N-16 çekme numunesinin gerilme - yüzde uzama grafiği 72
Şekil 7.17. Pamuk ve yün elyaf takviyeli N-17 çekme numunesinin gerilme - yüzde uzama grafiği 72
Şekil 7.18. Jüt, Keten, Kenevir, Pamuk ve yün Keten ve kenevir elyaf takviyeli N-18 çekme numunesinin gerilme – yüzde uzama grafiği 73
Şekil 7.19. Cam elyaf takviyeli N-19 çekme numunesinin gerilme – yüzde uzama grafiği 73
Şekil 7.20. Karbon elyaf takviyeli N-20 çekme numunesinin gerilme - yüzde uzama grafiği 74

Şekil 7.21. Bütün numunelerin çekme dayanımı değerleri 75
Şekil 7.22. Bütün numunelerin yüzde uzama değerleri..... 76
Şekil 7.23. Jüt elyaf takviyeli kompozit numunesinin (N-1) x35 büyütmedeki SEM görüntüsü 77
Şekil 7.24. Jüt elyaf takviyeli kompozit numunesinin (N-1) x75 büyütmedeki SEM görüntüsü 77
Şekil 7.25. Jüt elyaf takviyeli kompozit numunesinin (N-1) x150 büyütmedeki SEM görüntüsü 78
Şekil 7.26. Jüt elyaf takviyeli kompozit numunesinin (N-1) x250 büyütmedeki SEM görüntüsü 78
Şekil 7.27. Keten elyaf takviyeli kompozit numunesinin (N-2) x35 büyütmedeki SEM görüntüsü 79
Şekil 7.28. Keten elyaf takviyeli kompozit numunesinin (N-2) x75 büyütmedeki SEM görüntüsü 79
Şekil 7.29. Keten elyaf takviyeli kompozit numunesinin (N-2) x150 büyütmedeki SEM görüntüsü 80
Şekil 7.30. Keten elyaf takviyeli kompozit numunesinin (N-2) x250 büyütmedeki SEM görüntüsü 81
Şekil 7.31. Kenevir elyaf takviyeli kompozit numunesinin (N-3) x35 büyütmedeki SEM görüntüsü 81
Şekil 7.32. Kenevir elyaf takviyeli kompozit numunesinin (N-3) x75 büyütmedeki SEM görüntüsü 82
Şekil 7.33. Kenevir elyaf takviyeli kompozit numunesinin (N-3) x150 büyütmedeki SEM görüntüsü 83
Şekil 7.34. Kenevir elyaf takviyeli kompozit numunesinin (N-3) x250 büyütmedeki SEM görüntüsü 83
Şekil 7.35. Pamuk elyaf takviyeli kompozit numunesinin (N-4) x35 büyütmedeki SEM görüntüsü 84
Şekil 7.36. Pamuk elyaf takviyeli kompozit numunesinin (N-4) x75 büyütmedeki SEM görüntüsü 85
Şekil 7.37. Pamuk elyaf takviyeli kompozit numunesinin (N-4) x150 büyütmedeki SEM görüntüsü 85
Şekil 7.38. Pamuk elyaf takviyeli kompozit numunesinin (N-4) x250 büyütmedeki SEM görüntüsü 86
Şekil 7.39. Yün elyaf takviyeli kompozit numunesinin (N-5) x35 büyütmedeki SEM görüntüsü 86
Şekil 7.40. Yün elyaf takviyeli kompozit numunesinin (N-5) x75 büyütmedeki SEM görüntüsü 87
Şekil 7.41. Yün elyaf takviyeli kompozit numunesinin (N-5) x150 büyütmedeki SEM görüntüsü 88
Şekil 7.42. Yün elyaf takviyeli kompozit numunesinin (N-5) x250 büyütmedeki SEM görüntüsü 88
Şekil 7.43. Sisal elyaf takviyeli kompozit numunesinin (N-6) x35 büyütmedeki SEM görüntüsü 89
Şekil 7.44. Sisal elyaf takviyeli kompozit numunesinin (N-6) x75 büyütmedeki SEM görüntüsü 89
Şekil 7.45. Sisal elyaf takviyeli kompozit numunesinin (N-6) x150 büyütmedeki SEM görüntüsü 90
Şekil 7.46. Sisal elyaf takviyeli kompozit numunesinin (N-6) x250 büyütmedeki SEM görüntüsü 90

Şekil 7.47. Hindistan cevizi elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-7) x35 büyütmedeki görüntüsü 91
Şekil 7.48. Hindistan cevizi elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-7) x75 büyütmedeki SEM görüntüsü 91
Şekil 7.49. Hindistan cevizi elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-7) x150 büyütmedeki SEM görüntüsü 92
Şekil 7.50. Hindistan cevizi elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-7) x250 büyütmedeki SEM görüntüsü 92
Şekil 7.51. Jüt ve keten elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-8) x35 büyütmedeki SEM görüntüsü 93
Şekil 7.52. Jüt ve keten elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-8) x75 büyütmedeki SEM görüntüsü 93
Şekil 7.53. Jüt ve keten elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-8) x150 büyütmedeki SEM görüntüsü 94
Şekil 7.54. Jüt ve keten elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-8) x250 büyütmedeki SEM görüntüsü 94
Şekil 7.55. Jüt ve kenevir elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-9) x35 büyütmedeki SEM görüntüsü 95
Şekil 7.56. Jüt ve kenevir elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-9) x75 büyütmedeki SEM görüntüsü 96
Şekil 7.57. Jüt ve kenevir elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-9) x150 büyütmedeki SEM görüntüsü 96
Şekil 7.58. Jüt ve kenevir elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-9) x250 büyütmedeki SEM görüntüsü 97
Şekil 7.59. Jüt ve yün elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-10) x35 büyütmedeki SEM görüntüsü 98
Şekil 7.60. Jüt ve yün elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-10) x75 büyütmedeki SEM görüntüsü 98
Şekil 7.61. Jüt ve yün elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-10) x150 büyütmedeki SEM görüntüsü 99
Şekil 7.62. Jüt ve yün elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-10) x250 büyütmedeki SEM görüntüsü 99
Şekil 7.63. Jüt ve pamuk elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-11) x35 büyütmedeki SEM görüntüsü 100
Şekil 7.64. Jüt ve pamuk elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-11) x75 büyütmedeki SEM görüntüsü 100
Şekil 7.65. Jüt ve pamuk elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-11) x150 büyütmedeki SEM görüntüsü 101
Şekil 7.66. Jüt ve pamuk elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-11) x250 büyütmedeki SEM görüntüsü 101
Şekil 7.67. Keten ve kenevir elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-12) x35 büyütmedeki SEM görüntüsü 102
Şekil 7.68. Keten ve kenevir elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-12) x75 büyütmedeki SEM görüntüsü 103
Şekil 7.69. keten ve kenevir elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-12) x150 büyütmedeki SEM görüntüsü 104
Şekil 7.70. keten ve kenevir elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-12) x250 büyütmedeki SEM görüntüsü 104
Şekil 7.71. keten ve pamuk elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-13) x35 büyütmedeki SEM görüntüsü 105

Şekil 7.72. keten ve pamuk elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-13) x75 büyütmedeki SEM görüntüsü 106
Şekil 7.73. keten ve pamuk elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-13) x150 Büyütmedeki SEM görüntüsü 106
Şekil 7.74. keten ve pamuk elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-13) x250 Büyütmedeki SEM görüntüsü 107
Şekil 7.75. keten ve yün elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-14) x35 büyütmedeki SEM görüntüsü 108
Şekil 7.76. keten ve yün elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-14) x75 büyütmedeki SEM görüntüsü 108
Şekil 7.77. keten ve yün elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-14) x150 büyütmedeki SEM görüntüsü 109
Şekil 7.78. keten ve yün elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-14) x250 büyütmedeki SEM görüntüsü 109
Şekil 7.79. kenevir ve pamuk elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-15) x35 büyütmedeki SEM görüntüsü 110
Şekil 7.80. kenevir ve pamuk elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-15) x75 büyütmedeki SEM görüntüsü 111
Şekil 7.81. kenevir ve pamuk elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-15) x150 büyütmedeki SEM görüntüsü 111
Şekil 7.82. kenevir ve pamuk elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-15) x250 büyütmedeki SEM görüntüsü 112
Şekil 7.83. kenevir ve yün elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-16) x35 büyütmedeki SEM görüntüsü 113
Şekil 7.84. kenevir ve yün elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-16) x75 büyütmedeki SEM görüntüsü 113
Şekil 7.85. kenevir ve yün elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-16) x150 büyütmedeki SEM görüntüsü 114
Şekil 7.86. kenevir ve yün elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-16) x250 büyütmedeki SEM görüntüsü 114
Şekil 7.87. Pamuk ve yün elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-17) x35 büyütmedeki SEM görüntüsü 115
Şekil 7.88. Pamuk ve yün elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-17) x75 büyütmedeki SEM görüntüsü 115
Şekil 7.89. pamuk ve yün elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-17) x150 büyütmedeki SEM görüntüsü 116
Şekil 7.90. Pamuk ve yün elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-17) x250 büyütmedeki SEM görüntüsü 116
Şekil 7.91. Jüt, keten, kenevir, pamuk ve yün elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-18) x35 büyütmedeki SEM görüntüsü 117
Şekil 7.92. Jüt, keten, kenevir, pamuk ve yün elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-18) x75 büyütmedeki SEM görüntüsü 117
Şekil 7.93. Jüt, keten, kenevir, pamuk ve yün elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-18) x150 büyütmedeki SEM görüntüsü 118
Şekil 7.94. Jüt, keten, kenevir, pamuk ve yün elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-18) x250 büyütmedeki SEM görüntüsü 118
Şekil 7.95. Cam elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-19) x35 büyütmedeki SEM görüntüsü 119
Şekil 7.96. Cam elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-19) x75 büyütmedeki SEM görüntüsü 119

Şekil 7.97. Cam elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-19) x150 büyütmedeki SEM görüntüsü 120
Şekil 7.98. Cam elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-19) x250 büyütmedeki SEM görüntüsü 120
Şekil 7.99. Karbon elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-20) x35 büyütmedeki SEM görüntüsü 121
Şekil 7.100. Karbon elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-20) x75 büyütmedeki SEM görüntüsü 121
Şekil 7.101. Karbon elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-20) x150 büyütmedeki SEM görüntüsü 122
Şekil 7.102. Karbon elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-20) x250 büyütmedeki SEM görüntüsü 122

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Kompozit Malzemelerin Sektörlere Göre Hacim Olarak Dağılımı (%) 9
Tablo 2.2. Farklı Otomobil Markalarında Doğal Fiber Takviyeli Kompozit Kullanımı..... 12
Tablo 2.3. MMK Malzemeler için Literatürde Sıklıkla Kullanılan Takviye Malzemeler..... 15
Tablo 4.1. Doğal ve bazı sentetik fiberlerin özellikleri 29
Tablo 4.2. Otomotiv uygulamalarında performans karşılaştırması 31
Tablo 4.3. Doğal liflerin kimyasal bileşenleri 33
Tablo 6.1 Test Numunelerimin Sınıflandırılması.....56
Tablo 7.1 Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları.....62

SEMBOLLER LİSTESİ

ASTM	**:** American Society for Testing and Materials (ABD Testler ve Materyaller Birliği)
SEM	**:** Scanning Electron Microscope (Taramalı Elektron Mikroskobu)
Kg	**:** Kilogram
Al	**:** Alüminyum
B	**:** Boron
^{O}C	**:** Sıcaklık birimi (*derece* Celsius)
TM	**:** Toz Metalürjisi

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, üretilen doğal elyaf takviyeli epoksi matrisli kompozit malzemelerin mekanik ve metalografik özelliklerinin araştırılması ayrıca doğal elyaf takviyeli kompozit malzemeler ile sentetik elyaf takviyeli epoksi matrisli kompozit malzemelerin mekanik ve metalografik özelliklerinin karşılaştırılmasıdır.

Bu amaçla doğal takviye malzemesi olarak jüt, keten, kenevir, pamuk, yün, sisal ve Hindistan cevizi elyafları kullanılmıştır. Sentetik takviye malzemesi olarak cam ve karbon elyafları kullanılmıştır. Kompozit malzemelerin üretimi vakum destekli reçine transfer infüzyon yöntemiyle gerçekleştirilmiştir.

Üretilen kompozit malzemelerin mekanik özelliklerini belirlemek için numunelere çekme testi uygulanmıştır. Çekme testleri ile numunelerin gerilme – yüzde uzama grafikleri oluşturulmuş, kopma gerilmesi ve maksimum uzama değerleri elde edilmiştir. Üretilen numunelerin SEM analizleri yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Doğal elyaf, kompozit malzeme, epoksi, takviye malzemesi

ABSTRACT

The aim of this study is to investigate the mechanical and metallographic properties of produced natural fiber reinforced epoxy matrix composite materials and to compare the mechanical and metallographic properties of natural fiber reinforced composite materials and synthetic fiber reinforced epoxy matrix composite materials.

For this purpose, jute, flax, hemp, cotton, wool, sisal and coconut fibers were used as natural reinforcement materials. Glass and carbon fibers were used as synthetic reinforcement material. The production of composite materials was carried out by vacuum assisted resin transfer infusion method.

Tensile test was applied to the samples to determine the mechanical properties of the produced composite materials. With the tensile tests, stress-percent elongation graphs of the samples were created, breaking stress and maximum elongation values were obtained. SEM analyzes of the produced samples were made.

Keywords: Natural fiber, composite material, epoxy, reinforcement material

1. GİRİŞ

Günümüzde artan çevresel sorunlar, insanları çevreye karşı daha duyarlı davranmalarına sebep olmuştur. Kompozit malzemelerin üretiminde çok çeşitli fiberlerin kullanılmasıyla birlikte günümüzde çevresel duyarlığın artması, petrol bazlı kaynakların azalması ile cam, karbon ve aramid gibi yapay fiberlerin yerini selülozik esaslı doğal fiberlerin alması üzerine çalışmalar yaygınlaşmıştır. Yapay fiberlerin üretimi esnasında kullanılan enerji miktarının fazla olması, doğal ortamda parçalanabilir olmamaları ve sürdürülebilir enerji kaynaklarından üretilememeleri başlıca çevresel sorunlardır. Ancak doğal fiberlerin yapay fiberlere kıyasla çok daha düşük çevresel etkilere sahip olmaları, Petrol gibi yenilenemeyen enerji kaynaklarının üretimde kullanılmaması, Doğal fiberlerin kompozit malzemelerde kullanılmasını giderek daha popüler hale getirmiştir. Doğal fiberler üretimleri boyunca doğal hayatın bir parçası olması, maliyetlerinin daha uygun ve kaynaklarının sürdürülebilir olması başlıca tercih edilme sebepleridir. Ekonomik avantajlarının yanında düşük yoğunluk, yüksek kırılma dayanımları, yüksek çekme dayanımı, tokluk, korozyon dirençleri ve sertlik gibi mekanik özelliklere düşük malzeme ağırlıklarıyla ulaşmaları sayesinde akademik çevrelerin ve üretim endüstrisinin ilgisini çekmektedir.

Günümüzde kompozit malzemelerin kullanıldığı birçok alanda fiber malzemesi olarak doğal fiberler kullanılabilir. Otomotiv ve havacılık sektörü başta olmak üzere inşaat ve spor sektöründe kullanılan eşyalara kadar birçok alanda kompozit malzemeler kullanılır. Genel olarak roket, füze, uçak ve yüksek kalitede spor aletlerinde kullanıldığı gibi beyaz eşya ve basınca dayalı boru üretiminde de kullanılmaktadır. Gelecek yıllarda havacılık ve uzay alanları, gelişen robotik ve diğer alanlarda kompozit malzemelere daha fazla önem verileceği tahmin edilmektedir. (Yıldızhan, 2008).

Kompozit malzeme, farklı özelliklerde malzemelerin iyi özelliklerini bir arada toplayarak daha üstün özelliklerde malzeme oluşturmaktır. Günümüzde malzeme bilimine duyulan ilgi her geçen gün artmaktadır. Mühendislik tasarım ve uygulama alanlarında doğal liflerin esas alındığı kompozit malzemelerin incelenmesi ve geliştirilmesi ile ilgili çalışmalar son zamanlarda artmıştır (Ku ve ark., 2011).

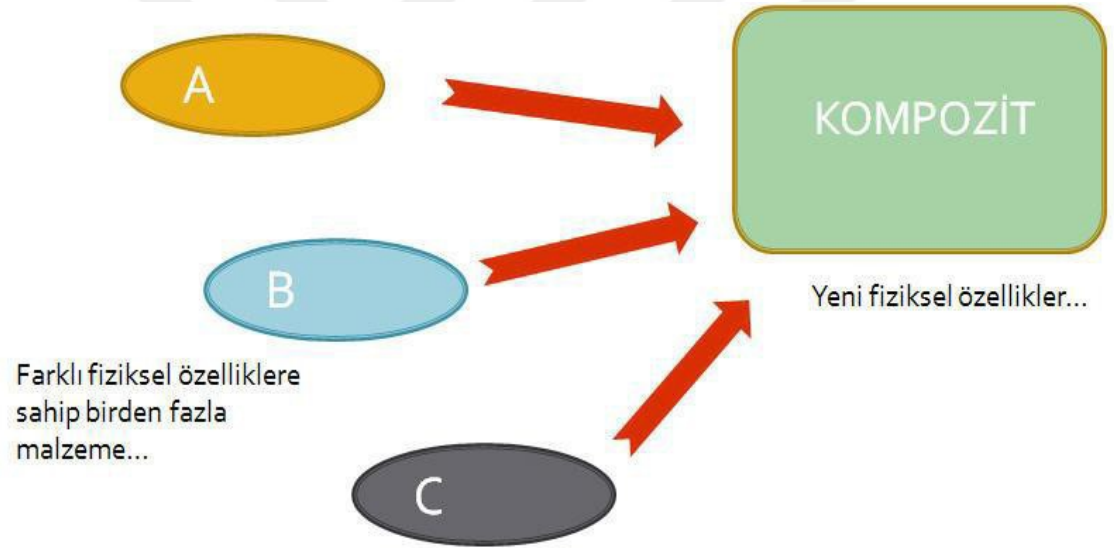
Bu çalışmada doğal fiberlerin kompozit malzemelerde kullanılması incelenmektedir. Yapay ve doğal fiberlerin birlikte ve ayrı olarak kullanımı değerlendirilecektir. Matris malzemesi olarak polimer esaslı epoksi reçine kullanılacaktır. Doğal ve yapay fiber takviyeli kompozit malzemeler vakum destekli reçine transfer yöntemiyle üretilerek mekanik ve metalografik özellikleri incelenmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Kompozit Malzemeler

Kompozit malzemeler kısaca ‘birbirlerinden farklı özelliklere sahip, en az iki bileşenin bir ara yüzey oluşturarak bir araya gelmesiyle elde edilen malzemeler’ şeklinde tanımlanabilir. Kompozit malzemeyi oluşturan her bir bileşen genellikle özelliklerini korumaktadırlar (Rosato, 1997).

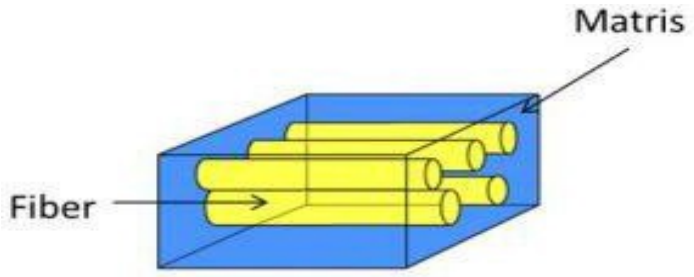
Kompozit malzemeler, farklı malzemelerin kendilerinde bireysel olarak ulaşılamayan özellikleri kazanması için, malzemelerin yapay olarak bir arada kullanılmasıyla ulaşılan, çok fazlı malzemelerdir (Chung, 2010). Kompozit malzeme tanımı şematik olarak Şekil 2.1’de görülmektedir.



Şekil 2.1. Kompozit malzemenin şematik tanımı

Kompozit malzemenin mekanik özellikleri üzerinde etkili olan unsurlar şunlardır; Kompozit malzemenin ana bileşenleri matris ve takviye malzemelerinin mekanik ve kimyasal özellikleri, hacimsel oranları, matris ve takviye malzemeleri arasındaki bağlantı yüzeyinin özellikleri, takviye elemanının şekli, yapısal özellikleri ve kompozit yapı içerisindeki yönelimleri gibi unsurlar kompozit malzemenin özellikleri üzerinde belirleyici olmaktadır. Kompozit malzemelerde matris ve takviye fazının birbiri içerisinde çözünmesi olmamaktadır. Matrisle takviye malzemeleri arasındaki bağı geliştirmek amacıyla takviye malzemesinin yüzeyine, matris ile yapışmayı arttıran malzemeler kaplanabilmektedir.

Bu işlem martis ile takviye malzemesinin arayüzey yapışmasını arttırdığı için komozit malzemenin mekanik özelliklerine önemli ölçüde etki etmektedir. (Hull ve Clyne, 1996).



Şekil 2.2. Kompozit malzemelerde fiber ve matris malzemeler

Tarih içerisinde, kompozit malzemelerin kullanımı binlerce yıl önce, evlerin inşasında saman takviyeli kerpiç bloklar kullanılması ile yer edinmiştir. Günümüzde ise konvansiyonel malzemelerin yetersiz kaldığı veya özelliklerinin iyileştirilmesi gerektiği durumlarda kompozit malzemeler kullanılmaktadır.

Kompozit malzemeler temel olarak malzemelerin mühendislik açısından önemli olan özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla üretilmektedir. Bu özellikler;

• Mukavemet,

• Korozyon dayanımı,

• Termal dayanım,

• Elektrik iletkenliği,

• Akustik iletkenlik,

• Ağırlık,

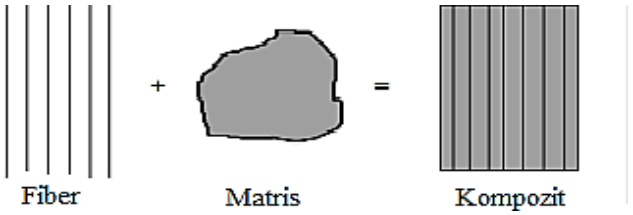
• Estetik görünüm,

• Fiyat.

Matris faz malzemesi kuvveti ara yüzey bağlantısı aracılığıyla takviye edici bileşene iletir. Böylece takviye bileşenini sabit yapıda tutarak deformasyonu önler. Takviye bileşenlerinin fonksiyonlarını yerine getirebilmeleri, matris malzemesinin mekanik özelliklerine büyük oranda bağlıdır (Hahn ve Tsai, 1980).

Takviye fazı, üretim esnasında matris fazı ile bağ kurar ve iletilen yükleri ara yüzey boyunca paylaşarak direnç sağlar. Bu nedenle kompozit malzemenin dayanımı ara yüzey bağının istenilen derecede olmasına bağlıdır (Qu, 1993).

Kompozit malzemelerin dezavantajlarından biri farklı yönlerinde farklı mekanik özellikler sergileyebilmesidir. Ayrıca Polimer matrisli kompozit mazemelerin üretimi esnasında hava boşluklarının oluşumu malzemenin başta yorulma özellikleri olmak üzere birçok mekanik özelliklerini düşürücü etki göstermektedir. (Arıcasoy, 2006). Örnek olarak kompozit malzemeyi oluşturan malzemeler Şekil 2.3'te gösterilmiştir



Şekil 2.3. Kompozit malzeme oluşumu (Mazumdar, 2002).

Kompozit malzemelerin üstün özellikleri şunlardır;

- Yüksek mukavemet/yoğunluk oranı
- Yüksek rijitlik/yoğunluk oranı
- Yüksek korozyon dayanımı
- Yüksek aşınma direnci
- Yüksek sıcaklık dayanımı
- Yüksek kimyasal direnç
- İyi termal ve ısı iletkenliği
- Çok iyi elektrik ve termik yalıtım özelliği
- Hafiflik
- Kalıcı renklendirme
- Titreşim sönümleme

Kompozit malzemeler üretim yöntemleri açısından kullanılan malzemelere bağlı olarak bazı avantajlarının yanında bazı dezavantajlarda içermektedir.
Kompozit malzemelerin dezavantajları şunlardır;

- Kompozit malzemeler üretilirken kullanılan üretim metotlarının kalitesine bağlı olarak her zaman ideal özellikler elde edilemeyebilir. Aynı yöntemle üretilen kompozit malzemeler için farklı mukavemet özellikleri görülebilir.
- Üretiminin zor olması
- İşlenme güçlüğü

- Geri dönüşümünün olmaması
- Maliyetinin yüksek olması (Arıcasoy, 2006).

2.1.1. Kompozit malzemelerin tarihsel süreci

İlk zamanlardan itibaren insanlar kompozit malzemeyi günlük hayatlarında kullanmışlardır. Örnek olarak kerpiç gösterilebilir. Kerpiç, bitki kökü ve saman içine killi çamur karıştırılarak üretilir. Bu şekilde malzemenin dayanımı yükseltilmiş olur (Şekil 2.4.). Kompozit malzemeler mühendislik açısından ilk kez 1940'lı yıllarda ele alınmıştır (Ersoy, 2001).



Şekil 2.4. Kerpiç oluşturulması

Cam liflerinin endüstri alanında kullanımı ile ilgili ilk bulgu, 1877 tarihidir. Hidrolik bağlayıcı yöntemi ve elyaf malzeme takviyesiyle sunni taş plakaların üretimi ile ilgili 1800‟ lü yüz yılın başlarında alınmış olan patentlere rastlanılmaktadır. Günlük uygulamalarda yaygın olarak kullanılan aspest ve cam elyaf lifleriyle takviye edilmiş polyester yapılı kompozitlerdir. Levha şeklinde kompozit malzeme yapımında kullanılan aspest ve çimento katkılı kompozitler güncelliğini koruyarak bugün halen kabul gören bir malzeme olma özeliğine sahiptir. Liflerle donatılı yapıda olan sentetik esaslı reçinelerin endüstride kullanımı 1950‟li yılların ortalarından günümüze kadar uzanmaktadır. Bu malzemelerden en bilineni “cam lif donatılı polyester reçine kompoziti” dir. Fiberglas olarak addedilen bu malzeme 1960‟lı yıllardan günümüze değin ülkemizde sıvı depolar, çatı levhası, küçük boyda deniz teknesi vs gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmıştır. Ülkemizde ilk yerli otomobil olan ve seri üretime yönelik tasarlanan “Anadol”un dış kaporta aksamı bu malzemeden yapılmıştır. Cam takviyeli plastiklerin üretiminde, günümüzde yaygın olarak kullanılan malzemelerden polyester diğer farklı yapıda termoset ve termoplastik yapılı reçinelerde de yaygın olarak kullanılmaktadır (URL- 1,2009).

İlk uygarlıkların kurulduğu Mezopotamya’da M.Ö. 3. binyıldan sonra tuğla ve bitümlü bir kerpicin (kuru tuğla) yapım işlerinde kullanıldığı görülmektedir. Bu kuru tuğlanın kar, yağmur gibi hava koşullarına yeterli miktarda dayanımı olmadığından pişirilerek kullanılmaya başlanmıştır. Bu malzemelerin kullanılmasının asıl nedeni, bölgede yeterli miktarda taş bulunmamasıdır. Anadolu’da ise M.Ö. 3. binyıldan itibaren içerisinde bitkisel maddeler ve iri kumlar içeren kil esaslı harçlar kullanıldığı görülmektedir (Ersoy, 2001).

19.yy başlarında çimento sanayisinin gelişmesiyle birlikte beton kullanımı önemli bir yere sahip olmuştur. Beton malzemesi; su, agrega, çimento ve kum malzemelerinden oluşmaktadır (Şekil 2.5.) (Karadeniz, 1989).

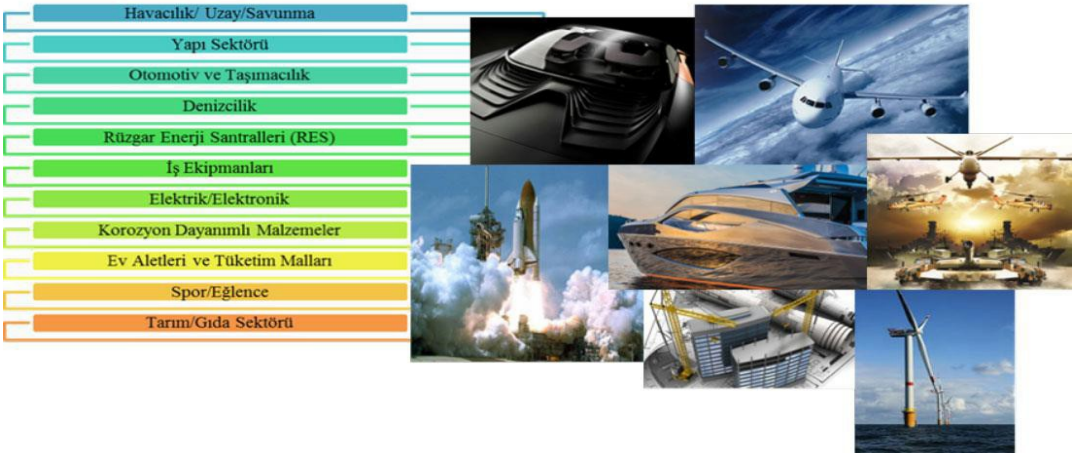


Şekil 2.5. Beton

19.yy sonlarında cam elyaf takviye malzemesi olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu malzemelerin sanayide kullanımı ise 1930'lu yılların sonlarına rastlamaktadır. Dayanım/ağırlık oranının yüksek olması nedeniyle son 50 yıldır kompozitlerde elyaf talviyesi kullanılmaktadır. Modern kompozitlerin ABD'de bulunan Owens Corning Fiberglass şirketinin cam elyaf satmaya başlamasıyla önemi artmıştır. Çok geçmeden cam elyaflar uçak sanayisinde yerini almıştır. Çünkü uçak sanayisinde hafif ve dayanıklı tasarımlar için cam elyaf çok önemli bir malzeme haline gelmiştir (Karadeniz, 1989).

2.1.2. Kompozit malzemelerin genel kullanım alanları

Kompozit malzemeler günümüzde maliyetlerin azaltılması, verimliliğin geliştirilmesi veya ürünlere ilişkin sorunların giderilmesi amacıyla çok çeşitli alanlarda artan bir kullanma sahiptir. Kullandığımız araçlarda, oturduğumuz binalarda, şehirlerin alt ve üst yapı şebekelerinde, deniz, hava, savunma, tarım endüstrilerinde kompozit malzemeler olarak sorunlara çözüm üretmektedir. Bu kapsamda kompozit malzemelerin kullanımda olduğu sektörlerin sınıflandırması Şekil 2.6.´da verilmektedir.



Şekil 2.6. Kompozit malzemelerin kullanım alanları (URL-1, 2018).

Kompozit malzeme kullanımının dünya üzerinde dağılımı hacim ve değer olarak farklılık göstermektedir. Uzay, havacılık ve rüzgar enerjisi sektörleri için kullanım değerleri pazarda üst sıralarda yer alırken hacim yönünden ise alt sıralarda yer almaktadır. Bunun başlıca nedeni, belirtilen sektörlerdeki kompozit malzemelerin ortalama fiyatlarının diğer sektörlere göre daha yüksek olmasıdır. Tablo 2.1'de kompozit malzeme kullanımının sektörlere göre genel olarak dağılımını detaylı olarak görülmektedir.

Tablo 2.1. Kompozit Malzemelerin Sektörlere Göre Hacim Olarak Dağılımı (%) *(*Composites Turkey, 2016)

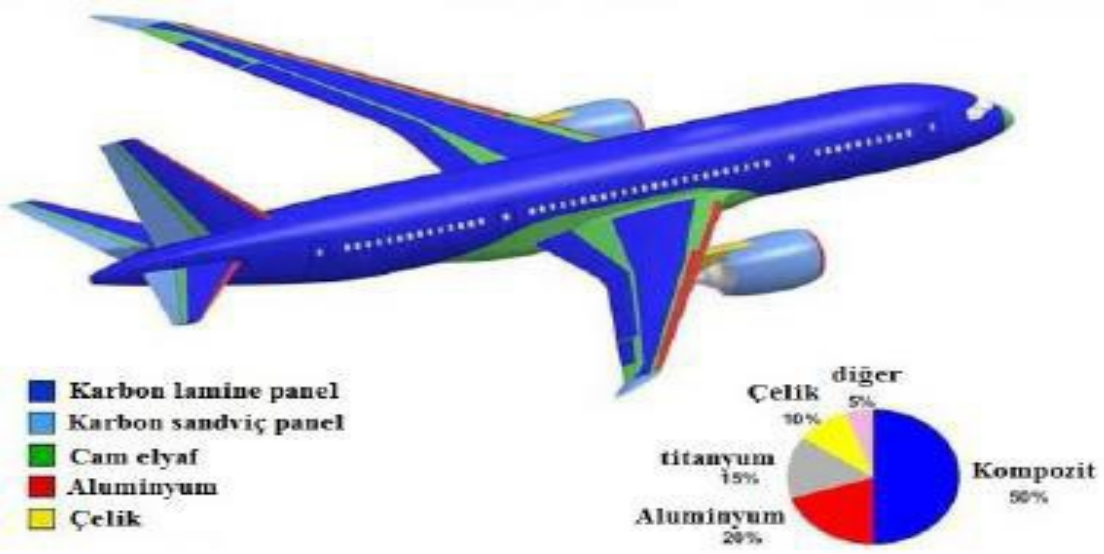
Sektörler	**Dünya(%)**	**Avrupa(%)**	**Türkiye (%)**
Yapı ve İnşaat	24.5	18	18
Taşımacılık ve Otomotiv	21	30	20
Elektrik ve Elektronik	19	14	3
Tüketim Malları	6	3	2
Rüzgar Enerjisi	7	12	5
Boru ve Tank	14	13.5	45
Uzay ve Havacılık	0.5	0.5	–
Denizcilik	4	5	2
Diğer	4	2	1

Deniz Endüstrisinde kompozit malzemeler, korozyon dayanımının yüksek olması, hafifliğinden kaynaklı yakıt tasarrufu sağlaması, hızlı hareket olanağı sunması ve konfor açısından avantajlar sağlamasından dolayı deniz endüstrisi uygulamalarında geniş bir uygulama alanları vardır. Kompozit malzemeler, gemi, yat, yolcu feribotları, deniz botları, can simidi vb. Ürünlerin üretiminde kullanılırlar. Deniz araçlarınınüretiminde kullanılan kompozit malzemeler genelde cam elyaf takviyeli plastik kompozitlerdir (Mazumdar, 2002).



Şekil 2.7. Kompozit malzemelerin deniz sanayisinde kullanımı

Uçak-uzay alanlarında kompozit malzemelerin kullanılmasının başlıca sebebi ağırlık azaltmaktır. Kompozit malzemeler kullanılarak % 25-30 civarında ağırlık azaltımı saglanabilmiştir. Günümüzde uçaklarda kullanılan kompozit kullanım oranları % 50'leri geçmiştir (Mallick, 2008). Şekil 2.8'de, Boeing 787'de kullanılan malzeme oranları görülmektedir.



Şekil 2.8. Boeing 787´de kullanılan kompozit malzemeler (URL-2, 2015)

Alman Daimler-Benz 1994 yılından beri doğal lif kompozitlerinden üretilen bileşenleri araçlarında kullanmaktadır. Keten, kenevir, sisal, yün ve diğer doğal fiberler kullanılarak Mercedes-Benz E-sınıfının birçok parçası üretilmiştir. Bunun yanında Daimler-Benz sisal, jüt, hindistan cevizi, keten ve kenevir fiber takviyeli polimer matrisli kompozitlerini cam lifi takviyeli kompozitler yerine araç parçalarında kullanmak için çalışmalar yürütmektedir. Mercedes S-sınıfı otomobilde doğal fiber kompozitlerinden imal edilmiş toplam 43 kg ağırlığa sahip 27 adet bileşen bulunmaktadır. Mercedes-Benz Travego otobüsünün motor/şanzıman mahfazası keten lifi takviyeli kompozitlerden üretilmiştir. Bu uygulama aynı zamanda doğal lif takviyeli kompozitlerin araç dış bileşenlerinde ilk kullanımıdır. Cam lifiyle karşılaştırıldığında bu parçanın %10 ağırlık ve %5 maliyet azalması sağladığı belirtilmiştir (Suddell ve Evans, 2005).



Şekil 2.9. Doğal kompozit malzemelerden üretilen otomobil parçaları

BMW, ürettiği araçlarda önemli miktarda doğal fiber takviyeli kompozit kullanmaktadır. Bu kapsamda 2004 yılında 10000 ton doğal lif kullanmıştır. Her bir BMW-7 serisi araçta 24 kg doğal malzeme bulunmaktadır. Bunlar keten ve sisal lifi takviyeli kapı panelleri, pamuk yalıtım malzemeleri, döşemelerde kullanılan yün lifleri ve koltuk arkalarında kullanılan odun lifi takviyeli plastiklerdir (Huda ve ark. 2008).

Tablo 2.2. Farklı Otomobil Markalarında Doğal Fiber Takviyeli Kompozit Kullanımı (Huda ve ark. 2008).

Marka	Model	Bileşen
Rover	Rover 2000 ve diğer	Bagaj raf ve paneli, yalıtım panelleri
Opel	Vectra, Astra, Zafira	Kapı paneli, koltuk, tavan ve gösterge panelleri
Volkswagen	Passat, Golf, Bora	Koltuk arkalığı, kapı paneli, bagaj alt paneli
Audi	A2, A3, A4, A6, A8, Roadstar, Coupe	Bagaj paneli, stepne kapağı, kapı ve koltuk paneli
Daimler-Chrysler	A,C,E,S sınıfı	Koltuk başlık paneli, kapı paneli, göğüs paneli
BMW	3,5,7 serileri ve diğer	Koltuk başlığı, tavan paneli, bagaj ve kapı panelleri
Honda	Pilot	Bagaj alanı
Peugeot	406	Ön ve arka kapı panelleri
Fiat	Alfa Romeo 159	Kapı paneli
General Motors	Cadillac DeVille, Chevrolet TrailBlazer	Koltuk arkalıkları, bagaj zemini
Toyota	ES3	Koltuk başı ve diğer iç komponentler
Saturn	L300	Torpido ve kapı panelleri
Ford	Mondeo	Kapı panelleri, zeminler
Saab		Kapı panelleri
Toyota	Raum	Stepne kapağı, zeminler
Mitsubishi		Bagaj zemini, kapı panelleri, gösterge paneli
Mercedes-Benz	C, S, E ve A sınıfı	Kapı paneli, torpidolar, gösterge paneli, yalıtım malzemeleri, koltuk arkalıkları
Ford	Mondeo CD 162, Focus ve Freestar	Bagaj panelleri, kapı panelleri

2.1.3. Kompozit malzemelerin sınıflandırılması

Kompozit malzemeler kısaca, mekanik özellikleri büyük ölçüde belirleyen çeşitli geometrik parçalardan, takviye malzemesi ve bu bileşenleri birlikte tutan polimer, metal ve seramik matris malzemelerinden oluşmuştur. Bünyesinde bir çok malzeme içeren kompozit malzemelerin sınıflandırılması çok farklı şekillerde olabilmektedir. Ancak en çok kullanılan sınıflandırma şekli, bünyesinde bulunan matris ve takviye malzemesi içeriğine göre yapılmaktadır (Kaya, 2016)

2.1.3.1. Kompozitlerin matris malzemesine göre sınıflandırılması

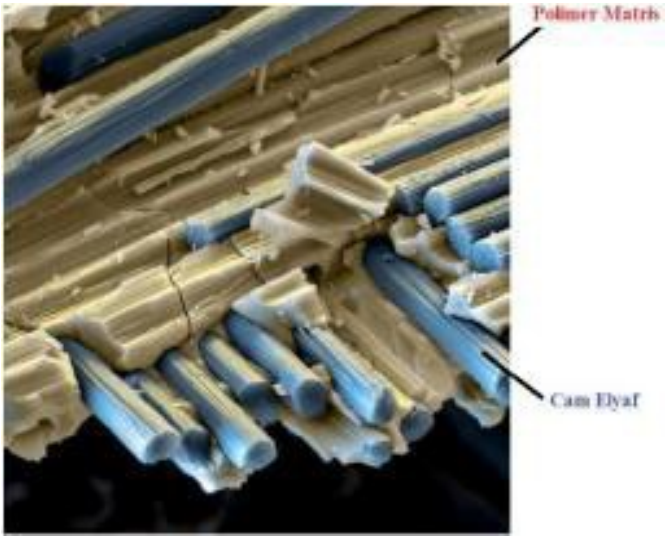
Kompozitler matris malzemesine göre üçe ayrılırlar.

- Metal Matrisli Kompozitler (Al alaşımları, Titanyum alaşımları vb.)
- Seramik Matrisli Kompozitler (Silisyum Karbür vb.)
- Polimer Matrisli Kompozitler (Polipropilen, Polietilen, Poliüretan, Epoksiler vb.)

2.1.3.1.1. Polimer matrisli kompozit malzemeler

Kompozitler içinde en yaygın kullanılan matris malzemesi polimerlerdir. Polimerler yüksek mekanik özelliklere sahip değildir. Bir çok uygulamada mekanik özellikleri eksik kalmaktadır. Mukavemetleri metaller ve seamiklere kıyasla düşüktür. Polimerler malzemelerin matris malzemesi fazında yaygın şekilde kullanım nedeni, üretimi sırasında yüksek sıcaklık değeri ve yüksek basınç değerine ihtiyacı duyulmamasıdır. Bu nedenden dolayı polimerin kompozit malzemelerde kullanılması çok yaygındır. (Matthews ve Rawlings, 1999).

Polimer matris içeren kompozit malzemeler termoset malzeme, termoplastik malzeme ve kauçuk malzeme olmak üç grup olarak sınıflandırılır. Polyester reçine ve epoksi reçine malzemeleri, diğer polimer matris malzemelerine göre daha fazla kullanılırlar. Kullanılan takviye elemanları genel olarak cam, karbon, kevlar fiber malzemeleridir.Polimer matrisli kompozitlerin üretiminde genel olarak; elle sıvama yöntemi, pultrüzyon yöntemi, tel sarma yöntemi, sıvı akış tekniği yöntemi, takviyeli reaksiyon yöntemi, ekstrüzyon ve enjeksiyon kalıplama yöntemleri kullanılmaktadırç. Polimer matrisli kompozitler korozyona karşı dirençleri yüksek olması nedeniyle denizcilik alanında, düşük ağırlıkları nedeniyle otomotiv, taşımacılık ve spor alanlarında kullanıma sahiptirler (Arıcasoy, 2006). Şekil 2.10'da polimer matris içeren kompozit malzeme görülebilir.



Şekil 2.10. Polimer matrisli kompozit (Salpietra 2010).

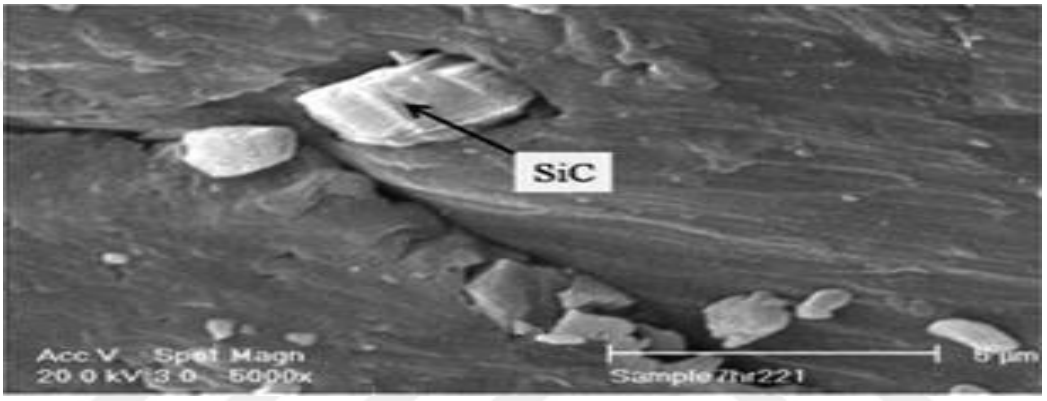
2.1.3.1.2. Metal matrisli kompozit malzemeler

Genelde metal matrisli kompozitlerde Al, Ti, Mg, Ni, Pb, Fe, Sn, Zn, Ag, ve Si gibi malzemeler matris malzemesi olarak kullanılırlar. (Akbulut, 2001). Ancak genellikle düşük yoğunluk değerine sahip Al, Mg, Ti metaller ile en iyi matris özellikleri elde edilir ve en çok kullanılanlardır (Clyne ve Withers, 1993).

MMK malzeme üretimi, temin kolaylığı, matris ile yüksek uyumluluk, çekme dayanımı, elastiklik, partikül yapıları gibi özellikler dikkate alındığında, kimyasal yapısına göre oksit, karbür, nitrür ve diğerleri olmak üzere dört ana grupta sınıflandırılarak, takviye malzemeleri kullanılmaktadır (Toptan, 2006).

Tablo 2.3. MMK Malzemeler için Literatürde Sıklıkla Kullanılan Takviye Malzemeleri (Chawla, 2006)

Sürekli Fiberler	Al2O3, B, C, SiC, Si3N4, Nb-Ti, Nb3Sn
Süreksiz Fiberler Viskerler Kısa Fiberler	 SiC, TiB2, Al2O3 Al2O3, SiC, Karbon fiberler
Partiküller	SiC, Al2O3, TiC, B4C, WC



Şekil 2.11. Metal matrisli kompozit mikroyapı görüntüsü (Al matris içerisine gömülen SiC partikülü) (Rostamzadeh and Shahverdi, 2011).

Metal matrisli malzemelerin üretilmesinde kullanılan malzeme çeşitliliğinin fazla olması farklı üretim metotlarının gelişimine sebep olmaktadır. Üretim çalışmalarında matrisin fazının sıvı, katı veya buhar fazında olması durumunda, MMK'lerin üretim yöntemlerinin şekilde gösterildiği gibi sınıflandırılması mümkündür(Eker, 2008).

Katı faz üretim yöntemleri

- Difüzyonla bağlama
- Toz metalurjisi (TM)
- Haddeleme

Sıvı faz üretim yöntemleri

- Sıvı Metal İnfiltrasyon
- Basınçlı İnfiltrasyon
- Basınçsız İnfiltrasyon

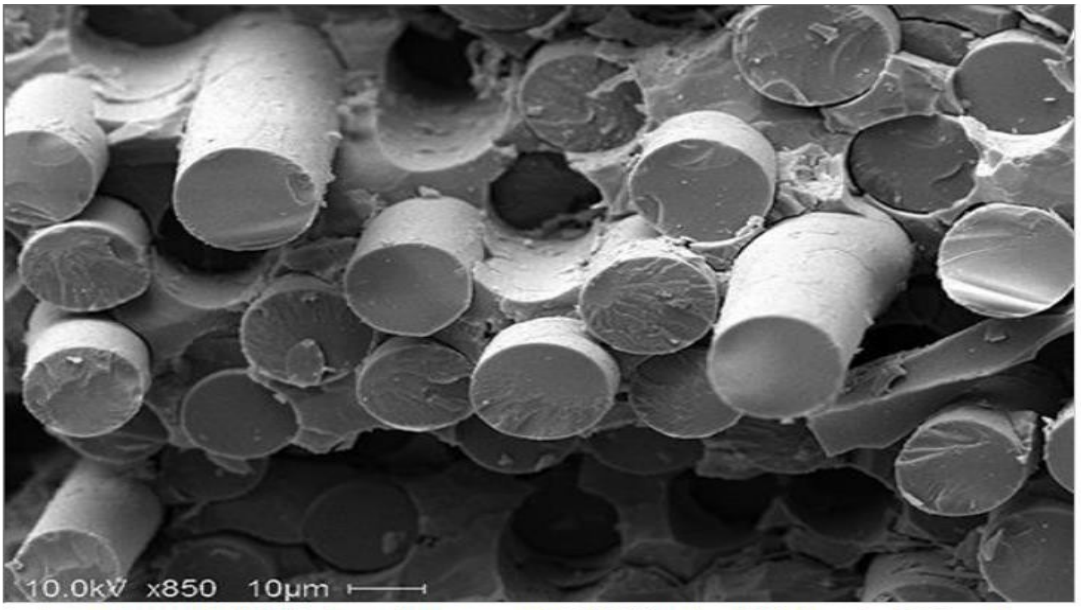
- Sıkıştırma Döküm
- Sıvı Metal Karıştırma
- Plazma Püskürtme

Diğer yöntemler

- Rheocasting ve Compocasting Döküm Yöntemleri
- Vidalı Ekstrüzyon
- In-Situ Tekniği
- XD Tekniği

2.1.3.1.3. Seramik matrisli kompozit malzemeler

Seramik malzemeler görece yüksek mukavemet ve rijitlik özelliklerine sahiptir. Ancak gevrek yapıdadır. Bundan dolayı, seramik matris kompozitlerin geliştirilmesi ve üretilme amacının başında tokluklarının arttırılması gelir. Böylece seramik malzemelerin yüksek mukavemet ve rijitlik değerinden yararlanılarak gevrekliğin düşürülmesi amaçlanır (Matthews ve Rawlings, 1999). Bu matris malzemeleri genellikle gaz türbinleri bıçağı, otomotiv motor bileşenleri benzeri yüksek sıcaklık değerlerinin olduğu sistemlerde kullanılırlar (Mallick 1997). Şekil 2.12'de seramik matrisli kompozit örneği görülmektedir.



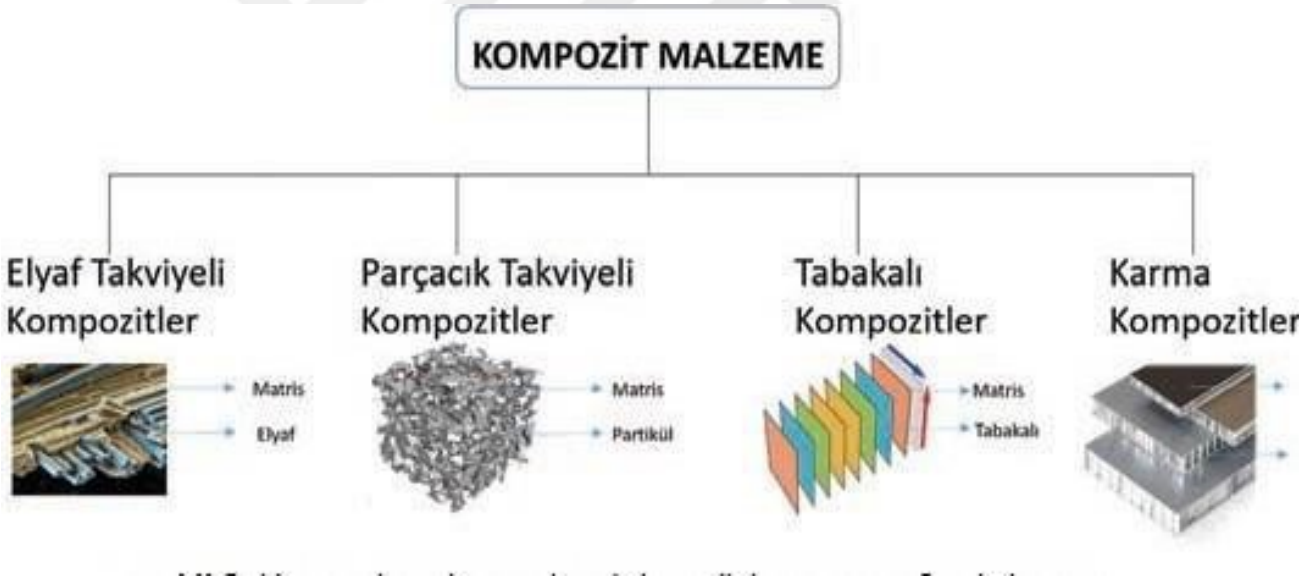
A photo micrograph (SEM) shows the company's SiNC fiber in a CVI deposited SiC matrix.
Source: MATECH

Şekil 2.12. Sic Matrisli Seramik kompozitler (Wood, 2013)

Seramik matris malzemeli kompozitlerde genel olarak kullanılan bileşikler; Al2O3, SiC, Si3N4, B4C, CBN, TiC, TiB, TiN ve AIN'dir. Birbirinden farklı özelliklerde olan malzemelerin bir ya da daha fazlasının kullanılması ile seramik matris kompozitler elde edilir. Seramik matrise eklenen takviye malzemeleri; karbon takviye malzemesi, cam ve seramik takviye malzemeleridir. Alumina ve zirkonya kullanımı ile oluşturulan seramik matrisli kompozitler son yıllarda bio malzeme olarak da kullanılmaya başlanmıştır (Arıcasoy, 2006).

2.1.3.1.4. Kompozit malzemelerin takviye türüne göre sınıflandırılması

Kompozit malzemeyi oluşturan takviye edici malzemeye göre sınıflandırma Şekil 2.13'de verilmiştir.



Şekil 2.13. Kompozit malzemelerin takviye türüne göre sınıflandırılması

Yukarıdaki özellikleri kapsayan kompozit malzemeler, takviye elemanlarına göre dört ana grupta ele alınır (Şahin, 2006). Bunlar;

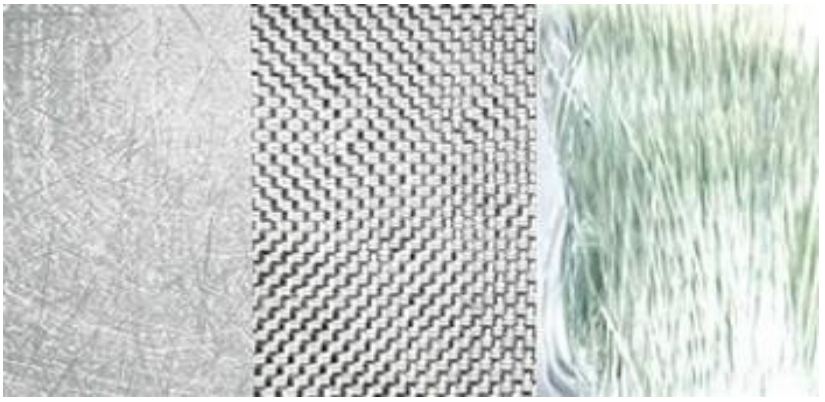
- Elyaf takviyeli kompozit malzemeler,
- Parçacık takviyeli (Taneli) kompozit malzemeler,
- Tabakalı kompozit malzemeler olarak sıralanır.
- Karma kompozit malzemeler olarak sıralanır.

Kompozit malzemeler de takviye elemanları malzemenin üstün özelliklerini ortaya çıkarmada kullanılır. Elyaflar, kompozit içerisinde genelde yük taşıma amacıyla kullanılmaktadır. Matris malzeme, kompozit üstündeki yükü elyaflara transfer ederek malzemenin üstün mühendislik özelliklerinin elde edilmesi ön görülür. Bu tür kompozitlerde takviye elemanı olarak birçok malzeme kullanılabilir (Şahin, 2006).

2.1.3.1.5. Elyaf takviyeli kompozitler

Elyaf takviyesi, malzeme içerisinde bulunan küçük boyutlu elyafların matris yapıda yer almasıyla meydana gelmiştir. Elyaf malzemesinin matris içerisindeki yerleşimi, mukavemeti, boyut oranı ve takviye malzemesi ile matris arasındaki bağın yapısına göre kompozit malzemenin mekenik özellikleri belirlenmektedir. (Şahin, 2000).

Kompozit malzemelerin en yaygın kullanılan türü elyafların takviye malzemesi olarak kullanıldığı kompozitlerdir. Elyaf takviyeli kompozitlerde takviye malzemesi olarak en fazla cam elyafı kullanılmaktadır. Matris olarak en fazla plastik reçineler kullanılan türlerden olup bunlardan da polyester ucuzluğu sebebiyle ilk sırayı almaktadır. Lif takviyeli kompozit malzemeler-de bileşen malzemeler, moleküler boyutta birbirinden farklıdırlar ve mekanik olarak birbirinden ayrılabilirler. Kullanılan matris malzemeleri termoset veya termoplastik olabilmektedir. Takviye lif-leri, uzun liflerden, dokuma kumaş, kısa kesilmiş lifler vb. değişik formlarda olabilirler. Her biçim ayrı özelliklerle sonuçlanır. Kompozit malzemenin mekanik özellikleri, liflerin malzeme içerisinde yönelimine bağlı olarak değişmektedir. (Vasiliev ve Morozov, 2001).

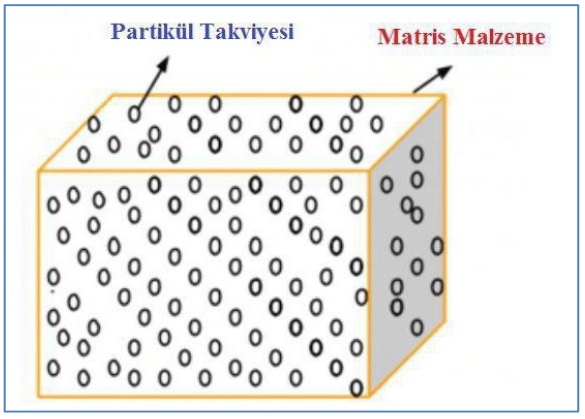


Şekil 2.14. Cam elyaf malzemesi

2.1.3.1.6. Parçacık takviyeli kompozitler

Bir matris malzemesinin içinde başka bir malzemenin parçacık şeklinde bulunması ile elde edilen izotrop yapıda malzemelerdir. Parçacıklı kompozitler yüksek dayanımdan haricinde, alışılmışın dışında birleştirilmiş özellikler elde etmek için oluşturulmaktadır. (Şahin, 2000).

Şekil 2.15'te partikül malzemelerinin takviye olarak kullanıldıgı kompozit malzeme temsili şekli görülebilir. Partikül takviye malzemelerinin ölçüleri yaklaşık 1 µm'dan birkaç mm'ye aralığında değişebilir. Hacim oranları %80'e kadar çıkabilmektedir, bu oran hazırlanan kompozit karışımının kullanılacağı yerdeki fonksiyonuna göre değişebilir (Czichos ve Hennecke, 2010).

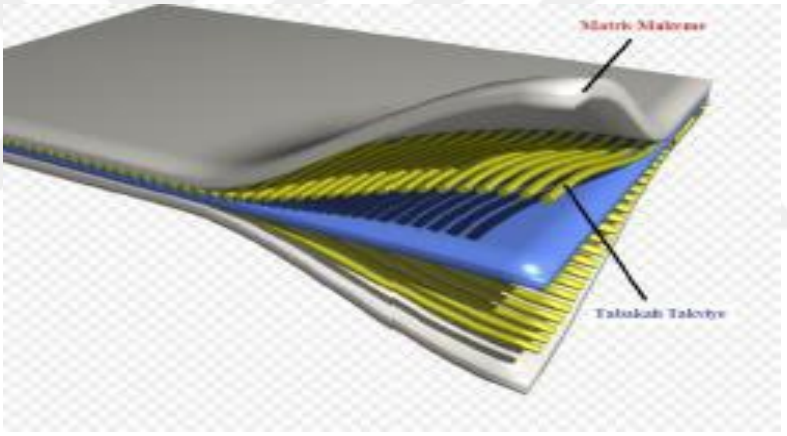


Şekil 2.15. Partikül takviyeli kompozitler (Chandu, 2017)

2.1.3.1.7. Tabakalı kompozit malzemeler

Malzemenin temel eksenleri doğrultusunda farklı yönlerdeki tabaka takviye malzemesinin üst üste konularak bir araya getirilmesi sonucunda oluşan kompozitlerdir. Farklı elyaf yönlenmesine sahip tabakaların bir araya getirilmesi ile çok yüksek mukavemet değerleri elde edilir. Isıya ve neme daha fazla dayanım gösterirler. Metallere kıyasla daha hafif ve dayanıklı olmaları dolayısıyla tercih edilen malzemelerdir. (Şahin, 2000).

Tabakalı kompozitler, üretim yöntemlerine bağlı olarak katmanlar halinde üretilen ve biçimlendirilen levha yapısında kompozitlerdir. Şekil 2.16'da tabakalı kompozit malzeme örneği görülebilir. Tabakalı kompozit malzeme; tabakalanmış takviye malzeme grubu ve bir bağlayıcı malzemeden oluşmaktadır. Takviye ve bağlayıcı malzemenin sıcaklık altında preslenmesiyle kompozit malzeme oluşturulmaktadır. (Czichos ve Hennecke, 2010).



Şekil 2.16. Tabakalı kompozit örneği

2.1.3.1.8. Karma kompozit malzemeler

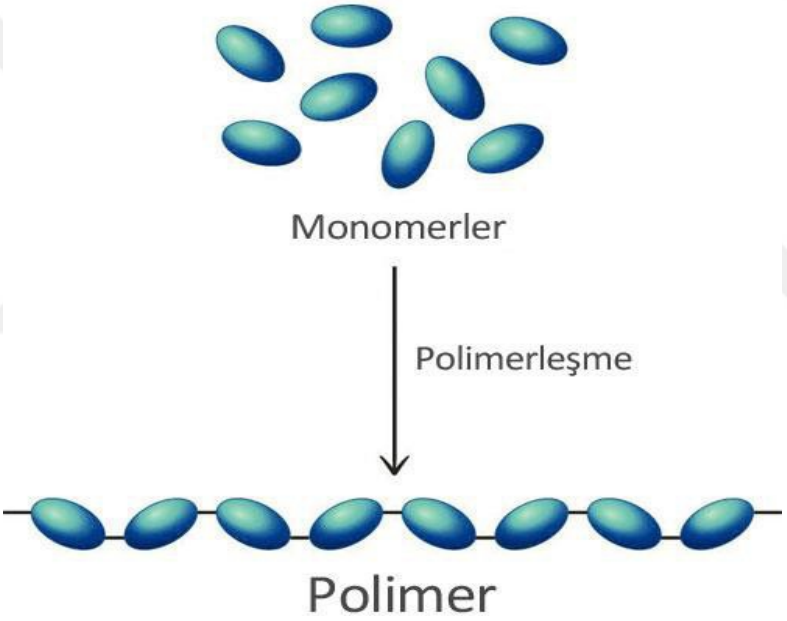
Aynı kompozit yapıda iki ya da daha fazla elyaf malzemesinin bulunması mümkündür. Bu tip birden fazla takviye malzemesi içeren kompozitlere hibrit kompozitler denir. (Erkan, 2011)

Aynı kompozit malzemede enaz iki elyaf çeşidinin bulunması ile üretilen kompozitler hibrit kompozit olarak adlandırılırlar. Hibrit kompozitler enaz iki ve daha fazla takviye malzemesi ürünlerinin kullanılması ile hazırlanan kompozit malzemelerdir. Hibrit

kompozitlerde kullanılan belli türlerdeki fiberlerin sahip oldukları farklı fiziksel, mekaniksel, kimyasal özelliklerin bir başka fiberin sahip olduğu üstün özelliklerle arttırılarak tekbir fiberle ulaşılamayacak özelliklerin yeni üründe elde edilmesi sağlanmaktadır (Erbay, 2009).

2.1.4. Kompozit malzeme üretiminde kullanılan polimerler

Polimer ,monomer adı verilen daha küçük moleküllerin birbirleri ile tekrarlar halinde bağlanmasıyla oluşan uzun zincirli yapıda moleküllerdir. Aynı monomerlerden oluşan polimerlere homopolimer, iki veya daha fazla farklı tip monomerden meydana gelen polimere ise kopolimer denir. Bir kimyasal tepkime sırasında polimer oluşumu, polimerleşme olarak isimlendirilir, bu tür reaksiyonlara ise polimerizasyon reaksiyonları denir (Saçak, 2014).



Şekil 2.17. Monomer yapıların polimerleşmesi

Polimer matris malzemesi içeren kompozitlerde; matris malzemesi polimer reçinenin kullanımı, takviye malzemesi olarak elyaf kullanımı ile oluşturulmaktadır. Kolay üretilmesi ve maliyetin düşük olması nedeniyle en çok kullanılan kompozit malzemelerdir. Bu kompozit malzemelerde yaygın olarak kullanılan matris malzemesi ve reçineler polimer malzemeler içinde termosetler grubu içinde yer almaktadır. Polimer malzemeler termoset, termoplastik ve elastomer olarak üç ana gruba ayrılmaktadır (Deniz, 2005).

Termoset malzemeler;

Termosetler termoplastiklerden farklı olarak yalnızca bir defa ısıtılıp şekillendirilmektedir. Bir daha ısıtılması durumunda tekrar şekil verilememektedir. Termosetler uzun molekül zincir yapılarında çapraz bağlar ile birbirlerine bağlanmakta ve tekrar ısı verilmesi durumunda ise birbiri üzerinde kayma özelliklerini kaybetmeleri nedeniyle tekrar şekillendirilemez. Termoset malzemelerde genel olarak ısı ve basınç etkisi sonucunda son şeklini alırlar. Termoset reçinelerin genel kullanım alanları mobilya yapımı, inşaat sektörü ve çeşitli yapı elemanlarında ve otomotiv sanayisinde kullanılmaktadır. Termoset plastikler malzemeler arasında en çok kullanılanları polyester, epoksi, fenolik, poliüretan ve silikon malzemeleridir (Karslı, 2016).

Termoset Polimer Malzemeler:

1 . Epoksi reçineler
2. Fenolik reçineler
3. Polyester reçineler
4. Silikon
5. Poliüretan
6. Siyanet Ester

Termoplastik malzemeler

Termoplastik malzemeler termoset malzemelerden farklı olarak ısıtıldığında yumuşayan akışkan soğutulduğunda ise sertleşen bir malzemedir. Termoplastikmalzemeler ısıtıldığında özelliğini kaybetmemesi nedeniyle birden fazla kez ısıtılıp yeniden şekillendirilebilir. Dolayısıyla termoplastikler yeniden işlenebilme özelliğine sahiptir. Isıtıldıklarında akıcı duruma gelir ve kullanılan kalıb malzemesinin şeklini kolayca alabilir. Elektrik yalıtkanlığı iyi olan malzemelerdir. Darbe karşısında iyi dayanım göstermekte, sertlik bakımından mukavemeti düşüktür, Sünektir, oda sıcaklığında işlenmesi zor olmaktadır. Kullanım alanları genel olarak havacılık ve otomotiv sektörlerinde olmaktadır (Şahin, 2006).

Elastomerler

Elastomerler çapraz bağlı polimerlerik yapısına bağlı olarak çekme kuvveti etkisiyle %500´e kadar elastik uzama gösteren yapıdadır. Doğal kauçuk ve sentetik kauçuk genel olarak kullanılan iki çeşit elastomer malzemelerdir (Şahin, 2006).

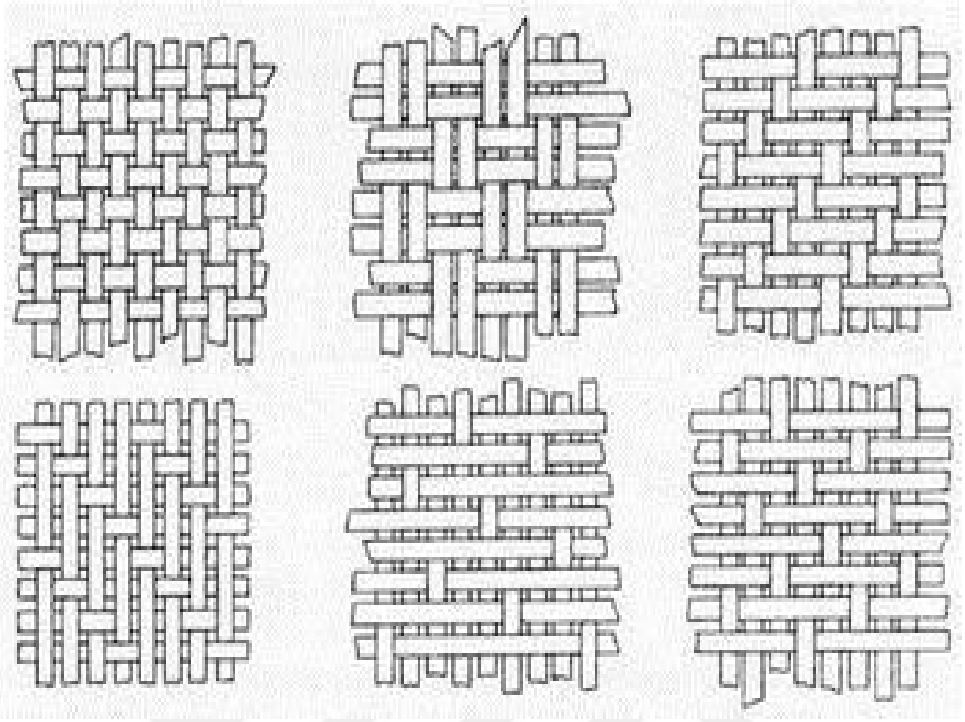
2.1.5. Kompozit malzeme takviye elyafları

Kompozit malzemelerde elyaf takviyeleri malzemenin dayanımı ve oluşumunda çok büyük paya sahiptir. Takviye elemanları kompozite uygulanan kuvveti yaklaşık olarak %90 oranında taşımaktadır, matris malzemesinin rijitlik, mukavemet, elektrik iletkenliği yada yalıtkanlığı, sıcaklık dayanımı, elastik modülü, sertlik gibi özelliklerini yükseltmektedir. Takviye elemanlarının matris malzemesi üzerine gelen yükü iyi bir şekilde taşıyabilmesi için arayüzey bağlantısının iyi olması gereklidir. Bunun dışında kompozit malzemenin taşıyacağı yüke göre elyaf liflerinin yönlenmesinin ayarlanması, uygun takviye malzemesi seçilmesi, takviye elemanının ölçüleri ve matrisin elyafa iyi bir şekilde yapışması gibi unsurlara dikkat etmek gereklidir. Kompozit malzemelerde takviye elemanları farklı formlarda olabilirler. Bunlar; parçacık, sürekli ve süreksiz elyaf şeklinde olabilir (Şahin, 2006).

Elyafların malzemelerine göre birçok çeşitleri vardır bunlar;

1. Cam elyafı,
2. Karbon (Grafit) elyafı,
3. Aramid (Kevlar) elyafı,
4. Bor elyafı,
5. Silisyum Karbür
6. Alüminyum Oksit
7. Doğal elyaflardır.

Bu elyaf malzemeleri içinde en çok cam, bor, karbon ve aramid elyafları kullanılmaktadır (Şahin, 2006).

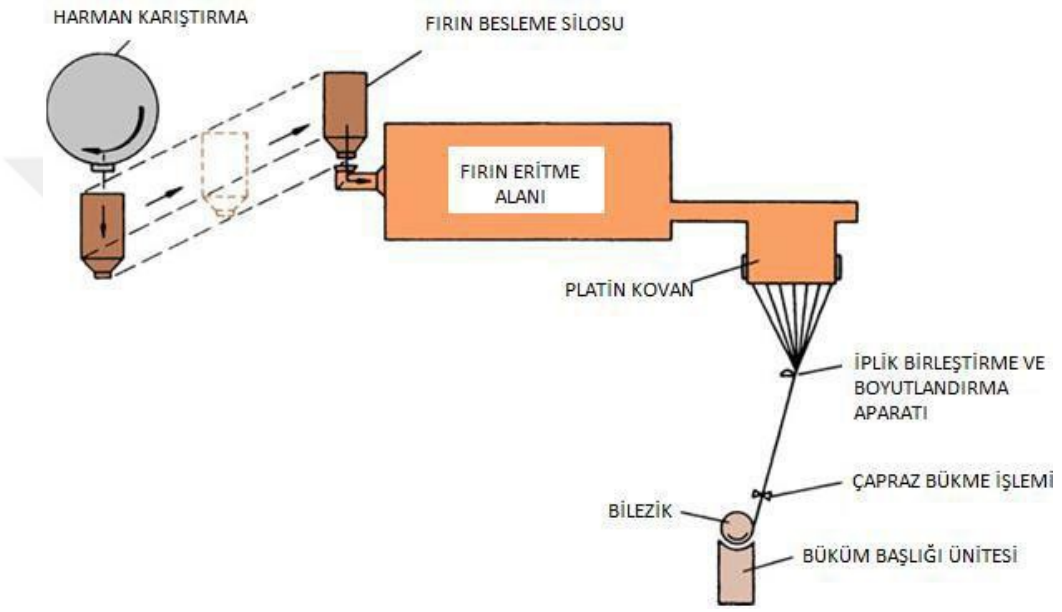


Şekil 2.18. Elyaf takviyelerin dokuma türleri

2.1.5.1. Cam elyaf takviye malzemesi

Cam elyafları kompozit malzemelerin başlıca takviye malzemelerindendir. Yüksek mukavemet özellikleriyle beraber ekonomik oluşunun da bu kadar yaygın kullanımında payı büyüktür. Cam lifleri farklı matris malzemeleriyle kullanılmasına rağmen, en çok kullanılan alan cam takviyeli plastik (CTP) sanayisidir. Cam elyafında yüksek oranda silis kum (SiO_2) bulunmaktadır.

Polimer içerikli kompozit malzemelerde yaygın bir şekilde kullanılan ve en ucuz takviye elemanıdır İngiltere‟de 1930‟lu yılların başından itibaren Cam lifleri ticari anlamda üretilmeye başlanmış olup bu malzeme ile plastik malzemenin donatılmasına ise 1950‟li yıllarda başlanmıştır. Önceleri, cam liflerinin üretiminde A-camı bir başka ifadeyle "alkali cam" kullanılmıştır. Kullanım açısından A- Camını az alkali içeren ve üstün fiziksel ve elektriksel özelliklere sahip olan borsilikat camı, kısaca E- camı takip etmektedir(Çuhadar, 2005).



Şekil 2.19. Cam elyaf üretim sistemi (Chawla, 2011)

Farklı tipte dört cam elyafı vardır:

1. Alkalli Camı (A): Alkal oranı yüksektir. Bu sebepten elektrik iletkenliği iyidir. Kimyasal direnci iyi seviyede olup en çok kullanılan cam tipidir.

2. Korozyon Camı (C): Yapının kimyasal tip çözeltilere karşı direnci oldukça yüksektir. Depolama tanklarında kullanılabilmektedir.

3. Elektrik Camı (E): Yapısında yüksek olmayan alkali oranı sayesinde elektriksel yalıtkanlığı rakip cam tiplerine oranla daha yüksektir. Mukavemetleri oldukça yüksektir. Suya karşı direnç seviyesi yüksektir. Bu sebeplerden dolayı nemli ortamlarda yaygın kullanım alanı bulmaktadır.

4. Mukavemet Camı(S): Mukavemeti yüksek, yüksek sıcaklıklarda yorulma dayanımı iyi bir malzemedir. S camındaki elyaf çapları E camı ile kıyaslandığında S camındaki tellerin

çapları %50 daha düşüktür dolayısıyla lif sayısındaki artış üretilen kompozit malzemelerin çok üstün özelliklerde olmasını sağlar **(**Yıldırım, 2009).

2.1.5.2. Karbon elyaf takviye malzemesi

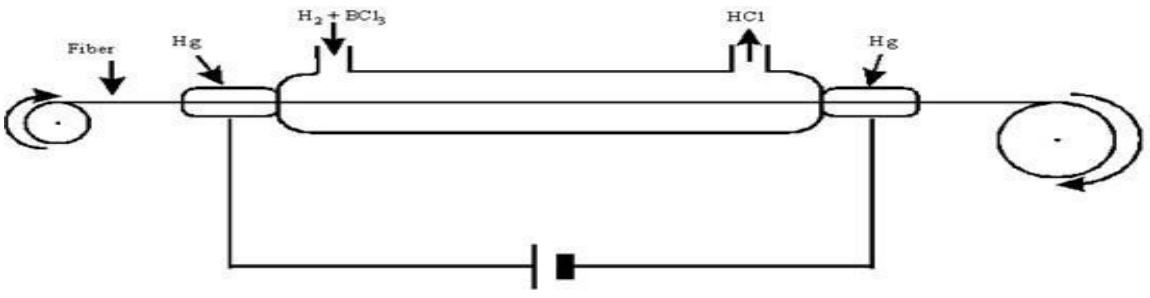
Karbon elyaf malzemesinin en önemli özelliği düşük yoğunluğu ile birlikte yüksek mukavemet ve tokluk değerlerine sahip olmasıdır. Karbon elyaflar, nem karşısında herhangi bir etkide kalmazlar ve sürünme dayanımları çok yüksektir. Aşınma ve yorulma mukavemetleri gayet iyidir. Bu nedenle askeri ve sivil uçak yapılarında yaygın bir kullanım alanına sahiptirler. Karbon elyaflar çeşitli plastik matrislerle ve en yaygın olarak epoksi reçinelerle kullanılırlar. Ayrıca karbon elyaflar alüminyum, magnezyum gibi metal matrislerle de kullanılırlar Karbon fiberlerin ticari olarak kullanımı, ilk olarak Thomas Edison'un pamuk ve bambu fiberlerinin karbonizasyonunu sağlayarak akkor filamanlı ampullerde kullanması kabul edilir (Rouchan, 1987).

2.1.5.3. Aramid elyaf takviye malzemesi

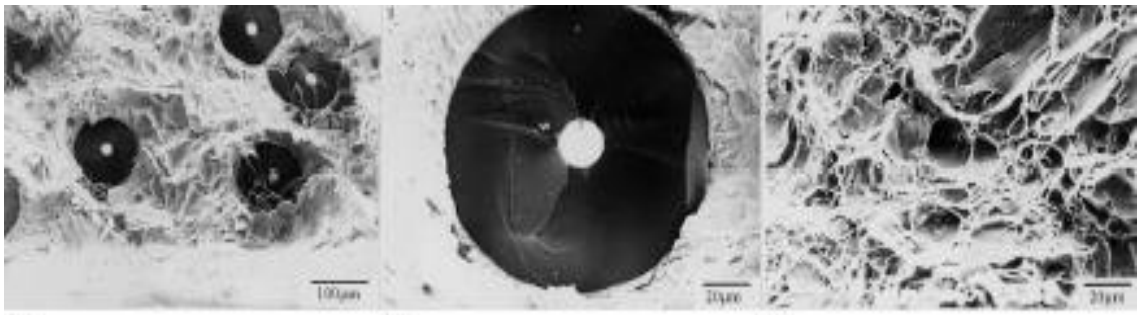
Aramid' olarak adlandırılan malzeme aromatik polyamid' in kısa biçimidir. Polyamid malzemeler uzun zincirli polimer malzemelerdir, aramidin moleküler yapısı içerisinde altı karbon atomu birbirine hidrojen atomu ile bağlanmıştır. Aramid elyafı piyasada daha farklı olan, ticari olarak isimleri Kevlar ve Twaron şeklinde anılmaktadırlar. (Schawartz, 1984).

2.1.5.4. Bor elyaf takviye malzemesi

Bor elyaf malzemeler kendi bünyesinde bir kompozit yapıdadır. Çekirdek olarak isimlendirilen ince bir flamanın üzerine bor kaplaması yapılarak imal edilirler. Çekirdek genel olarak Tungstendir. (Schwartz, 1984).



Şekil 2.20. Bor elyafın üretim şeması (Bunsell ve Renard, 2005).



Şekil 2.21. Ti matris içerisinde bor elyafı sem görüntüsü (Mizuuchi ve ark., 2006)

2.1.5.4. Doğal elyaf takviye malzemesi

Dünyada kullanılmakta olan liflerin %61'i bitkisel kaynaklı, %5'i hayvansal kaynaklı, %34'ü kimyasal kaynaklıdır. Bitkisel lifler arasında bulunan pamuk lifi, lif üretiminin %54'ünü oluşturmaktadır. Doğal lifler insan sağlığı açısından olumlu özelliklerde olması, yapay liflere kıyasla, bu liflere olan ihtiyaç kapasitesini arttırmaktadır. Üç gurupta incelenmektedir. Bitkisel lif, hayvansal lif ve madensel lifler olarak sınıflandırılmaktadır (MEB, 2011).

Fiber malzemeleri, doğal fiber, sentetik organik fiber, sentetik inorganik fiber olmak üzere üç gruba ayrılmıştır.. Doğal fiber malzemeleri pamuk, ipek ve yün gibi bitkisel veya hayvansal kaynağa dayanan malzemelerdir. Sentetik organik fiber malzemeleri en kapsamlı kullanım alanı olan malzemeler aramid ve polietilendir. Sentetik inorganik fiber malzemeler arasında en kapsamlı kullanıma sahip örnekler, cam elyaf, alumina, karbon ve silikon malzemeleridir (Matthews ve Rawlings, 1999).



Şekil 2.22. Birtakım doğal elyaf lif çeşitleri

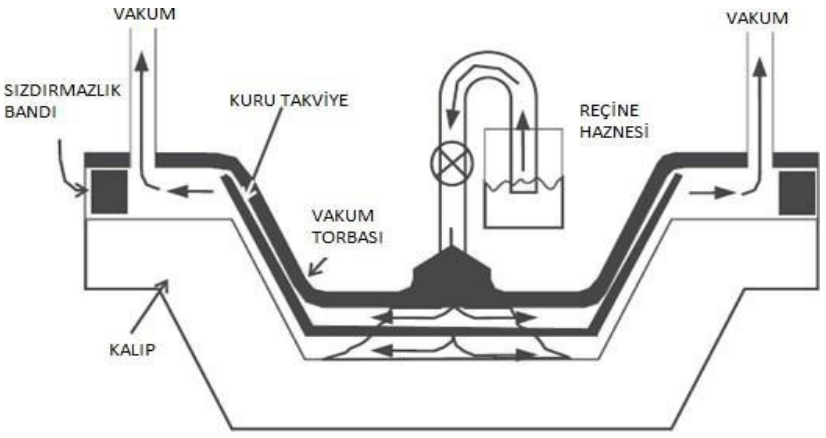
3. POLİMER MATRİSLİ KOMPOZİTLERDE UYGULANAN ÜRETİM YÖNTEMİ

3.1. Vakum Destekli Reçine Transfer Yöntemi

Vakum destekli reçine transfer yöntemi ile üretim tekniği genel itibarı ile elyaf yapılı kompozit kumaş malzemenin bir kalıp içerisine yerleştirilmesi ve reçinenin elle kalıp içine dağıtılması aşamasından sonra yapılan bir işlemdir. Vakum torbalama üretim metodu ile uygulanmakta olan elle kalıplama yöntemi ve kompozit üretimi yönteminin dezavantajlarını ortadan kaldırarak daha uygun ve daha az ağırlıklı kompozit üretimine imkan tanımaktadır. Vakum torbalama yöntemi ile elle kalıplama yöntemi arasındaki temel fark işlemin vakum altında uygulanmasıdır (Alemdaroğlu ve Kayran, 2007).

Üretilen tabakalı kompozit yapı içerisinde hava kabarcıklarının oluşturduğu boşluklar azaltılmakta ve bu yöntemle çatlak oluşma nedenleri ortadan kaldırılmaktadır. Böylece yapının dayanımı önemli miktarda artmaktadır. Vakum uygulaması ile tabakalı yapı içerisinde kalan fazla reçine takviye malzemesi ile nüfuziyet sağlayarak, malzemenin lif-reçine oranının yükseltilmesi sağlanmaktadır. Vakum uygulaması ile reçinenin bütün tabakalar arasında iyi bir şekilde yayılması sağlanmaktadır. Böylece malzeme içerisinde homojen bir reçine dağılımı görülmektedir. Homojen reçine dağılımı ise, yapıda mukavemet değerinin hesaplanabilir olmasını sağlamaktadır (Alemdaroğlu ve Kayran, 2007).

Vakum uygulaması sırasında tabakalar birbirleri üzerine baskı oluşturacaktır. Bu sayede elyaf malzemesinin birbirleri ile olan birleşim mukavemeti daha yüksek olacaktır. Yöntemin dezavantajı olabilecek yönü ise elle kalıplama yöntemine kıyasla daha maliyetli olmasıdır. Şekil 3.10' de vakum transfer yöntemi şematik olarak gösterilmiştir (Alemdaroğlu ve Kayran, 2007).



Şekil 3.1. Vakum destekli reçine transfer yöntemi (Barbero, 2018)

4. DOĞAL FİBER MALZEMELER

Doğal fiberler, bitkilerden bulunan fibril yapısında, fotosentez işlemi sonucu bitki yapısının gelişmesiyle oluşan malzemelerdir. Bu fiber malzemeler, fotokütle, biyokütle, fosentezik fiberler şeklinde isimlendirilir. Doğal fiberlerin ilk kullanımları milattan önce 8.000 yıllarına kadar gitmektedir. O yıllarda keten ve kenevir kumaşların gündelik hayat içerisinde kullanıldığına dair bulgular vardır. Günümüzde yenilenebilir özellikte olmayan kaynakların sınırlı ve kullanıldıkça tükenebilir olduğu, bunun dolayı yenilenebilir kaynakların kullanılması gerektiği bilinci oluşmaya başlamıştır (Rowell, 2008).

Doğal lif takviyeli kompozitler cam lifi takviyeli kompozite göre daha fazla ekonomik ve çevresel avantajı beraberinde oluşturmaktadır. Bu malzemeler yenilenebilir özellikli, doğada biyolojik süreç içerisinde parçalanabilir, geri dönüştürülebilir ve aynı zamanda sürdürülebilen malzemelerdir. Doğal lifler büyüme zamanında CO2 kullandığı, bu nedenle çevreye herhangi bir sera gazı maruziyeti getirmemektedir. Doğal lif kompozitleri sentetik elyaf takviyeli kompozitlere kıyaslandığında daha düşük maliyette olduğu, daha az makine donanımı yıpranması yaşandığı, üretim sırasında ihtiyaç duyulan enerjinin az olması gibi özelliklere sahiptir. Doğal liflerin düşük yoğunluğa sahip olması nedeniyle bu malzemeler ile üretilen bileşenlerde yarı oranında hafiflik sağlanmaktadır (Bledzki ve Ark., 2006). Tablo 4.1'de doğal liflerin ve bazı geleneksel yapay liflerin özellikleri görülmektedir .

Tablo 4.1. Doğal ve bazı sentetik fiberlerin özellikleri (Mohanty ve ark., 2000)

Lif	Yoğunluk (g/cm^3)	Çap (µm)	Çekme mukavemeti (MPa)	Young modülü (GPa)	Kopma uzaması (%)
Pamuk	1.5-1.6	12-38	287-800	5.5-12.6	7.0-8.0
Jüt	1.3-1.45	25-200	393-773	13-26.5	1.16-1.5
Keten	1.50	40-600	345-1100	27.6	2.7-3.2
Kenevir	1.47	25-500	690	70	1.6
Sisal	1.45	50-200	468-640	9.4-22.0	3-7
H. cevizi	1.15	100-450	131-175	4-6	15-40
E-cam	2.5	<17	2000-3500	70	2.5
Aramid	1.4	-	3000-3150	63-67	3.3-3.7
Karbon	1.7	5-7	4000	230-240	1.4-1.8

Doğal lif bitkileri bilinen en eski ürünlerdir. Keten ve kenevir gibi sert doğal lifler 19. Yüzyılın sonlarına kadar tekstil ürünlerinin üretilmesinde kullanılan özel lifler olarak doğal lif pazarında baskın konumdadır. Ancak, 20. Yüzyılın başlarında pamuğun işlenmesinin başarılı bir şekilde mekanize edilmesi ve ucuz sentetik liflerin geliştirilmesi keten, kenevir ve jüt gibi sert doğal liflerin ekimini özellikle Batı Avrupa ve Kuzey Amerika'da büyük ölçüde azaltmıştır (Bismarck ve ark, 2005).



Şekil 4.1. Jüt, kenevir ve keten bitkileri ve lifleri

Doğal lif malzemeleri genellikle bitkisel lifler olmasına rağmen hayvasal lif olan ipek lifi kullanımı da olmaktadır. Yapılan çalışmalar genellikle jüt, kenevir, sisal ve ağaç lifleri sahip olduğu mekanik özellikler nedeniyle kompozit malzeme içerisinde kullanılan en önemli liflerdir (Seki, 2009).

Tarihsel süreç içerisinde çeşitli doğal lifler kompozit malzemelerde kullanılmıştır. Doğal elyaf takviyeli ürünlerin, çelik veya sentetik elyaf takviyeli kompozit malzemelerin yerine kullanılması amaçlanmaktadır (Al-Oraimi ve Seibi, 1995)

Doğal lifler doğa içerisinde biyolojik süreçle kolay bir şekilde çözünebilir yapıda olup geri dönüşümü sağlanabilen bir materyaldir, çevre açısından kolay bir şekilde daha az kirliliğe neden olarak kalıntı bırakmadan yanma sırasında görülen termal enerji şekline kolayca dönüşebilir (Santos ve ark., 2008).

Doğal lifler, yapay liflere göre daha kolay liflendirilmekte ve daha az çevresel zarara neden olur. Sentetik lif üretimi fosil yakıta bağlı olması nedeniyle doğal liflere nazaran neredeyse on kez daha fazla enerji gerekir. (Corbiere ve ark., 2001).

Doğal lif kompozitleri sektörü odun lifi ve odun dışı lifleri olarak iki ayrı sektör olarak incelenmiş olup odun lifleri daha çok yapıda kullanılırken otomotiv odun dışı liflerin en çok kullanıldığı sektördür. Avrupa otomotiv uygulamalarında en büyük bölge olup, Kuzey Amerika ise yapı&inşaat uygulamalarında başı çekmektedir (Lucintel, 2011).

Otomotiv endüstrisinde kapı panelleri ve ana hatlar gibi iç uygulamalarda kullanılan doğal kompozit malzemelerin yerine uygulanabileceği üreticiler tarafından değerlendirilmektedir. Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA)'nın raporu doğrultusunda Environmental Directives (Çevresel Direktifler) dikkate alınmasıyla birçok Avrupa ve Amerika otomobil üreticileri yıllık doğal lif kullanılması oranlarını yaklaşık %54 oranında arttırdıkları görülmektedir (Defra, 2002).

Tablo 4.2'de otomotiv sektöründe diğer materyallerle bir arada performans/fiyat karşılaştırması verilmiştir. Fiyat ve performans olarak kıyaslandığında bu malzemelerin doğal lif kompozitlere oranla daha düşük sıralamada yer aldığı görülmüştür (Lucintel, 2011).

Tablo 4.2. Otomotiv uygulamalarında performans karşılaştırması (Lucintel, 2011).

Materyal	Arabada kullanım miktarı (kg)	Performans/ fiyat oranı (özgül direnç/dolar)
Çelik	907.2	0.15
Alüminyum	272.2	0.08
Fiberglass kompozit (FRP)	34.9	0.36
Doğal lif kompoziti	15.97	1.15

Amerika'daki otomotiv endüstrisinde üretimi sağlanan araçların yaklaşık olarak 1.5 milyonunda kendir elyafı, kenevir elyafı ve keten elyaf gibi doğal liflerle takviye edilmiş termoplastik ve termoset kompozitler kullanmaktadırlar (Dönmez ve Boran, 2016).

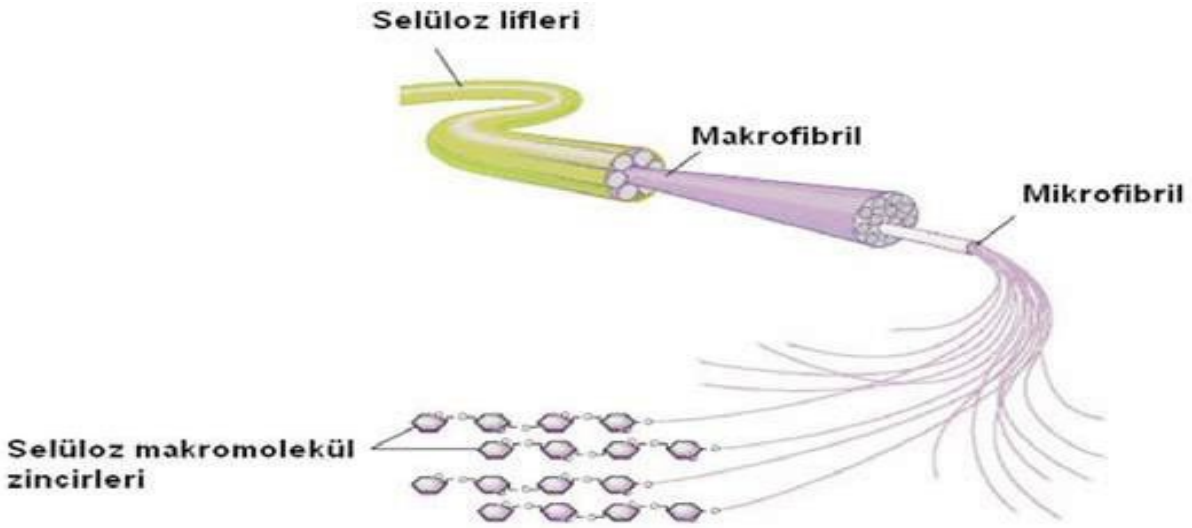
Kompozit malzemelerde elyafın istenilen özelliği göstermesi uygun matris kullanılmasına bağlıdır. Matris seçimi sırasında, polimer malzemenin doğal lif ile kimyasal ve fiziksel uyum olmasının yanında maliyet ve kullanım kolaylığı gibi unsurlara dikkat edilmesi gereklidir (Ulcay, 1989).

4.1. Doğal Lifin Yapısı

Bitkilerden elde edilen lifler, doğa tarafından oluşturulan kompozit yapıda malzemelerdir. Lifler temel olarak amorf lignin takviyeli mikrokristal selüloz ve hemiselülozik matristen oluşmaktadır. Pamuk hariç, bitki liflerinin birçoğu selüloz, hemiselüloz, lignin, mumlar; selüloz, hemiselülozlar ve ligninin ana bileşenler olduğu durumlarda bazı suda çözünür bileşiklerden oluşmaktadır (Bulut ve Erdoğan 2011).

Doğal lifler hidrofob özelliğinden dolayı polimer matris malzemesi ile uyumsuzluğuna neden olan hidrofil yapısı ve bozunma ihtimali nedeni ile işlem sıcaklığı düşük derecelerde tutulması gerekliliği doğal liflerin üretim açısından sınırlayıcı özellikleri arasındadır (Mohanty ve ark, 2000).

Şekil 4.2'de görülen bitkisel lif malzemesi yapısı gereği selüloz esaslı bir malzeme olup, amorf karakterli lignin ile hemiselüloz matris malzemesi ve içerisinde mikrofibril oluşumları içermektedir. Doğal lif malzemesi, lif içerisinde fibriller yapılardan oluşmaktadır. Lifin iç yapısındaki hidrojen köprüleri dayanım ve rijitlik özelliklerini arttırmaktadır. Lifin iç bölümünde bulunan mikrofibriller, lignin ve hemiselüloz malzemeleri matris içinde takviye elemanları yapısında bulunmaktadır. Bundan dolayı bitkisel lif malzemesi yapısı gereği kompozit malzemedir. (Bulut ve Erdoğan 2011).



Şekil 4.2. Doğal liflerin yapısı

Tablo 4.3'de kompozit malzemelerde kullanılan çeşitli bitkisel lif malzemelerinin kimyasal özellikleri görülmektedir. Bu liflerin en önemli yapısı, selüloz, hemiselüloz ve lignindir. Her bir bileşenin yapısal özellikleri lifin tüm özelliklerinde önemli rol oynamaktadır.

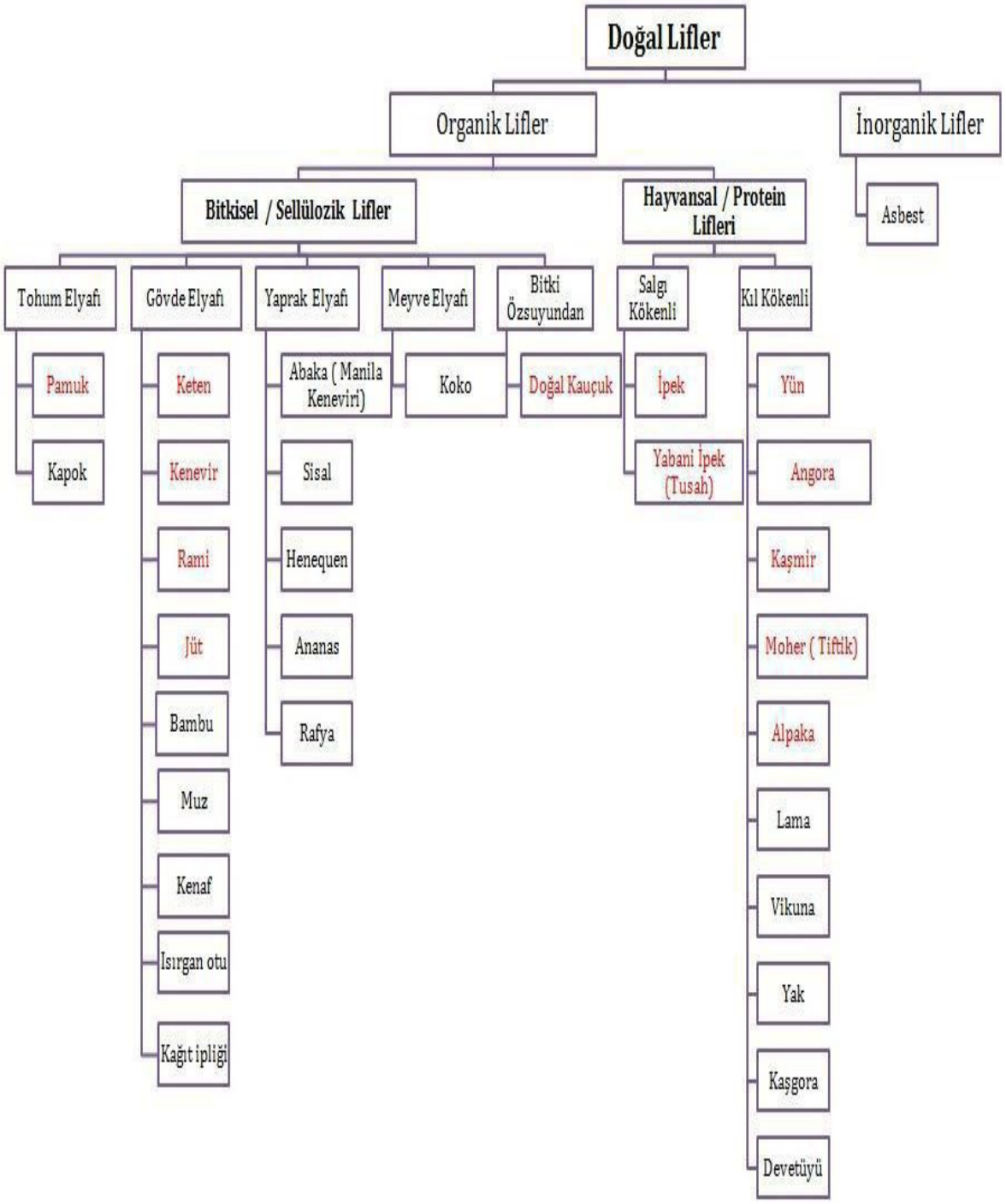
Tablo 4.3. Doğal liflerin kimyasal bileşenleri (Mohanty ve ark, 2000).

Lif	Selüloz (%)	Lignin (%)	Hemiselüloz (%)	Pektin (%)
Jüt	61–71,5	12–13	13,6–20,4	0,2
Keten	71	2,2	18,6–20,6	2,3
Kenevir	70,2–74,4	3,7–5,7	17,9–22,4	0,9
Rami	68,6–76,2	0,6–0,7	13,1–16,7	1,9
Kenaf	31–39	15–19	21,5	2
Sisal	67–78	8–11	10,0–14,2	10,0
Hindistan cevizi	36–43	41–45	0,15–0,25	3–4
Pamuk	82–96	0,5–1	2–6	5–7
Abaca	61–64	12	21	0,8
Ananas yaprağı	80–81	4,6–12	16–19	2–3
Muz lifi	60–65	5–10	6–19	3–5

4.2. Dolğal Liflerin Sınıflandırılması

Dünyada kullanılmakta olan liflerin %61'i bitkisel kökenli, %5'i hayvansal kökenli, %34'ü kimyasal olarak sınıflandırılmaktadır. Bitkisel lifler içerisinde bulunan pamuk, lif üretiminin %54'ünü oluşturduğu için endüstride önemli bir konumdadır. Doğal lifler üç grupta incelenir bunlar; Bitkisel, hayvansal ve madensel liflerdir. Elyaflar doğal olarak bitkilerden ve hayvanlardan veya yapay olarak sentetik hammaddelerden elde edilir (MEB Megep, 2011).

Sentetik takviye lifleri istenilen özellikte olacak şekilde üretilebilirken, doğal liflerin sahip olduğu özellikler, lifi kullanılan bitkinin özellikleri, üretim konumu ve iklim şartları gibi birçok faktör tarafından belirlenmektedir. Kompozit üretiminde genel olarak doğal liflerin bitkisel lif sınıfında bulunan lifler kullanılmaktadır. Kompozit malzemelerde kullanılan bitkisel lif malzemeleri Şekil 4.3'de görüldüğü gibi, tohum (pamuk), sak (keten, kenevir, rami, jüt, kenaf), yaprak (sisal) ve meyve lifleri (Hindistan cevizi)´den oluşmakta ve 4 sınıfa ayrılmaktadır. Zirai esaslı bitkisel lifler (pirinç kapsülleri, pirinç ve buğdaysapları gibi) de kompozitlerde takviye malzemesi olarak işlev görebilmektedir (Harmancıoğlu ve Yazıcıoğlu, 1979).

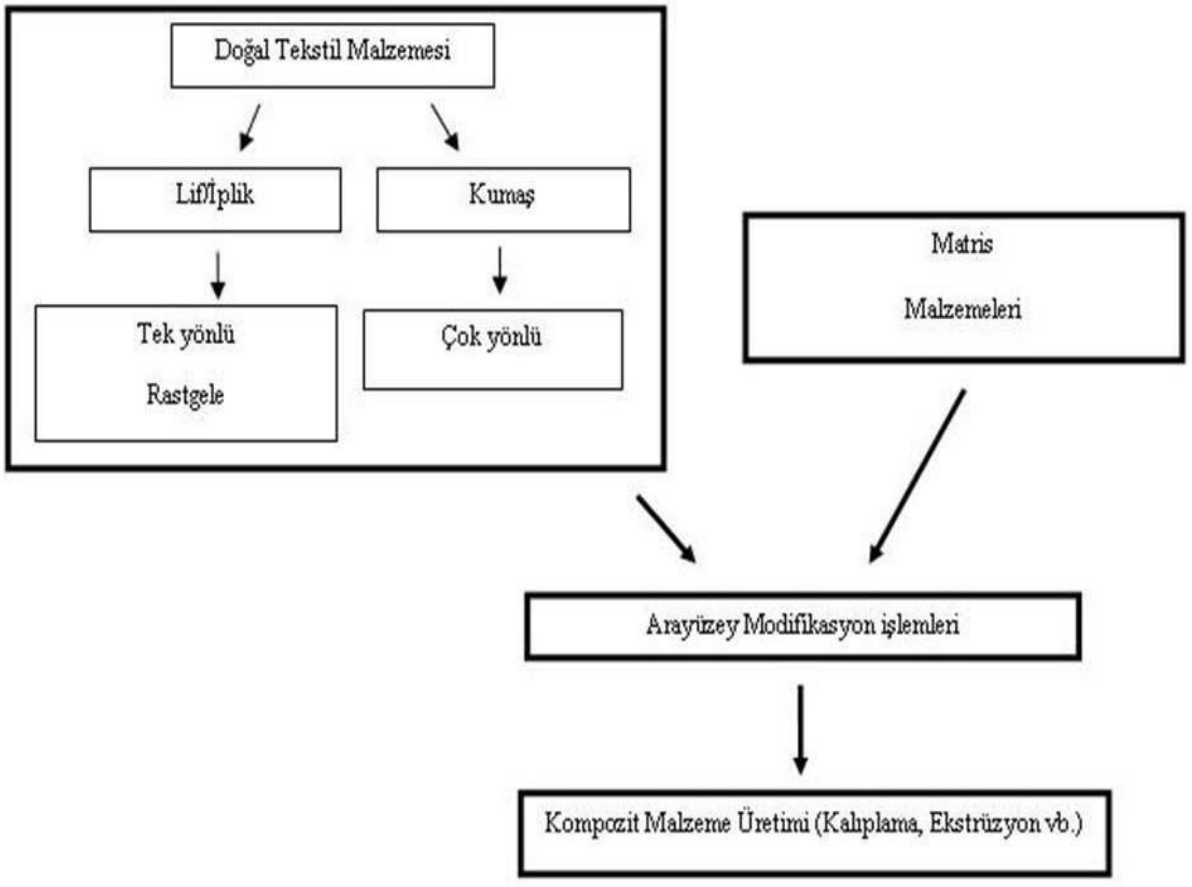


Şekil 4.3. Doğal liflerin sınıflandırılması (Can, 2016)

4.3. Gövde Lifleri

Bitkilerin saplarından üretilen selülozik içerikli lif yapısına gövde lifleri denir. En çok bilinen gövde lifleri keten, kenevir, jüt ve rami lifleridir. Gövde lifleri genel olark, lif yapısının düşük dayanıklılık, esneklik ve farklı boyutlarda olması nedeniyle belirgin bir özelliğe sahiptir (MEB Megep, 2011).

Bitkisel lifler içerisinde kompozit takviyesi için en yaygın lifler gövde lifleri grubuna giren lignoselülozik (lignin ve selüloz içeren) yapıdaki keten, kenevir, kenaf, jüt, rami ayrıca bir yaprak lifi olan sisal lifidir (Niska ve Sain, 2008).



Şekil 4.4. Doğal lif takviyeli kompozit üretim şeması (Bulut ve Erdoğan 2011).

4.3.1. Jüt lifi

Kullanılmakta olan iki çeşit jüt bulunmaktadır. iki cins bitkiden oluşturulur: Bunlar, Corchorus capsularis ve Corchorus olitoriustur. Bu bitki türlerinin bir senede boyu 2-4 metreye ulaşabilmektedir.

Doğal olarak dünyanın birçok yerinde yetişmektedir. Çin, Hindistan ve Malezya'da yetiştirilmektedir. .Dünyada jüt üretimi çoğunlukla Hindistan'a ve Pakistan'a aittir. Üretim miktarının bu bölgelerde fazla olmasının bir sebebi de işçilik maliyetinin çok ucuz olmasıdır (Lewin, 2006).



Şekil 4.5. Jüt bitkisi

Jüt bitkisinin toplanması oldukça zordur. Bitki genellikle üç ayda yetişkin seviyeye ulaşır. Çiçek açtığı zaman toplanması gerekir. Tohum zamanında denk gelen mahsul ağır olur, ancak lif yapısı kalınlaşmış ve sertleşmiştir. Toplama işlemi tamamlanan jüt bitkisi balyalanarak havuzlara yerleştirilir. Havuz üzerine orman bitkileri ile örtülerek bekletilir. Bu kirli ve havasız havuz içerisinde jüt kabukları doğal bir şekilde çürüyerek açılır. Kabuklar yapısının içinden lif malzemesi çıkarılıp serilerek kurutulur. Daha sonra gereken işlemlere fabrikalarda imakinalarla devam edilir. Pamuk ipliği üretimi sırasında olduğu gibi taraklardan geçirilerek temizlenir, tam olarak liflerine ayrılır, bobinler üzerine ip olarak sarılır. İp kalınlıkları kullanım amacına göre değişiktir (Saçak, 1994).



Şekil 4.6. Jüt lifi üretim süreci

Elde edilen liflerin boyu 18-25cm arasında değişmektedir. İlk aşamada açık sarı olan lifler zaman geçtikçe açık kahverengiye döner. Kenevir lifinden daha parlak görünüşte elyaf elde edilir. Dahasonra gereken işlemler fabrikalarda makinelerle yapılır. Lifler taraklanarak temizlenir, bobinlere ip olarak sarılır. Diğer selülozik esaslı liflerde görüldüğü gibi nem emiciliği fazladır. Mukavemeti keten ve kenevir liflerinden düşüktür. Dünyada üretilen jüt elyafının büyük bir kısmı çuval, örtü kumaşı, ip ve sicim yapımında kullanılır (Dayıoğlu ve Karakaş, 2007). Şekil 4.7.'de jüt liflerinin dokunması sonucu oluşan jüt kumaşlar görülmektedir.

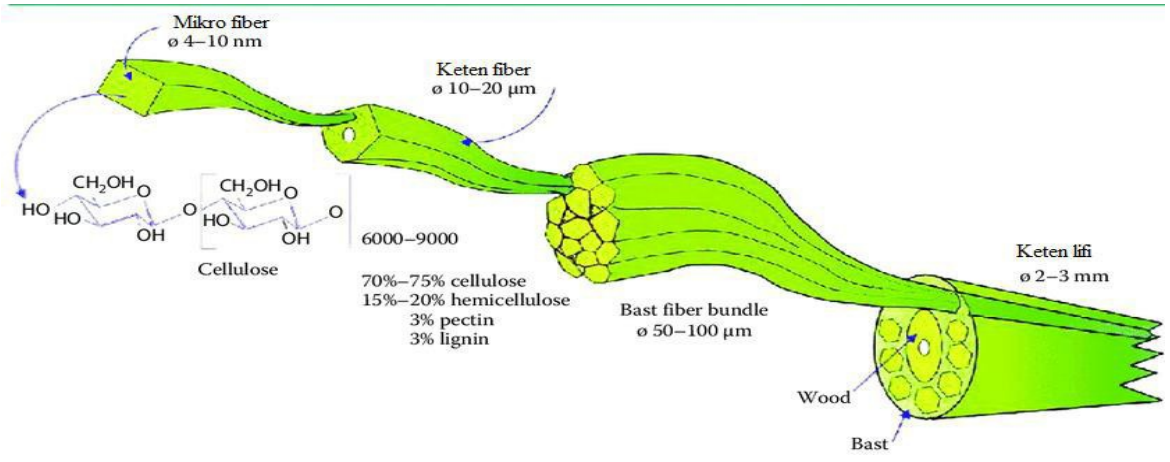


Şekil 4.7. Dokuma jüt kumaşları

4.3.2. Keten lifi

Bu lif türü bitki liflerinin gövde kısmından elde edilen liflerin başında gelir. Genel olarak tohumu ve lifi için üretilmektedir. Bitkinin ortalama yaşam süresi bir yıldır. Soğuk ve nemli hava koşullarında yetiştirilir. Lif demetlerinin uzunluğu 30-90 cm. iken tek lif uzunluğu 2-4 cm. arasındadır (M.E.B Megep, 2011).

Keten lifinin kullanıldığı Ürünler; Çuval bezleri, Düz ve Desenli keten lifi, yazlık ve tropik giysiler, yatak ve masa örtü takımları, mendiller, perdeler, sanatsal dokumalar, cilt bezleri, resim tuvalleri, keten ayakkabılar kullanılır. Nemli hava koşullarında kendi ağırlığının %23'ü kadar nem çekme özelliği vardır. Çekme mukavemeti yüksek bir elyaftır (MEB Megep, 2011).



Şekil 4.8. Keten lifi mikro yapısı

Keten en eski kültür bitkilerindendir. Keten, 4000-5000 yıldan beri Yakın Doğu ve Akdeniz bölgelerinde lifi ve tohumları için yetiştirilmekte; dünyanın çok yerinde üretilmektedir. Mısır'da MÖ 4. yüzyılda keten yetiştirildiği, mabetler ve mezarlar üzerine yapılan resimlerden anlaşılmıştır. Dünya'da keten üretiminde ilk sırayı Rusya ve ikinci sırayı Polonya alır. Memleketimizde bazı keten türleri tabii olarak yetişir. Türkiye'de Batı, İç Anadolu ve Karadeniz'de daha fazla olmak üzere Anadolu'nun çoğu yeridir (URL-4,2020)



Şekil 4.9. Keten bitkisi ve lifi

4.3.3. Kenevir lifi

Kendir olarak da isimlendirilen, bir tekstil bitkisidir. Keten lifinde görüldüğü gibi lif hücreleri, kabuk bölümünde demetler halinde bulunmaktadır. Lif üretim süreci keten bitkisindeki gibi çürütme işlemi, dövme ve taraklama işlemleri ile uygulanmaktadır. Lif uzunluğu genellikle 40-45mm'dir. Parlak sarı ve esmer renklerinde bulunmaktadır (MEB Megep, 2011).



Şekil 4.10. Kenevir bitkisi



Şekil 4.11. Kenevir hasadı ve lifleri

4.3.4. Bambu lifi

Çok fazla türü bulunan Asya, Amerika ve Afrika'da yetiştirilen çok yıllık bir bitkidir. Sap uzunlukları 10-15 cm. den başlar ve 40 metre üzerine çıkabilir. Bambu lifi diğer doğal selülozik elyafta olmayan doğallık, yumuşak olma ve serin tutma özelliklerine sahiptir. Yumuşak bir tutum, konforlu yapısı, yüksek yıkama ve renk haslığına, anti-statik özelliğe ve mantarlara karşı yüksek dayanımı bulunmaktadır.. Bakterilerin çoğalmasını engelleyen, geri dönüşüm imkanı olan, nem emici özelliklere sahiptir (Gürcüm**,** 2013).



Şekil 4.12. Bambu elyafı ve bambu bitki

4.3.5. Rami lifi

MÖ 5000-3300 döneminde Mısır'daki mumya bezlerde kullanılmış ve Çin'de yüzyıllardır yetiştirilmiştir. Rami lifi, rami sapının iç kabuğundan elde edilen bir gövde elyaftır. Mahsulün toplam ömrü 6-20 yıl arasında değişmektedir. Genellikle 1-25 m yüksekliğe kadar büyür, yapraklar kalp şeklinde, 7-15 cm uzunluğunda ve 6-12 cm genişliğinde ve altta yoğun küçük tüylerle beyazdır. Bu dönemde, yılda 6 defaya kadar hasat edilebilir. (Seiko ve ark, 2017).

Lifli yapıyı istenmeyen bitki yapılarından ayırma işlemi jüt, kenevir ve ketenden daha farklı olarak gerçekleşir. İlk aşamada hasat edilen bitki gövdesinden elle veya bir dekortikasyon makinesi ile dış kabuğun çıkarılması için vurma ve kazıma işlemi gerçekleştirilir. Daha sonra bazı kimyasal işlemlerden geçirilir ve lifler elde edilir. Rami lifi genel olarak balık ağları, spor fileleri, banyo havlularında, bornozlarda, döşemelik kumaşlar ve kompozit malzemelerde kullanılır (Seiko ve ark, 2017).



Şekil 4.13. Rami lifinin üretimi

5. LİTERATÜR İNCELEMESİ

Karabulut ve Aktaş (2014), yaptıkları çalışmada dokuma jüt/polyester kompozit malzemelerin NaOH (sodyum hidroksit) ile yüzey modifikasyonu sonrası mekanik özellikleri incelenmiştir. Yüzey modifikasyon işlemi amacıyla dokuma jüt kumaşlar, farklı oranlarda NaOH çözeltisinde 20 saat bekletilmiştir. NaOH çözeltisinde belli bir süre bekletilen doğal elyaflar daha sonra kurutma işlemine tabi tutulmuştur. Yapılan çalışma neticesinde NaOH miktarı arttıkça dokuma jüt kumaşların yapışma özelliğinin arttığını ve dokuma tipi jüt/polyester tabakalı kompozitlerin mekanik özelliklerinin iyileştiğini gösterilmiştir.

Öktem ve Altıntop (2019), epoksi reçine ve doğal elyaf olan jüt ve keten fiber malzemeleriyle el yatırma yöntemini kullanarak kompozit malzemenin üretimi gerçekleştirilmiş. Yapılan bu çalışmada doğal elyaftan oluşan kompozitin yangına ve yüksek ısıya dayanımını arttırmak amaçlanmıştır. Bu nedenle iki kimyasal malzeme; amonyum sülfat ve diamonyum fosfat kullanılarak ilki % 20 amonyum sülfat içeren jüt fiberi kimyasal işleme tabi tutmak için bir çözelti, ikincisinde ise % 10 diamonyum fosfat içeren keten fiberi kimyasal işleme tabi tutmak için bir başka çözelti hazırlanmıştır. Alev alabilirlik, ısı dağılımı ve numune yüzeylerinin ulaştığı sıcaklık değerleri gibi çeşitli parametreler incelenmiştir. Düşük alevlenebilirlik, düşük ısı dağılımı ve düşük sıcaklık gibi değerler amonyum sülfat ve diamonyum fosfat ile kimyasal işleme tabi tutulmuş kompozit yüzeylerinde gözlemlenmiştir.

Can (2016), çalışmasında selüloz esaslı jüt lifinden dokunmuş "jüt kumaş" ve protein esaslı yün lifinden dokusuz kumaş "keçe" ve cam dokuma kumaş kullanılarak üretilen karma kompozitlerin mekanik özellikleri araştırmış. Bu amaçla çekme ve üç nokta eğme testleri yapılmıştır. Jüt kumaş/cam dokuma kumaş takviyeli, yün keçe/cam dokuma kumaş takviyeli ve jüt kumaş/yün keçe/cam dokuma kumaş takviyeli olmak üzere Vakum İnfüzyonyöntemi ile üç farklı tipte kompozit imal edilmiş. Kompozitlerin fiber yönündeki çekme dayanımlarının daha yüksek olduğu bildirilmiş. Ayrıca jüt fiber olan yüzün eğme dayanımının daha fazla olduğu belirlenmiştir.

Santhi ve ark. (2020), jüt ve rami doğal fiber takviye malzemelerini hibrit bir şekilde polyester ve epoksi reçineli matris içerisinde kullanmıştır. Doğal fiberlerli hibrit kompozitler fiber açıları 0^o ve 90^o yönlenmelerinde el yatırma yöntemiyle üretilmişlerdir. Üretilen bu

hibrit kompozitler ASTM standartlarına göre çekme, basma ve darbe testine tabi tutulmuştur. Bu testler sonucunda 90^{o} fiber yönlenmesine sahip jüt ve rami fiberli epoksi reçineli hibrit kompozitin mekanik özelliklerinin daha iyi olduğu bulunmuştur. Ayrıca epoksi reçineli hibrit kompozitlerin mekanik özelliklerinde polyester e göre %30 artış gözlenmiştir.

Lopez ve ark. (2017), Doğal fiber olarak keten ve doğada çözünebilir matris malzemesi olan polilaktik asit(PLA) kullanarak toprakta rahat bir şekilde çözünebilir kompozitler üretmiştir. Keten fiber ve polilaktik asit matrisli kompozitlerin karbon fiber takviyeli epoksi matrisli kompozitlere göre daha iyi mekanik özelliklere sahip olduğunu belirtmiştir.

Kaushik ve ark. (2017), Jüt doğal fiber malzemesini epoksi ve polyester reçine malzemeleri ile birlikte kullanarak kompozit malzemeler üretilmiş, bu malzemelerin taguchi metoduna göre mekanik özellikleri araştırılmıştır. Deneyler sonucunda jüt takviyeli epoksi matrisli kompozitin jüt-polyester'e göre daha iyi mekenik özelliklere sahip olduğu bulunmuştur. Ayrıca jüt takviyeli epoksi matrisli kompozitin polyester matrise göre daha düşük oranda erozif aşınma oranına sahip olduğu belirlenmiştir. Her iki kompozit malzeme için en iyi eğme mukavemeti %44 fiber hacim yüzdesinde elde edilmiştir.

Bansal ve ark. (2017), yaptıkları çalışmada bambu lifinin jüt ve koko liferiyle birlikte kullanımı incelenmiştir. Doğal fiberler olan bambu, jüt ve koko lifleri 2-4 mm uzunluklarında kesilmiş, epoksi reçine kullanılarak el yatırma metoduyla kompozit malzemeler üretilmiştir. Epoksi matris ile birlikte doğal fiber olan bambu-jüt, bambu-koko ve bambu takviyeli kompozit malzemeler takviye oranı ağırlıkça %10 olacak şekilde üretilmiş ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla darbe testlerine tabi tutulmuştur. Uygulanan izod ve charpy darbe testleri neticesinde bambu-epoksi kompozit sırasıyla 2 ve 3 J enerji absorbe ettiği ölçülmüş ancak bambu-koko fiberli epoksi matrisli kompozitin sırasıyla 4 ve 5 J enerji absorbe ettiği dolayısıyla daha iyi mekanik özelliklere sahip olduğu bulunmuştur. .

Caprino ve ark. (2015), çalışmalarında kenevir kumaş takviye malzemelerinin epoksi ve PLA matris ile birlikte kullanımını ve darbe karşısında davranışını incelemişler. Kenevir elyafı takviye malzemesi olarak tek yönlü ve çok yönlü dokuma kumaş şeklinde kompozit

malzeme içerisinde kullanılmış ve farklı kalınlıklarda tabakalı kompozitler üretilmiştir. Vakum destekli reçine infüzyon yöntemiyle üretilen bu kompozitler düşük hızlı darbe testine tabi tutulmuştur. Tek yönlü kenevir elyaflarından oluşan kompozit malzemenin daha fazla hasar gördüğü ve iki yönlü kenevir dokuma elyaf içeren kompozitin darbe karşısında daha iyi olduğu bulunmuştur. Ayrıca tabaka sayısının artmasıyla malzemenin enerji absorbe etme kapasitesinin arttığı gösterilmiştir.

Neves ve ark. (2020), yaptıkları çalışmada termoset matris malzemeleri polyester ve epoksi reçinelerin doğal fiber olan kenevir takviyesiyle kullanılarak kompozit malzeme üretilmiş ve mekanik özellikleri matris malzemesine göre karşılaştırılmış. Kenevir elyaf takviyesi matrise göre hacimsel olarak sırasıyla %10, %20, %30 olacak şekilde kompozit malzemeler kalıplama yöntemiyle üretilmiş ve ASTM standartlarına göre çekme ve eğme mukavemetleri ölçülmüştür. Deneyler neticesinde %30 kenevir elyaf içeren epoksi matrisli kompozitin en üstün özelliklere sahip olduğu bulunmuştur. %30 kenevir elyaf içerenepoksi matrisli kompozitin eğme ve çekme mukavemeti sırasıyla 76.7 ve 50.5 Mpa, polyester matrisli kompozit için bulunan değerler 49.1 ve 25.4 MPa olmuştur.

Xu ve ark. (2018) yeni oluşturdukları kürleme ajanlarıyla oda sıcaklığında kürlenebilen epoksi reçine içerisinde kenevir fiber takviyesini kullanarak kompozit malzemeler üretmişlerdir. Kenevir fiberler kompozit üretiminden önce %5 oranında NaOH (sodyum hidroksit) çözeltisi ile yüzey modifikasyonu işlemine tabi tutulmuştur. Çelik kalıp içeriside oda sıcaklığında kürleşebilen epoksi reçineyle %2.5, %5, %7.5 ve %10 oranında kenevir fiber içeren numuneler birleştirilerek 15 Mpa basınç altında 3 saatte üretilmiştir. Kenevir fiber oranı arttıkça mekanik özelliklerin arttığı görülmüş, en iyi mekanik özellikler %7.5 fiber oranında elde edilmiştir.

Wambua ve ark. (2003), yaptıkları çalısmada sisal, kenaf, kenevir, jüt, Hindistan cevizlerinden elde edilen koko elyaf takviyelerini polipropilen matris içerisinde kullanılmıştır. Tüm fiber takviye malzemeleri ağırlıkça %30 oranında olacak şekilde kompozitler üretilmiş ancak kenaf fiberler ek olarak %40 ve %50 fiber içerecek şekillerde de üretilmişlerdir. Deneyler sonucunda çekme mukavemeti ve young modülü artan fiber hacim oranıyla birlikte yükseldiği görülmüş. Kenevir fiber takviyeli kompozitlerin en yüksek mukavemete sahip olduğu belirlenmiştir ancak darbe testinde koko elyaf takviyeli kompozitler en yüksek darbe dayanımını sergilemiştir. Yüksek dayanım gerekmeyen bir çok

uygulamada cam fiberlerin yerine doğal fiberlerin kullanım potansiyeli olduğu öne sürülmüştür.

Chin ve ark. (2020), yaptıkları çalışmada bambu fiber ile takviyeli epoksi, polyester ve vinyl ester termoset reçine matrisli kompozit malzemeler üretilmiştir. Bambu fiberleri kompozit malzemede kullanmadan önce %5, %10 ve % 15 oranında NaOH (sodyum hidroksit) çözeltisi ile yüzey modifikasyonu işleminden geçirilmiştir. Bambu fiberleri kompozit malzeme içerisinde %0 dan % 40 a değişen oranlarda kullanılmış ve kompozit malzemeler el yatırma metoduyla üretilmiştir. Mekanik testler sonucunda %10 NaOH çözeltisi ile yüzey modifikasyonu yapılan fiberlerin en yüksek mukavete sahip olduğu görülmüştür. Tüm reçineler için artan fiber oranıyla birlikte malzemenin mukavemetide arttığı bulunmuştur. En yüksek çekme mukavemeti % 40 fiber hacmine sahip epoksi matrisli malzemede 119.4 Mpa olarak bulunmuştur.

Romanzini ve ark. (2012), rami ve cam fiber takviyeli polyester matrisli hibrit kompozitler üretmişlerdir. Rami ve cam elyafı %21 fiber oranında olacak şekilde polyester reçine içinde kullanılmıştır. Cam ve rami elyafları kendi aralarında %25, %50 ve %75 oranlarında hibrit şekilde karıştırılmıştır. Artan cam elyaf oranıyla malzemenin darbe ve egilme mukavemetinin arttığı görülmüş bunun nedeni olarak cam elyafı ile matris arayüzeyinin daha iyi yapışma sağlaması gösterilmiştir.

6. MATERYAL METOT

6.1. Kompozit Malzeme Üretiminde Kullanılan Malzemeler

Kompozit malzemelerin üretiminde takviye malzemesi olarak jüt, keten, pamuk, sisal, yün, Hindistan cevizi, kenevir, cam ve karbon elyafları kullanılmıştır. Doğal elyaf ve sentetik elyaf takviyeli kompozit malzemelerin üretiminde matris malzemesi olarak epoksi reçine kullanılmıştır.

6.2. Takviye Malzemeleri

6.2.1. Jüt kumaş

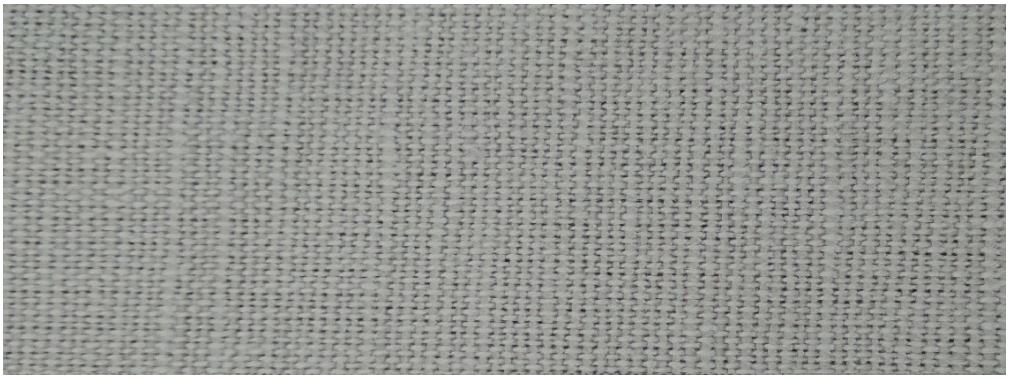
Bu çalışmada üretilen kompozit malzemelerde kullanılan jüt kumaşların gramajı 320gr/m^2′dir. Kullanılan jüt kumaşın resmi Şekil 6.1.′de görülmektedir.



Şekil 6.1. Jüt kumaş

6.2.2. Keten kumaş

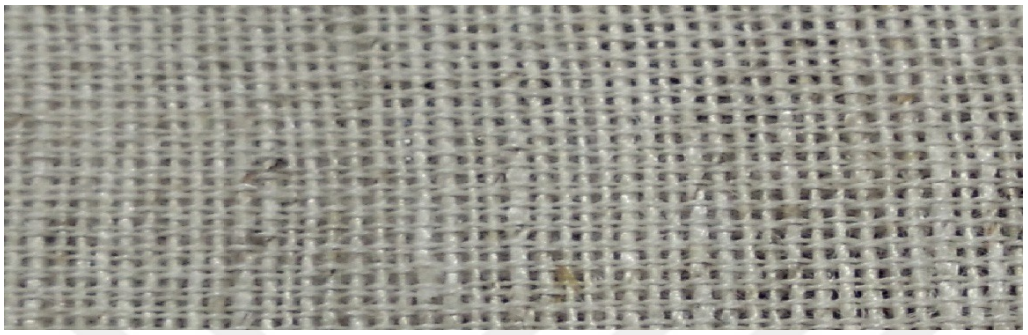
Kompozit malzeme üretiminde doğal takviye malzemesi olarak gramajı 280 gr/m^2 olan keten kumaş kullanılmıştır. Kullanılan keten kumaşın resmi şekil 6.2.′de görülmektedir**.**



Şekil 6.2. Keten kumaş

6.2.3. Kenevir kumaş

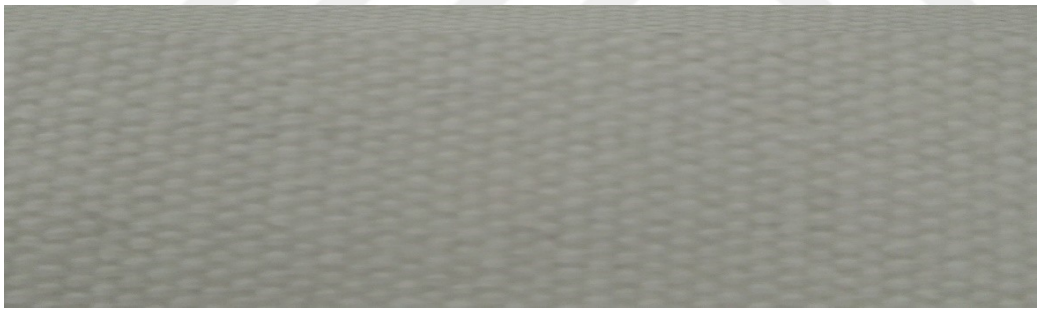
Kompozit malzeme üretiminde kullanılan diğer doğal takviye malzemesi kenevir kumaş olup gramajı 250 gr/m^2′dir. Kullanılan kenevir kumaşın resmi şekil 6.3. ′de görülmektedir.



Şekil 6.3. Kenevir kumaş

6.2.4. Pamuk kumaş

Diğer bir takviye malzemesi olarak pamuk kumaş kullanılmış olup gramajı 320 gr/m^2′dir. Kullanılan pamuk kumaşın resmi şekil 6.4.′de görülmektedir.



Şekil.6.4. Pamuk kumaş

6.2.5. Yün kumaş

Bir diğer takviye malzemesi yün kumaş olup gramajı 380 gr/m^2′dir. Kullanılan yün kumaşın resmi şekil 6.5. ′de görülmektedir.



Şekil 6.5. Yün kumaş

6.2.6. Sisal lifi

Kompozit malzeme üretiminde takviye malzemesi olarak ayrıca dokuma kumaş olmayan elyaflarda kullanılmıştır. Sisal lifi bu takviye malzemelerinden biridir. Kullanılan sisal lifi şekil 6.6.´da görülmektedir.



Şekil 6.6. Sisal lifi

6.2.7. Hindistan cevizi lifi

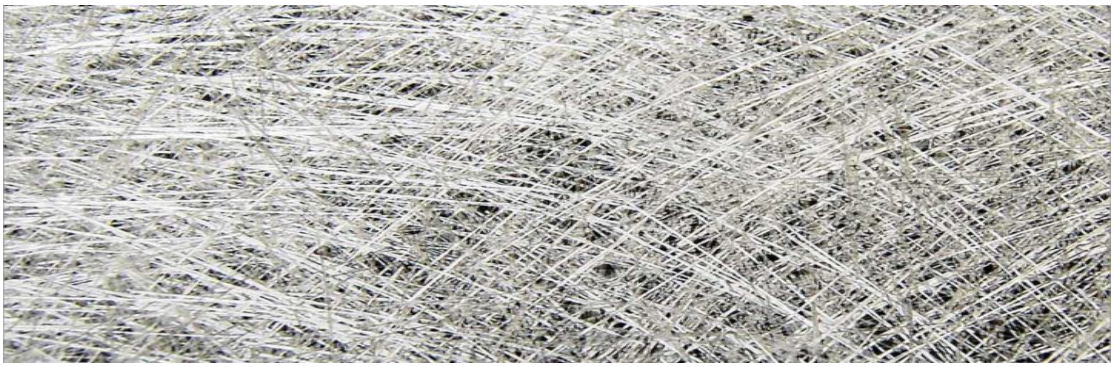
Doğal elyaf olarak kullanılan takviye malzemelerinden biriside Hindistan cevizi lifi olmuştur. Kullanılan Hindistan cevizi lifi şekil 6.7. de gösterilmektedir.



Şekil 6.7. Hindistan cevizi lifi

6.2.8. Cam elyaf

Sentetik takviye malzemesi olarak kullanılan malzemelerden birisi cam elyafı olup gramajı 300 gr/m^2´dir. Kullanılan Cam elyaf Şekil 6.8.´de görülmektedir.



Şekil 6.8. Cam elyaf

6.2.9. Karbon elyaf

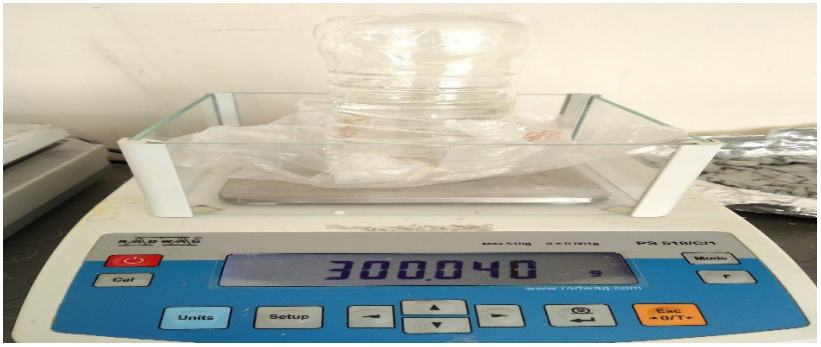
Sentetik elyaf olarak kullanılan bir diğer elyaf türü karbon elyaf´dır. Kullanılan karbon elyafın gramajı 300 gr/m^2 olup şekil 6.9.´da gösterilmektedir.



Şekil 6.9. Karbon elyafı

6.3. Matris Malzemesi Hazırlanması

Yapılan çalışmada epoksi reçine matris malzemesi olarak gen marka epoksi reçine ve sertleştirici kullanılmıştır. Matris malzemesi 100gr epoksi için %60 oranında sertleştirici kullanılarak karıştırılmıştır. Malzemelerin üretiminde 300ml epoksi ve 180ml sertleştirici homojen olacak şekilde karıştırılmıştır. Şekil 6.10.´da karışımın hazırlanmasında kullanılan hassas tartı gösterilmektedir.



Şekil 6.10. Kullanılan hassas terazi

6.4. Kompozit Malzemelerin Üretilmesi

Bu malzemeler, Tunceli ili Munzur Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümü Malzeme Laboratuvar´ında vakum destekli reçine transfer infüzyonu yöntemiyle üretilmişlerdir.

Bu çalışmada 20 adet farklı tabaka yapısında doğal ve sentetik elyaf takviyeli kompozit malzemeler üretilmiştir. İlk olarak takviye malzemeleri olan kumaşlar belirli ölçüde kesilmiştir. Doğal kumaş takviyeli kompozit malzemeler 4 tabaka olarak üretilmişlerdir. Farklı doğal elyaflar birleştirilerek ayrıca hibrit olan kompozit malzemelerde üretilmiştir.

Bu tabakalı kompozit malzemelerin üretim aşamaları şu şekildedir;

1- İlk olarak kompozit malzemelerin üretiminde kullanılan tezgahın yüzeyi kir ve tozdan içermeyecek şekilde temizlenmiştir.
2- Tezgahın üzerine ayırıcı film yerleştirilir ve sızdırmazlık bantları ile sabitlenir. Bu aşama Şekil 6.11.´da görülmektedir.



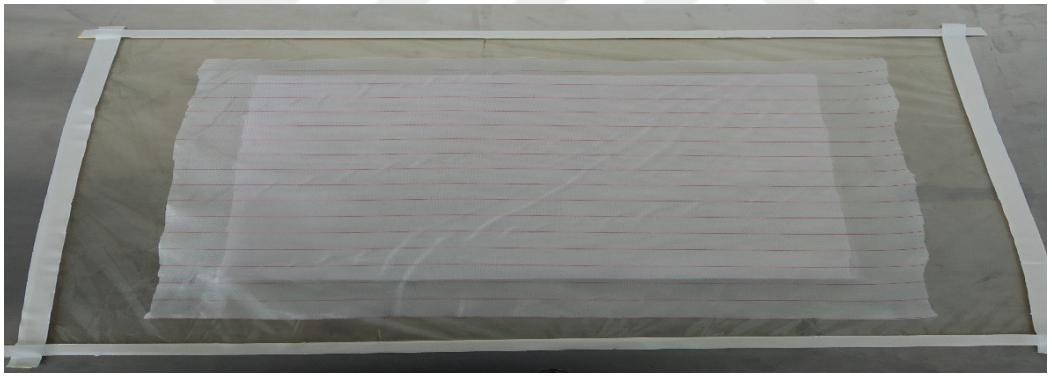
Şekil 6.11. Ayırıcı film tabakası

3- Ayırıcı filmin üstüne istenen ölçülerde kesilen elyaflar yerleştirilir. Bu çalışmada doğal kumaşlar 35cm*35cm ölçülerinde kesilerek hazırlanmıştır. Kumaşlar 4 kat olacak şekilde tabakalı yerleştirilmiştir. Şekil 6.12. de bu aşama görülmektedir.



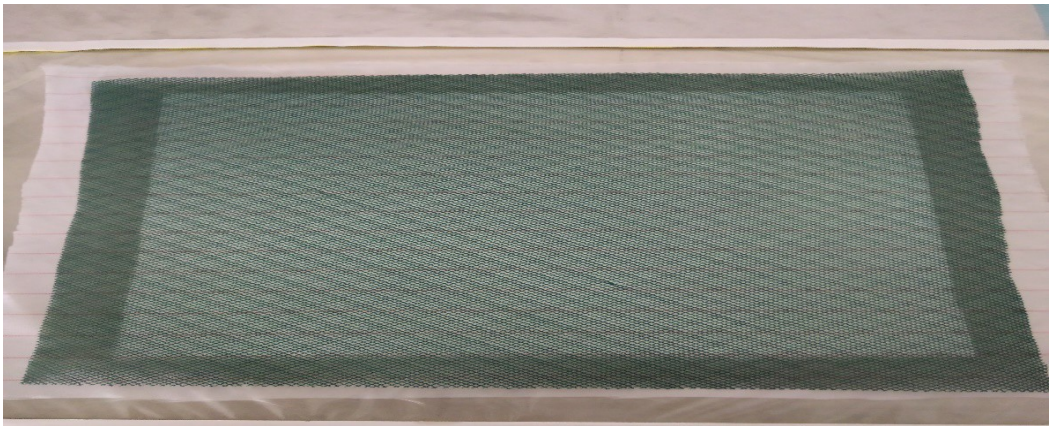
Şekil 6.12. Kumaşların tabakalı yerleştirilmesi

4- Uygun ölçülerde kesilen soyma kumaşı tabakalı takviye malzemesinin üzerine yerleştirilir. Şekil 6.13.´de bu aşama gösterilmektedir.



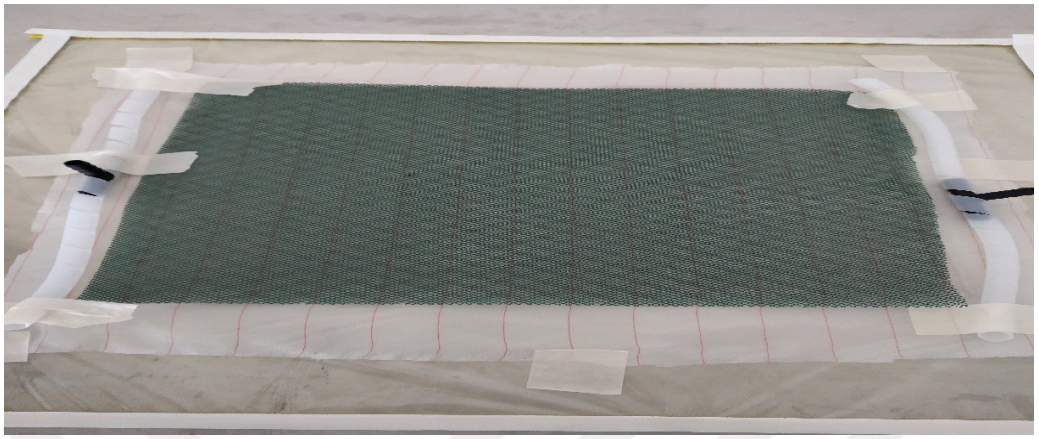
Şekil 6.13. Soyma kumaşı

5- Daha sonra reçine dağıtıcı film, soyma kumaşının üzerine uygun ölçülerde yerleştirilir. Şekil 6.14. ´de gösterilmektedir.



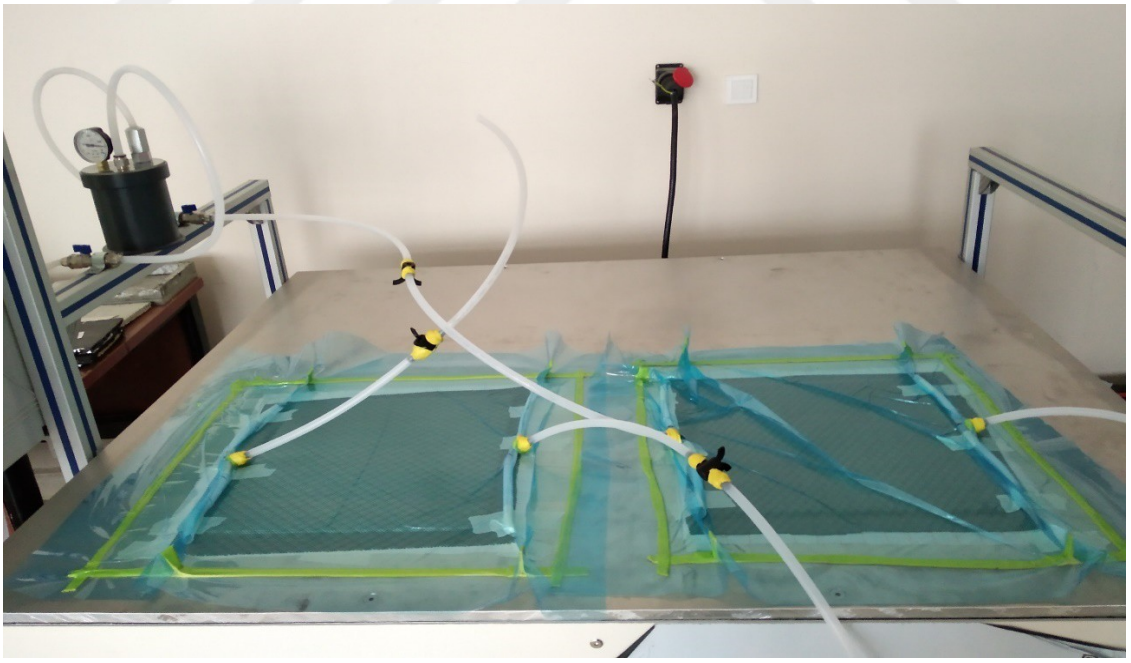
Şekil 6.14. Reçine dağıtıcı

6- Havanın çekileceği ve reçinenin emdirileceği taraflara spiral hortumlar yerleştirilir. Şekil 6.15.´de görülmektedir.



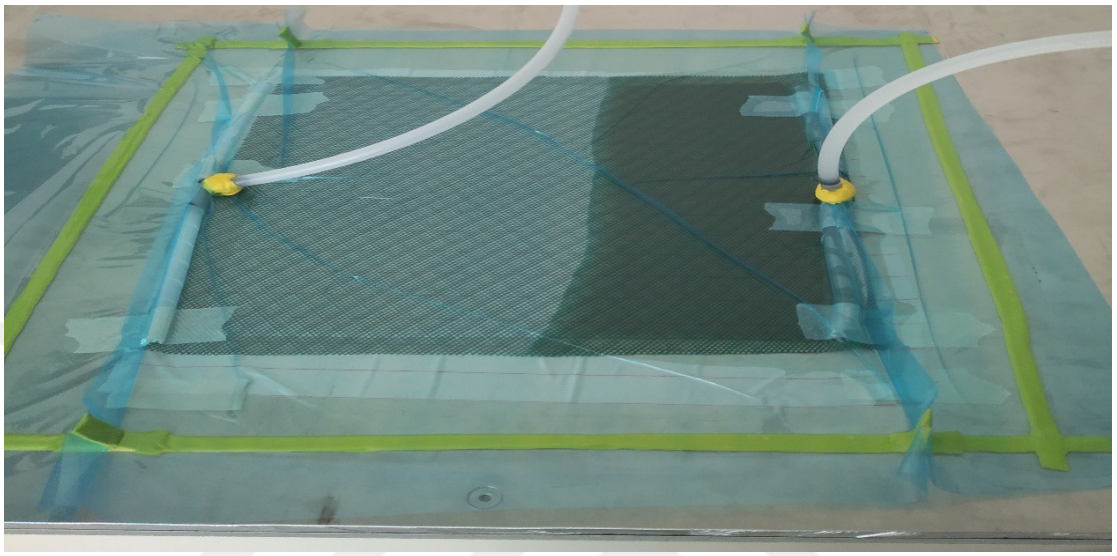
Şekil 6.15. Spiral hortum montajı

7- Bu aşamada Vakum torbası uygun ölçülerde kesilir ve en üste yerleştirilir. Sızdırmazlık macunu ile vakum torbası yapıştırılır ve dış ortamdan tam olarak izole edilir. Şekil 6.16´da vakum torbası kullanımı gösterilmiştir.



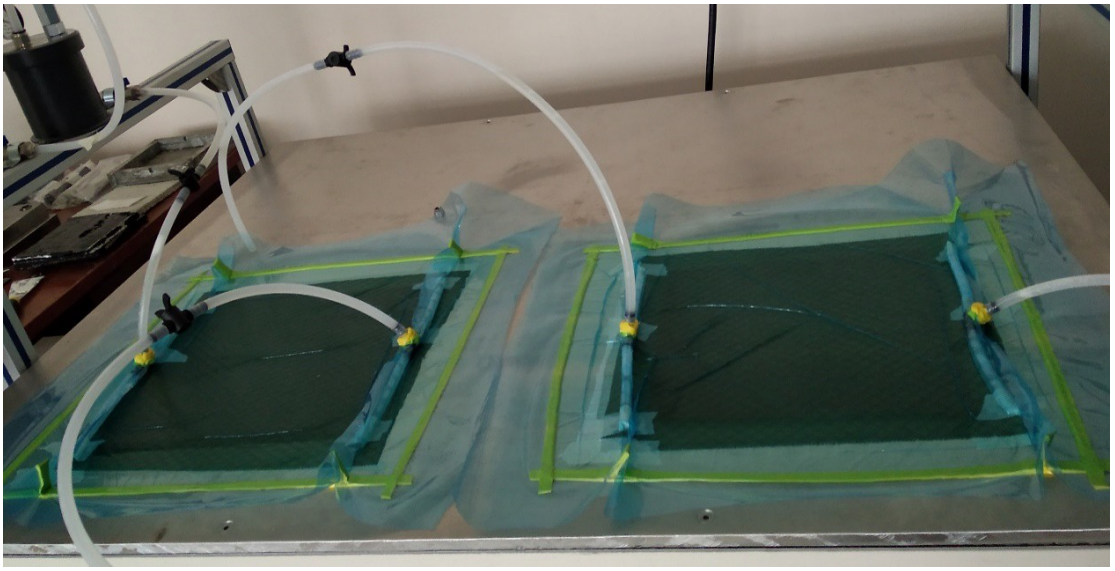
Şekil 6.16. Vakum torbası kullanımı

8- Tezgahın Pompası çalıştırılır ve hazırlanan epoksi reçinenin bütün kumaşlara tam olarak temas ettirilmesi sağlanır. Bu aşamada vakum torbası altına hava girmemesine ve sızdırmazlığın tam olarak sağlanmış olmasına dikkat edilmiştir. Şekil 6.17.´da bu aşama gösterilmiştir.



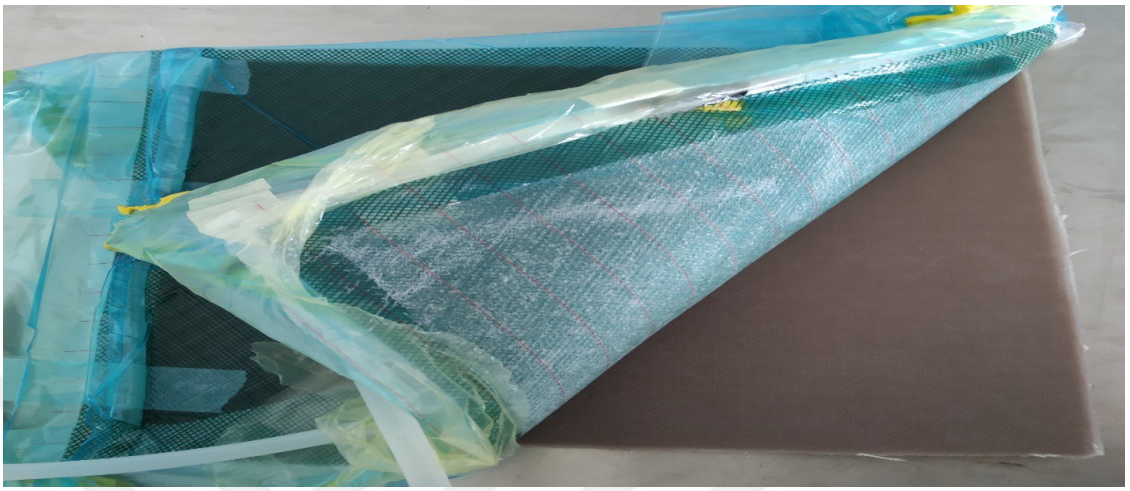
Şekil 6.17. Vakum destekli reçine transfer işlemi

9- Reçine transfer işleminden sonra hortum üzerinde bulunan vanalar kapatılır ve sisteme hava girmemesi sağlanır. kompozit malzeme üretim tezgahının ısıtma yüzeyinin sıcaklığı 70 °C´ye ayarlanır ve kompozit malzemeler 8 saat boyunca vakum altında olacak şekilde kürlenmeye bırakılmıştır. Şekil 6.18. ´de kürlenmeye bırakılan malzemeler gösterilmiştir.



Şekil 6.18. Kürlenmeye bırakılan malzemeler

10- Malzemenin kürleme işlemi tamamlandıktan sonra kompozit malzeme üretim tezgahından dikkatlice sökülür. İlk olarak vakum torbası kalıptan sökülür, reçinenin homojen şekilde dağılımı kontrol edilir. Şekil 6.19.´de bu işlem görülmektedir.



Şekil 6.19. Kompozit malzeme söküm işlemi

6.5. Üretilen Deney Numuneleri

Üretilen kompozit malzemeler genel olarak 4 tabaka olacak şekilde tasarlanmış ve üretimi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca doğal elyaf takviye malzemeleri kendi aralarında farklı kombinasyonlarda bir arada ve tek olarak kullanılmıştır. Tablo 6.1.´de üretilen kompozit malzemelerin sınıflandırılması yapılmıştır.

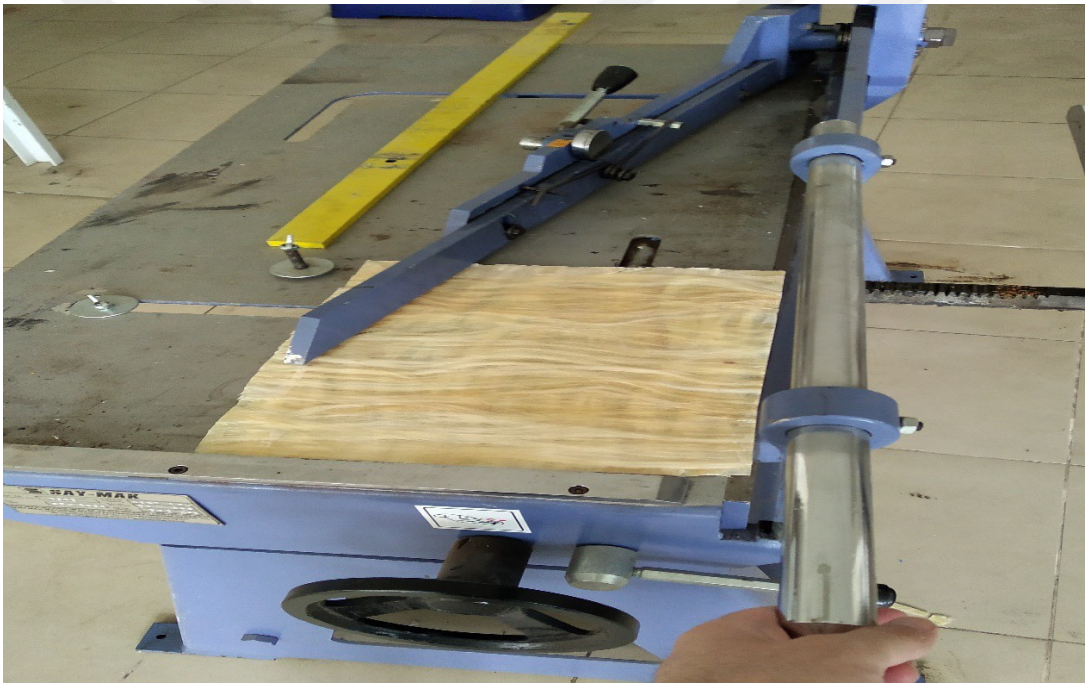
Tablo 6.1. Test Numunelerimin Sınıflandırılması

NUMUNE NUMARASI	NUMUNE TAKVİYE MALZEMESİ
N- 1	JÜT
N- 2	KETEN
N- 3	KENEVİR
N- 4	PAMUK
N- 5	YÜN
N- 6	SİSAL LİFİ
N- 7	HİNDİSTAN CEVİZİ LİFİ
N- 8	JÜT- KETEN
N- 9	JÜT- KENEVİR
N- 10	JÜT- YÜN
N- 11	JÜT- PAMUK
N- 12	KETEN- KENEVİR
N- 13	KETEN- PAMUK
N- 14	KETEN- YÜN
N-15	KENEVİR- PAMUK

N-16	KENEVİR- YÜN
N-17	PAMUK- YÜN
N- 18	JÜT- KETEN- KENEVİR- PAMUK- YÜN
N- 19	CAM
N- 20	KARBON

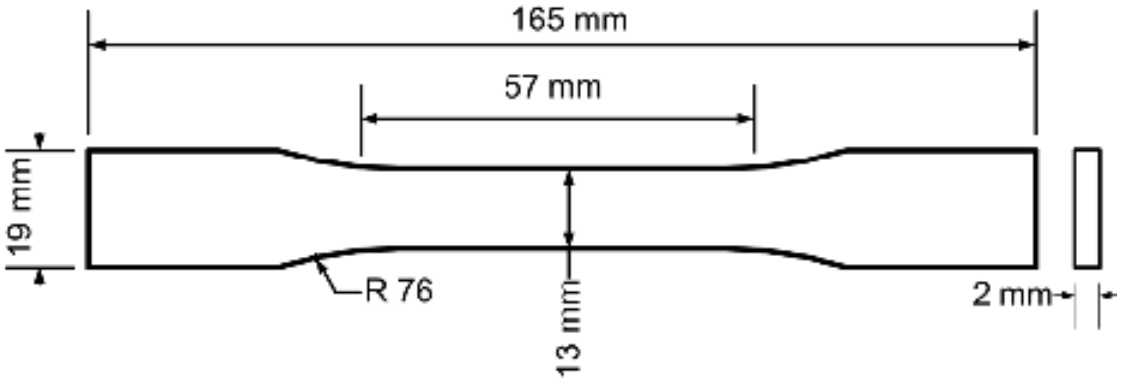
6.5.1. Numunelerin çekme testi için hazırlanması

Hazırlanan plaka şeklindeki kompozit malzemeler Munzur Üniversitesi makine mühendisliği labaratuvar´ında bulunan giyotin makas ile kenarları düz ve eşit ölçülerde olacak şekilde kesilmiştir. Şekil 6.20.´de yapılan işlem gösterilmektedir.



Şekil 6.20. Giyotin makas kullanımı

Üretilen kompozit malzemeler yük altında dayanımlarının belirlenmesi amacıyla çekme testine tabi tutulmuştur. Hazırlanan plaka şeklindeki kompozit malzemelerden çekme testinde kullanılmak üzere numuneler ASTM D638 standardında olacak şekilde kesilmiştir. Bu kesme işlemi lazer kesim makinası kullanılarak yapılmıştır. Şekil 6.21.de ASTM D638 Standard Numune Ölçüsü gösterilmiştir.



Şekil 6.21. ASTM D638 Standardı Numune Ölçüsü(Raheem, 2019).

Kesim işleminden sonra numunelerin markalama işlemi yapılmıştır. Numuneler çekme testi için hazır hale getirilmiş olup şekil 6.22.´de markalanmış çekme testi numuneleri gösterilmektedir.

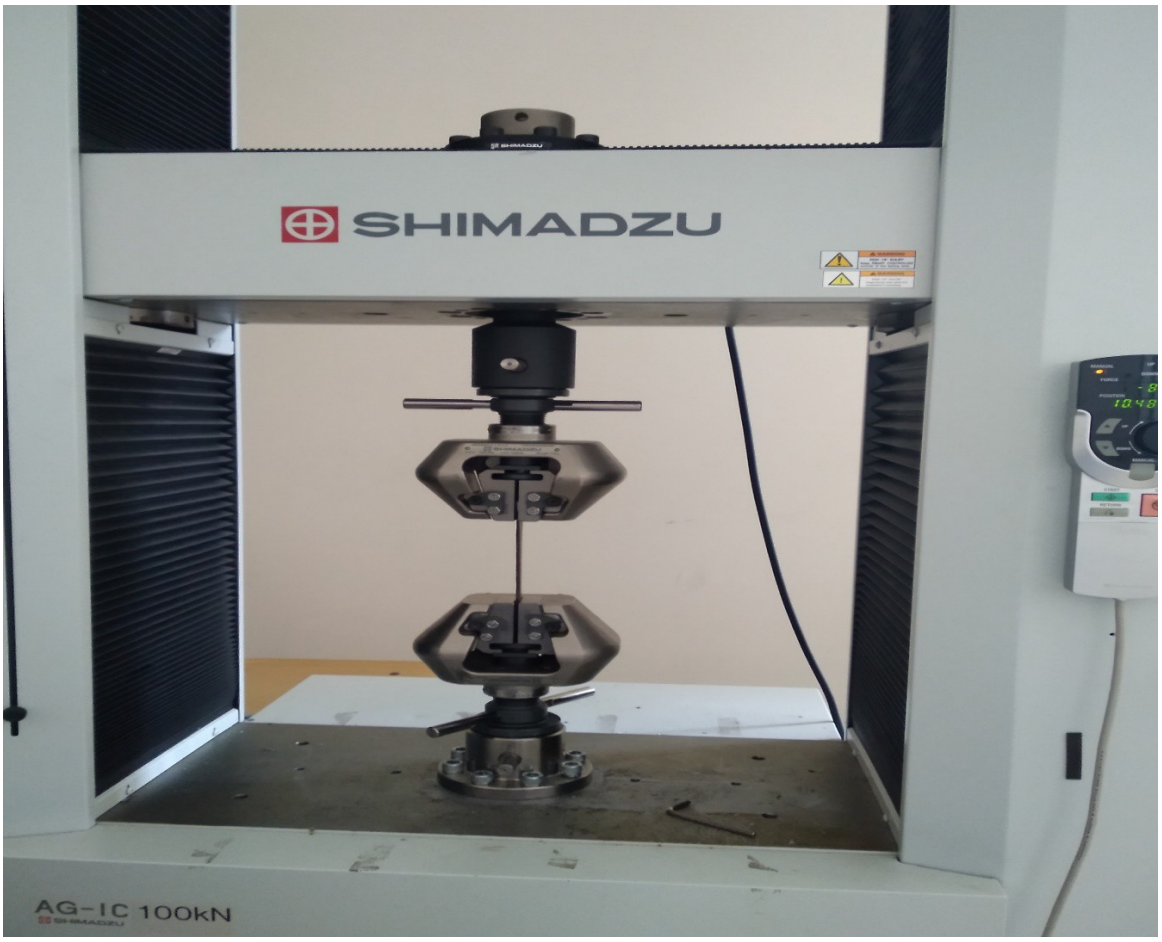


Şekil 6.22. Çekme testi numuneleri

6.6. Çekme testi

Malzemelerin yük altında davranışlarını ve deformasyon oluşumu için gerekli kuvvetin belirlenmesi amacıyla çekme testi uygulanmaktadır. Mühendislik açısından önemli olan çekme testi oluşacak şekil değişimi ve uygulanan kuvvetin arasındaki bağlantının incelenmesinde kullanılan en temel yöntemlerden biridir.

Tez çalışmasında üretilen deney numuneleri, Munzur Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Laboratuvarı´nda bulunan 100KN kapasiteli SHIMADZU marka çekme testi cihazında gerçekleştirilmiştir. Şekil 6.23.´de çekme test cihazı gösterilmiştir.



Şekil 6.23. Çekme test cihazı

Üretilen kompozit malzemeler çekme testi için hazırlanmış ve sırayla çekme testine tabi tutulmuştur. Çekme testi sonucunda malzemelerin, Gerilme(N/mm^2) – Yüzde uzama(%) grafiği oluşturulmuştur.



Şekil 6.24. Çekme testi sonrası numuneler

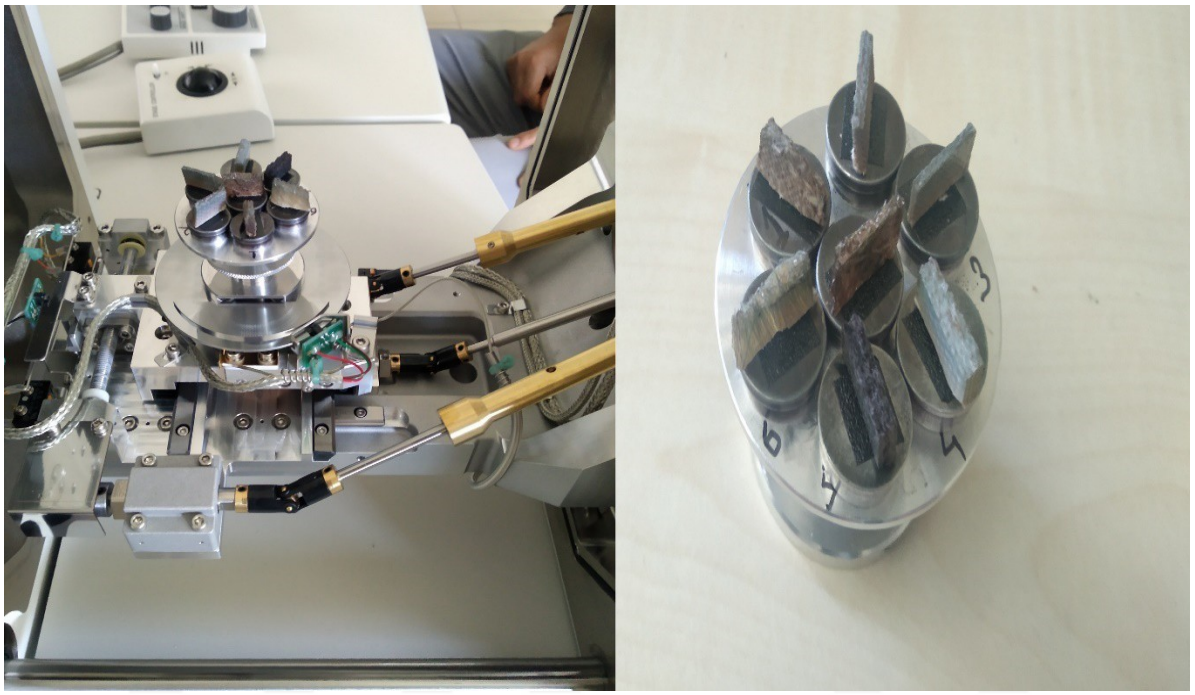
6.7. Elektron Mikroskobu (SEM) İncelemeleri

Üretilen kompozit malzemelerin mikro yapı ve ara yüzeylerini incelemek için Munzur Üniversitesi Malzeme Mühendisliği laboratuvarındaki Hitachi SU3500 elektron mikroskobu kullanılmıştır (Şekil 6.25).



Şekil 6.25. SEM analizlerinin yapıldığı elektron mikroskobu

Elektron mikroskobu ile üretilen numunelerin mikro yapıları incelenmiştir. Numuneler ilk olarak altın kaplama işleminden geçirilmiş daha sonra SEM cihazında dizilimleri sağlanmıştır. Şekil 6.26´da numunelerin SEM cihazı içine yerleştirilme işlemi gösterilmiştir.



Şekil 6.26. SEM cihazına numunelerin yerleştirilmesi

7. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

7.1. Çekme Testi Sonuçları

Deney sonuçları çekme test cihazı ile bağlantılı olan bilgisayardan alınmıştır. Bu deney sonucunda Numunelerin çekme testi ile ilgili tüm özellikleri belirlenmiştir. Her malzemeden bir adet numuneye çekme testi uygulanmıştır. Çekme testi sonucunda numunelerin mekanik özellikleri belirlenmiş olup aşağıda tablo olarak gösterilmiştir.

Tablo 7.1. Numunelerin Çekme Deneyi Sonuçları

Numune No	Maksimum Kuvvet (N)	Maksimum Çekme Dayanımı (MPa)	Maksimum Uzama(%)	Maksimum Uzama(mm)
N-1	1921,88	44,7990	2,32696	2,6760
N-2	2259,38	75,5644	5,60957	6,4510
N-3	856,25	43,0493	5,64435	6,4910
N-4	2368,75	52,8149	5,40696	6,2180
N-5	728,125	18,5462	3,65044	4,1980
N-6	2118,75	45,9101	2,35565	2,7090
N-7	418,750	15,3388	1,94870	2,24100
N-8	1506,25	42,9131	3,40087	3,91100
N-9	1890,63	60,5970	2,33913	2,69000
N-10	1384,38	20,8805	3,23304	3,71800
N-11	2181,25	44,7436	3,07826	3,54000
N-12	1118,75	47,8098	6,28870	7,23200
N-13	1556,25	43,6903	6,38435	7,34200
N-14	1112,50	18,6037	7,31478	8,41200
N-15	1421,88	45,5729	10,9444	12,5860
N-16	637,500	12,5740	25,5739	29,4100
N-17	1125,00	17,1363	8,22000	9,45300
N-18	1393,75	21,8799	4,12696	4,74600
N-19	5015,63	175,3720	3,94870	4,54100
N-20	7668,75	406,8300	3,04174	3,49800

Tablo 7.1.′de gösterilen numunelerin çekme testi sonuçları incelendiğinde, doğal elyaf takviyeli kompozit malzemeler arasında en yüksek çekme mukavemeti 75,56 Mpa değeri ile dört tabaka keten elyaftan oluşan N-2 kompozit malzemesinin gösterdiği tespit edilmiştir. En düşük çekme mukavemeti 12,5740 Mpa değeri ile iki tabaka kenevir ve iki tabaka yün elyaf takviye malzemelerinin bir arada kullanılmasıyla oluşturulan N-16 kompozit malzemesinin gösterdiği tespit edilmiştir. Sentetik elyaf malzemeleri ile üretilen numuneler içinde en yüksek çekme mukavemetini 406,830 Mpa ile dört tabaka karbon elyaf takviye malzemesinin kullanıldığı, N-20 kompozit malzemesinin gösterdiği görülmektedir.

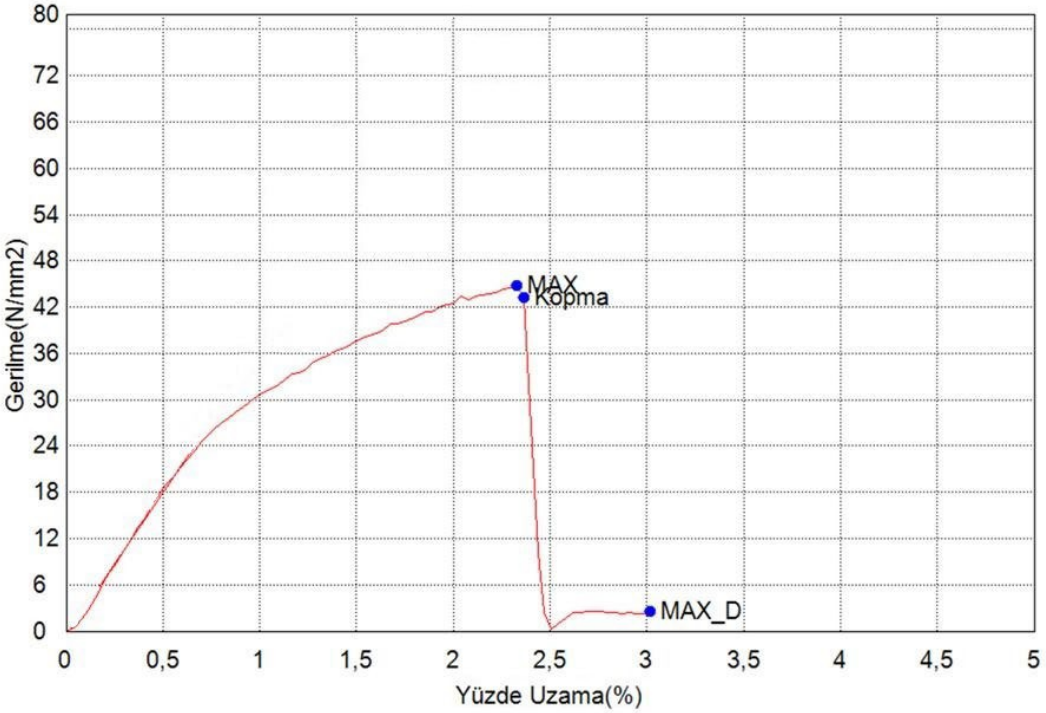
Takviye elemanı olarak tek çeşit doğal elyaf içeren numuneler arasında en yüksek çekme mukavemeti 75,56 Mpa ile keten elyaf takviyeli N-2 numaralı kompozit malzemenin sahip olduğu görülmektedir. En düşük çekme gerilmesini ise 15,3388 Mpa ile Hindistan cevizi lifi ile oluşturulan N-7′nin gösterdiği görülmüştür.

Takviye malzemesi olarak en az iki çeşit doğal elyaf içeren kompozit malzemeler arasında en yüksek çekme mukavemeti değeri 60,5970 Mpa olarak tespit edilmiştir. Bu kompozit malzeme iki tabaka jüt ve iki tabaka kenevir elyaflarından oluşan N-9 olarak markalanmıştır.

Doğal elyaf takviyeli kompozit malzemelerin çekme mukavemetinin sentetik elyaf olan karbon ve cam takviye malzemeleri ile üretilen numunelere göre düşük olduğu tespit edilmiştir.

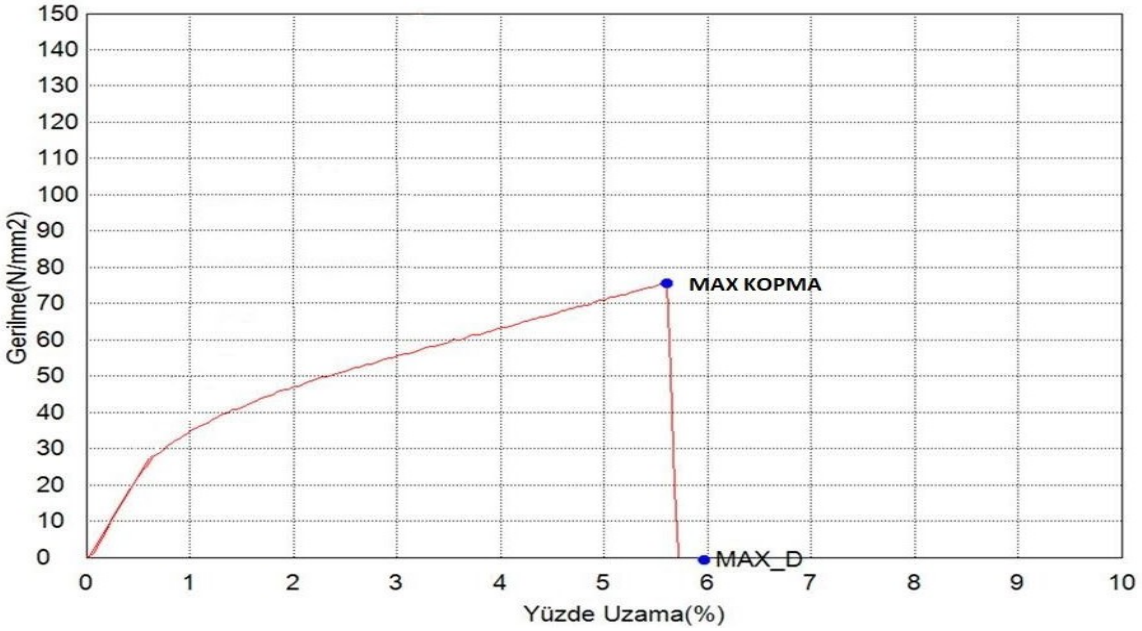
Üretilen doğal elyaf ve sentetik elyaf takviyeli numuneler arasında en yüksek yüzde uzama %25,5739 değeri ile kenevir ve yün elyaf takviye malzemelerinin kullanıldığı, N-16′in sahip olduğu tespit edilmiştir. Kompozit malzemeler arasında en düşük yüzde uzama değeri %1,94870 olarak Hindistan cevizi lifi takviyeli N-7′de tespit edilmiştir.

Üretilen deney numunelerinin çekme testi sonrasında oluşturulan gerilme – yüzde uzama grafikleri aşağıda listelenmiştir



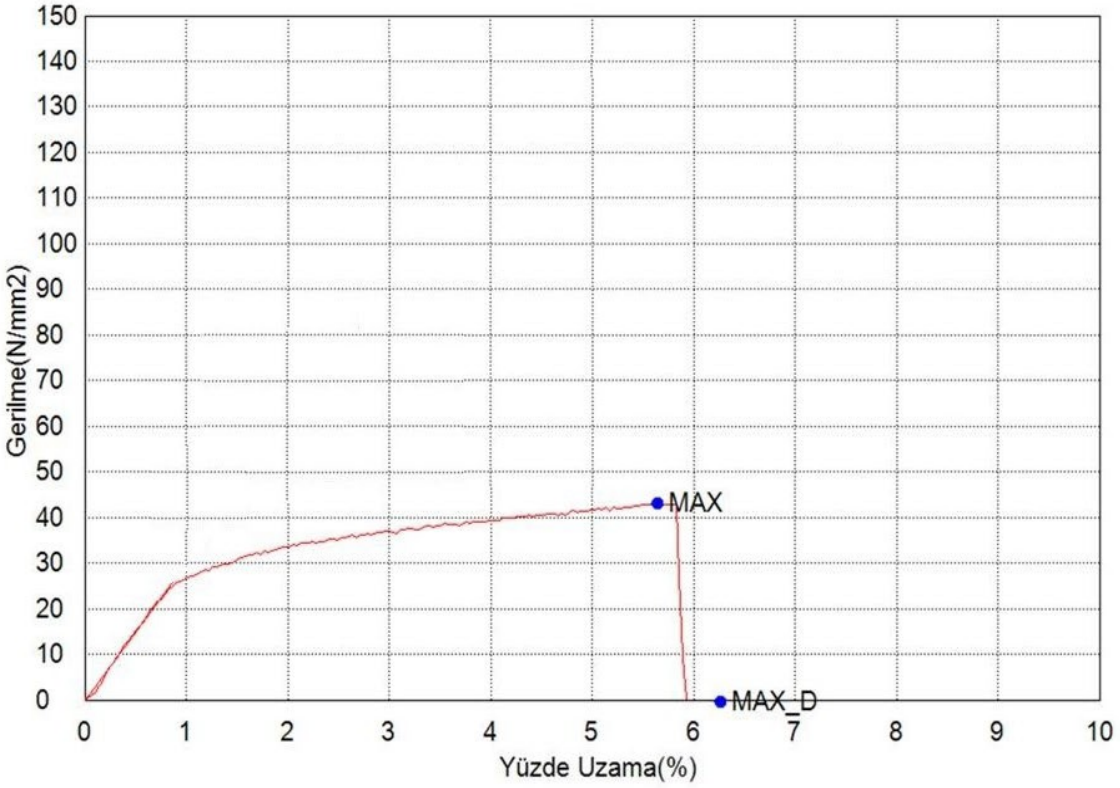
Şekil 7.1. Jüt elyaf takviyeli N-1 çekme numunesi gerilme – yüzde uzama grafiği

Jüt elyaf kumaş takviye malzemesi ile üretilen kompozit malzemeden elde edilen çekme testi numunesi olan N-1 ile yapılan test neticesinde Gerilme - Yüzde uzama grafiği Şekil 7.1.´da görüldüğü gibi tespit edilmiştir.



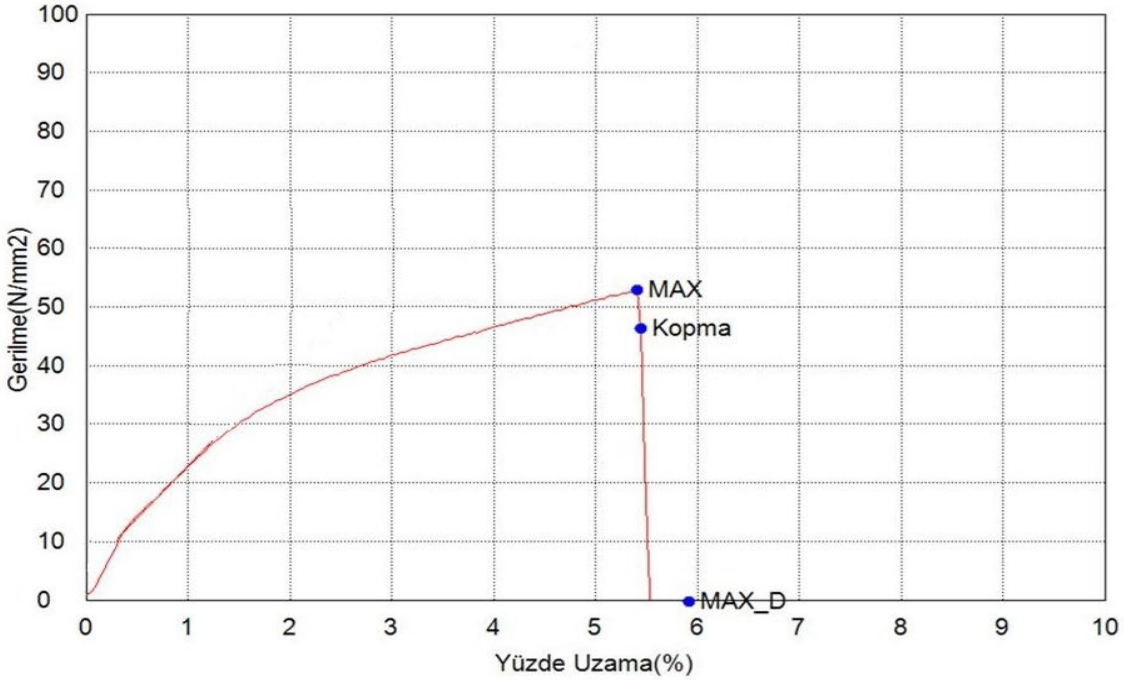
Şekil 7.2. Keten elyaf takviyeli N-2 çekme numunesi gerilme – yüzde uzama grafiği

Keten elyaf kumaş takviye malzemesi kullanılarak üretilen kompozit malzemeden elde edilen çekme testi numunesi olan N-2 ile yapılan test neticesinde Gerilme - Yüzde uzama grafiği Şekil 7.2.´de görüldüğü gibi tespit edilmiştir. Keten kumaş takviyeli kompozit malzemenin diğer doğal elyaf takviyeli kompozit malzemelere göre daha yüksek çekme mukavemeti gösterdiği tespit edilmiştir.



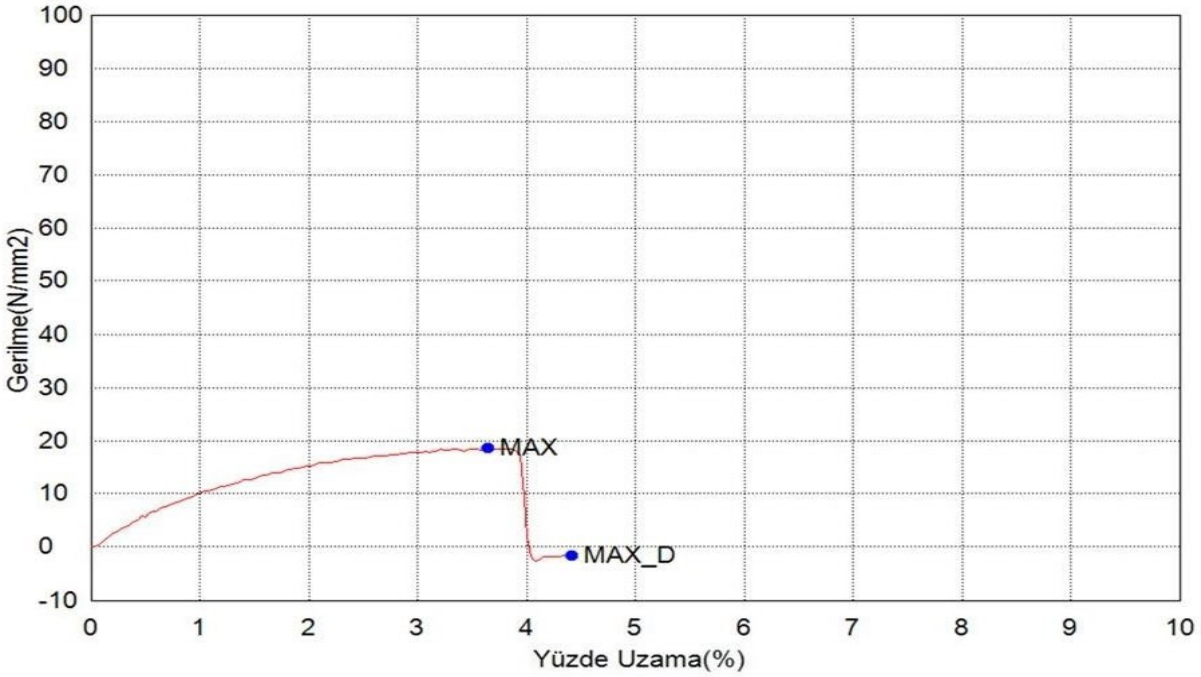
Şekil 7.3. Kenevir elyaf takviyeli N-3 çekme numunesi gerilme – yüzde uzama grafiği

Kenevir elyaf takviye malzemesi kullanılarak üretilen kompozit malzemeden elde edilen çekme testi numunesi N-3´ün gerilme – yüzde uzama grafiği şekil 7.3.´de gösterilmektedir. Kenevir elyaf takviye malzemesinin, çekme mukavemetinin 43,0493 Mpa olduğu tespit edilmiştir, Bu değerin jüt takviyeli kompozit malzemenin çekme mukavemeti olan 44,7990 Mpa değeri ile yakın olduğu görülmüştür. Ancak jüt elyafa göre daha sünek bir yapıda olduğu ve maksimum uzama değerlerinin jüt elyaftan yüksek çıktığı tespit edilmiştir.



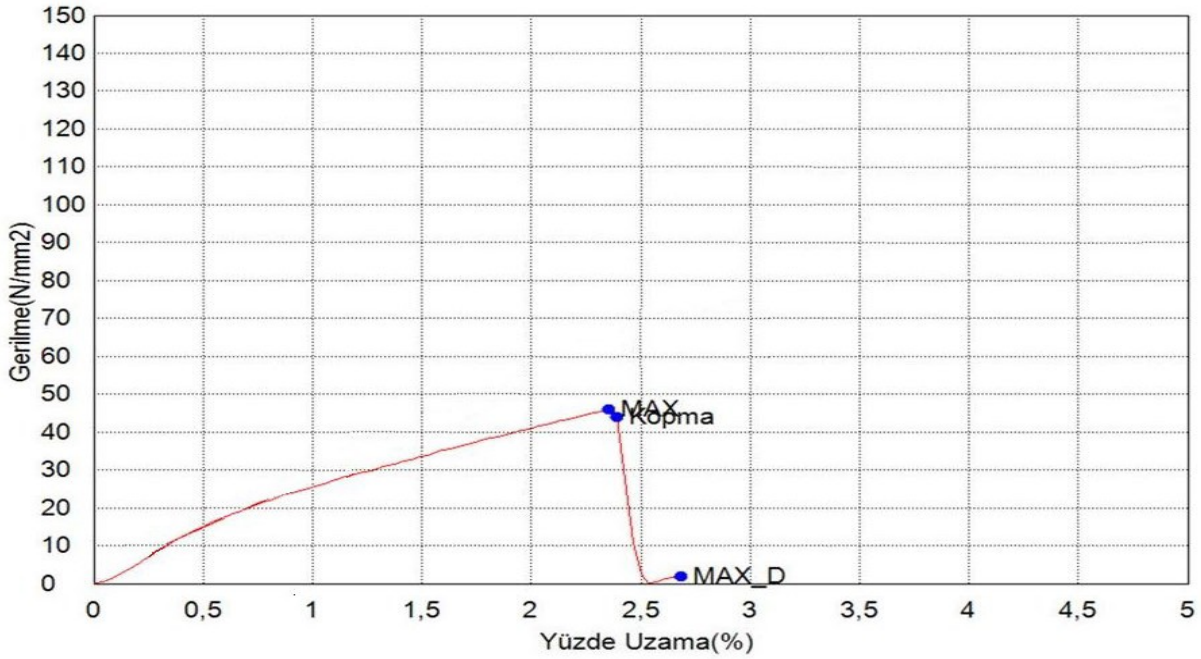
Şekil 7.4. Pamuk elyaf takviyeli N-4´ün çekme numunesi gerilme – yüzde uzama grafiği

Pamuk elyaf takviye malzemesi kullanılarak üretilen kompozit malzemeden elde edilen çekme testi numunesi N-4´ün gerilme – yüzde uzama grafiği şekil 7.4.´de gösterilmektedir.



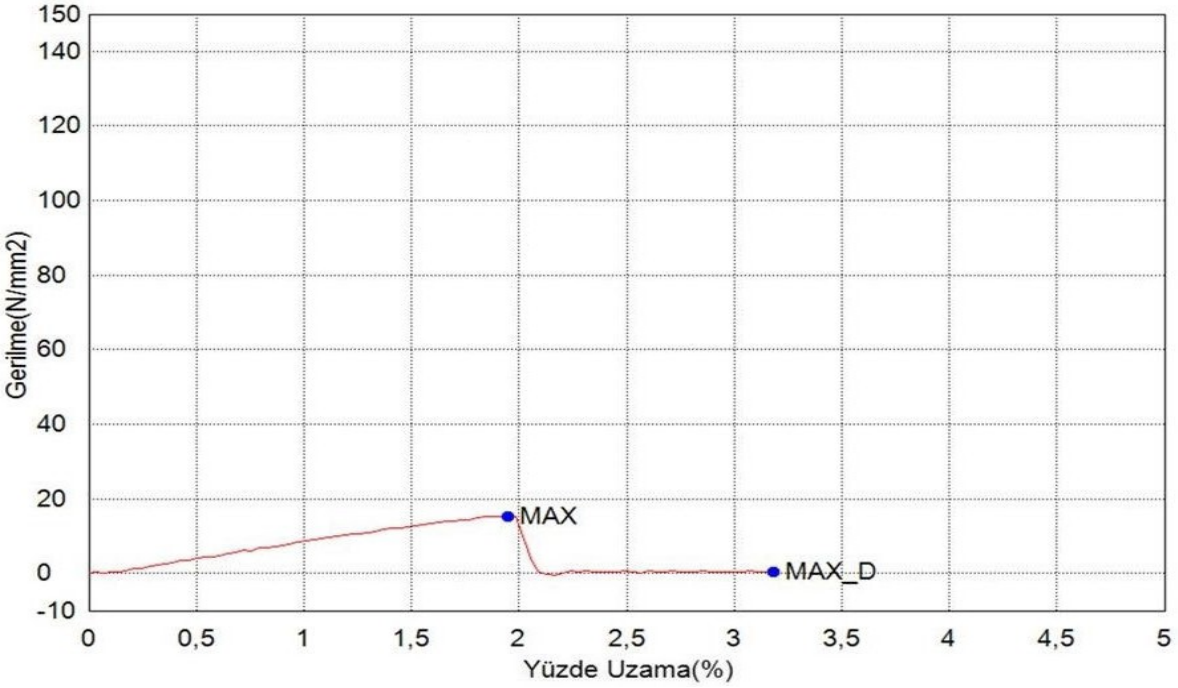
Şekil 7.5. Yün elyaf takviyeli N-5´in çekme numunesi gerilme – yüzde uzama grafiği

Yün elyaf takviye malzemesi kullanılarak üretilen kompozit malzemeden elde edilen çekme testi numunesi N-5´in gerilme – yüzde uzama grafiği şekil 7.5.´de gösterilmektedir.



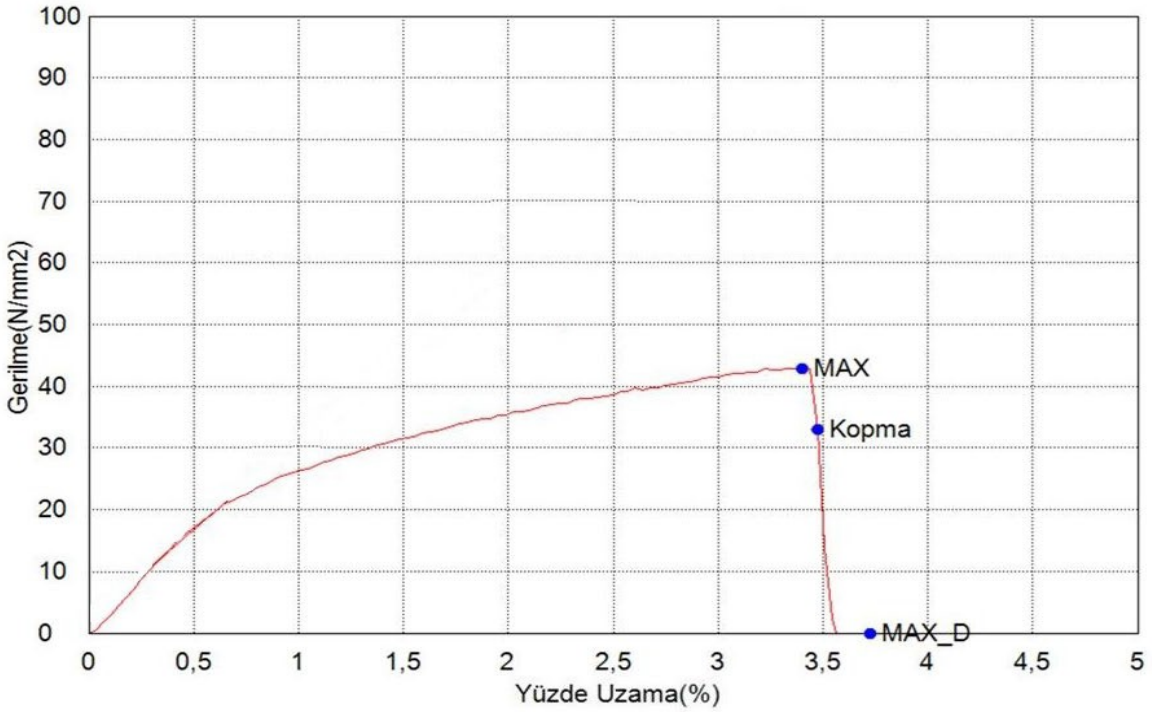
Şekil 7.6. Sisal lifi takviyeli N-6 çekme numunesinin gerilme – yüzde uzama grafiği

Sisal lifi takviye malzemesi kullanılarak üretilen kompozit malzemeden elde edilen çekme testi numunesi N-6´nın gerilme – yüzde uzama grafiği şekil 7.6.´da görülmektedir.



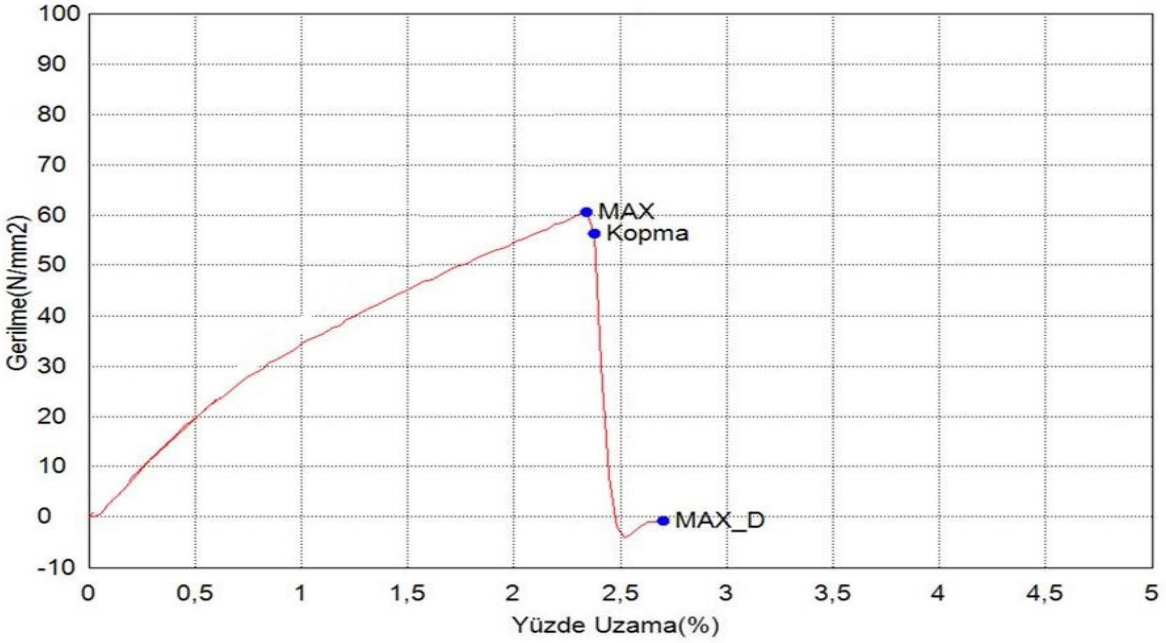
Şekil 7.7. Hindistan cevizi lifi takviyeli N-7 çekme numunesinin gerilme – yüzde uzama grafiği

Hindistan cevizi lifi takviye malzemesi kullanılarak üretilen kompozit malzemeden elde edilen çekme testi numunesi N-7´nin gerilme – yüzde uzama grafiği şekil 7.7.´da görülmektedir. Hindistan cevizi lifi kullanılarak üretilen kompozit malzemenin çekme mukavemetinin, üretilen diğer doğal elyaf takviyeli kompozit malzemelerden düşük olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca diğer numunelere göre daha gevrek bir yapıda olduğu ve en düşük uzama değerine sahip olduğu tespit edilmiştir.



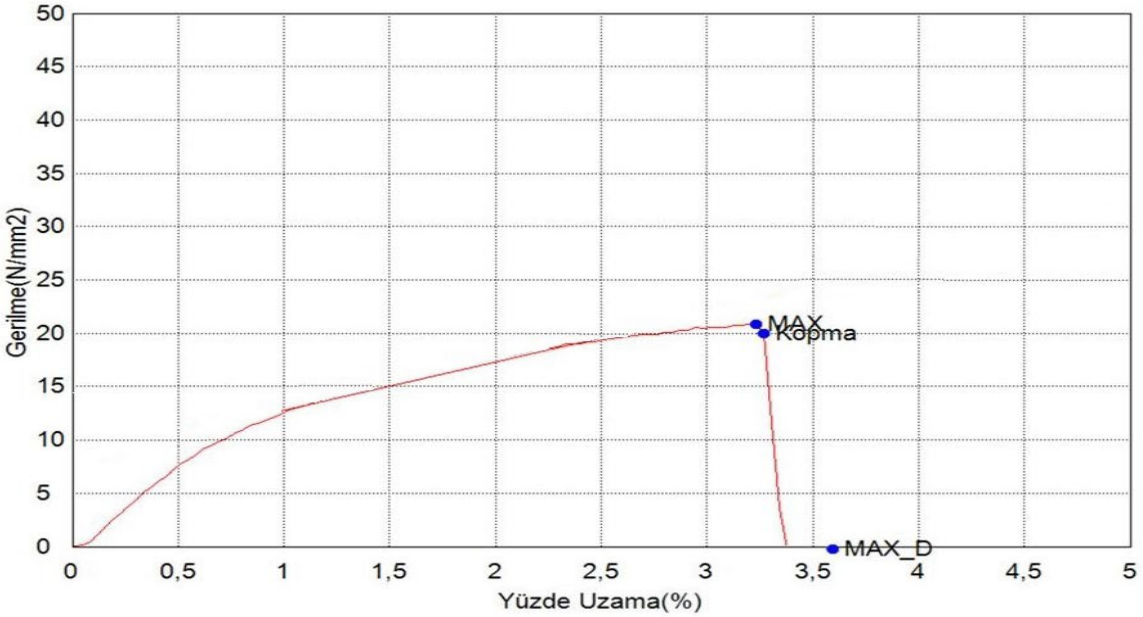
Şekil 7.8. Jüt ve keten elyaf takviyeli N-8 çekme numunesinin gerilme - yüzde uzama grafiği

İki tabaka jüt ve iki tabaka keten elyaf kumaş takviye malzemesi kullanılarak üretilen kompozit malzemeden elde edilen çekme testi numunesi N-8´in gerilme – yüzde uzama grafiği şekil 7.8.´de görülmektedir. Jüt ve keten elyafının bir arada kullanılması durumunda çekme mukavemetinin düştüğü ancak yüzde uzama değerinin sadece jüt elyaf kullanımına göre arttığı tespit edilmiştir.



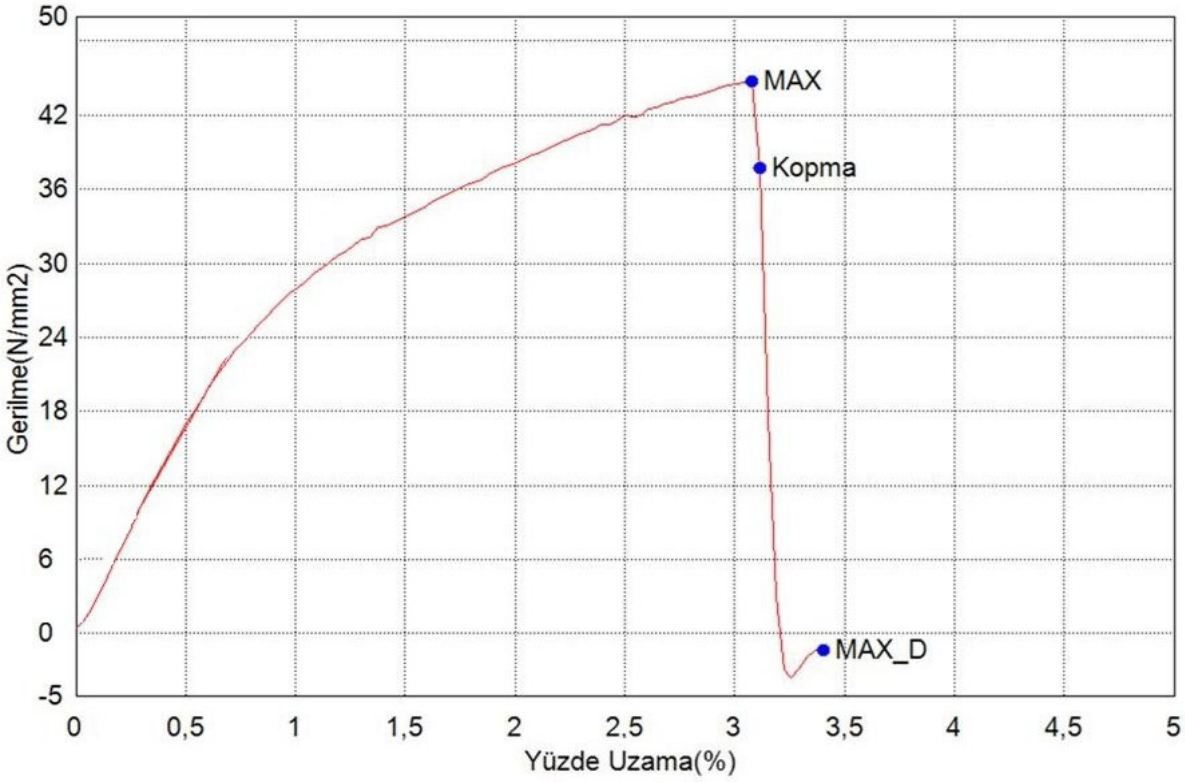
Şekil 7.9. Jüt ve kenevir elyaf takviyeli N-9 çekme numunesinin gerilme - yüzde uzama grafiği

Jüt ve kenevir elyaf kumaş takviyeli kompozit malzemeden elde edilen çekme testi numunesi N-9´un gerilme – yüzde uzama grafiği şekil 7.9.´da gösterilmektedir. İki farklı doğal elyafın takviye olarak kullanıldığı kompozit malzeme numuneleri arasında en yüksek çekme mukavemeti 60,5970 Mpa değeri ile jüt ve kenevir elyafı takviye malzemelerinin bir arada kullanılmasıyla üretilen N-9´da tespit edilmiştir.



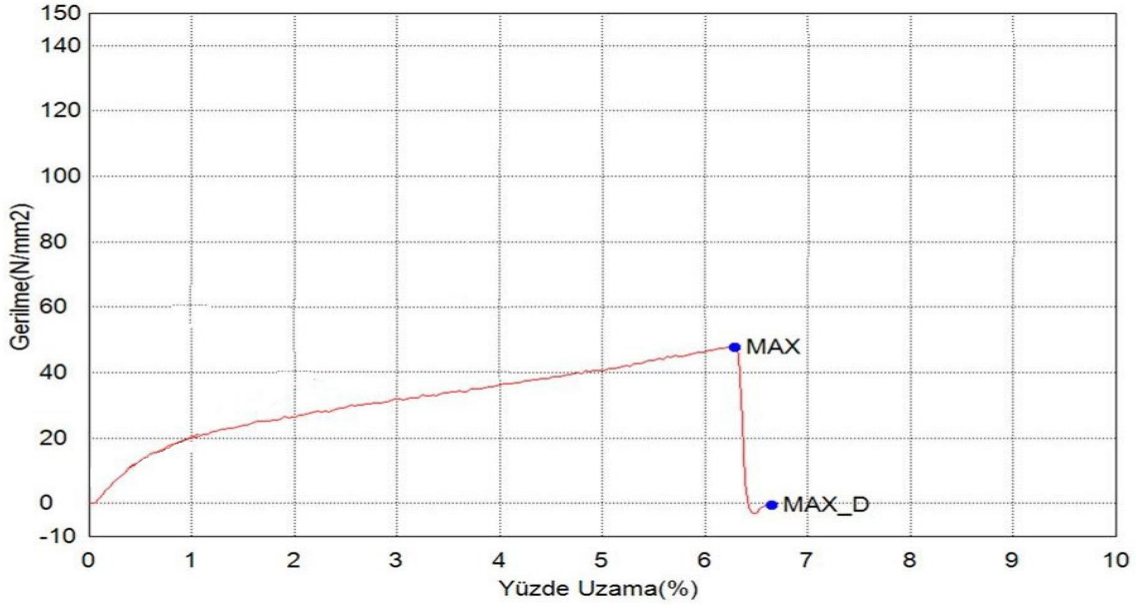
Şekil 7.10. Jüt ve yün elyaf takviyeli N-10 çekme numunesinin gerilme – yüzde uzama grafiği

Jüt ve yün elyaf kumaş takviyeli kompozit malzemeden elde edilen çekme testi numunesi N-10´un gerilme – yüzde uzama grafiği şekil 7.10.´da gösterilmektedir. Jüt ve yün elyaf takviye malzemesi olarak bir arada kullanıldığında, çekme mukavemetinin, jüt elyafa kıyasla azaldığı ancak uzama miktarının arttığı tespit edilmiştir.



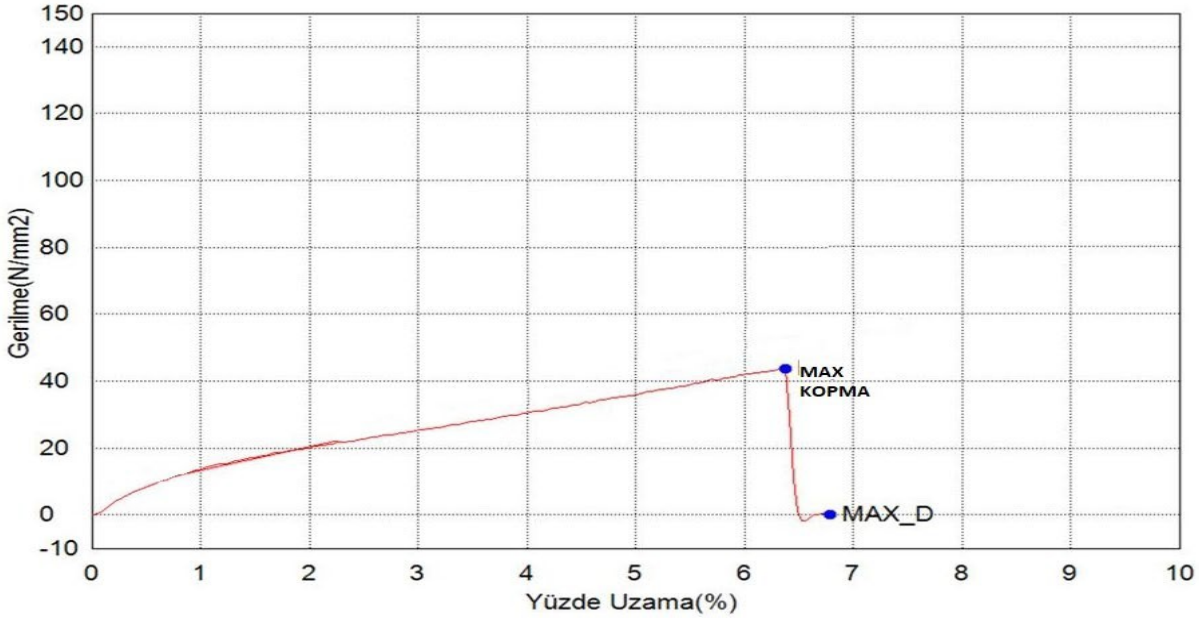
Şekil 7.11. Jüt ve pamuk elyaf takviyeli N-11 çekme numunesinin gerilme - yüzde uzama grafiği

Jüt ve pamuk elyaf kumaş takviyeli kompozit malzemeden elde edilen çekme testi numunesi N-11´in gerilme – yüzde uzama grafiği şekil 7.11.´da gösterilmektedir. Jüt ve pamuk elyaf kumaş takviye malzemeleri bir arada kullanılarak üretilen kompozit malzemenin, çekme mukavemetinin jüt elyaf ile yakın değerde olduğu ancak yüzde uzama ve uzama miktarlarının yükseldiği tespit edilmiştir.



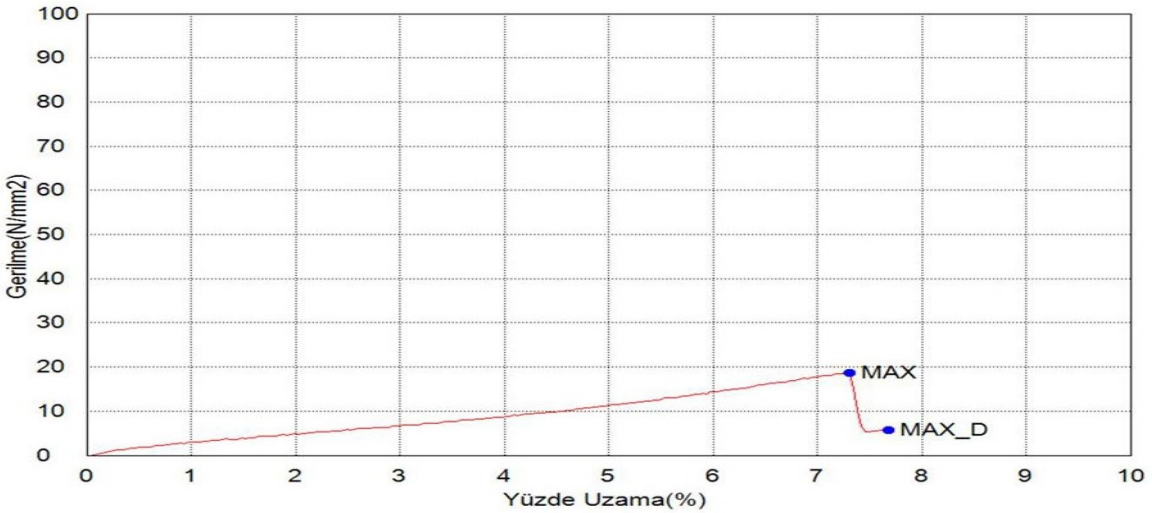
Şekil 7.12. Keten ve kenevir elyaf takviyeli N-12 çekme numunesinin gerilme - yüzde uzama grafiği

Keten ve kenevir elyaf kumaş takviyeli kompozit malzemeden elde edilen çekme testi numunesi N-12´in gerilme – yüzde uzama grafiği şekil 7.12.´de gösterilmektedir. Keten ve kenevir elyaf kumaş takviye malzemeleri bir arada kullanılarak üretilen kompozit malzemenin, kumaşların tek olarak kullanılmasıyla üretilen numunelere göre daha yüksek uzama değerine sahip olduğu görülmüştür



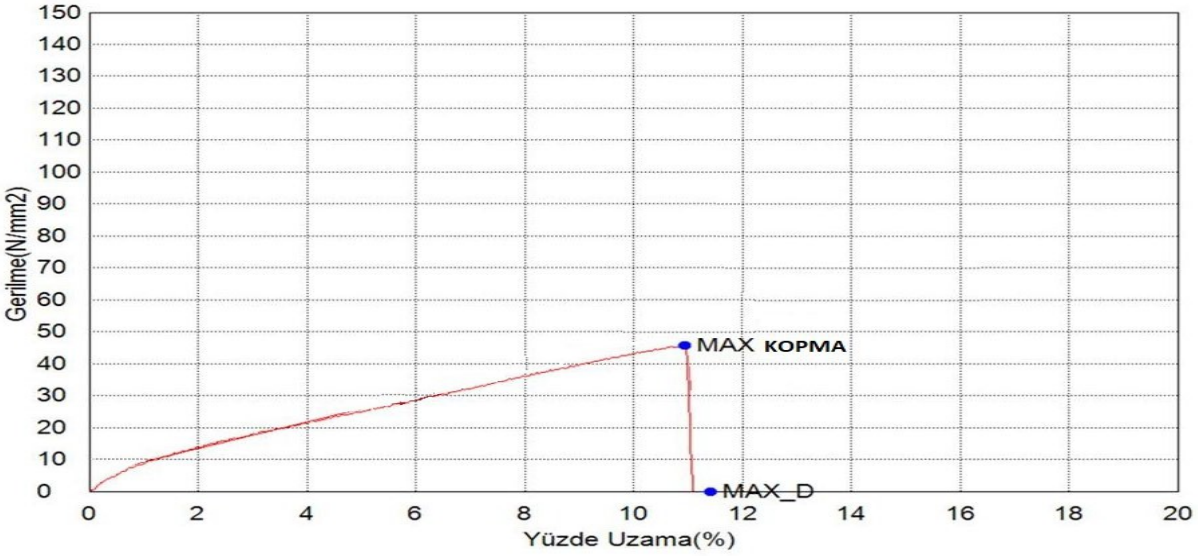
Şekil 7.13. Keten ve pamuk elyaf takviyeli N-13 çekme numunesinin gerilme - yüzde uzama grafiği

Keten ve pamuk elyaf kumaş takviyeli kompozit malzemeden elde edilen çekme testi numunesi N-13´ün gerilme – yüzde uzama grafiği şekil 7.13.´de gösterilmektedir. Keten ve pamuk elyaf kumaş takviyeli kompozit malzemenin, çekme mukavemetinin, yalnızca keten elyaf kullanılan numuneye göre daha düşük olduğu ancak uzama değerinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.



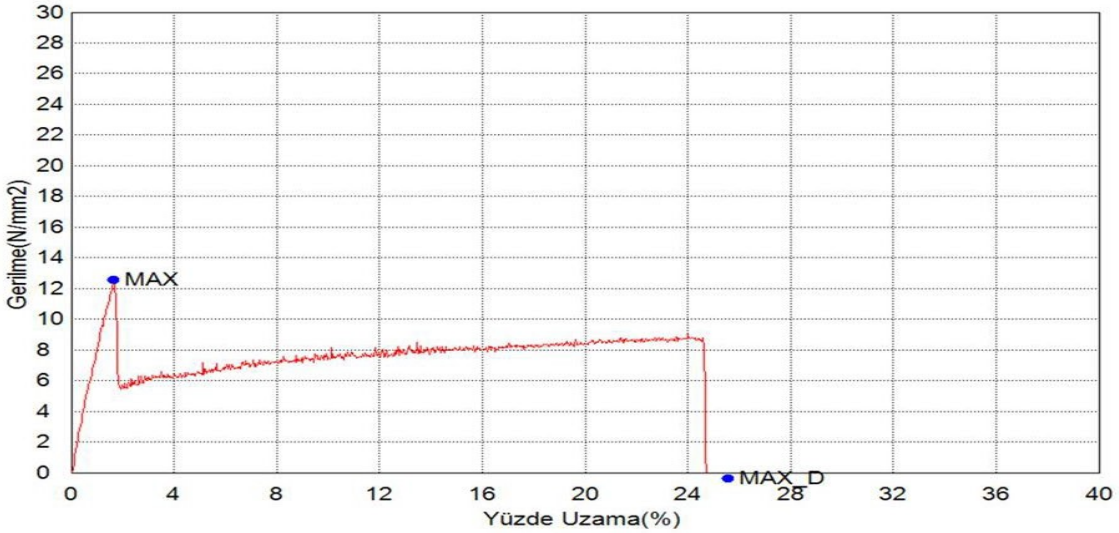
Şekil 7.14. Keten ve yün elyaf takviyeli N-14 çekme numunesinin gerilme - yüzde uzama grafiği

Keten ve yün elyaf kumaş takviyeli kompozit malzemeden elde edilen çekme testi numunesi N-14´ün gerilme – yüzde uzama grafiği şekil 7.14.´de gösterilmektedir. Keten ve yün elyaf takviye malzemelerini bir arada kullanılmasıyla üretilen kompozit malzemenin uzama miktarının arttığı görülmüştür.



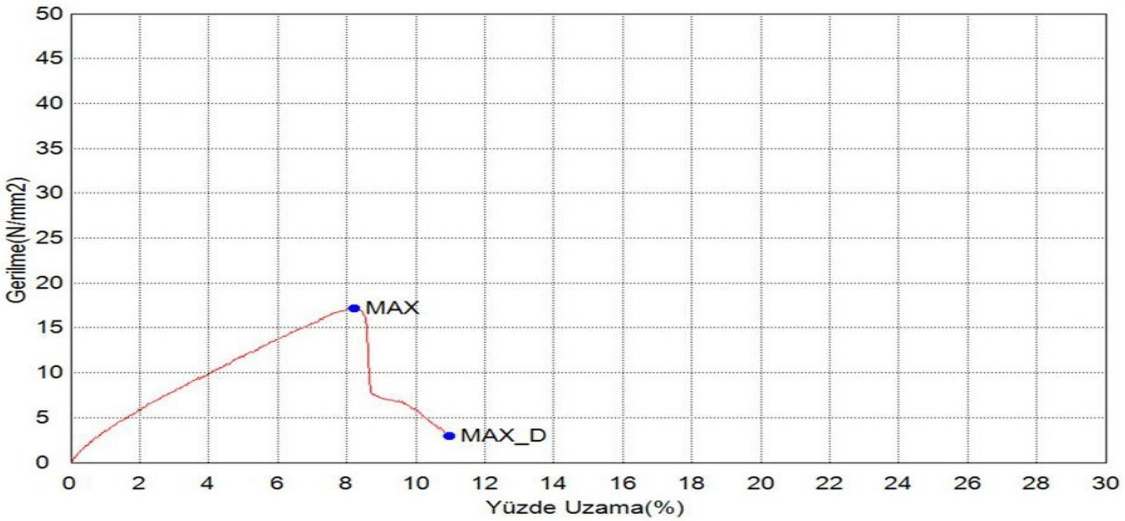
Şekil 7.15. Kenevir ve pamuk elyaf takviyeli N-15 çekme numunesinin gerilme - yüzde uzama grafiği

Kenevir ve pamuk elyaf kumaş takviyeli kompozit malzemeden elde edilen çekme testi numunesi N-15´in gerilme – yüzde uzama grafiği şekil 7.15.´de gösterilmektedir. Kenevir ve pamuk elyaf kumaş malzemelerinin bir arada kullanılmasıyla üretilen kompozit malzemenin uzama miktarının arttığı tespit edilmiştir.



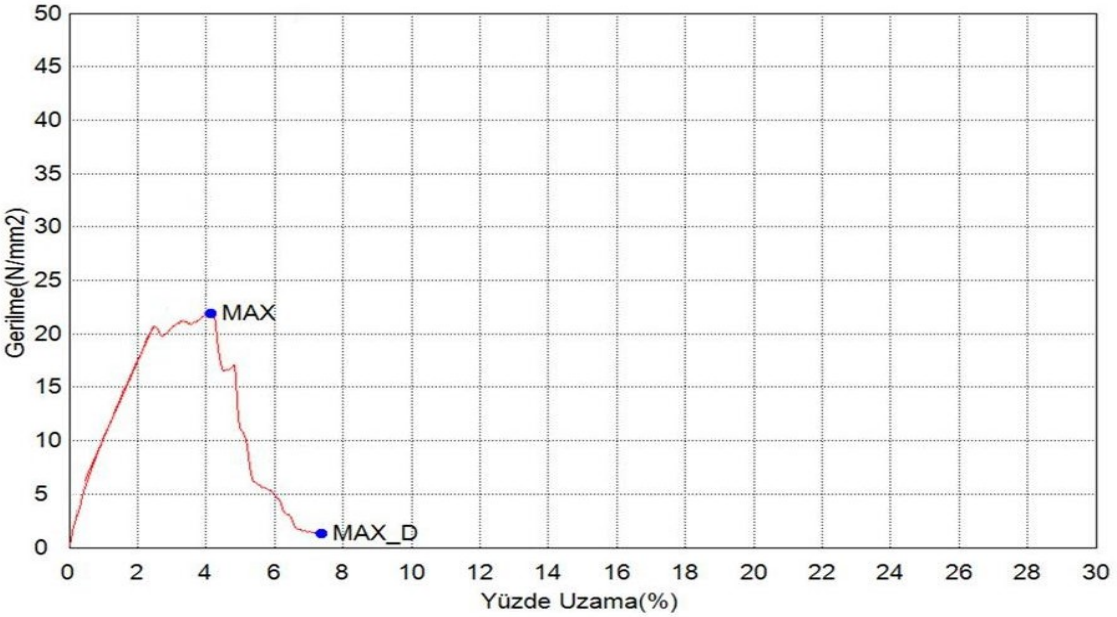
Şekil 7.16. Kenevir ve yün elyaf takviyeli N-16 çekme numunesinin gerilme - yüzde uzama grafiği

Kenevir ve yün elyaf kumaş takviyeli kompozit malzemeden elde edilen çekme testi numunesi N-16´in gerilme – yüzde uzama grafiği şekil 7.16.´da gösterilmektedir. Kenevir ve yün elyafının bir arada kullanılmasıyla üretilen kompozit malzemenin, diğer kompozit malzemelere göre en yüksek uzama değerine sahip olduğu ancak en düşük çekme mukavemetine sahip olduğu tespit edilmiştir.



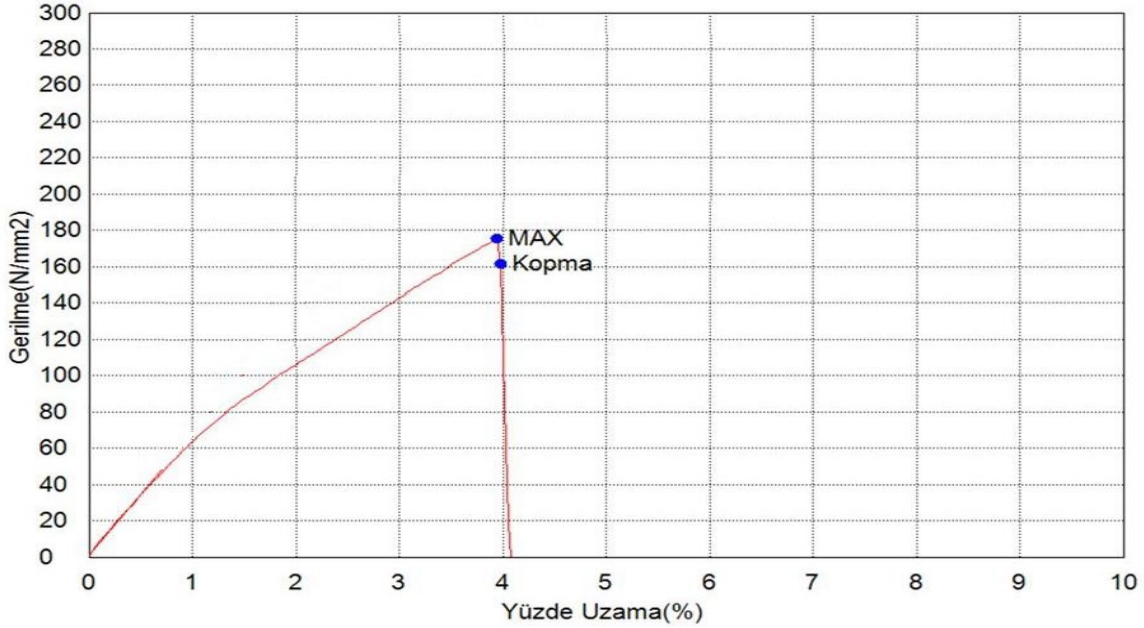
Şekil 7.17. Pamuk ve yün elyaf takviyeli N-17 çekme numunesinin gerilme - yüzde uzama grafiği

Pamuk ve yün elyaf kumaş takviyeli kompozit malzemeden elde edilen çekme testi numunesi N-17´in gerilme – yüzde uzama grafiği şekil 7.17.´de gösterilmektedir. Pamuk ve yün elyaf takviye malzemelerinin bir arada kullanılmasıyla çekme mukavemeti düşmüş ancak uzama miktarı artmıştır.



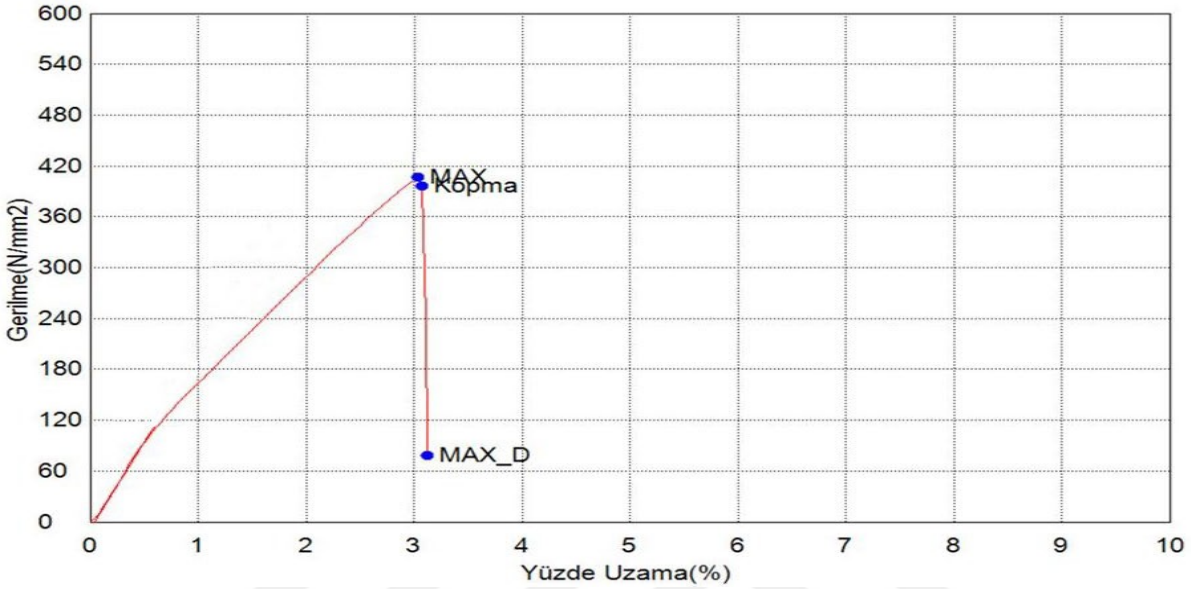
Şekil 7.18. Jüt, Keten, Kenevir, Pamuk ve yün elyaf takviyeli N-18 çekme numunesinin gerilme - yüzde uzama grafiği

Jüt, Keten, Kenevir, Pamuk ve yün elyaf takviyeli kompozit malzemeden elde edilen çekme testi numunesi N-18´in gerilme – yüzde uzama grafiği şekil 7.18.´de gösterilmektedir.



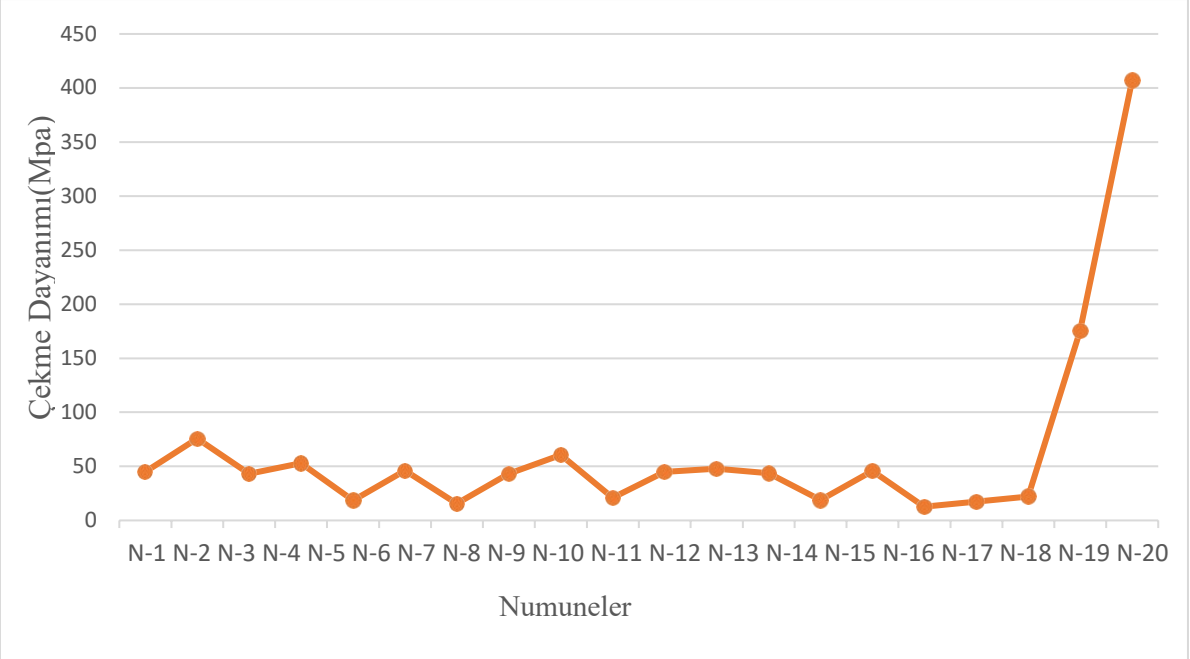
Şekil 7.19. Cam elyaf takviyeli N-19 çekme numunesinin gerilme - yüzde uzama grafiği

Cam elyaf takviyeli kompozit malzemeden elde edilen çekme testi numunesi N-19´un gerilme – yüzde uzama grafiği şekil 7.19.´da gösterilmektedir. Sentetik elyaf olan cam elyaf takviye malzemesi ile üretilen kompozit malzemenin çekme mukavemeti, doğal elyaf takviyeli kompozit malzemelere göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.



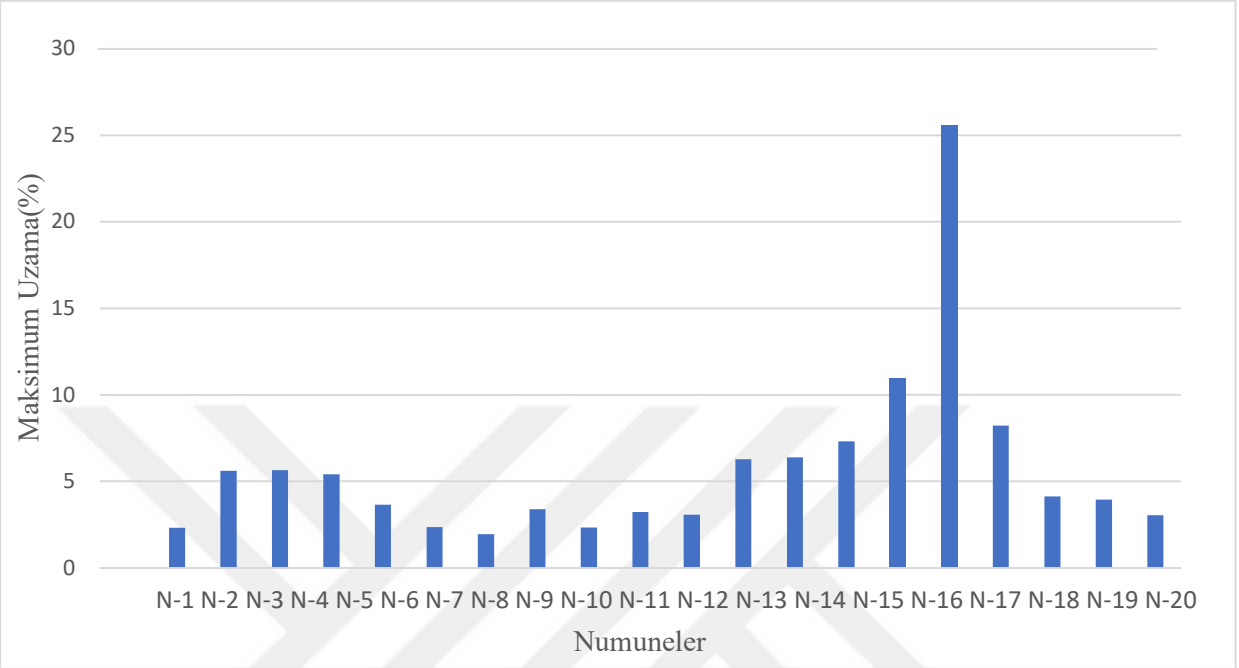
Şekil 7.20. Karbon elyaf takviyeli N-20 çekme numunesinin gerilme - yüzde uzama grafiği

Üretilen kompozit malzemeler arasında en yüksek çekme mukavemetine 406,8300 Mpa değeri ile karbon elyaf takviyeli kompozit malzemenin sahip olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 7.21. Bütün numunelerin çekme dayanımı değerleri

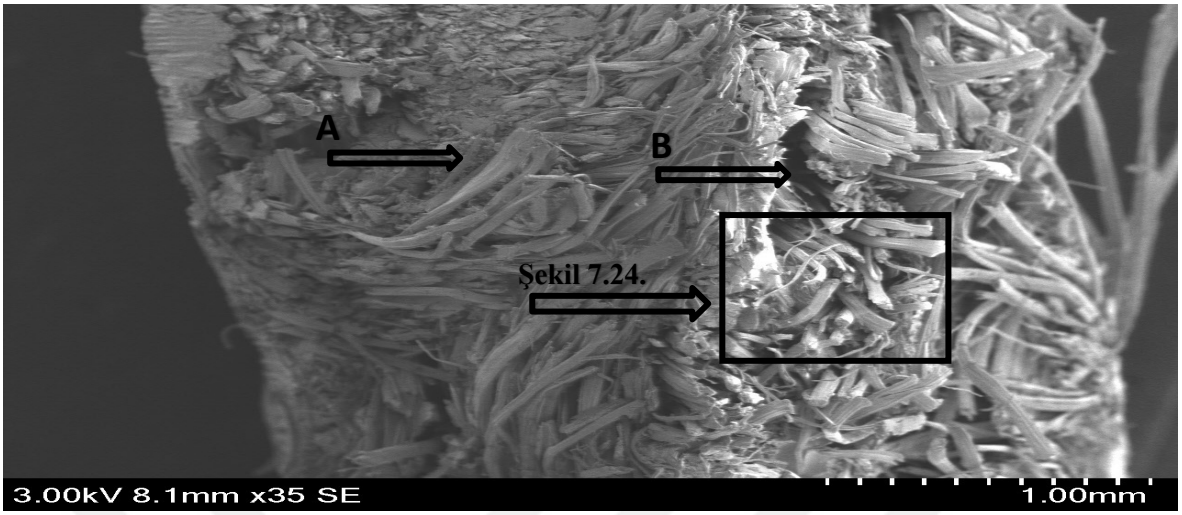
Üretilen doğal ve sentetik elyaf takviyeli kompozit malzemelerden elde edilen deney numunelerinin çekme dayanımı değerleri Şekil 7.21. ´de bir arada gösterilmektedir.



Şekil 7.22. Bütün numunelerin yüzde uzama değerleri

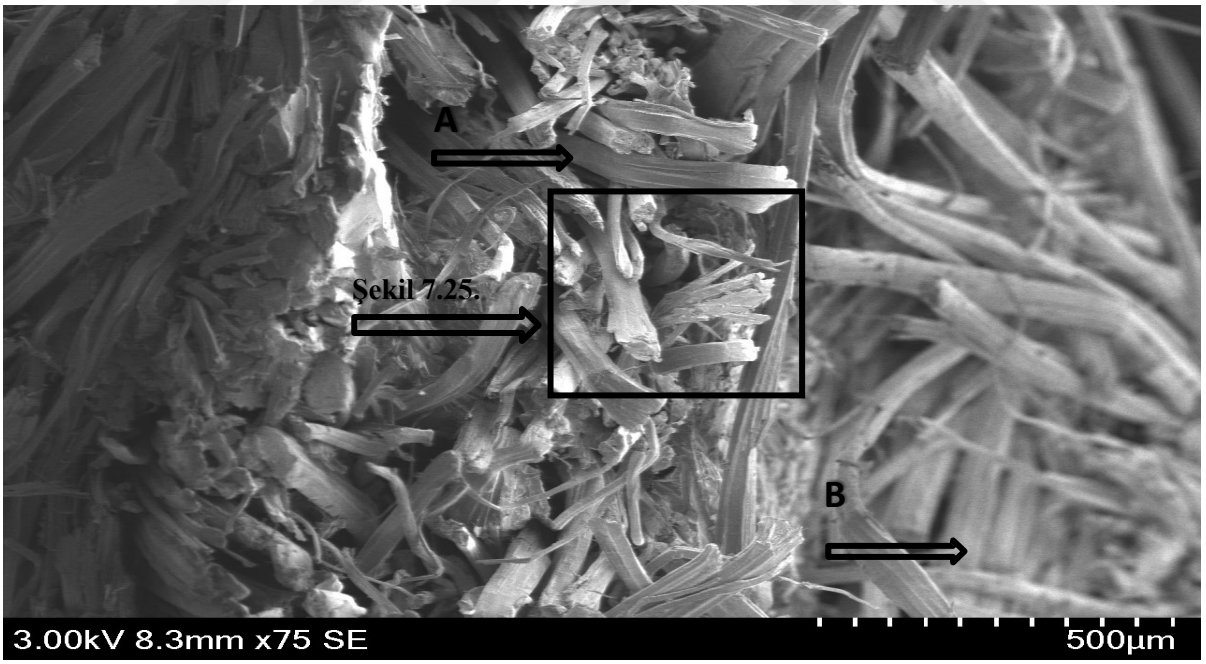
Üretilen doğal ve sentetik elyaf takviyeli kompozit malzemelerden elde edilen deney numunelerinin maksimum uzama değerleri Şekil 7.22. ´de bir arada gösterilmektedir. En yüksek yüzde uzama değerine N-16 numunesinin sahip olduğu görülmektedir.

7.2. Deney Numunelerinin Elektron Mikroskobunda Analizleri



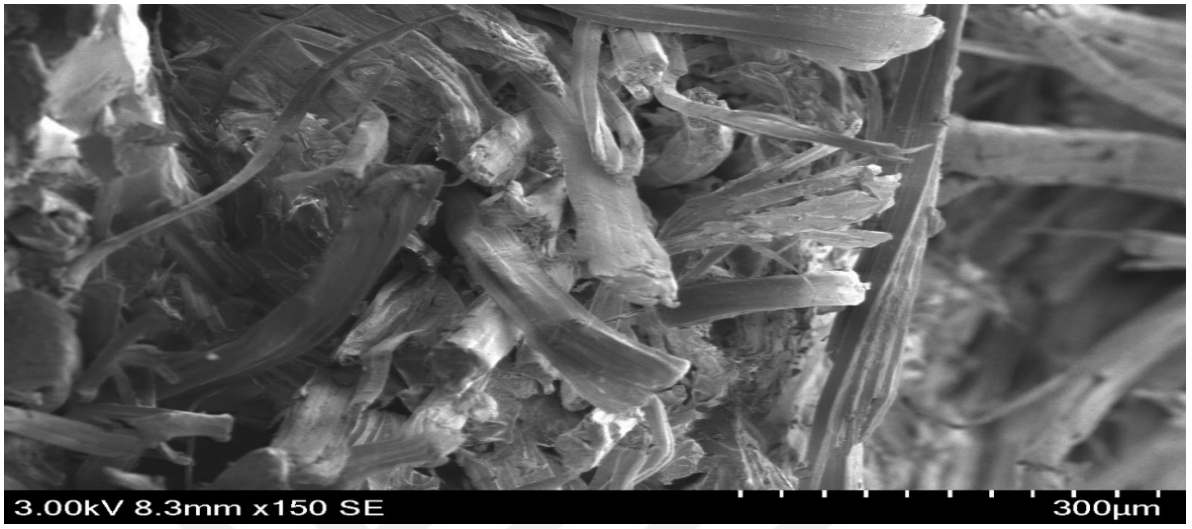
Şekil 7.23. Jüt elyaf takviyeli kompozit numunesinin (N-1) x35 büyütmedeki SEM görüntüsü

Jüt elyaf takviyeli kompozit numunesinin (N-1) x35 büyütmedeki görüntüsü Şekil 7.23.´de görülmektedir. Görüntüde (A) ile yatay jüt lifleri görülmekte, (B) ile numunenin kesilmesi sırasında oluşan boşluk görülmektedir.



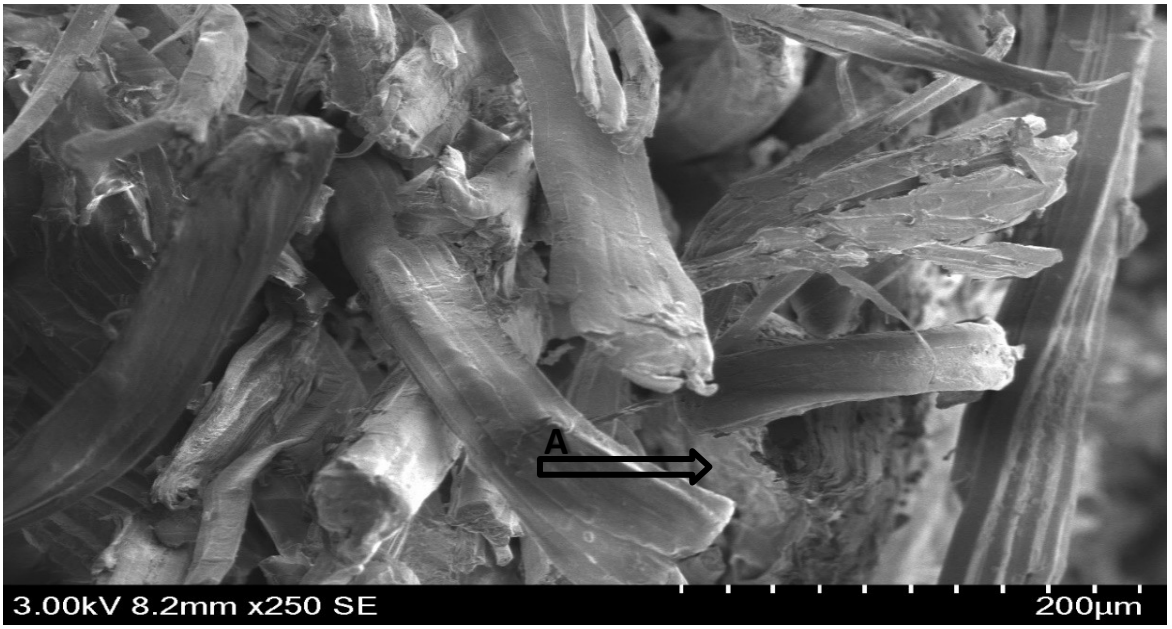
Şekil 7.24. Jüt elyaf takviyeli kompozit numunesinin (N-1) x75 büyütmedeki SEM görüntüsü

Jüt elyaf takviyeli kompozit numunesinin (N-1) x75 büyütmedeki görüntüsü Şekil 7.24.´de görülmektedir. Görüntüde (A) ile yatay jüt lifleri görülmekte, , (B) ile dikey jüt lifleri görülmektedir. Jüt lifleri arasında boşluklu bir yapı oluştuğu gözlenmiştir.



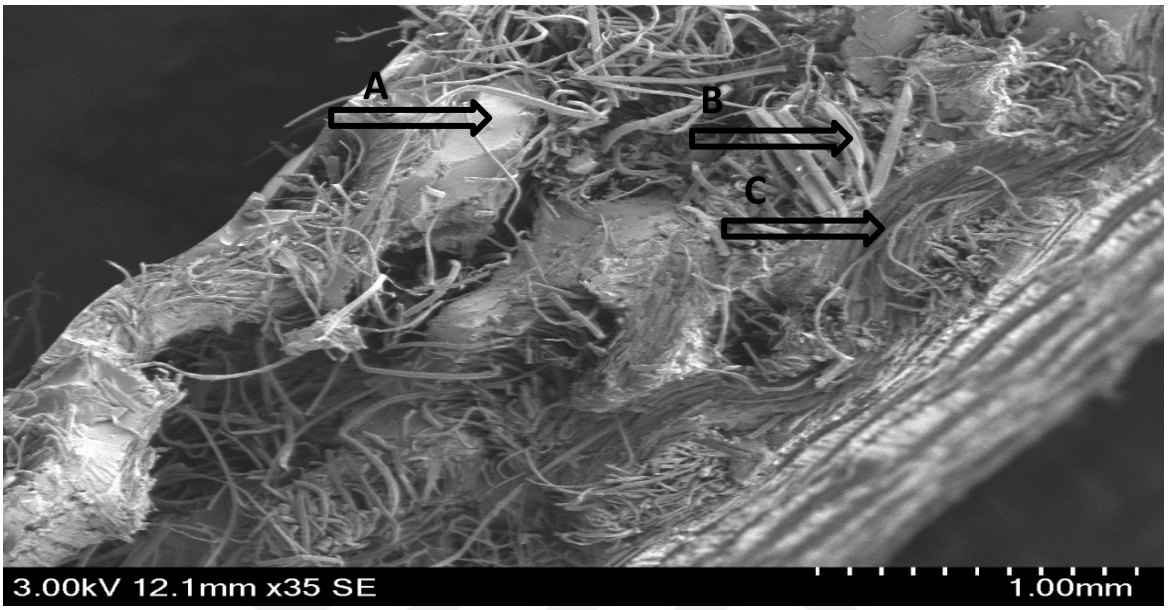
Şekil 7.25. Jüt elyaf takviyeli kompozit numunesinin (N-1) x150 büyütmedeki SEM görüntüsü

Jüt elyaf takviyeli kompozit numunesinin (N-1) x150 büyütmedeki görüntüsü Şekil 7.25.´de görülmektedir. Epoksi matris malzemesinin jüt lifi ile nüfuziyetinin düşük miktarda olduğu tespit edilmiştir.



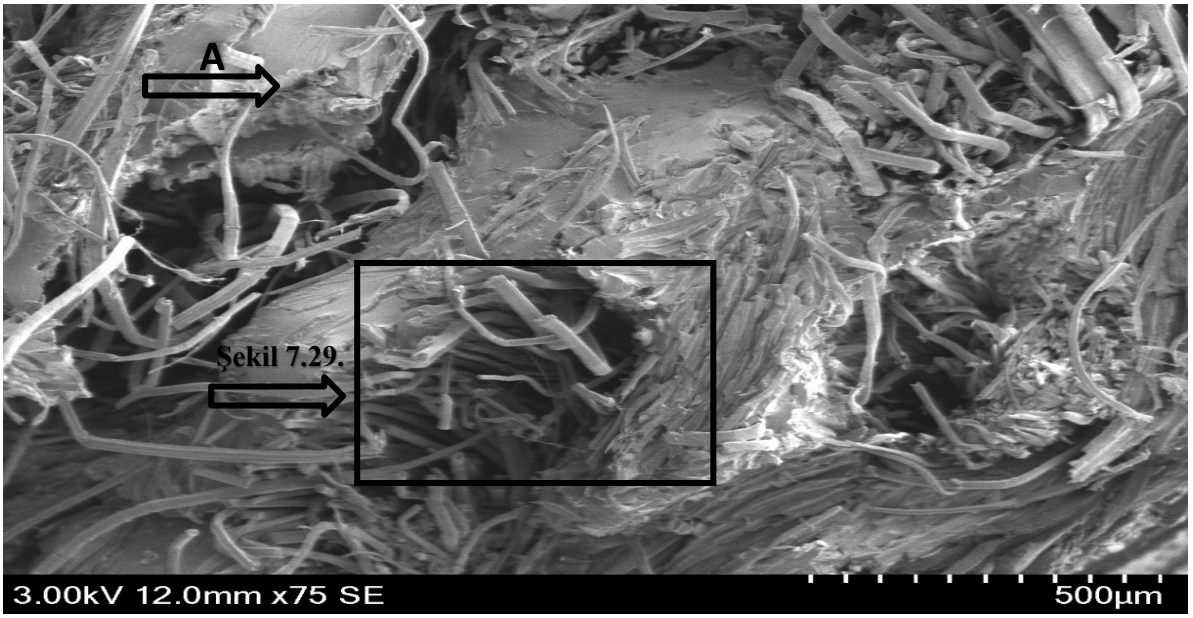
Şekil 7.26. Jüt elyaf takviyeli kompozit numunesinin (N-1) x250 büyütmedeki SEM görüntüsü

Jüt elyaf takviyeli kompozit numunesinin (N-1) x250 büyütmedeki görüntüsü Şekil 7.26.´de görülmektedir. Görüntüde (A) ile epoksi reçinenin jüt elyaf ile birleşim sağladığı görülmektedir.



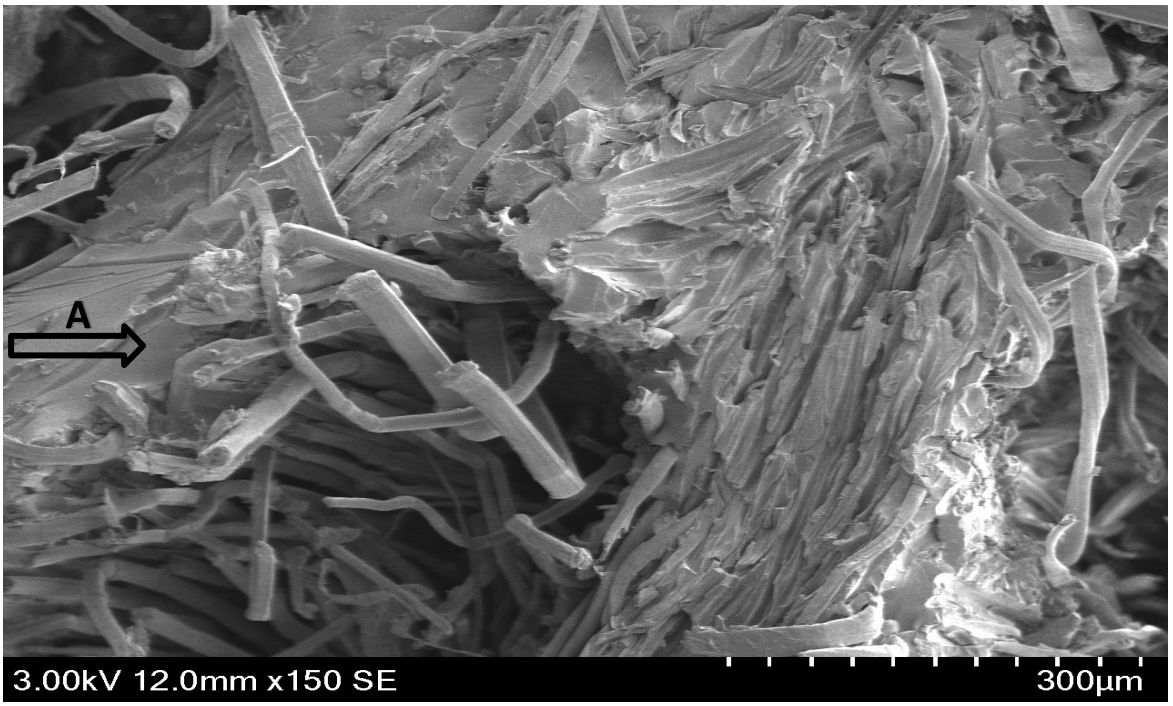
Şekil 7.27. Keten elyaf takviyeli kompozit numunesinin (N-2) x35 büyütmedeki SEM görüntüsü

Keten elyaf takviyeli kompozit numunesinin (N-2) x35 büyütmedeki görüntüsü Şekil 7.27.´de görülmektedir. Görüntüde (A) ile epoksi matris malzemesinin takviye malzemesi ile nüfuziyeti görülmektedir. Görüntüde (B) ile dikey keten lifleri görülmekte, (C) ile yatay keten lifleri gösterilmektedir.



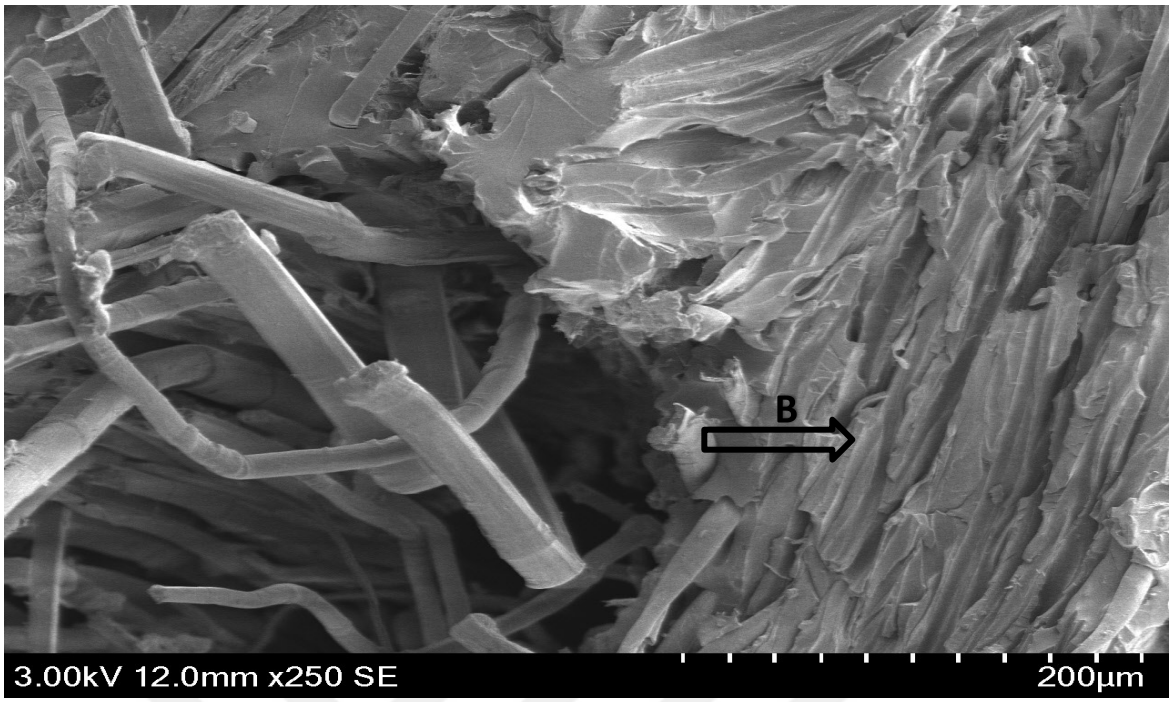
Şekil 7.28. Keten elyaf takviyeli kompozit numunesinin (N-2) x75 büyütmedeki SEM görüntüsü

Keten elyaf takviyeli kompozit numunesinin (N-2) x75 büyütmedeki görüntüsü Şekil 7.28.´de görülmektedir. Görüntüde (A) ile epoksi reçine ve keten lifi birleşimi görülmektedir. Epoksi matris numunesinin keten elyaf takviye malzemesi ile yer yer iyi nüfuziyet sağlamasına rağmen boşluklu yapıların var olduğu tespit edilmiştir.



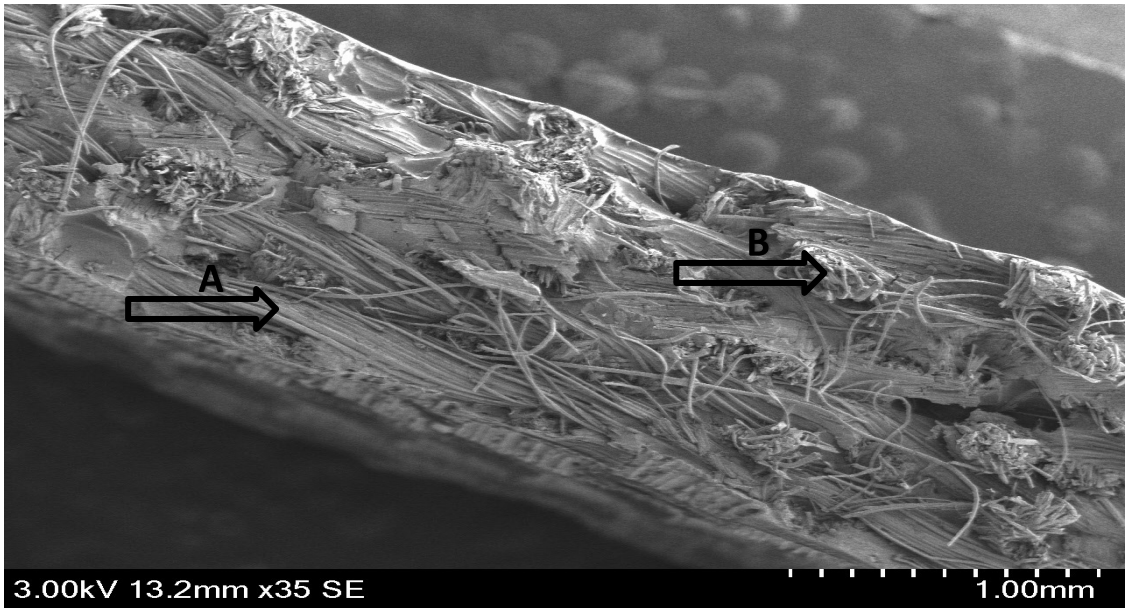
Şekil 7.29. Keten elyaf takviyeli kompozit numunesinin (N-2) x150 büyütmedeki SEM görüntüsü

Keten elyaf takviyeli kompozit numunesinin (N-2) x150 büyütmedeki görüntüsü Şekil 7.29.´de görülmektedir. Görüntüde (A) ile epoksi reçinenin yoğun olduğu bölge gösterilmektedir. Epoksi matris malzemesinin numune üzerinde homojen dağılım göstermediği tespit edilmiştir



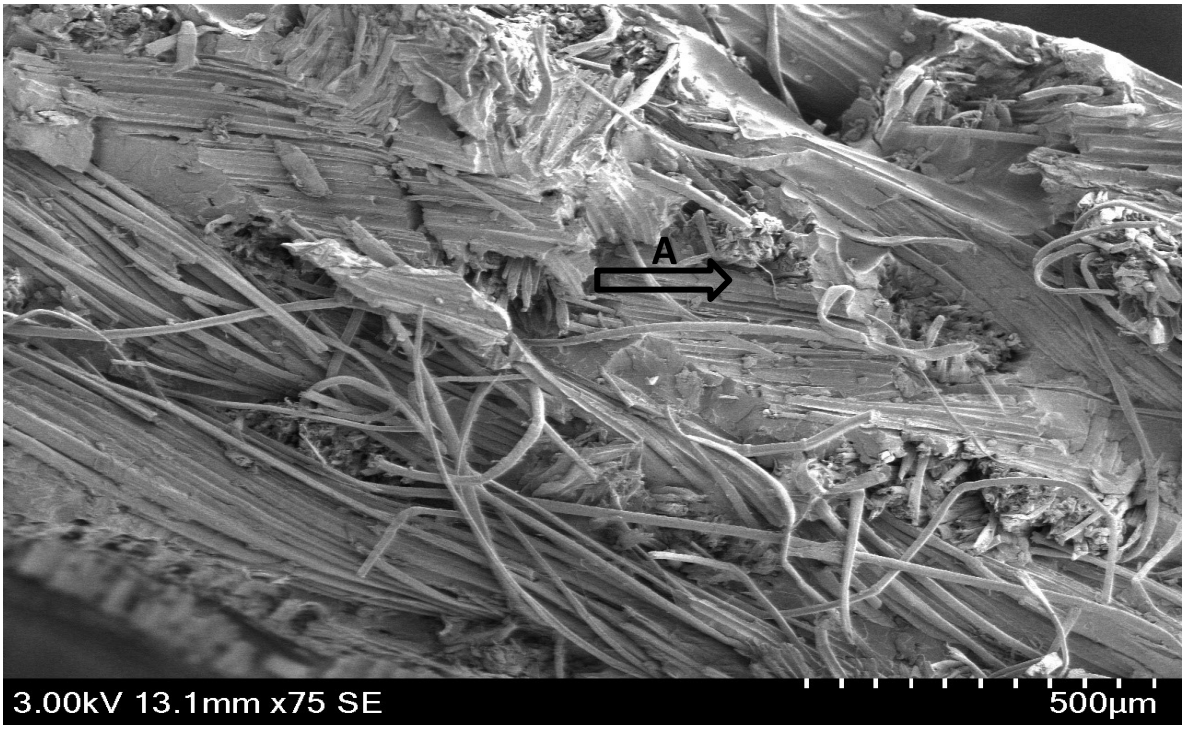
Şekil 7.30. Keten elyaf takviyeli kompozit numunesinin (N-2) x250 büyütmedeki SEM görüntüsü

Keten elyaf takviyeli kompozit numunesinin (N-2) x250 büyütmedeki görüntüsü Şekil 7.30.´de görülmektedir. Keten lifleri ile epoksi matris malzemesinin, jüt lifine göre daha iyi nüfuziyet sağladığı ancak homojen dağılım göstermediği tespit edilmiştir.



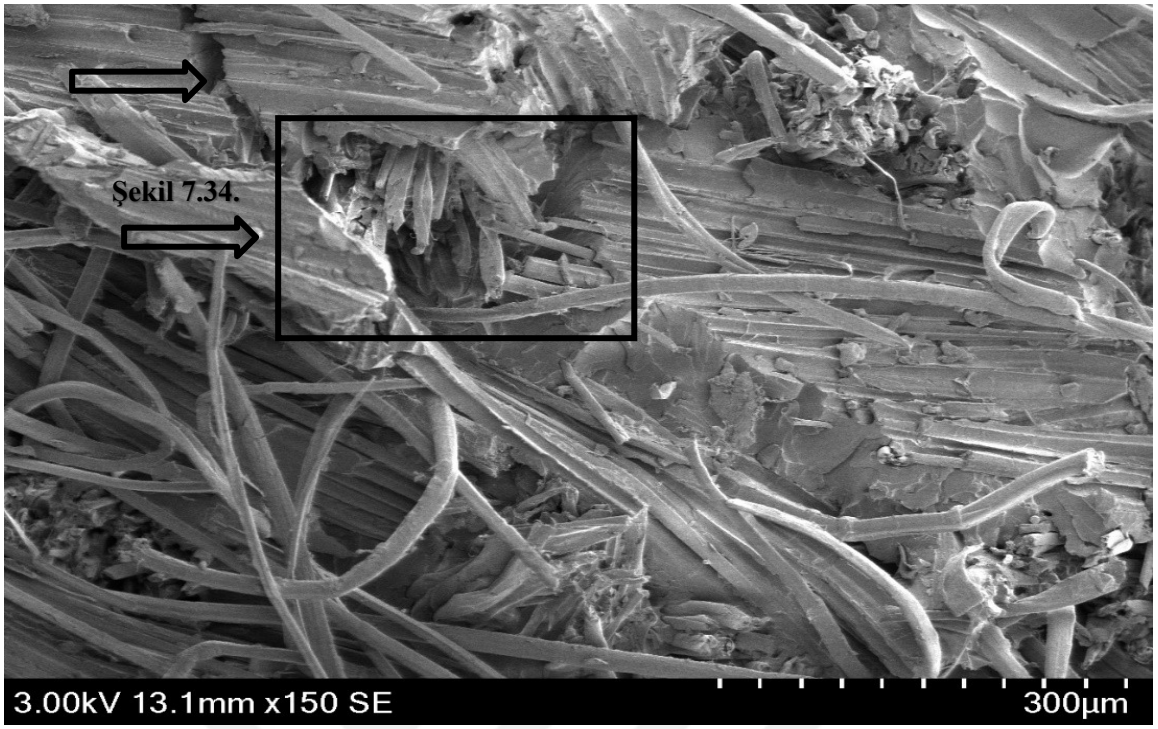
Şekil 7.31. Kenevir elyaf takviyeli kompozit numunesinin (N-3) x35 büyütmedeki SEM görüntüsü

Kenevir elyaf takviyeli kompozit numunesinin (N-3) x35 büyütmedeki görüntüsü Şekil 7.31.′da görülmektedir. Görüntüde (A) ile yatay kenevir elyaf lifleri, (B) ile dikey kenevir lifleri görülmektedir. Jüt ve keten elyaf takviyeli numunelere göre kenevir elyaf takviyeli kompozit malzeme yapısında daha az boşluklu yapı olduğu tespit edilmiştir.



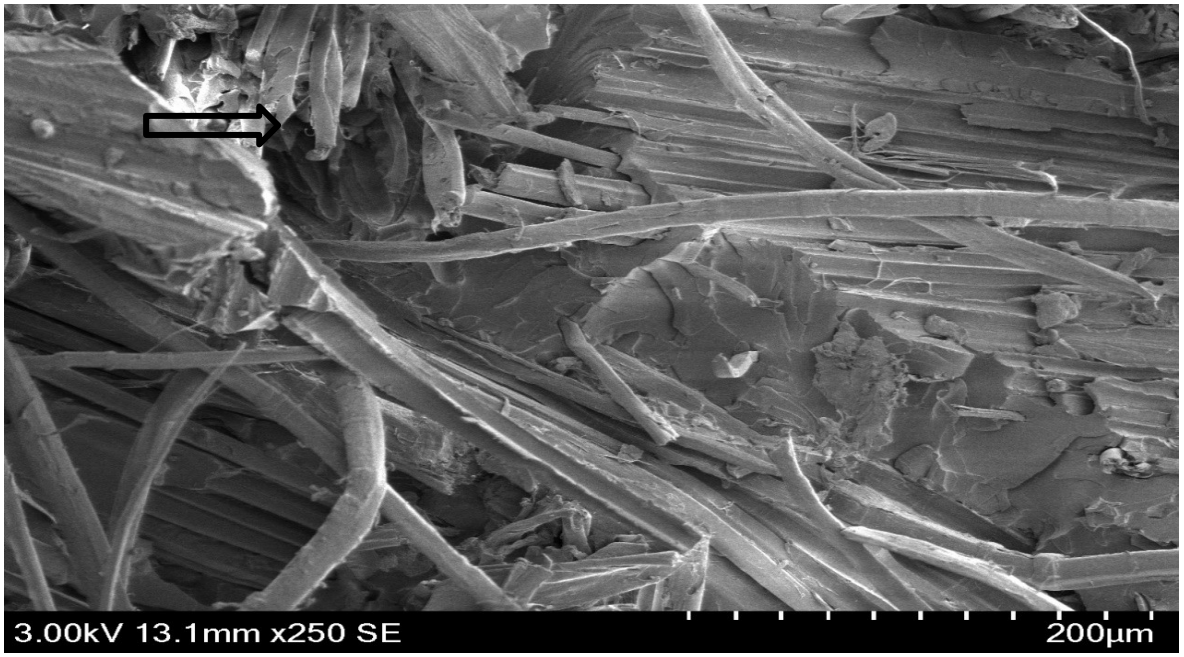
Şekil 7.32. Kenevir elyaf takviyeli kompozit numunesinin (N-3) x75 büyütmedeki SEM görüntüsü

Kenevir elyaf takviyeli kompozit numunesinin (N-3) x75 büyütmedeki görüntüsü Şekil 7.32.′da görülmektedir. Görüntüde (A) ile epoksi matris malzemesinin kenevir elyaf üzerinde iyi nüfuziyet sağladığı görülmektedir.



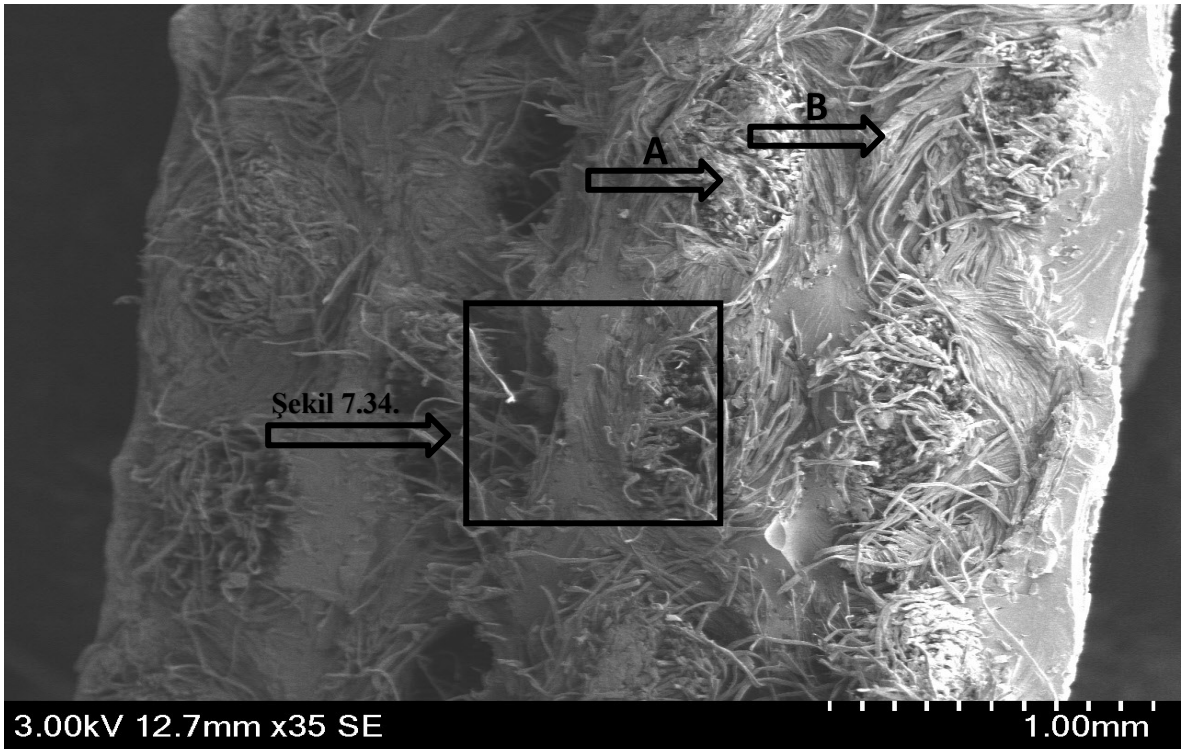
Şekil 7.33. Kenevir elyaf takviyeli kompozit numunesinin (N-3) x150 büyütmedeki SEM görüntüsü

Kenevir elyaf takviyeli kompozit numunesinin (N-3) x150 büyütmedeki görüntüsü Şekil 7.33.´de görülmektedir. Görüntüde malzeme üzerinde çatlak oluşumu görülmektedir, bu çatlağın malzemenin hızlı soğuması nedeniyle oluştuğu değerlendirilmiştir.



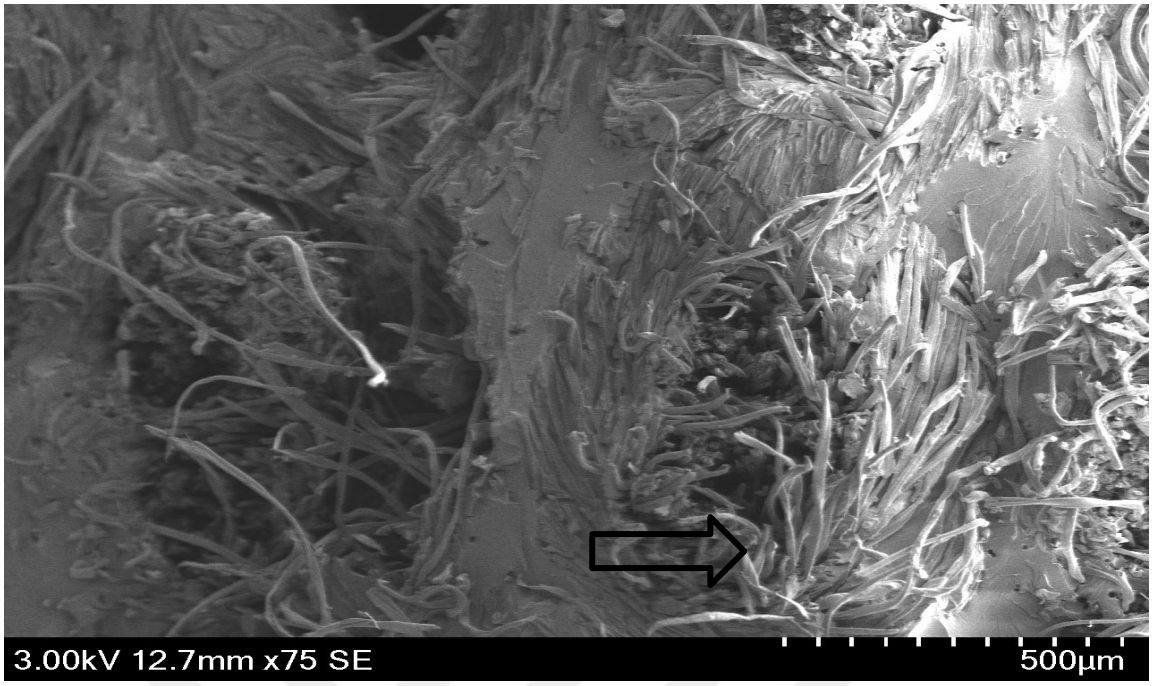
Şekil 7.34. Kenevir elyaf takviyeli kompozit numunesinin (N-3) x250 büyütmedeki SEM görüntüsü

Kenevir elyaf takviyeli kompozit numunesinin (N-3) x250 büyütmedeki görüntüsü Şekil 7.34.′de görülmektedir. Kenevir elyaf lifilerinin uçlarında saçaklanmalar oluştugu görülmektedir. Bu nedenle malzemenin sünek bir yapıda oldugu değerlendirilmiştir.



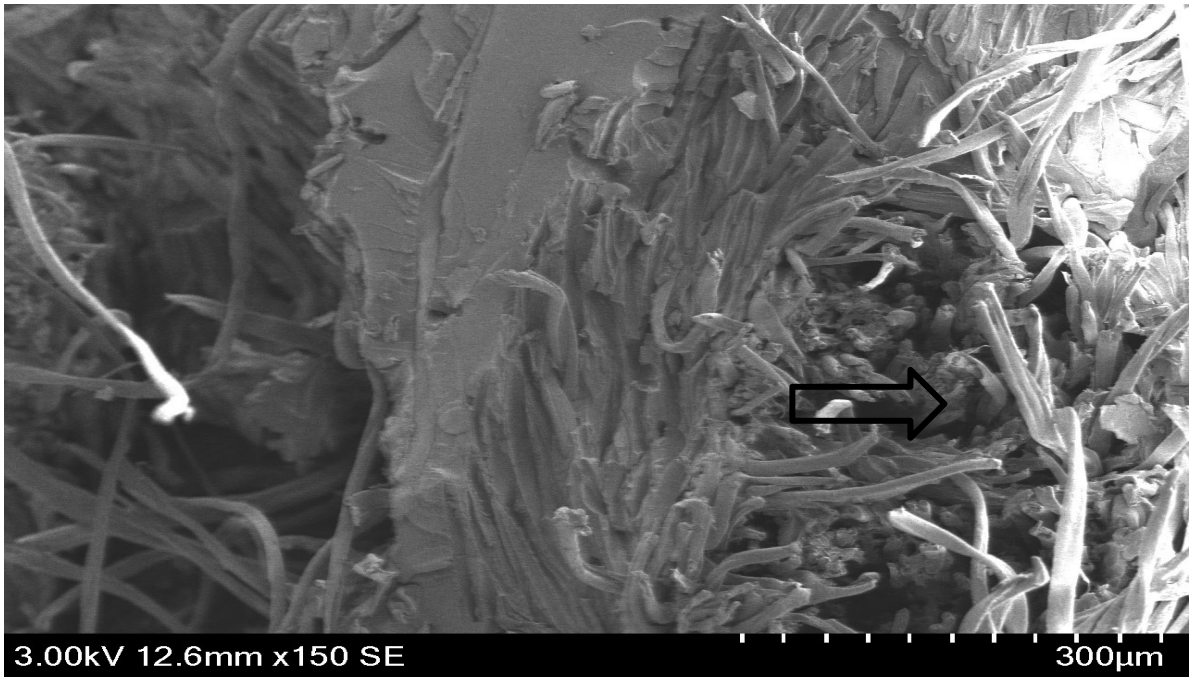
Şekil 7.35. Pamuk elyaf takviyeli kompozit numunesinin (N-4) x35 büyütmedeki SEM görüntüsü

Pamuk elyaf takviyeli kompozit numunesinin (N-4) x35 büyütmedeki görüntüsü Şekil 7.35.′de görülmektedir. Görüntüde (A) ile dikey fiber malzemesi görükmekte, B ile gösterilen noktada yatay lifler görülmektedir



Şekil 7.36. Pamuk elyaf takviyeli kompozit numunesinin (N-4) x75 büyütmedeki SEM görüntüsü

Pamuk elyaf takviyeli kompozit numunesinin (N-4) x75 büyütmedeki görüntüsü Şekil 7.36.´da görülmektedir. Yatay pamuk liflerinin dikey liflere göre daha fazla epoksi reçine ile nüfuziyet sağladığı görülmektedir. Lif demetleri arasında boşluklu yapılar olduğu tespit edilmiştir.



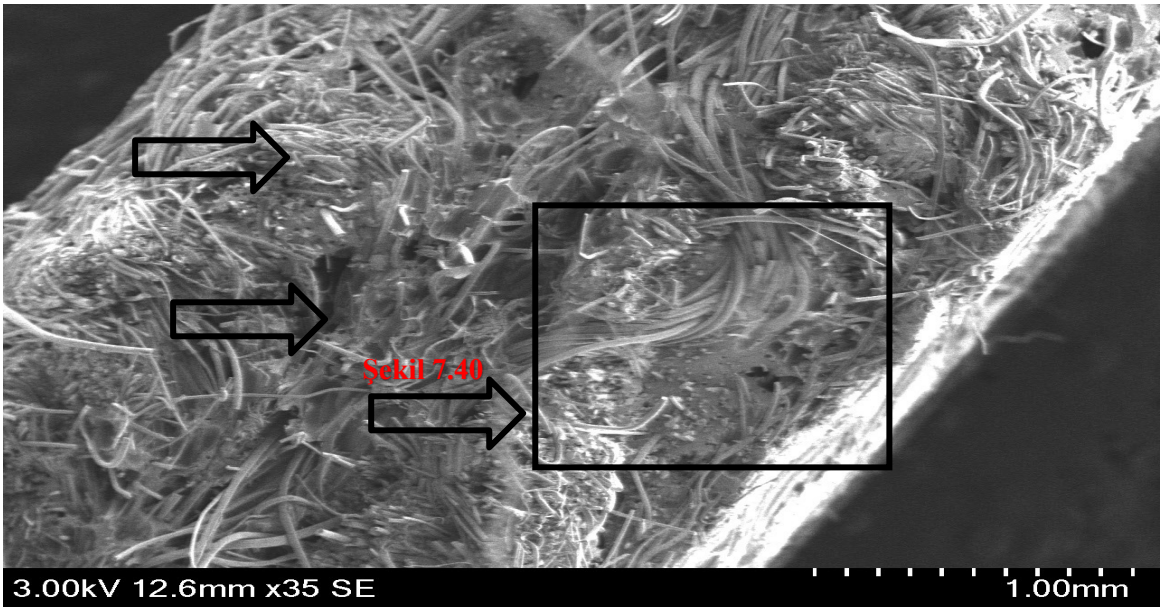
Şekil 7.37. Pamuk elyaf takviyeli kompozit numunesinin (N-4) x150 büyütmedeki SEM görüntüsü

Pamuk elyaf takviyeli kompozit numunesinin (N-4) x150 büyütmedeki görüntüsü Şekil 7.37.´de görülmektedir. Dikey yönelimli lifler arasında epoksi nüfuziyetinin yetersiz kaldığı tespit edilmiştir.



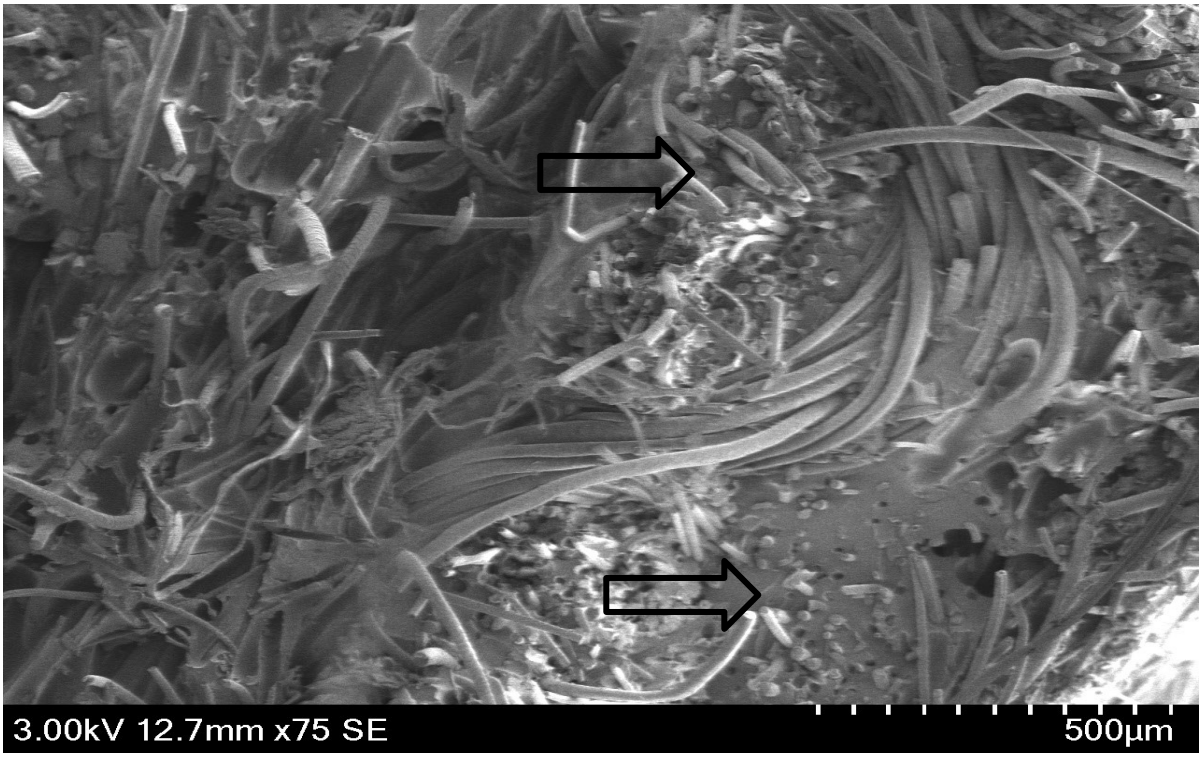
Şekil 7.38. Pamuk elyaf takviyeli kompozit numunesinin (N-4) x250 büyütmedeki SEM görüntüsü

Pamuk elyaf takviyeli kompozit numunesinin (N-4) x250 büyütmedeki görüntüsü Şekil 7.38.´da görülmektedir. Görüntüde yatay yönelimli lifler ile epoksi malzemesinin daha iyi nüfuziyet sağladığı tespit edilmiştir.



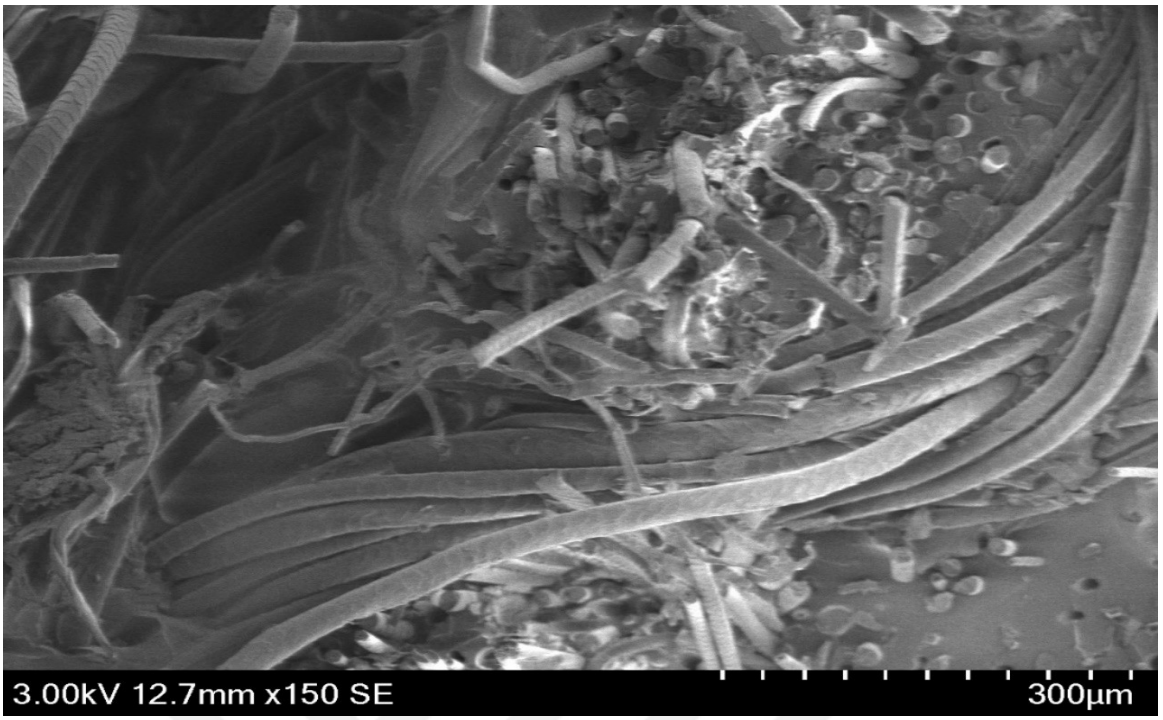
Şekil 7.39. Yün elyaf takviyeli kompozit numunesinin (N-5) x35 büyütmedeki SEM görüntüsü

Yün elyaf takviyeli kompozit numunesinin (N-5) x35 büyütmedeki görüntüsü Şekil 7.39.′da görülmektedir. Görüntüde yatay ve dikey yönelimli yün lifleri görülmektedir. Yün takviyeli epoksi matrisli malzeme içerisinde diğer numunelere göre daha az boşluklu yapı olduğu tespit edilmiştir.



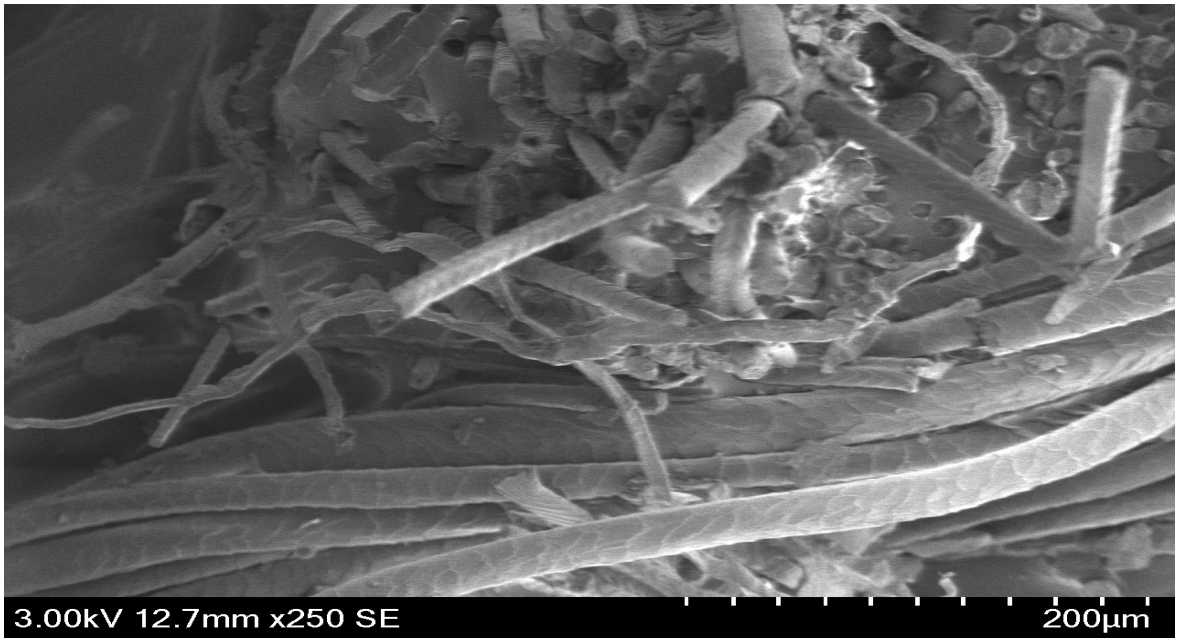
Şekil 7.40. Yün elyaf takviyeli kompozit numunesinin (N-5) x75 büyütmedeki SEM görüntüsü

Yün elyaf takviyeli kompozit numunesinin (N-5) x75 büyütmedeki görüntüsü Şekil 7.40.′da görülmektedir. Görüntüde epoksi reçinenin yün lifi ile iyi nüfuziyet sağladığı görülmüştür. Yün lifleri arasında bazı noktalarda boşluklu yapıların olduğu görülmüştür.



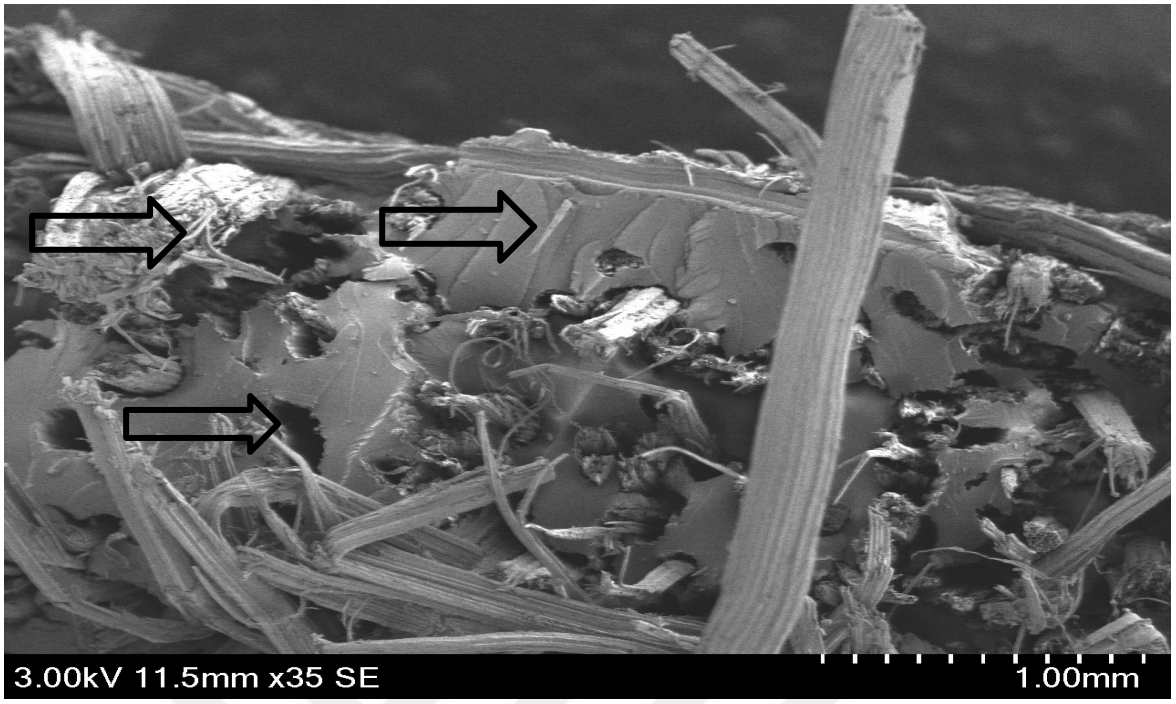
Şekil 7.41. Yün elyaf takviyeli kompozit numunesinin (N-5) x150 büyütmedeki SEM görüntüsü

Yün elyaf takviyeli kompozit numunesinin (N-5) x150 büyütmedeki görüntüsü Şekil 7.41.′da görülmektedir.



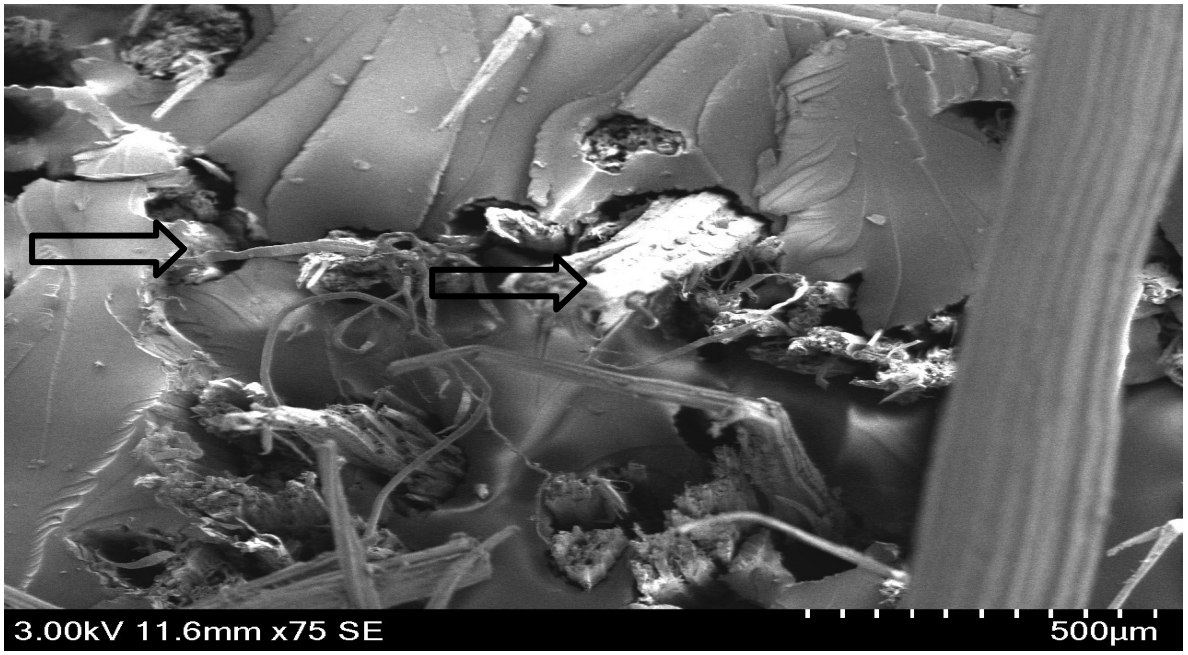
Şekil 7.42. Yün elyaf takviyeli kompozit numunesinin (N-5) x250 büyütmedeki SEM görüntüsü

Yün elyaf takviyeli kompozit numunesinin (N-5) x250 büyütmedeki görüntüsü Şekil 7.42.′da görülmektedir.



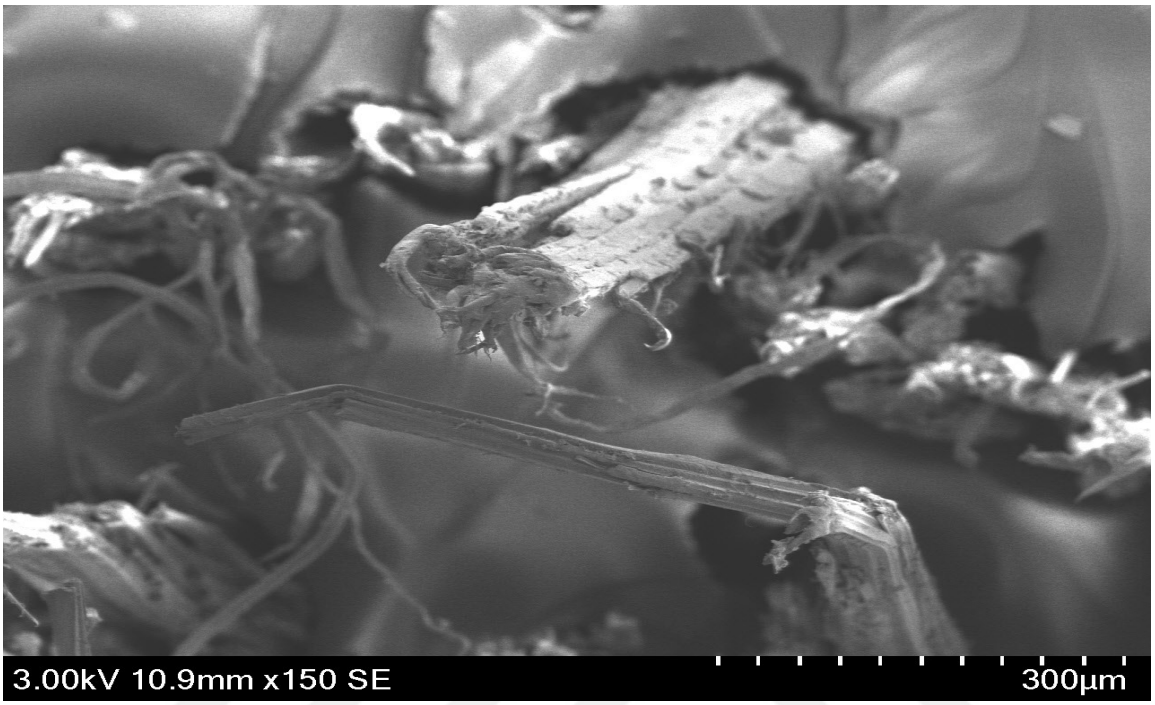
Şekil 7.43. Sisal elyaf takviyeli kompozit numunesinin (N-6) x35 büyütmedeki SEM görüntüsü

Sisal elyaf takviyeli kompozit numunesinin (N-6) x35 büyütmedeki görüntüsü Şekil 7.43.′da görülmektedir. Sisal lif demetlerinin diğer takviye malzemelerine göre daha büyük boyutta olduğu görülmektedir. Epoksi reçine matris malzemesinin homojen bir şekilde dağılmadığı, yapı içerisinde boşluklar olduğu tespit edilmiştir.



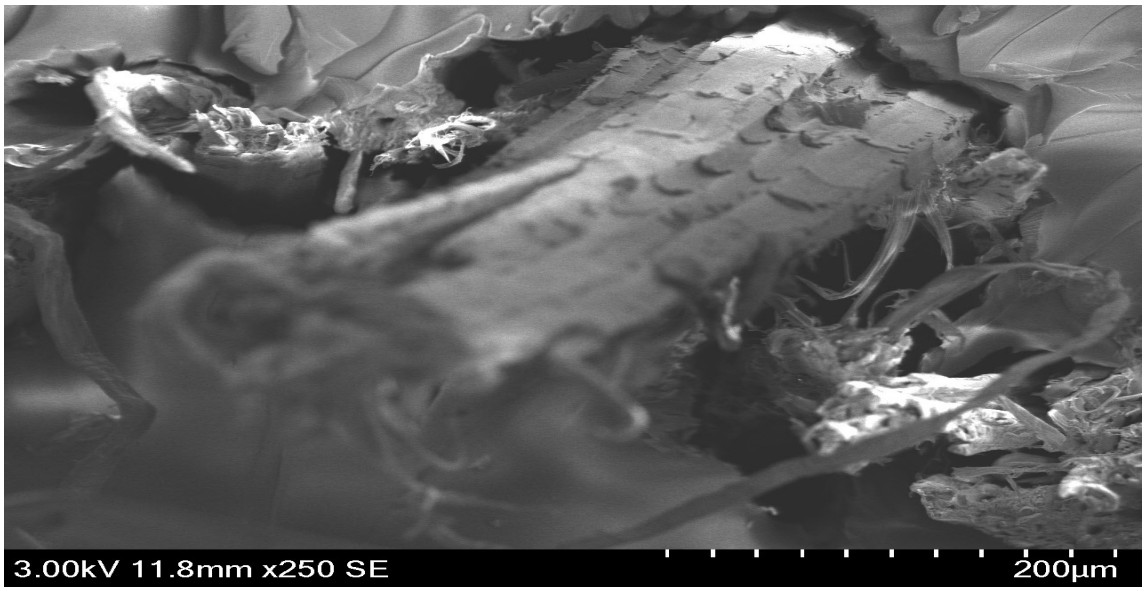
Şekil 7.44. Sisal elyaf takviyeli kompozit numunesinin (N-6) x75 büyütmedeki SEM görüntüsü

Sisal elyaf takviyeli kompozit numunesinin (N-6) x75 büyütmedeki görüntüsü Şekil 7.44.´de görülmektedir. Görüntüde epoksi reçine oranının diğer numunelere göre fazla olduğu görülmektedir.



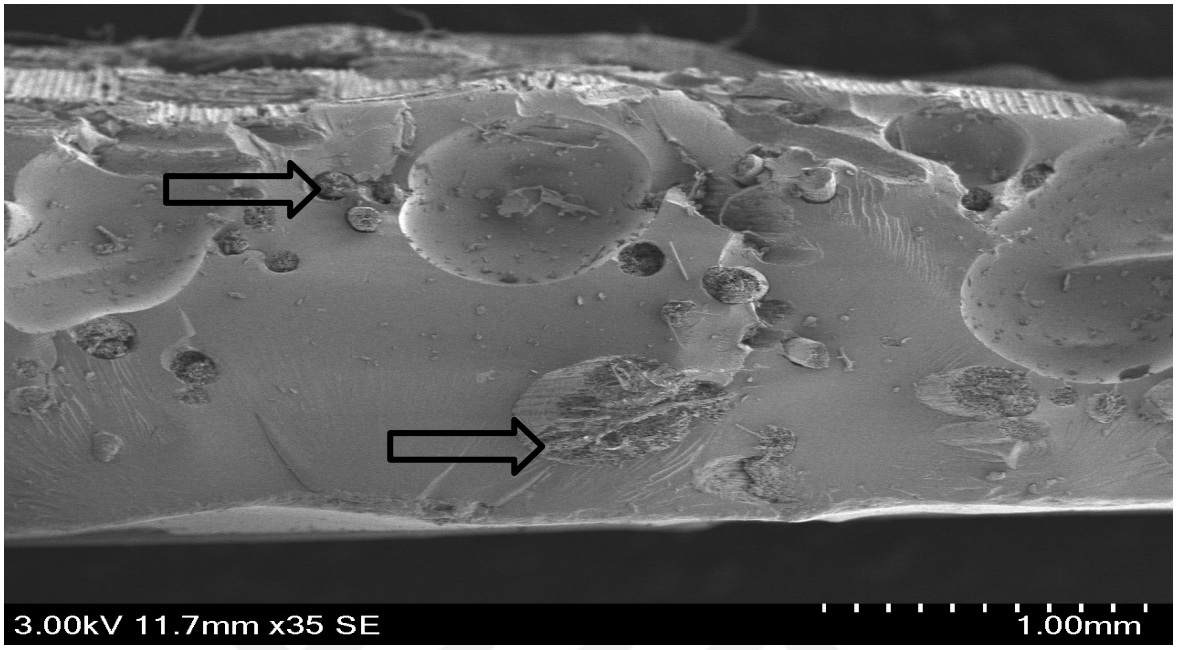
Şekil 7.45. Sisal elyaf takviyeli kompozit numunesinin (N-6) x150 büyütmedeki SEM görüntüsü

Sisal elyaf takviyeli kompozit numunesinin (N-6) x150 büyütmedeki görüntüsü Şekil 7.45.´de görülmektedir.



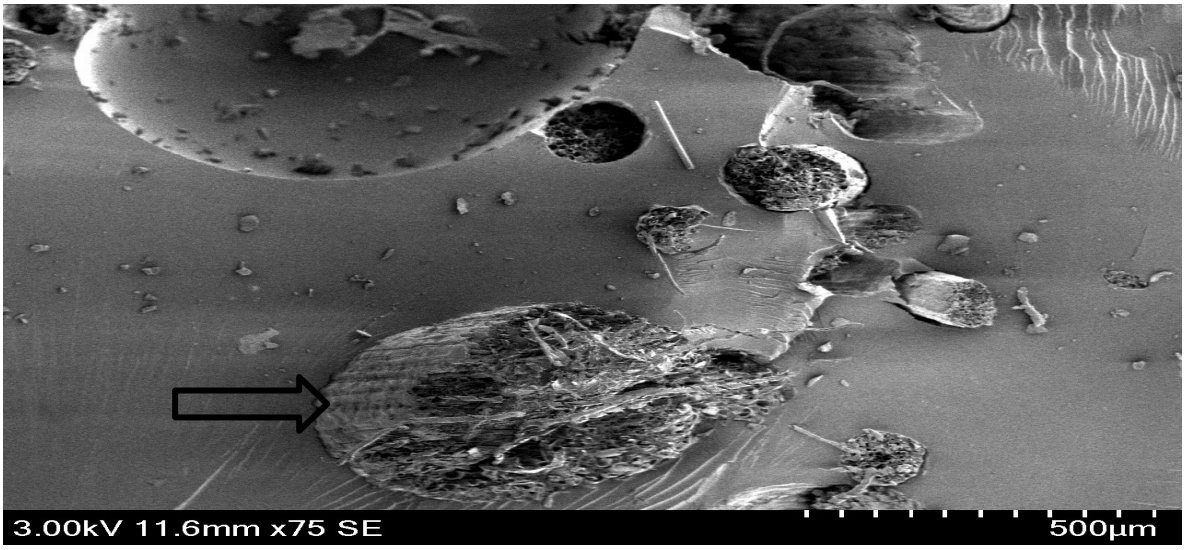
Şekil 7.46. Sisal elyaf takviyeli kompozit numunesinin (N-6) x250 büyütmedeki SEM görüntüsü

Sisal elyaf takviyeli kompozit numunesinin (N-6) x250 büyütmedeki görüntüsü Şekil 7.46.´de görülmektedir.



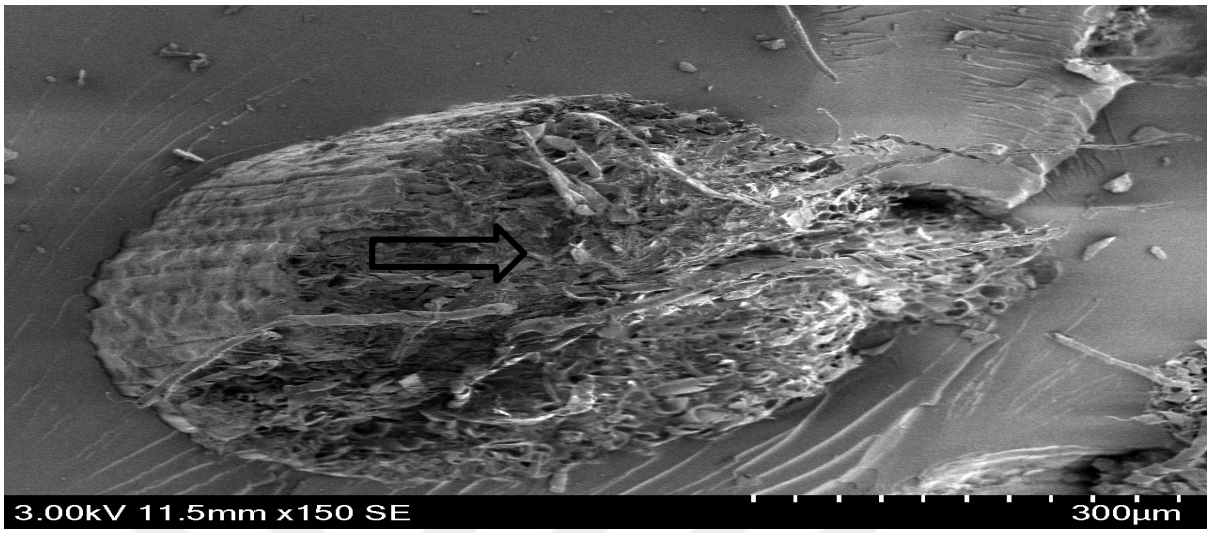
Şekil 7.47. Hindistan cevizi elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-7) x35 büyütmedeki SEM görüntüsü

Hindistan cevizi elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-7) x35 büyütmedeki görüntüsü Şekil 7.47.´de görülmektedir. Görüntüde Hindistan cevizinin farklı boyutlarda lif demetlerine sahip olduğu görülmektedir. Dikey yönlenmeli lif demetleri ve epoksi reçine arasında tam nüfuziyetin saglandıgı görülmüştür. Diğer takviye malzemelerine göre daha fazla homojen bir yapıya sahip olduğu tespit edilmiştir.



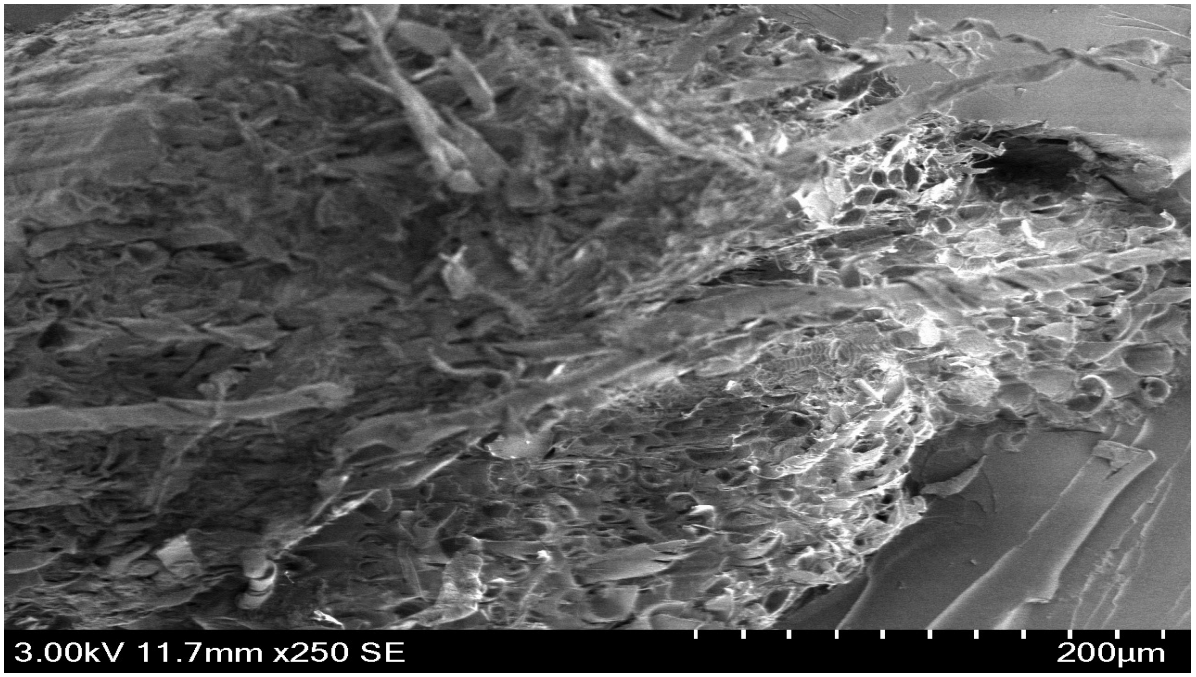
Şekil 7.48. Hindistan cevizi elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-7) x75 büyütmedeki SEM görüntüsü

Hindistan cevizi elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-7) x75 büyütmedeki görüntüsü Şekil 7.48.´de görülmektedir.



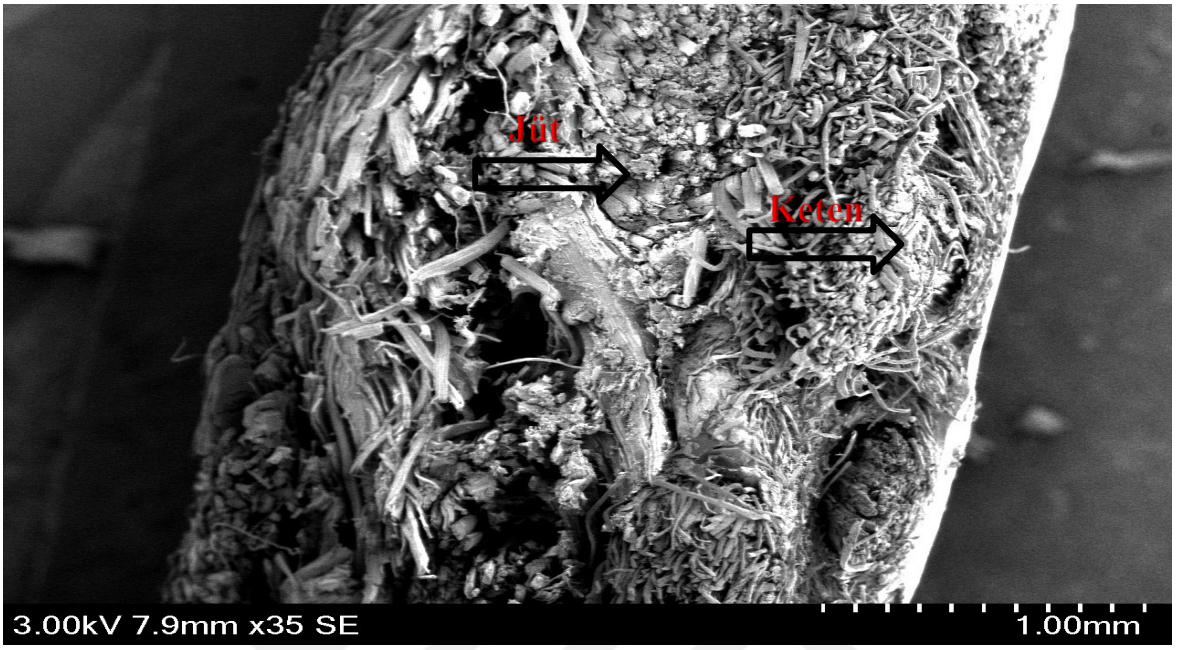
Şekil 7.49. Hindistan cevizi elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-7) x150 büyütmedeki SEM görüntüsü

Hindistan cevizi elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-7) x150 büyütmedeki görüntüsü Şekil 7.49.´da görülmektedir. Lif demeti içerisinde farklı boyutlarda çok miktarda Hindistan cevizi lifi olduğu tespit edilmiştir. Epoksi reçinenin takviye malzemesine iyi nüfuziyet sağladığı görülmektedir.



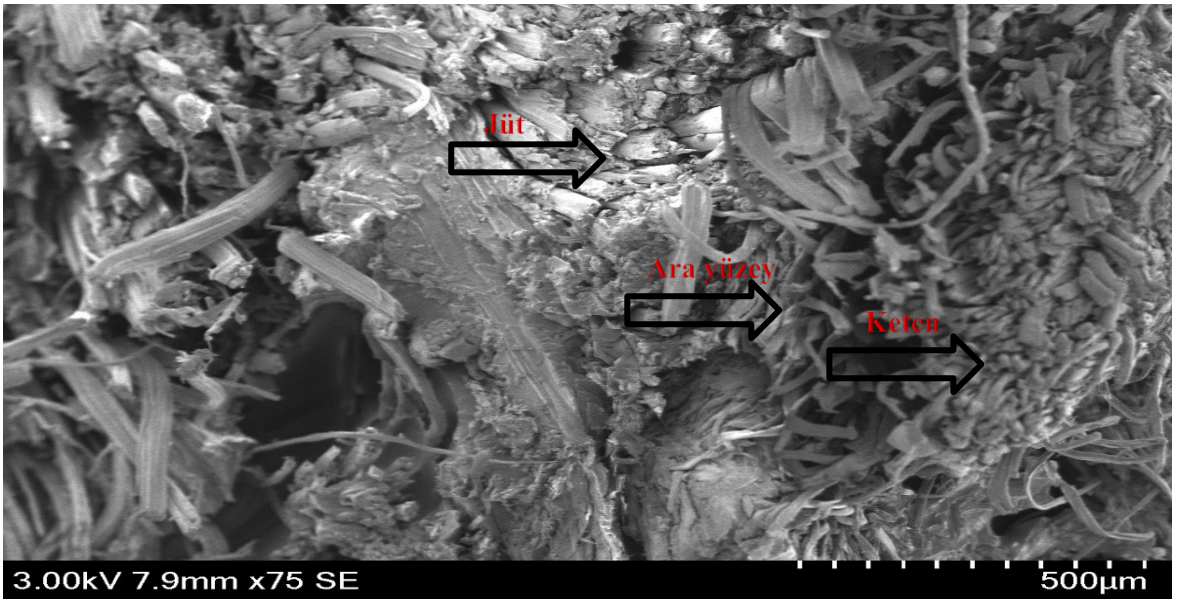
Şekil 7.50. Hindistan cevizi elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-7) x250 büyütmedeki SEM görüntüsü

Hindistan cevizi elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-7) x250 büyütmedeki görüntüsü Şekil 7.50.´de görülmektedir.



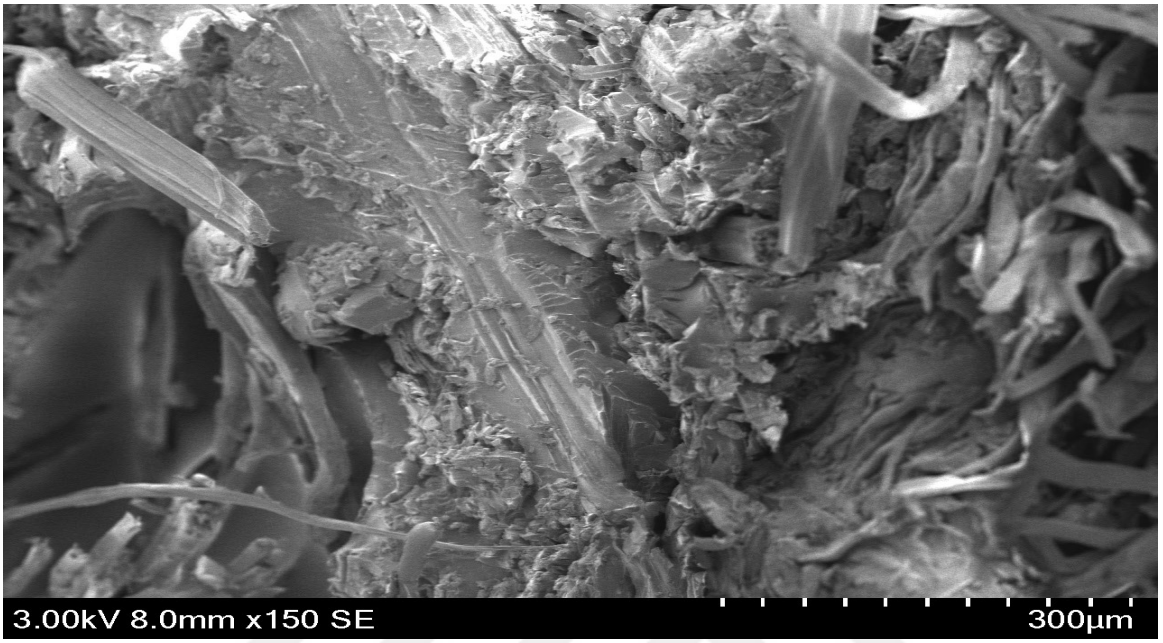
Şekil 7.51. Jüt ve keten elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-8) x35 büyütmedeki SEM görüntüsü

Jüt ve keten elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-8) x35 büyütmedeki görüntüsü Şekil 7.51.´de görülmektedir. Jüt lifinin keten lifine göre daha büyük boyutta olduğu tespit edilmiştir. Jüt elyaf bölgesinde boşluk oluşumunun keten elyafa göre daha fazla olduğu görülmüştür.



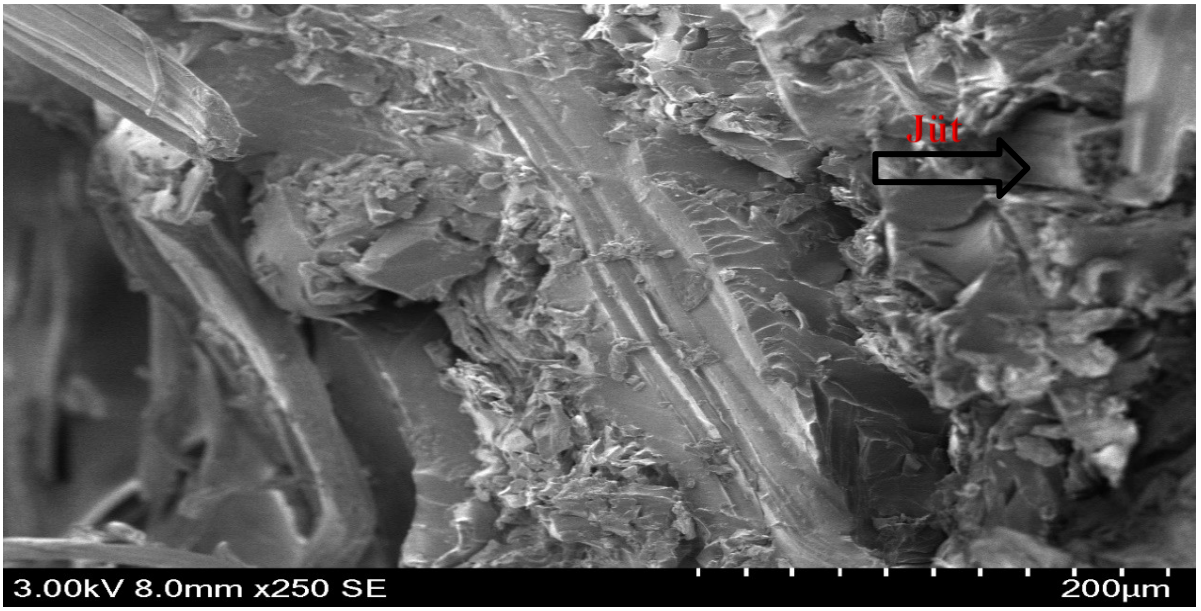
Şekil 7.52. Jüt ve keten elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-8) x75 büyütmedeki SEM görüntüsü

Jüt ve keten elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-8) x75 büyütmedeki görüntüsü Şekil 7.52.´de görülmektedir. Görüntüde jüt ve keten elyaf tabakalarının arayüzeyin´de boşluk oluştuğu görülmektedir.



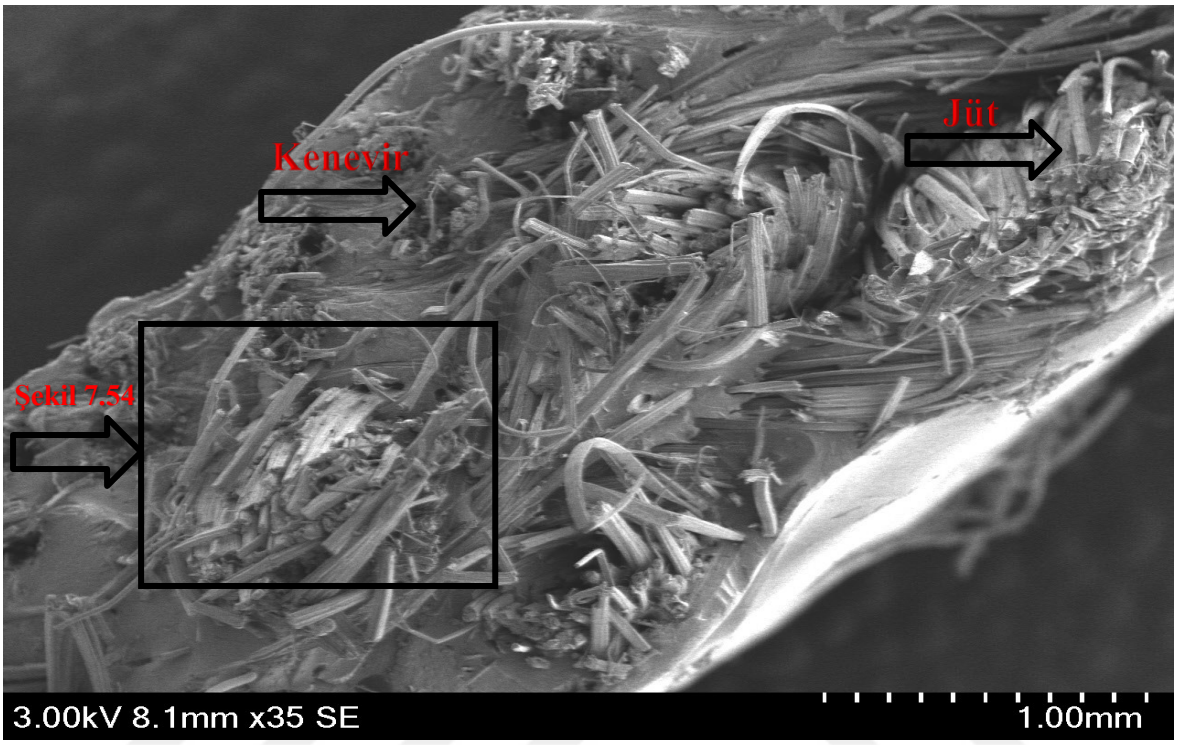
Şekil 7.53. Jüt ve keten elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-8) x150 büyütmedeki SEM görüntüsü

Jüt ve keten elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-8) x150 büyütmedeki görüntüsü Şekil 7.53.´de görülmektedir.



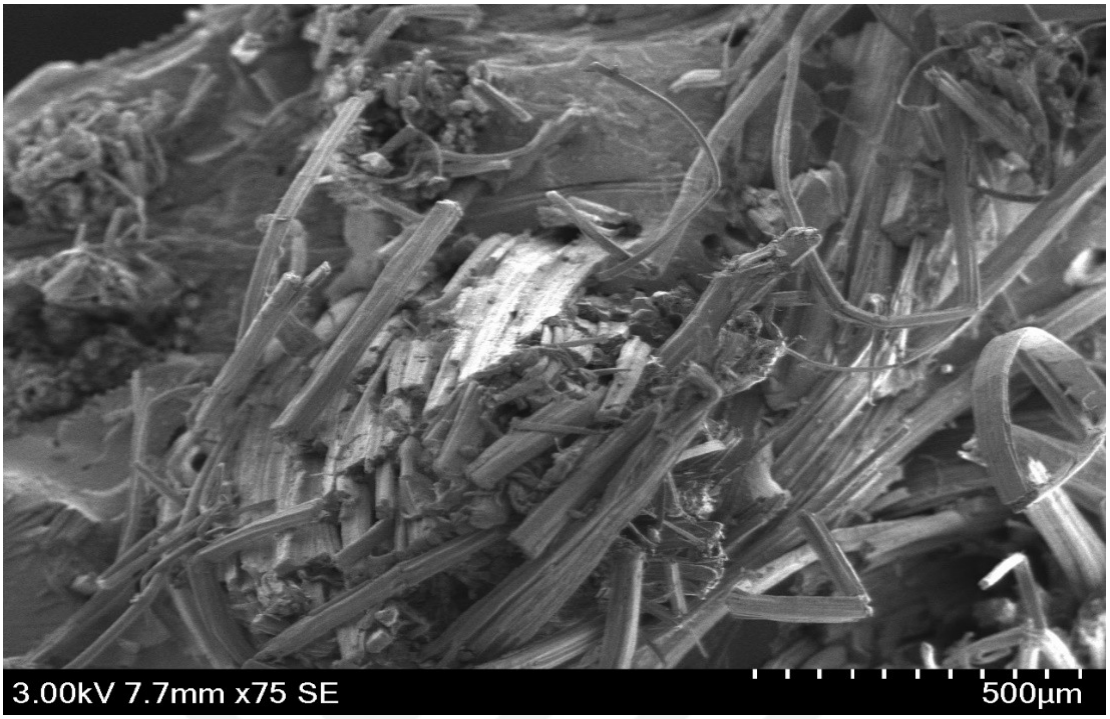
Şekil 7.54. Jüt ve keten elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-8) x250 büyütmedeki SEM görüntüsü

Jüt ve keten elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-8) x250 büyütmedeki görüntüsü Şekil 7.54.´de görülmektedir. Görüntüde jüt lifinin çevresindeki epoksi ile yeterli nüfuziyeti sağlayamadığı görülmüştür.



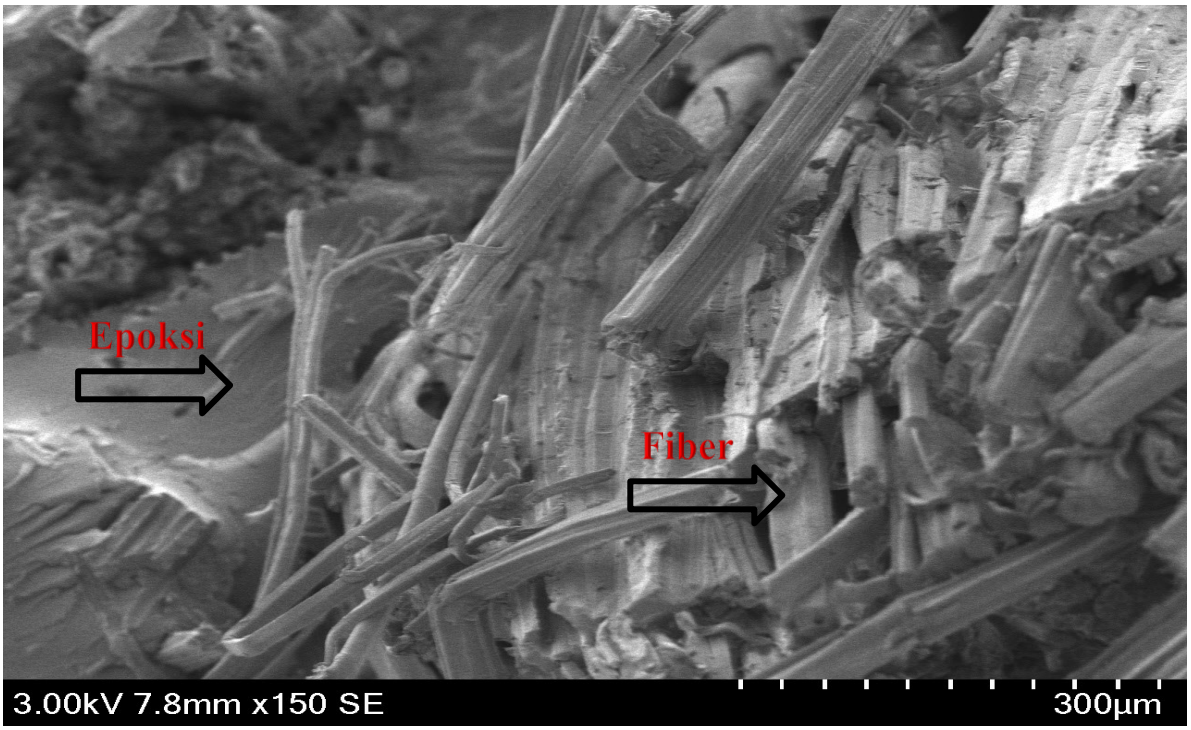
Şekil 7.55. Jüt ve kenevir elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-9) x35 büyütmedeki SEM görüntüsü

Jüt ve kenevir elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-9) x35 büyütmedeki görüntüsü Şekil 7.55.´de görülmektedir. Görüntüde jüt ve kenevirelyaflarının epoksi matris malzemesi ile birleşimi gösterilmektedir. Kenevir elyaf tabakasının yer aldığı bölümde epoksi reçinenin takviye malzemesi ile daha fazla nüfuziyet sağladığı tespit edilmiştir.



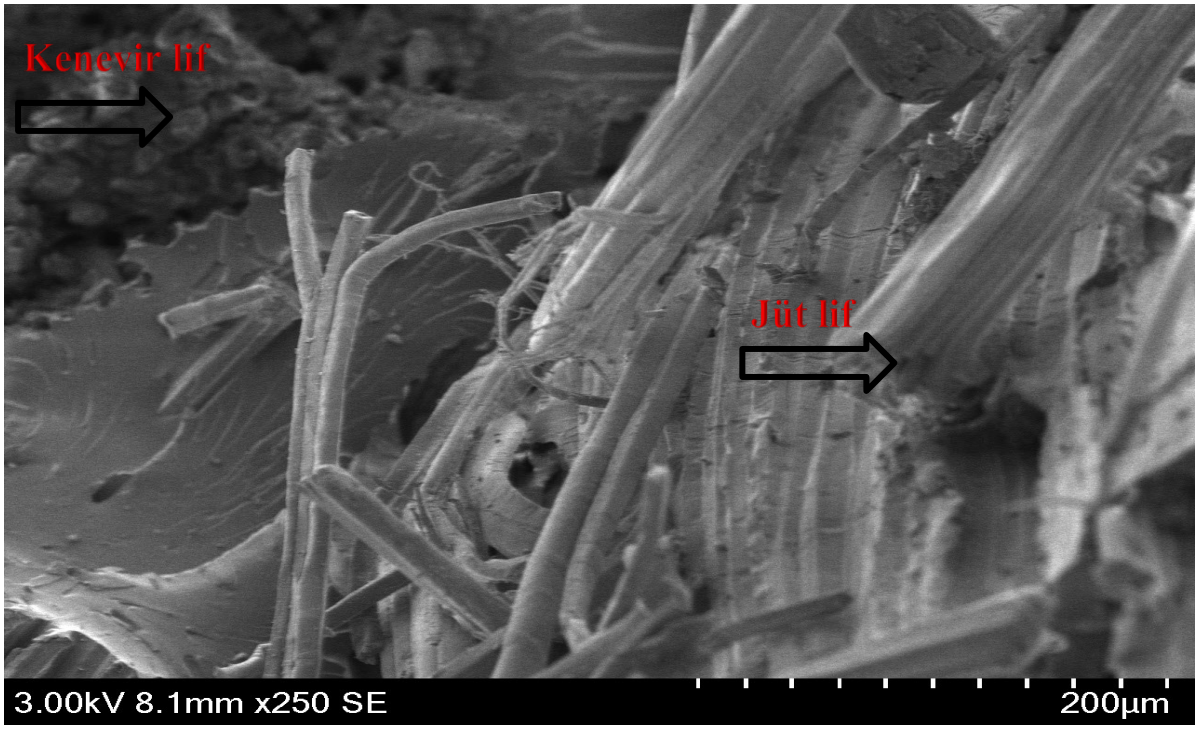
Şekil 7.56. Jüt ve kenevir elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-9) x75 büyütmedeki SEM görüntüsü

Jüt ve kenevir elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-9) x75 büyütmedeki görüntüsü Şekil 7.56.´da görülmektedir.



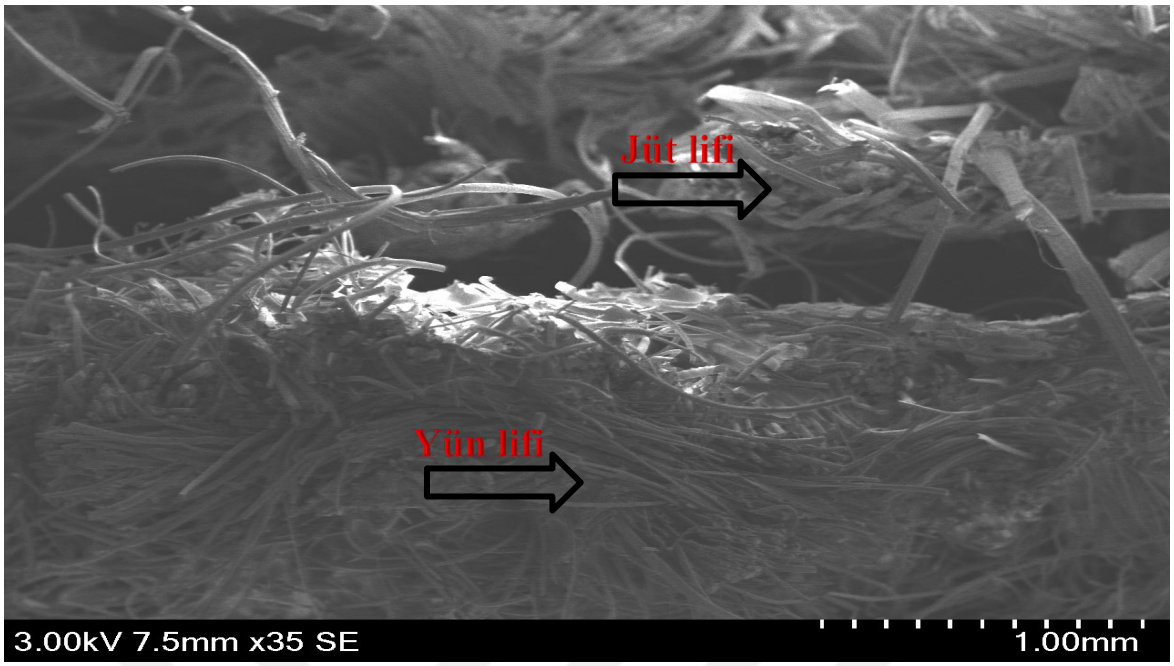
Şekil 7.57. Jüt ve kenevir elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-9) x150 büyütmedeki SEM görüntüsü

Jüt ve kenevir elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-9) x150 büyütmedeki görüntüsü Şekil 7.57.′de görülmektedir. Epoksi matris malzemesinin doğal elyaf ile nüfuziyeti görülmektedir. Jüt elyaf takviye malzemesi içerisinde boşluklu yapı oluştuğu, reçine nüfuziyetinin daha zor olduğu tespit edilmiştir.



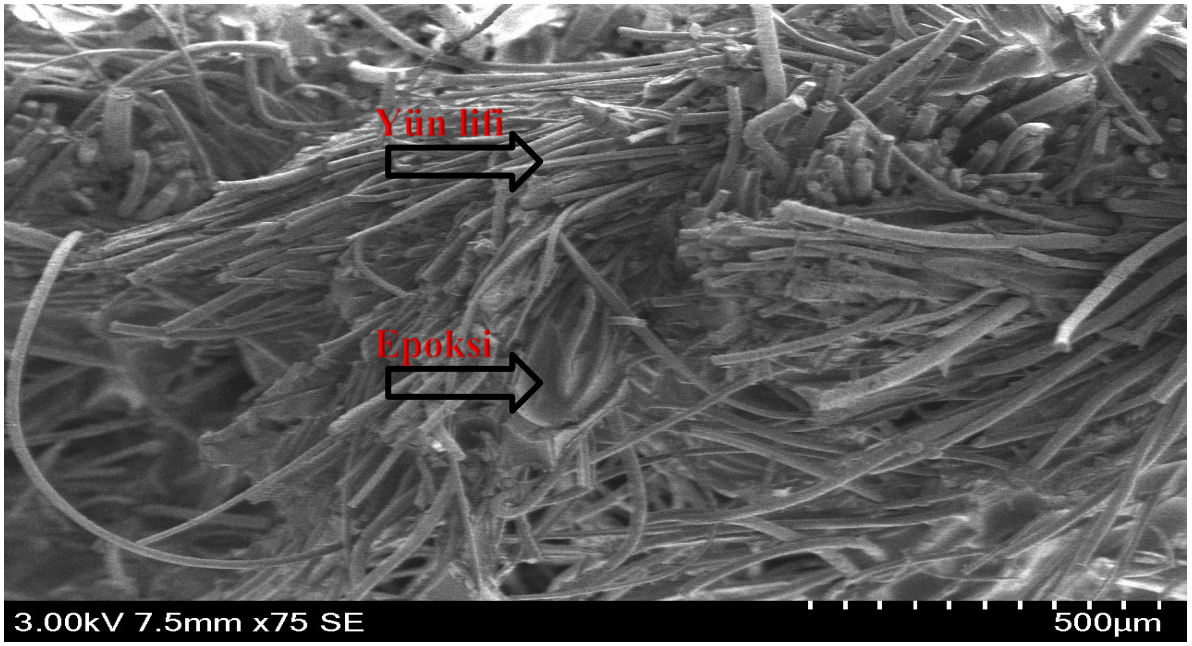
Şekil 7.58. Jüt ve kenevir elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-9) x250 büyütmedeki SEM görüntüsü

Jüt ve kenevir elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-9) x250 büyütmedeki görüntüsü Şekil 7.58.′de görülmektedir.



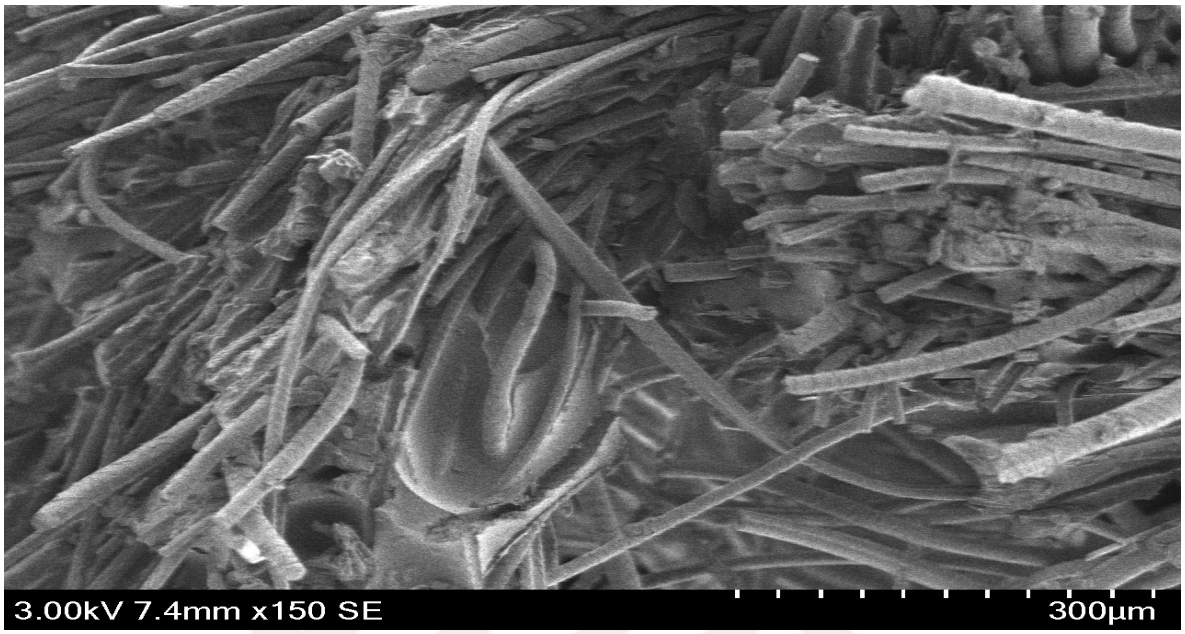
Şekil 7.59. Jüt ve yün elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-10) x35 büyütmedeki SEM görüntüsü

Jüt ve yün elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-10) x35 büyütmedeki görüntüsü Şekil 7.59.´da görülmektedir. Görüntüde jüt elyaf tabakası ile yün elyaf tabakası arasında boşluk oluştuğu tespit edilmiştir. Tabakalar arası yapışmanın tam olarak sağlanamadığı, üretim sırasında yeterli vakum oluşmaması veya reçine infüzyonu sonrası vakum alanına hava sızması nedeniyle oluştuğu değerlendirilmektedir.



Şekil 7.60. Jüt ve yün elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-10) x75 büyütmedeki SEM görüntüsü

Jüt ve yün elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-10) x75 büyütmedeki görüntüsü Şekil 7.60.´de görülmektedir.



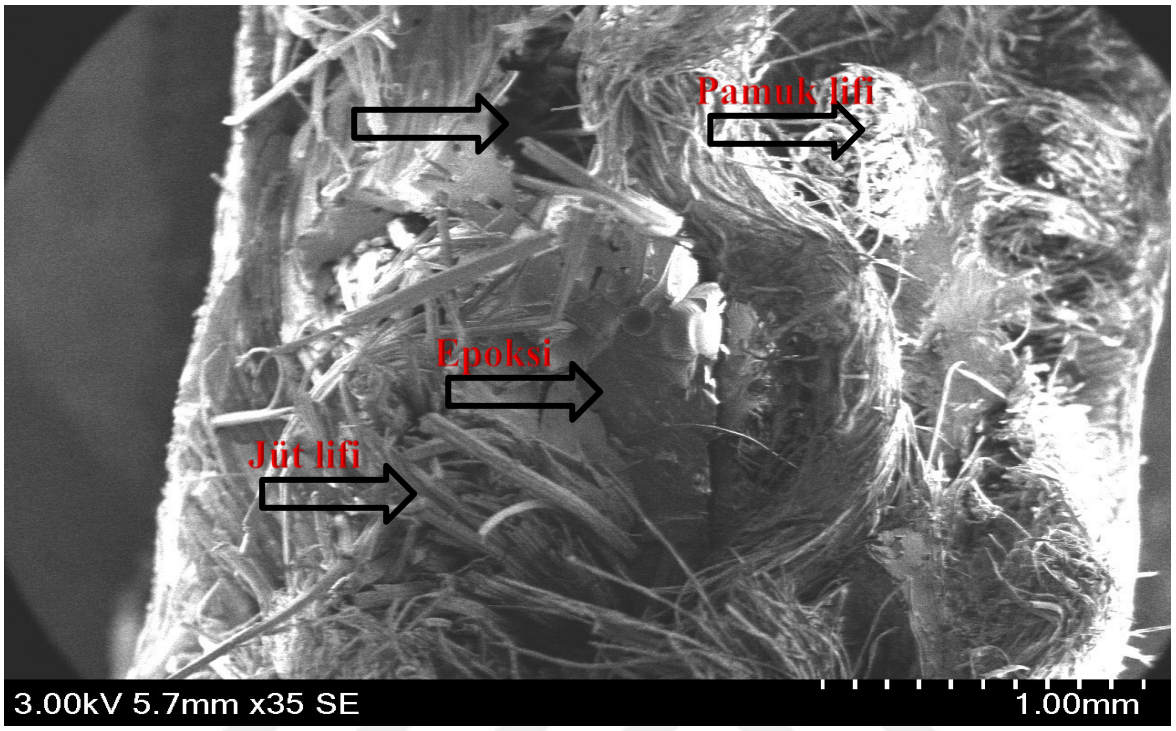
Şekil 7.61. Jüt ve yün elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-10) x150 büyütmedeki SEM görüntüsü

Jüt ve yün elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-10) x150 büyütmedeki görüntüsü Şekil 7.61.´de görülmektedir. Epoksi matris malzemesinin homojen dağılım göstermediği tespit edilmiştir.



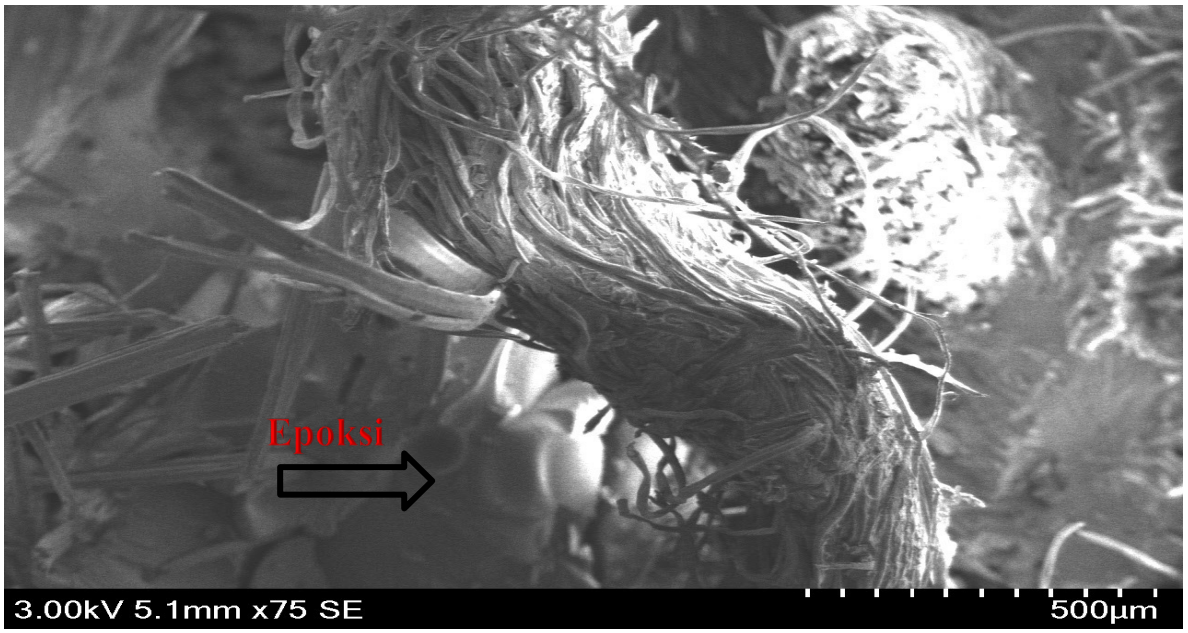
Şekil 7.62. Jüt ve yün elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-10) x250 büyütmedeki SEM görüntüsü

Jüt ve yün elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-10) x250 büyütmedeki görüntüsü Şekil 7.62.´de görülmektedir



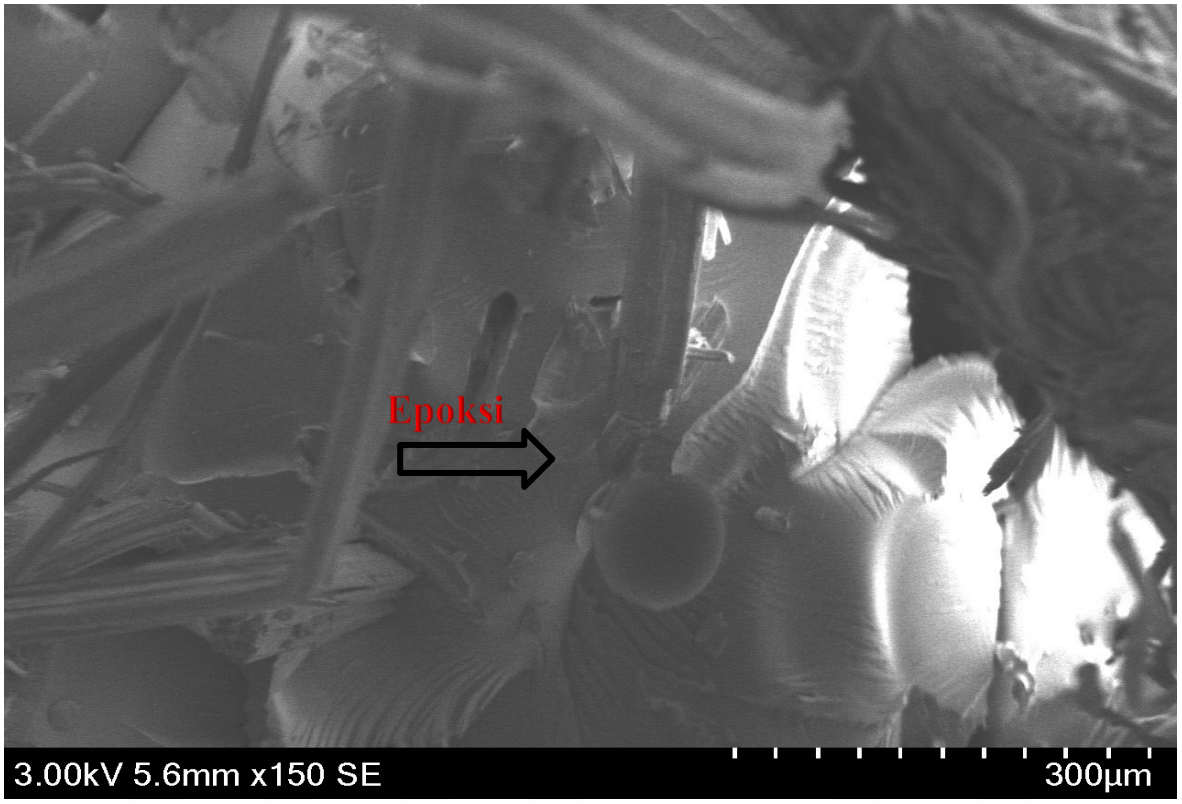
Şekil 7.63. Jüt ve pamuk elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-11) x35 büyütmedeki SEM görüntüsü

Jüt ve pamuk elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-11) x35 büyütmedeki görüntüsü Şekil 7.63.´de görülmektedir. Görüntüde yatay ve dikey yönlenmeli pamuk elyaf ve jüt elyaf görülmektedir. Tabakalar arası boşluk oluştuğu tespit edilmiştir.



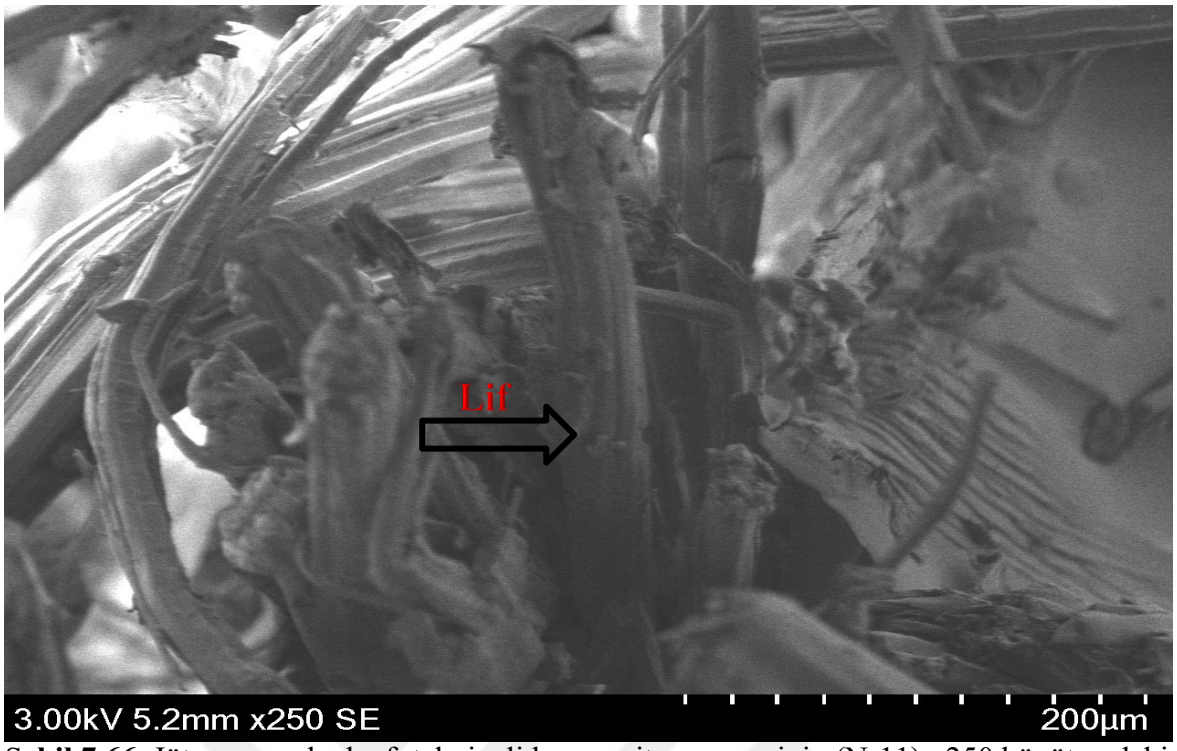
Şekil 7.64. Jüt ve pamuk elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-11) x75 büyütmedeki SEM görüntüsü

Jüt ve pamuk elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-11) x75 büyütmedeki görüntüsü Şekil 7.64.´de görülmektedir.



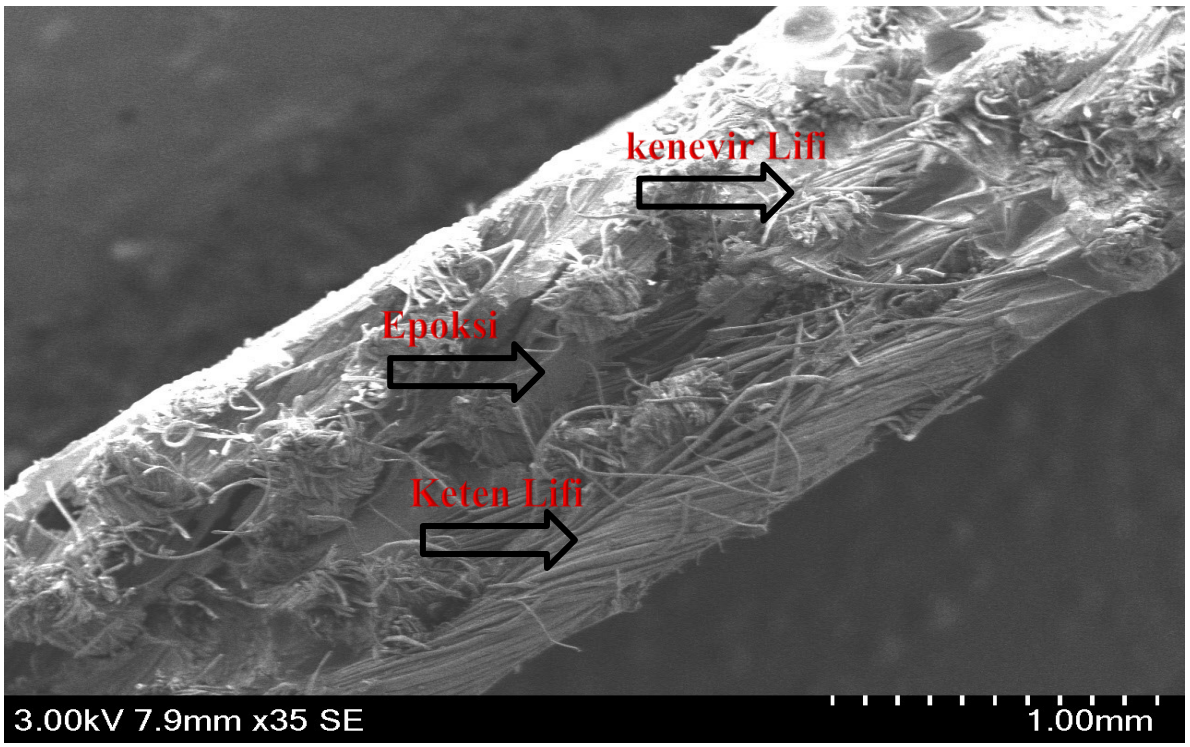
Şekil 7.65. Jüt ve pamuk elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-11) x150 büyütmedeki SEM görüntüsü

Jüt ve pamuk elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-11) x150 büyütmedeki görüntüsü Şekil 7.65.´de görülmektedir. Epoksi matris malzemesinin numuneye homojen dağılım göstermediği tespit edilmiştir. Malzeme iç yapısında boşluk olan alanlar olduğu tespit edilmiştir.



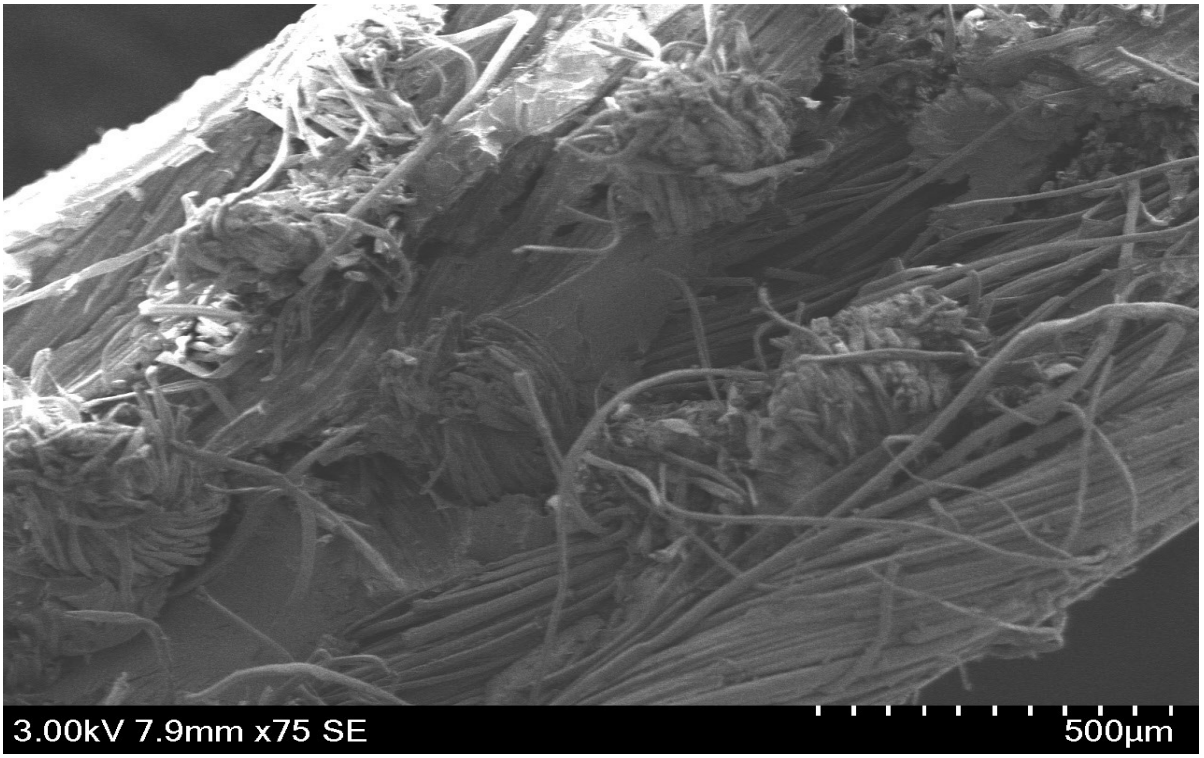
Şekil 7.66. Jüt ve pamuk elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-11) x250 büyütmedeki SEM görüntüsü

Jüt ve pamuk elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-11) x250 büyütmedeki görüntüsü Şekil 7.66.´de görülmektedir.



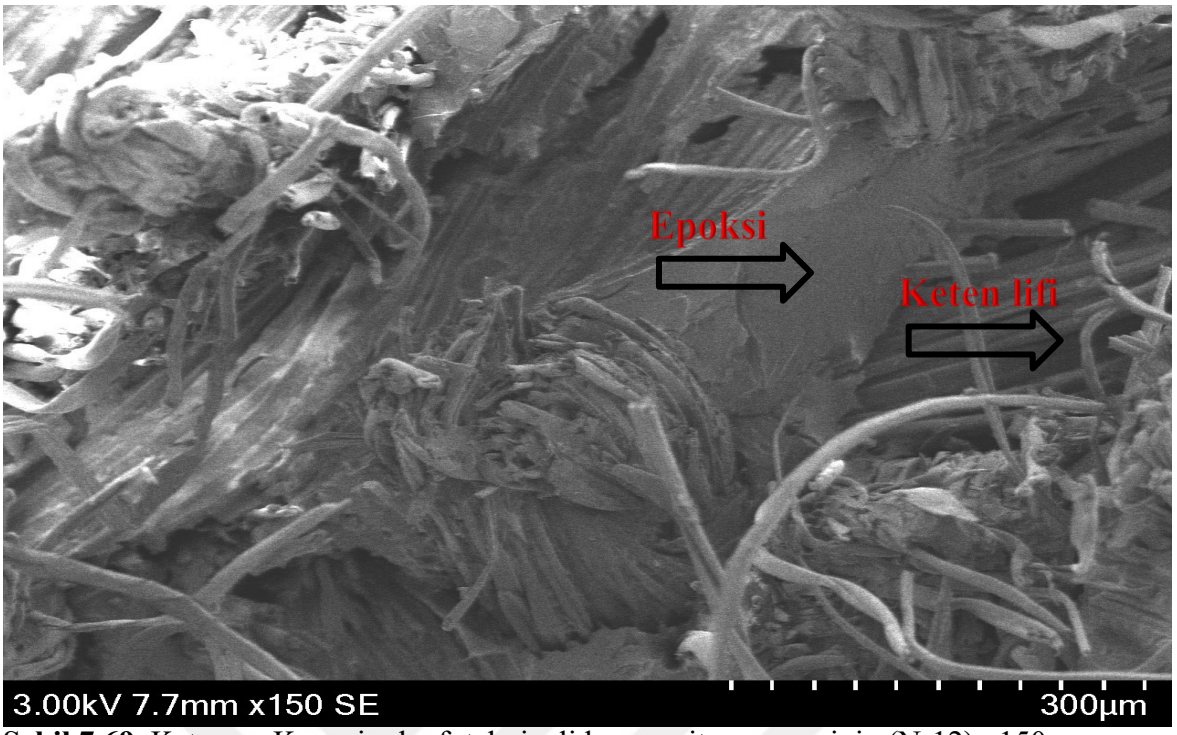
Şekil 7.67. Keten ve Kenevir elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-12) x35 büyütmedeki SEM görüntüsü

Keten ve kenevir elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-12) x35 büyütmedeki görüntüsü Şekil 7.67.´de görülmektedir. Görüntüde yatay ve dikey yönelimli keten ve kenevir elyafları görülmektedir. Diger numunelere göre yapı içerisinde daha az boşluklu yapı olduğu tespit edilmiştir.



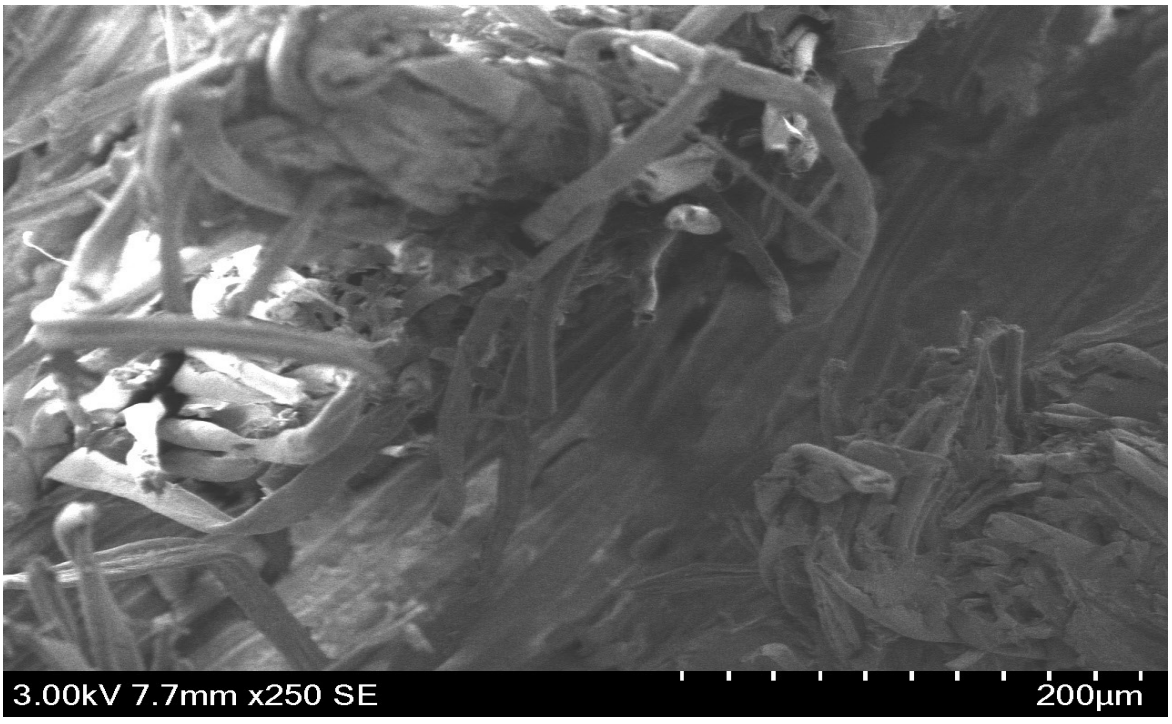
Şekil 7.68. Keten ve Kenevir elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-12) x75 büyütmedeki SEM görüntüsü

Keten ve kenevir elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-12) x75 büyütmedeki görüntüsü Şekil 7.68.´de görülmektedir. Elyaf tabakaları arasında diğer numunelerdeki gibi boşluklu yapı oluşmadığı görülmektedir. Epoksi reçinenin takviye malzemesine nüfuziyetinin iyi olduğu görülmektedir.



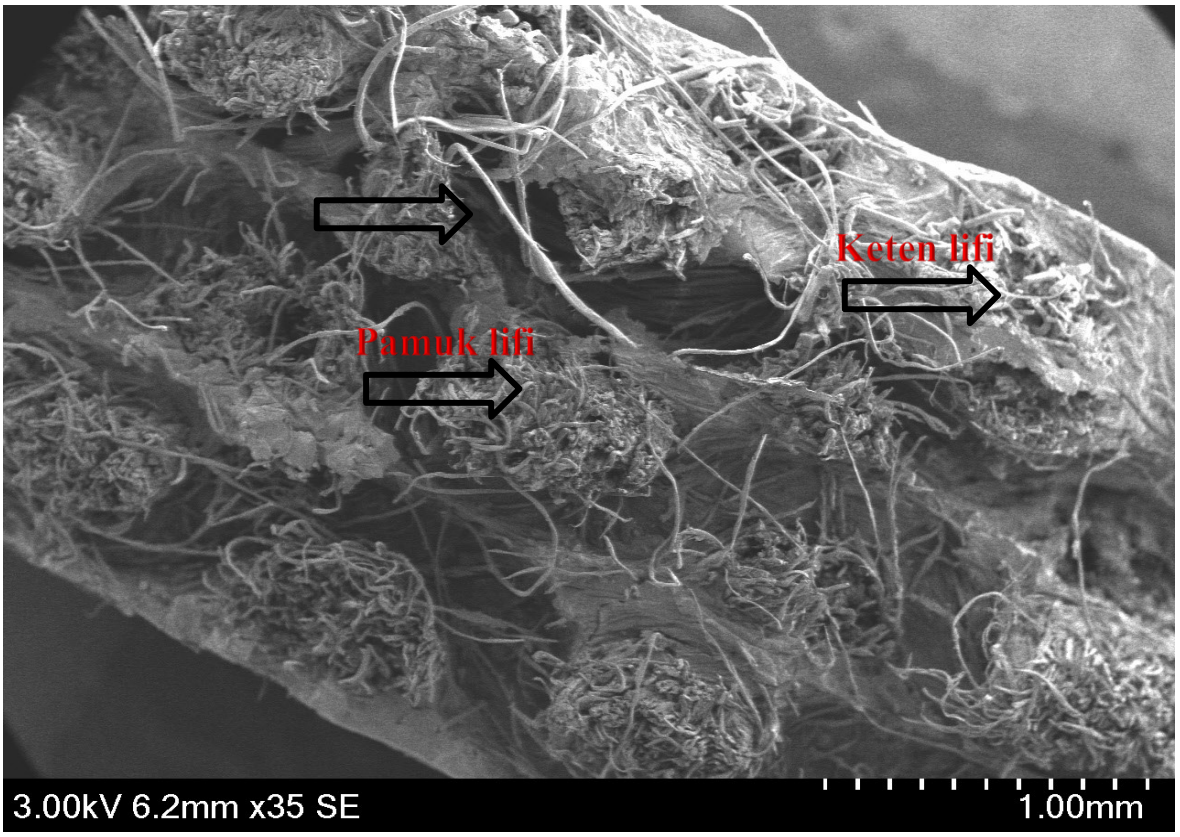
Şekil 7.69. Keten ve Kenevir elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-12) x150 büyütmedeki SEM görüntüsü

Keten ve kenevir elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-12) x150 büyütmedeki görüntüsü Şekil 7.69.´da görülmektedir.



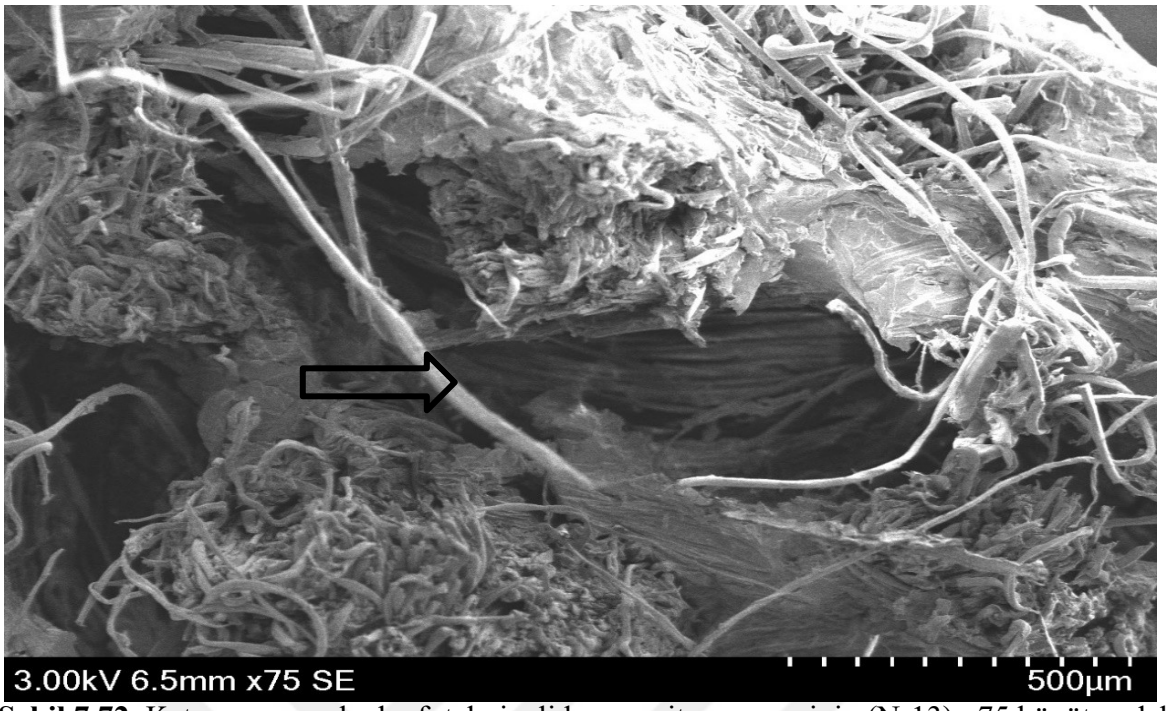
Şekil 7.70. Keten ve Kenevir elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-12) x250 büyütmedeki SEM görüntüsü

Keten ve kenevir elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-12) x250 büyütmedeki görüntüsü Şekil 7.70.´de görülmektedir.



Şekil 7.71. Keten ve pamuk elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-13) x35 büyütmedeki SEM görüntüsü

Keten ve pamuk elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-13) x35 büyütmedeki görüntüsü Şekil 7.71.´de görülmektedir. Görüntüde keten ve pamuk lifleri görülmektedir. Tabakalar arasında boşluklar oluştuğu görülmüştür. Vakum desteği ile tabakalar arası oluşturulan baskının arttırılması ve reçine oranının arttırılması ile tabakalar arası oluşan boşluğun giderilebileceği değerlendirilmektedir.



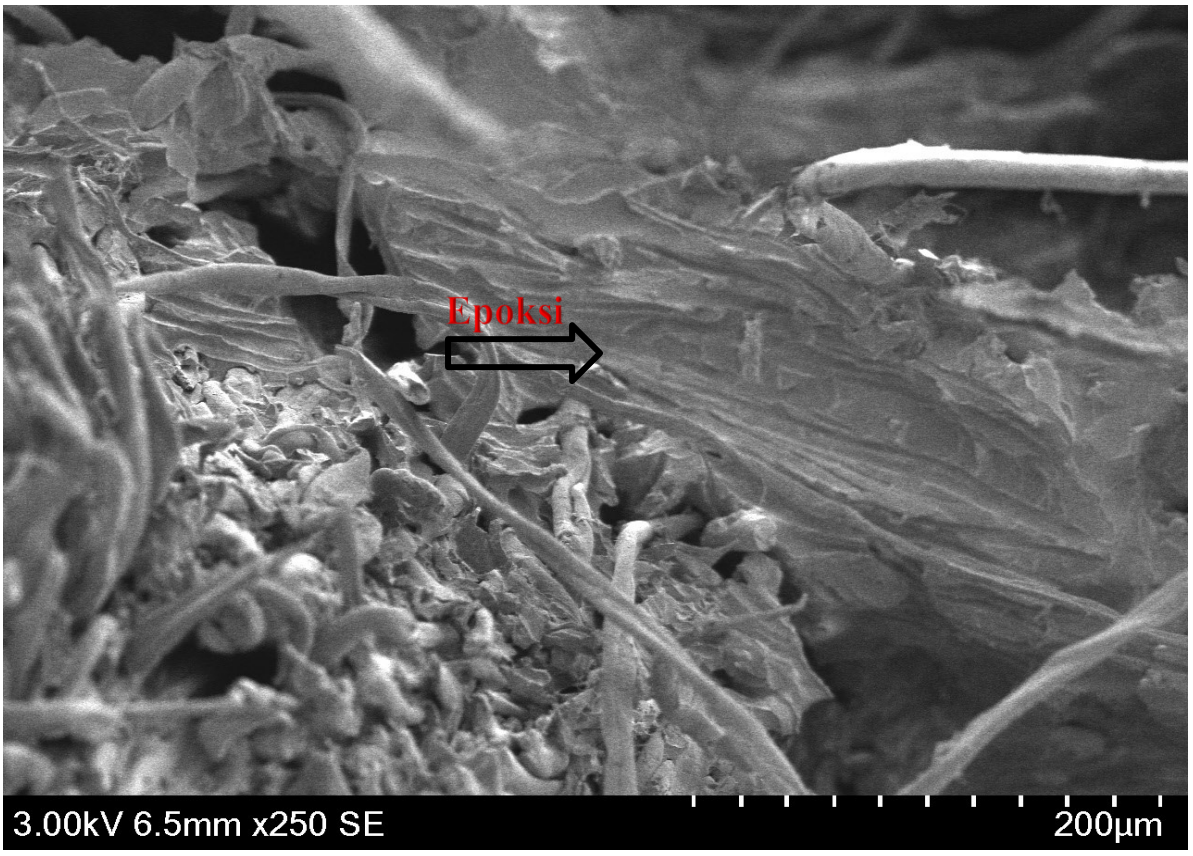
Şekil 7.72. Keten ve pamuk elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-13) x75 büyütmedeki SEM görüntüsü

Keten ve pamuk elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-13) x75 büyütmedeki görüntüsü Şekil 7.72.´de görülmektedir. Görüntüde tabakalar arası boşluk daha yakından görülmektedir. Epoksi reçine malzemesini yetersiz nüfuziyet sağladığı görülmüştür.



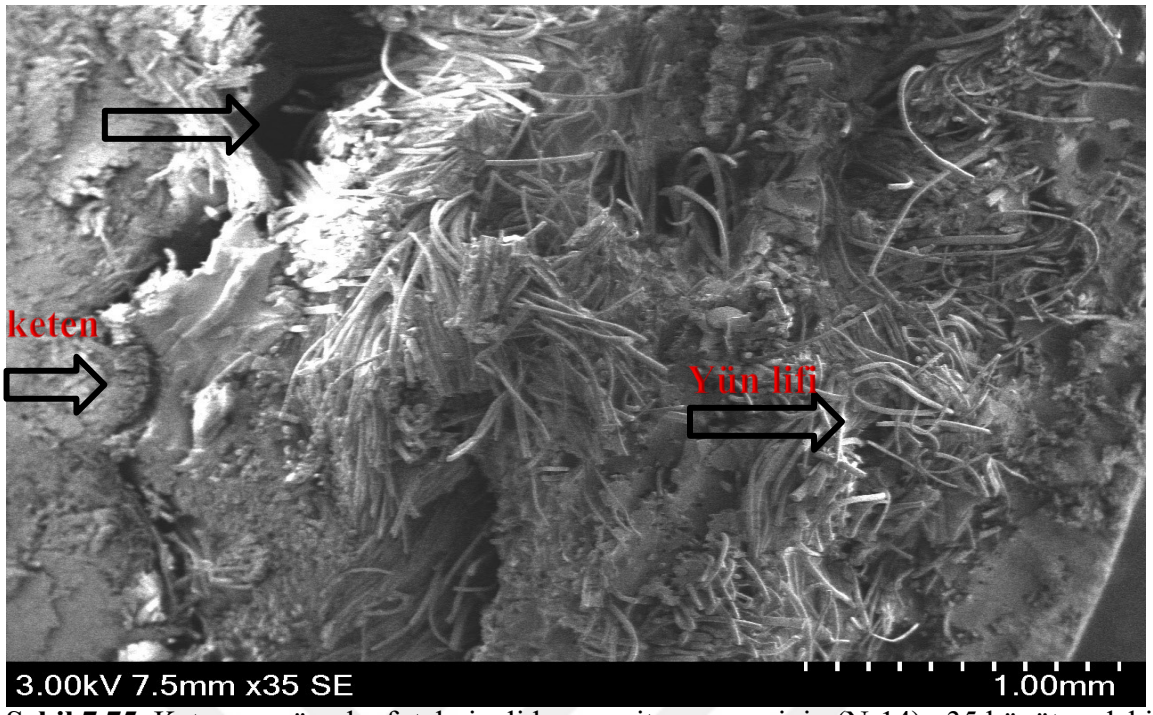
Şekil 7.73. Keten ve pamuk elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-13) x150 büyütmedeki SEM görüntüsü

Keten ve pamuk elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-13) x150 büyütmedeki görüntüsü Şekil 7.73.´da görülmektedir.



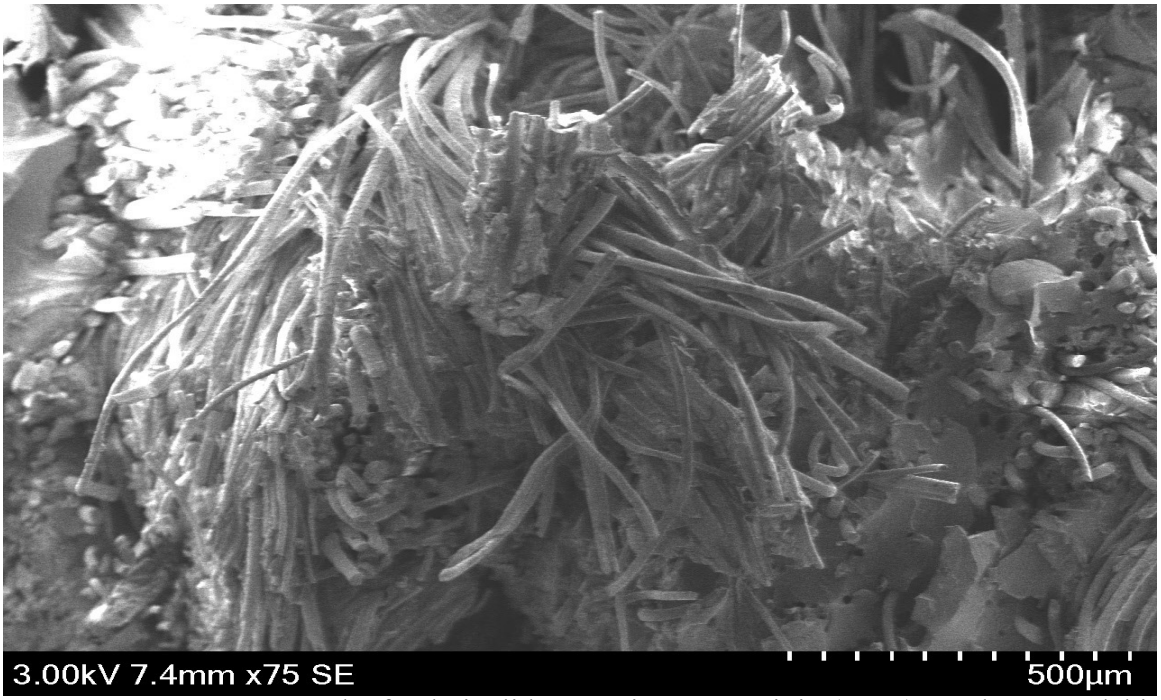
Şekil 7.74. Keten ve pamuk elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-13) x250 büyütmedeki SEM görüntüsü

Keten ve pamuk elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-13) x250 büyütmedeki görüntüsü Şekil 7.74.´de görülmektedir. Görüntüde epoksi matris malzemesinin reçine ile bağlanması gösterilmektedir. Epoksi matris malzemesinin homojen dağılım göstermediği tespit edilmiştir.



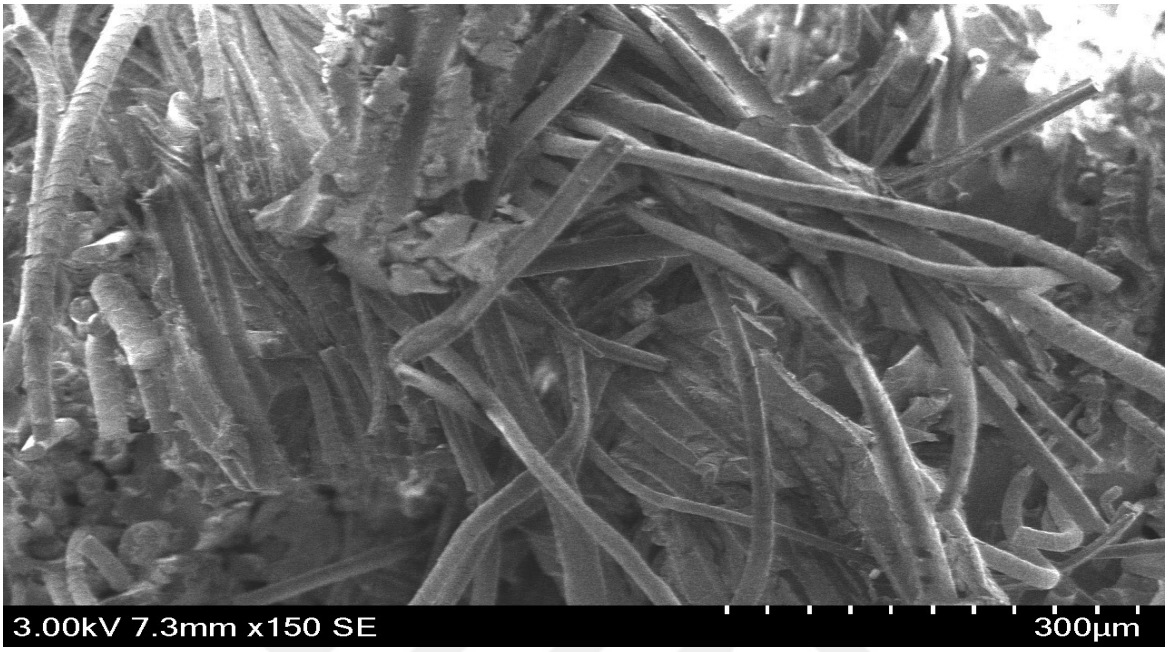
Şekil 7.75. Keten ve yün elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-14) x35 büyütmedeki SEM görüntüsü

Keten ve yün elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-14) x35 büyütmedeki görüntüsü Şekil 7.75.´de görülmektedir. Görüntüde keten ve yün lifleri görülmektedir. Tabakalar arasında çatlak ve boşluk oluştuğu tespit edilmiştir.



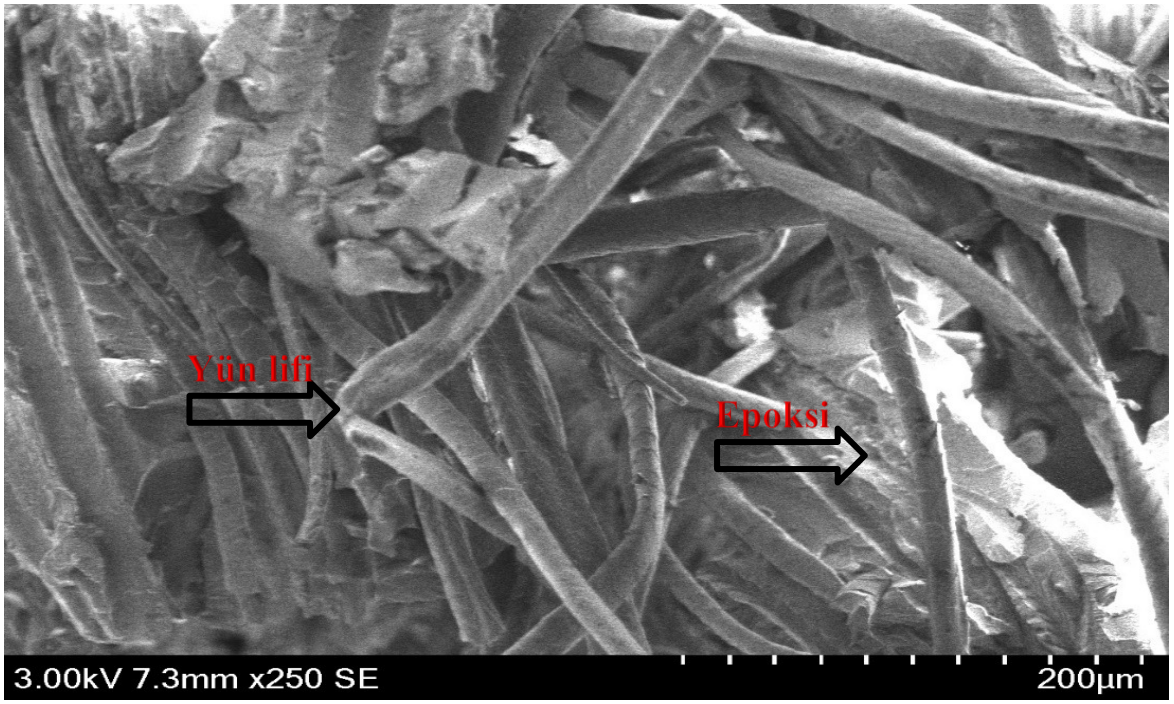
Şekil 7.76. Keten ve yün elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-14) x75 büyütmedeki SEM görüntüsü

Keten ve yün elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-14) x75 büyütmedeki görüntüsü Şekil 7.76.´da görülmektedir.



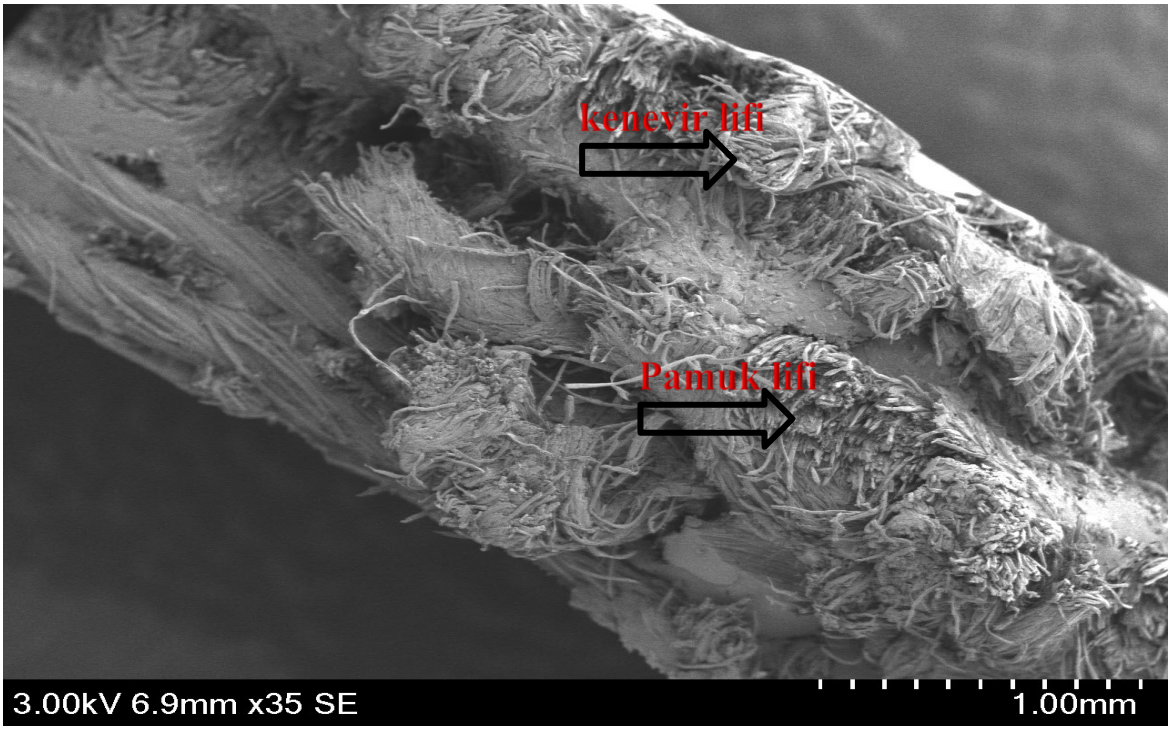
Şekil 7.77. Keten ve yün elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-14) x150 büyütmedeki SEM görüntüsü

Keten ve yün elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-14) x150 büyütmedeki görüntüsü Şekil 7.77.´de görülmektedir.



Şekil 7.78. Keten ve yün elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-14) x250 büyütmedeki SEM görüntüsü

Keten ve yün elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-14) x250 büyütmedeki görüntüsü Şekil 7.78.′de görülmektedir. Görüntüde epoksi reçine ve yün lifinin nüfuziyeti görülmektedir. Yün lifinin görüntüde tek yönelimli olmayıp birde fazla yönde dağıldığı görülmektedir.



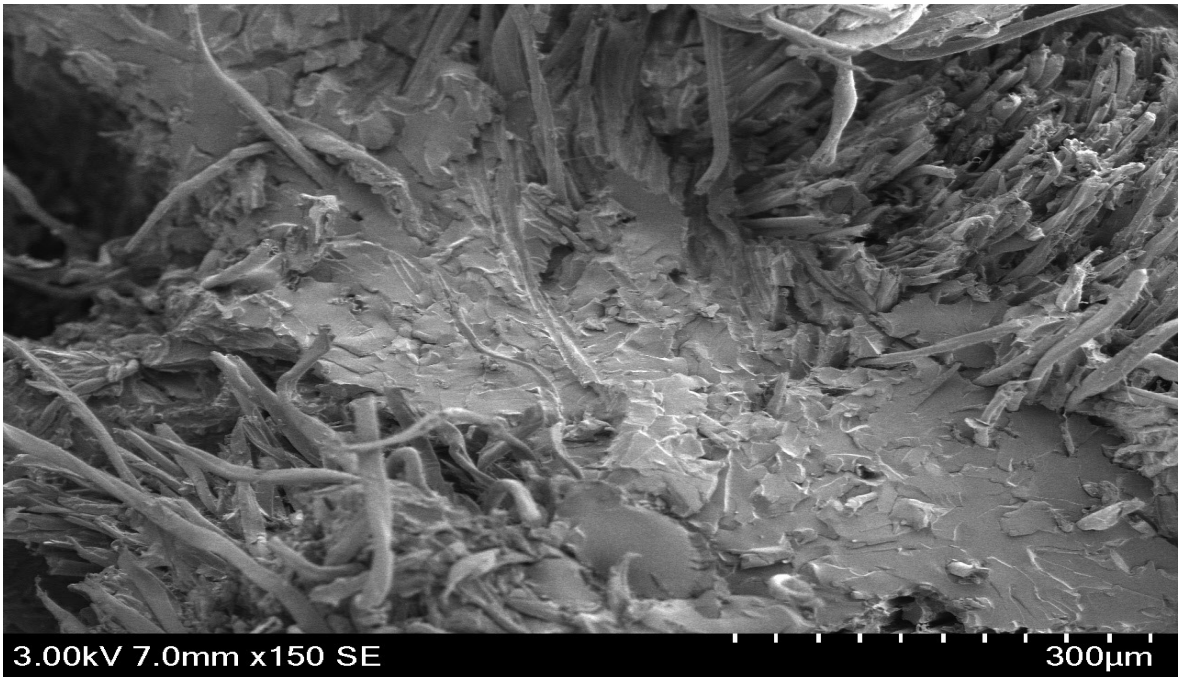
Şekil 7.79. Kenevir ve pamuk elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-15) x35 büyütmedeki SEM görüntüsü

Kenevir ve pamuk elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-15) x35 büyütmedeki görüntüsü Şekil 7.79.′da görülmektedir. Görüntüde pamuk elyafının kenevir elyafa göre daha büyük boyutlu olduğu tespit edilmiştir.



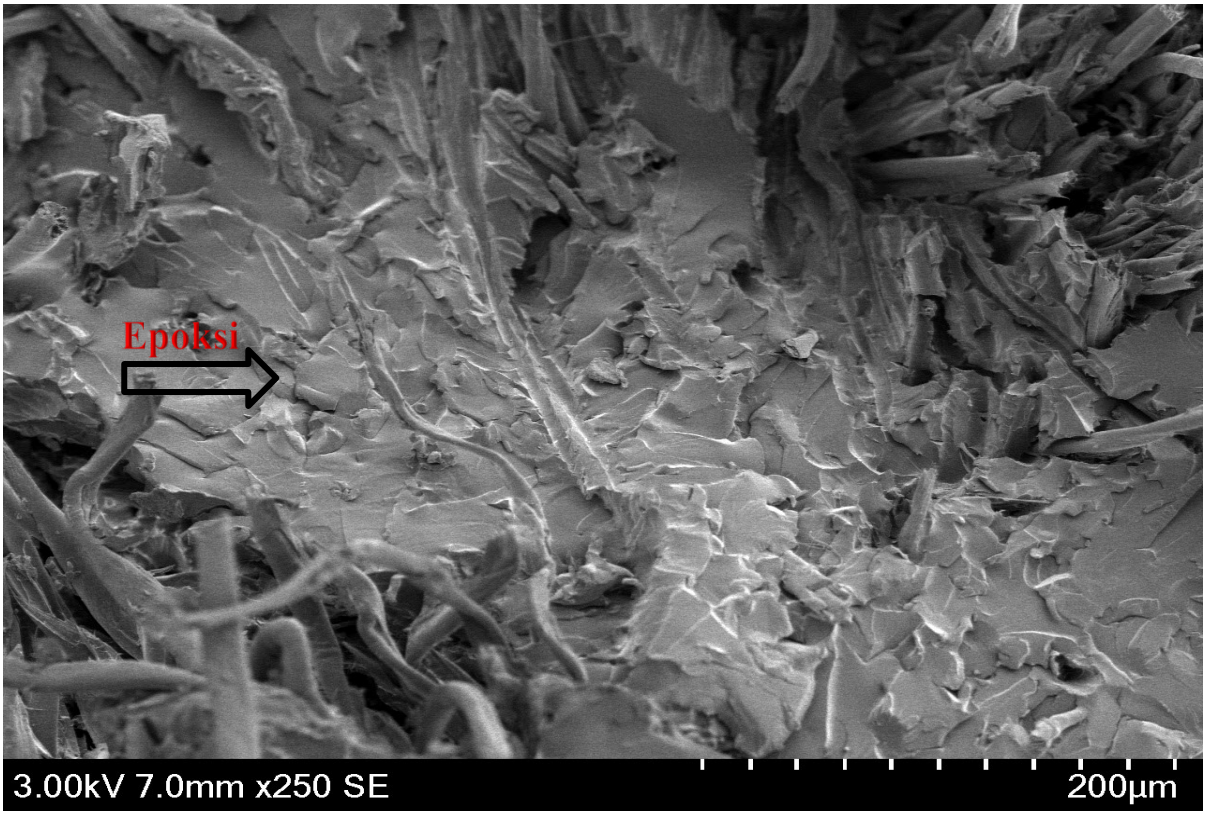
Şekil 7.80. Kenevir ve pamuk elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-15) x75 büyütmedeki SEM görüntüsü

Kenevir ve pamuk elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-15) x75 büyütmedeki görüntüsü Şekil 7.80.´de görülmektedir. Görüntüde tabakalar arasında boşluk oluşumlar olduğu tespit edilmiştir.



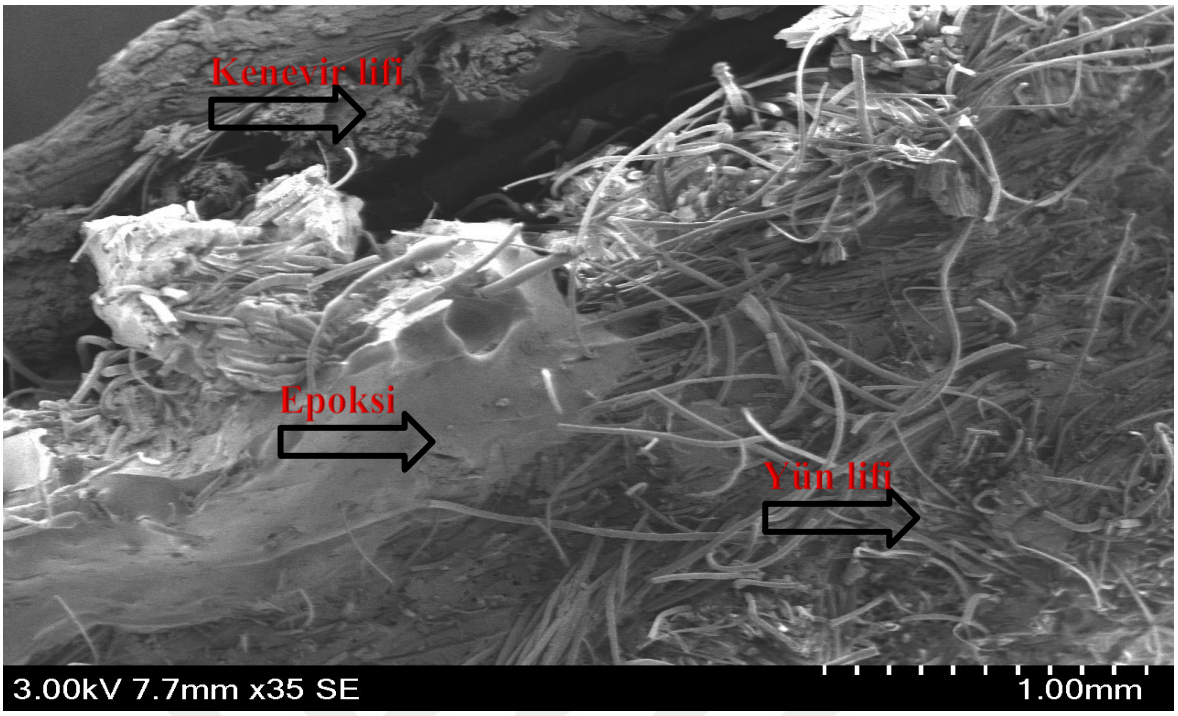
Şekil 7.81. Kenevir ve pamuk elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-15) x150 büyütmedeki SEM görüntüsü

Kenevir ve pamuk elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-15) x150 büyütmedeki görüntüsü Şekil 7.81.´de görülmektedir.



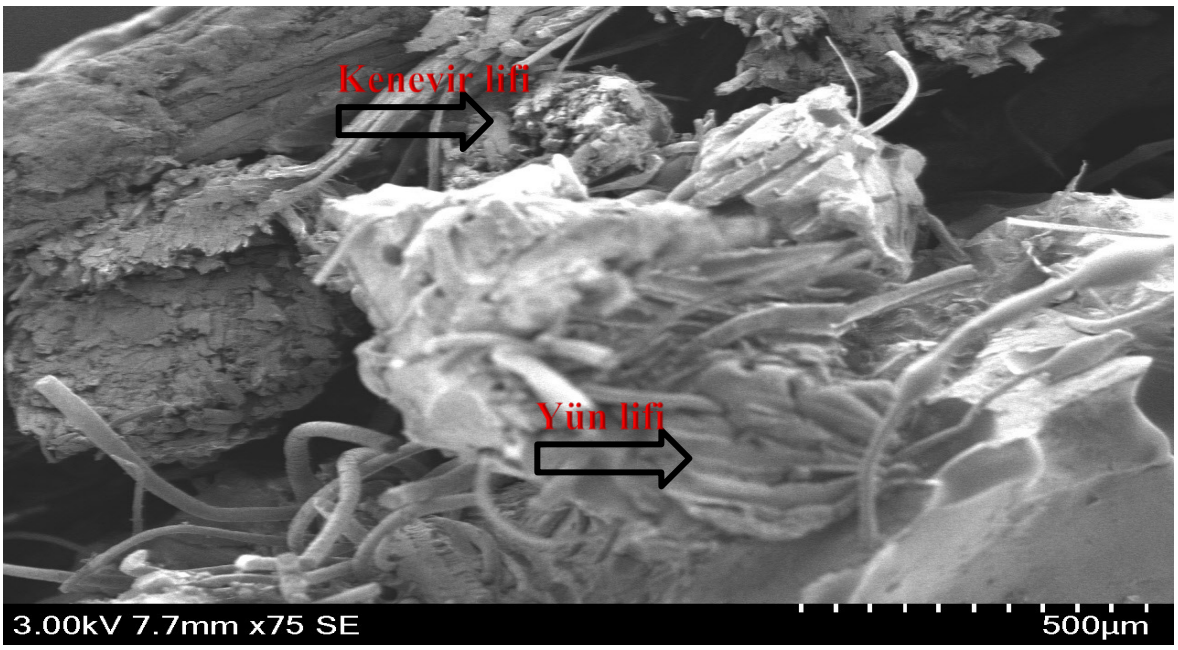
Şekil 7.82. Kenevir ve pamuk elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-15) x250 büyütmedeki SEM görüntüsü

Kenevir ve pamuk elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-15) x250büyütmedeki görüntüsü Şekil 7.82.´de görülmektedir. Görüntüde epoksi reçinenin matris malzemesi ile nüfuziyeti görülmektedir.



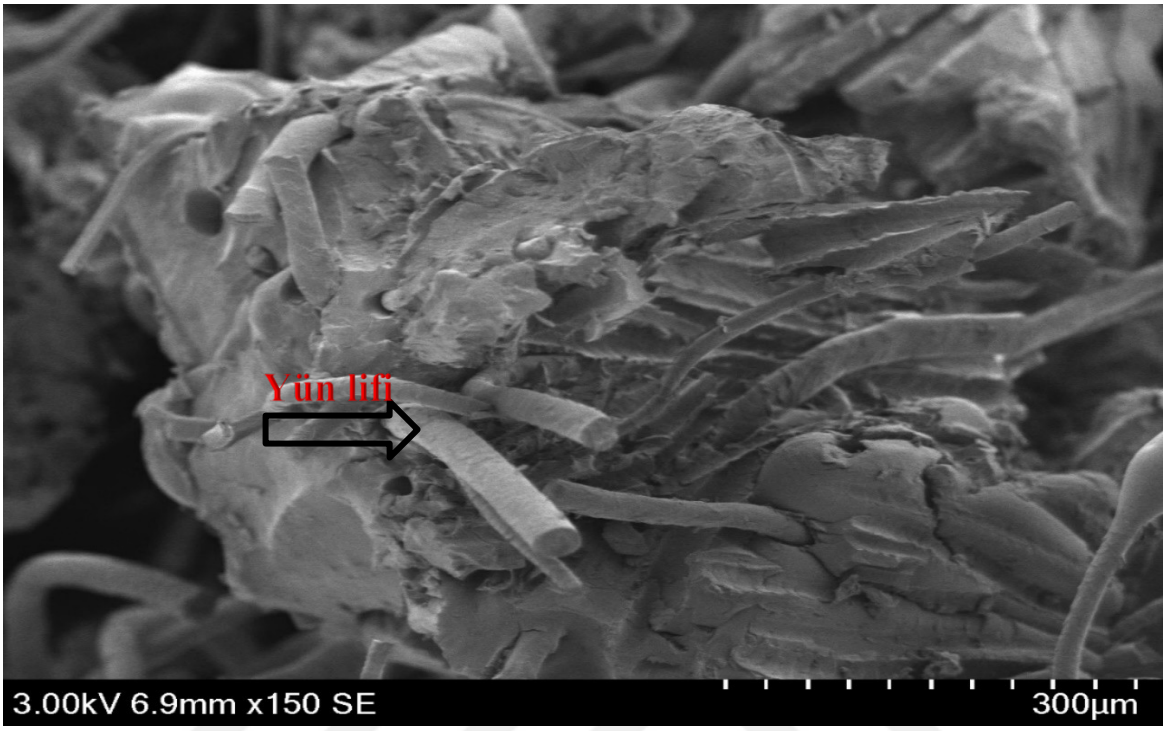
Şekil 7.83. Kenevir ve yün elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-16) x35 büyütmedeki SEM görüntüsü

Kenevir ve yün elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-16) x35 büyütmedeki görüntüsü Şekil 7.83.′de görülmektedir. Görüntüde kenevir lifi ve yün lifleri görülmektedir. Yün lifinin kenevir elyafına göre daha fazla dağılım gösterdiği tespit edilmiştir. Farklı elyaf tabakaları arasında boşluklu bir yapı oluştuğu tespit edilmiştir.



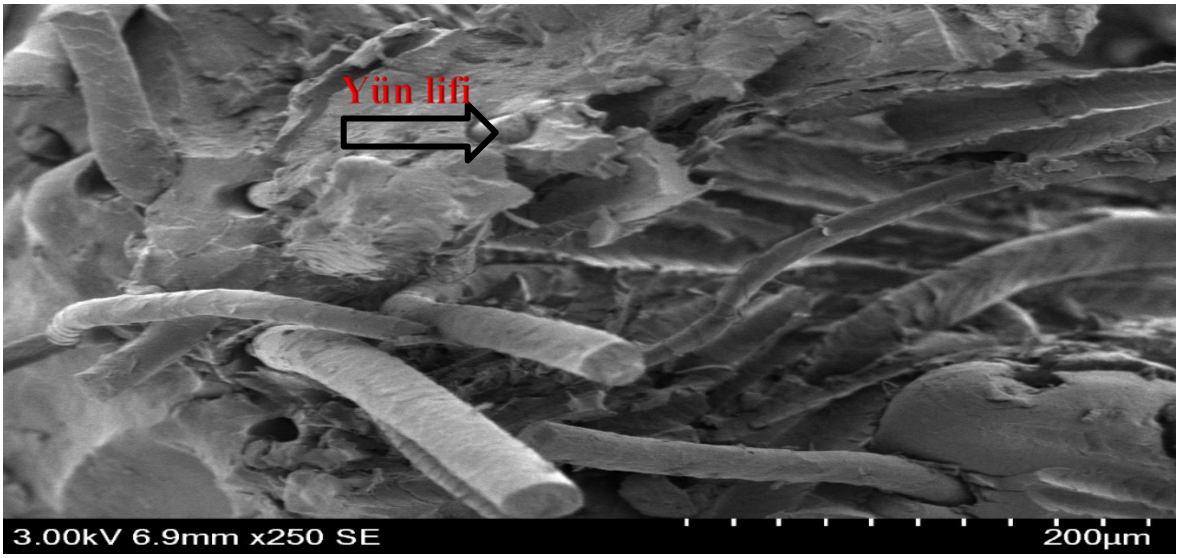
Şekil 7.84. Kenevir ve yün elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-16) x75 büyütmedeki SEM görüntüsü

Kenevir ve yün elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-16) x75 büyütmedeki görüntüsü Şekil 7.84.´de görülmektedir



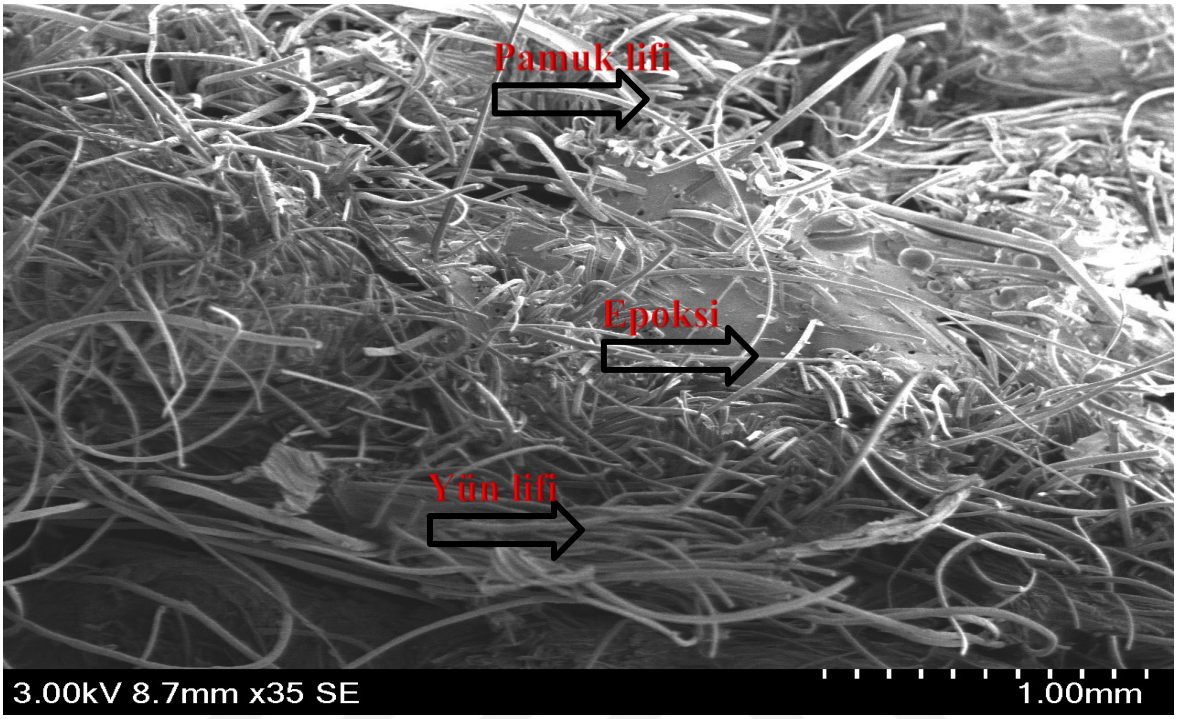
Şekil 7.85. Kenevir ve yün elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-16) x150 büyütmedeki SEM görüntüsü

Kenevir ve yün elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-16) x150 büyütmedeki görüntüsü Şekil 7.85.´de görülmektedir. Görüntüde yün elyaf takviye malzemesi ile epoksi reçinenin birleşimi görülmektedir.



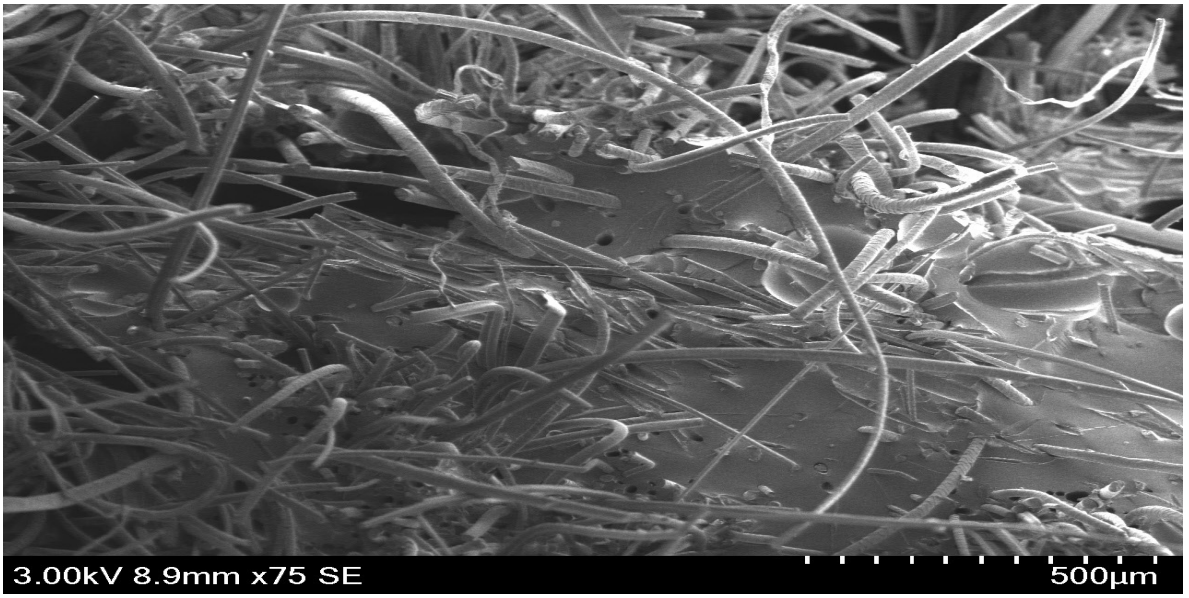
Şekil 7.86. Kenevir ve yün elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-16) x250 büyütmedeki SEM görüntüsü

Kenevir ve yün elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-16) x250 büyütmedeki görüntüsü Şekil 7.86.´da görülmektedir.



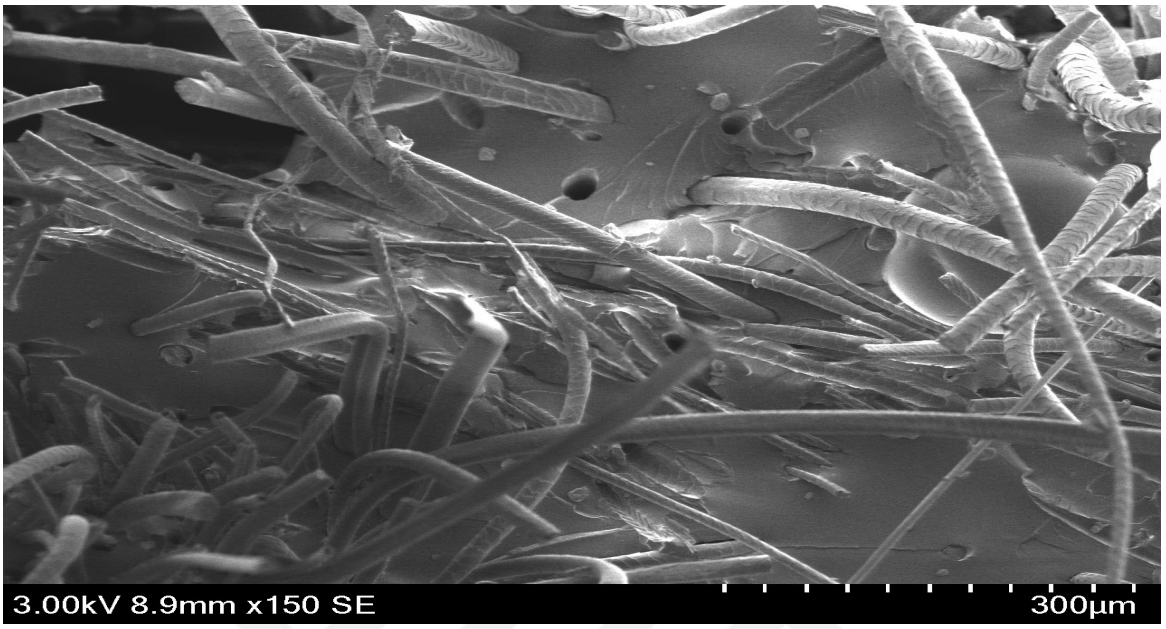
Şekil 7.87. Pamuk ve yün elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-17) x35 büyütmedeki SEM görüntüsü

Pamuk ve yün elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-17) x35 büyütmedeki görüntüsü Şekil 7.87.´de görülmektedir.



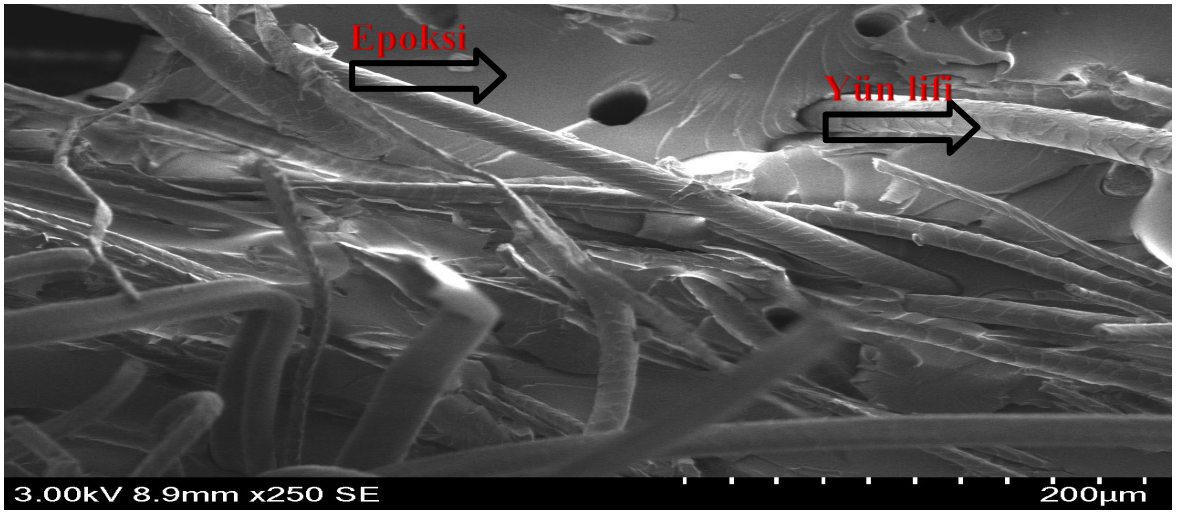
Şekil 7.88. Pamuk ve yün elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-17) x75 büyütmedeki SEM görüntüsü

Pamuk ve yün elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-17) x75 büyütmedeki görüntüsü Şekil 7.88.´de görülmektedir.



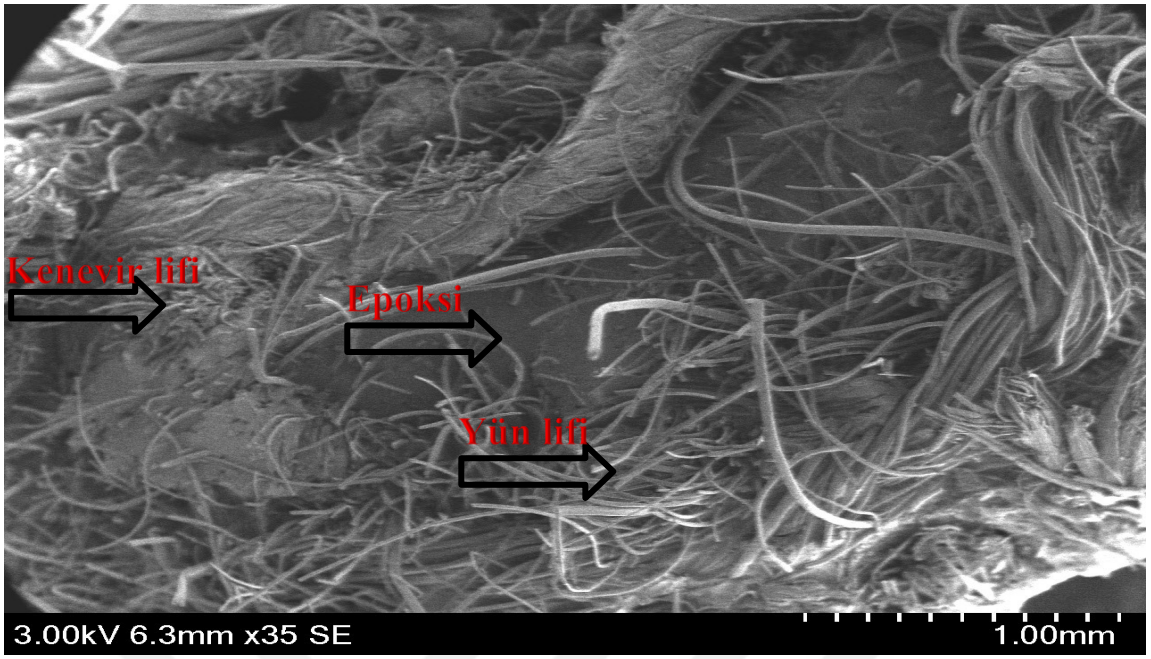
Şekil 7.89. Pamuk ve yün elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-17) x150 büyütmedeki SEM görüntüsü

Pamuk ve yün elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-17) x150 büyütmedeki görüntüsü Şekil 7.89.´da görülmektedir.



Şekil 7.90. Pamuk ve yün elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-17) x250 büyütmedeki SEM görüntüsü

Pamuk ve yün elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-17) x250 büyütmedeki görüntüsü Şekil 7.90.´da görülmektedir. Epoksi ve yün lifinin genel olarak iyi birleşim sağladığı görülmüştür.



Şekil 7.91. Jüt, keten, kenevir, pamuk ve yün elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-18) x35 büyütmedeki SEM görüntüsü

Jüt, keten, kenevir, pamuk ve yün elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-18) x35 büyütmedeki görüntüsü Şekil 7.91.´de görülmektedir. Yün lifi ile epoksi reçine malzemesinin daha iyi nüfuziyet sağladığı görülmüştür.



Şekil 7.92. Jüt, keten, kenevir, pamuk ve yün elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-18) x75 büyütmedeki SEM görüntüsü

Jüt, keten, kenevir, pamuk ve yün elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-18) x75 büyütmedeki görüntüsü Şekil 7.92.´de görülmektedir. Görüntü incelendiğinde farklı lif tabakaları arasında boşluk oluştuğu görülmektedir.



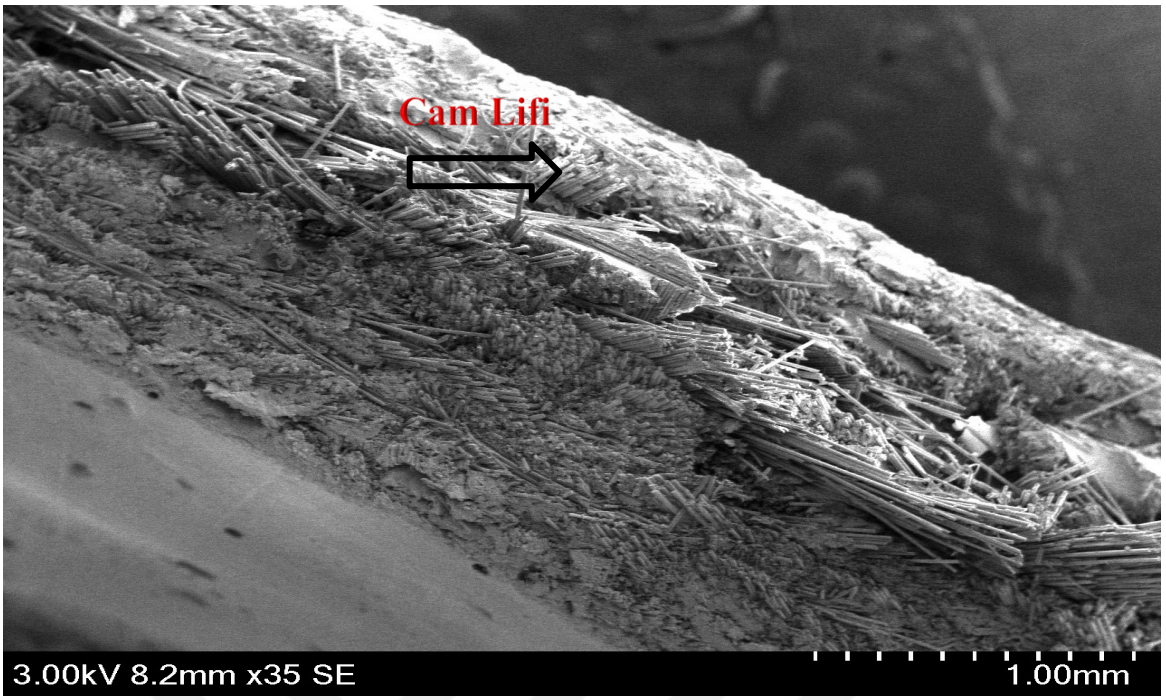
Şekil 7.93. Jüt, keten, kenevir, pamuk ve yün elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-18) x150 büyütmedeki SEM görüntüsü

Jüt, keten, kenevir, pamuk ve yün elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-18) x150 büyütmedeki görüntüsü Şekil 7.93.´de görülmektedir.



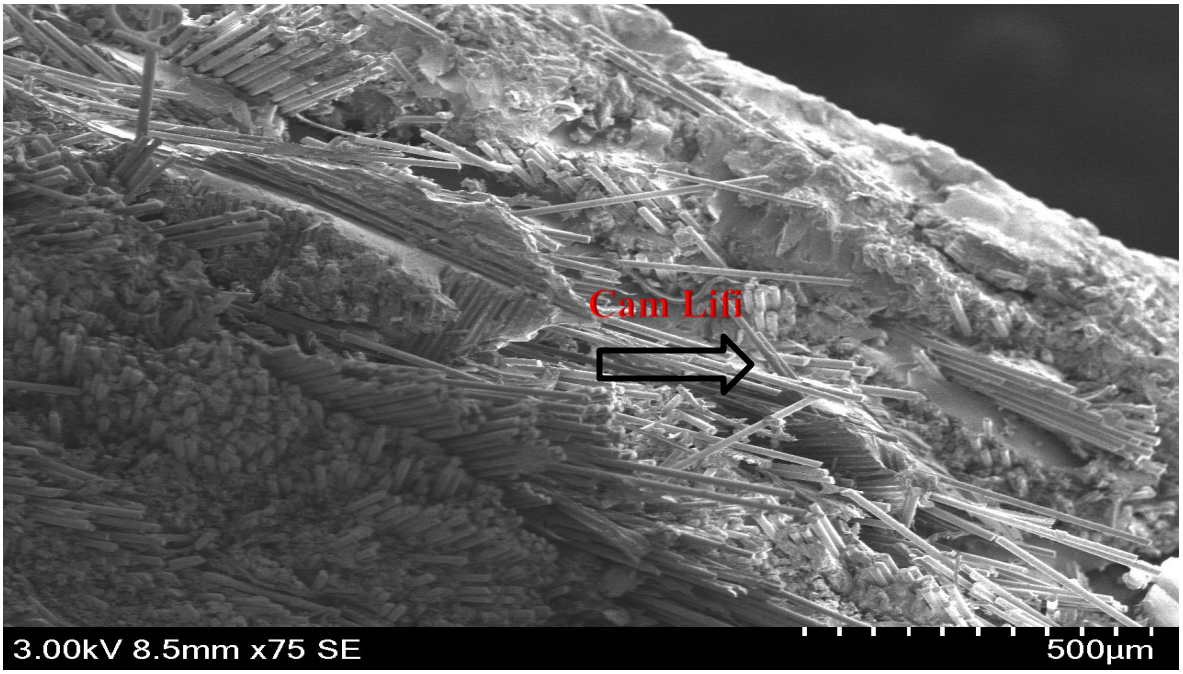
Şekil 7.94. Jüt, keten, kenevir, pamuk ve yün elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-18) x250 büyütmedeki SEM görüntüsü

Jüt, keten, kenevir, pamuk ve yün elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-18) x250 büyütmedeki görüntüsü Şekil 7.94.´de görülmektedir.



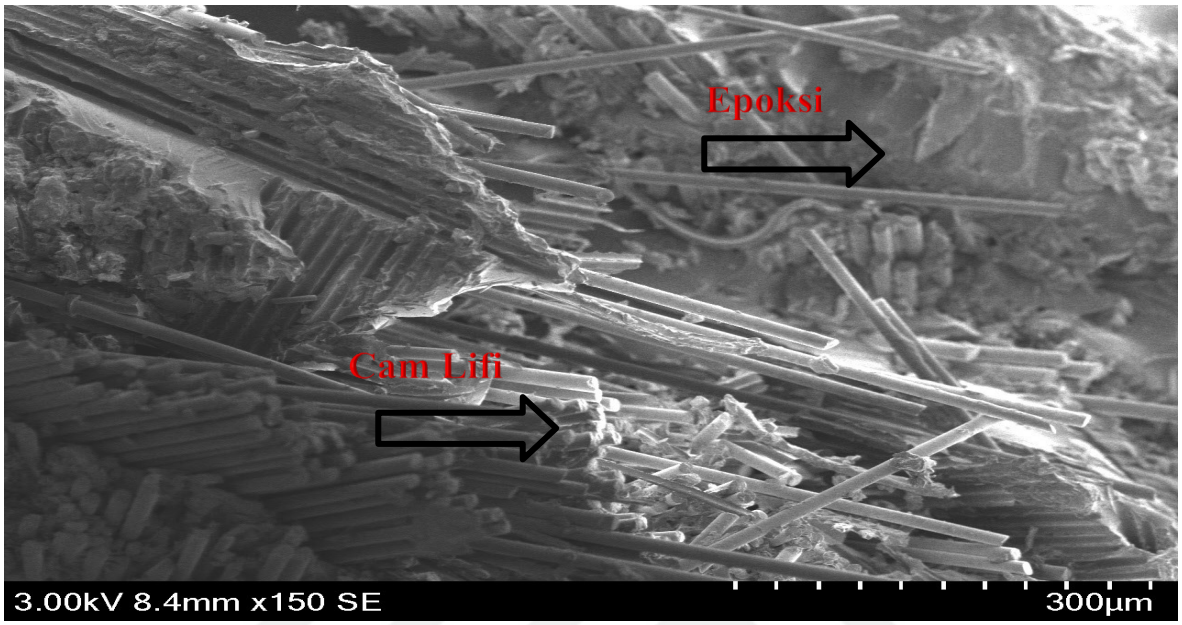
Şekil 7.95 Cam elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-19) x35 büyütmedeki SEM Görüntüsü

Cam elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-19) x35 büyütmedeki görüntüsü Şekil 7.95.´de görülmektedir.



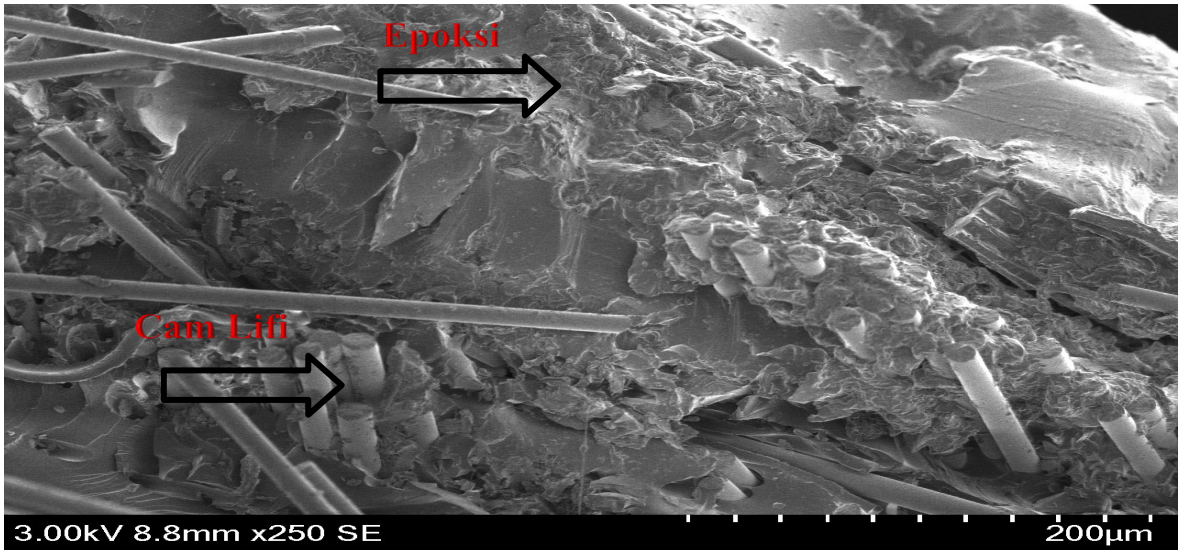
Şekil 7.96. Cam elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-19) x75 büyütmedeki SEM görüntüsü

Cam elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-19) x75 büyütmedeki görüntüsü Şekil 7.96.´da görülmektedir. Cam lifi içerisinde epoksi malzemesinin iyi nüfuziyet sağladığı görülmüştür.



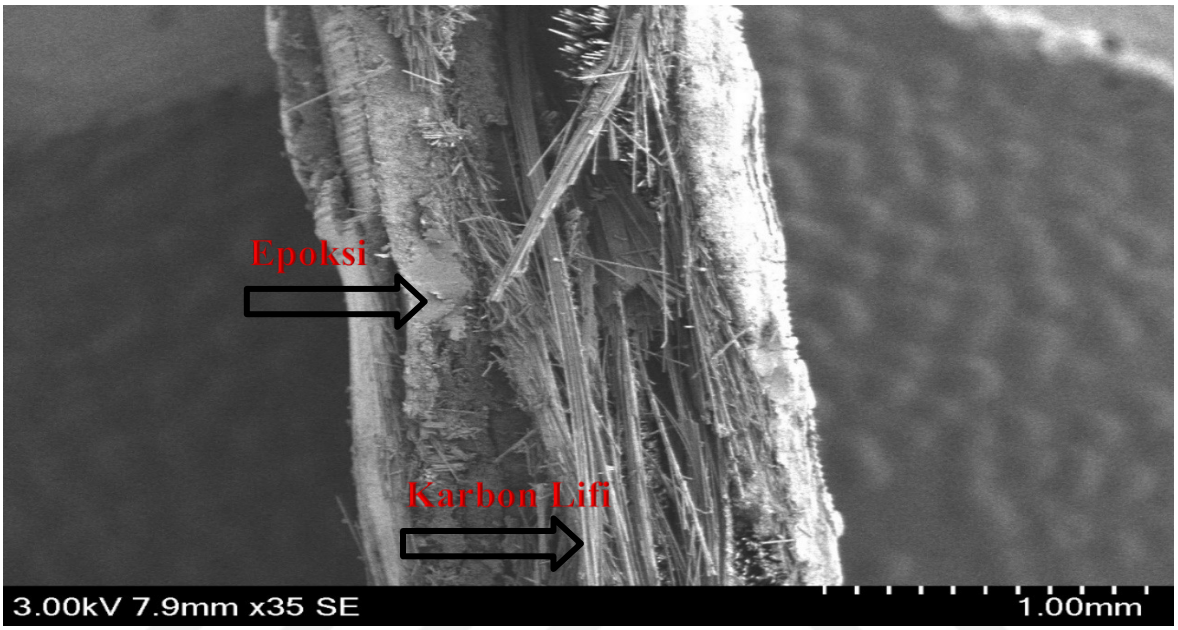
Şekil 7.97. Cam elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-19) x150 büyütmedeki SEM görüntüsü

Cam elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-19) x150 büyütmedeki görüntüsü Şekil 7.97.´de görülmektedir. Görüntüde yatay ve dikey yönelimli cam lifleri görülmektedir. Cam lifi ve epoksi malzemenin bazı bölgelerde daha yoğun birleşim sağladığı görülmüştür.



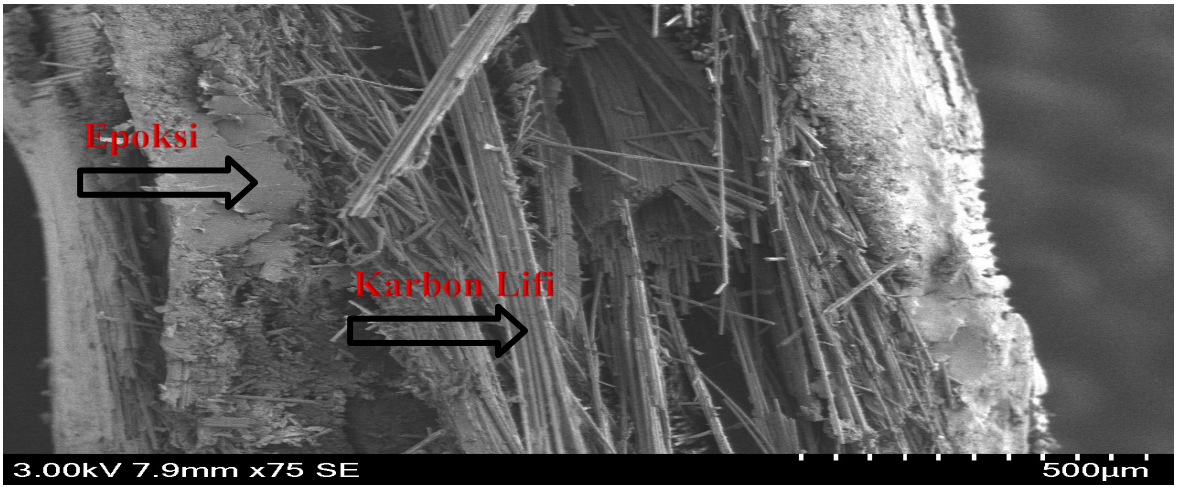
Şekil 7.98. Cam elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-19) x250 büyütmedeki SEM görüntüsü

Cam elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-19) x250 büyütmedeki görüntüsü Şekil 7.98.´de görülmektedir. Görüntüde cam lifi ve epoksi matris malzemesinin iyi nüfuziyet sağladığı görülmektedir. Yapay elyaf takviye malzemesi olan cam lifi ile oluşturulan malzemenin, yapay elyaf takviyeli malzemelere göre daha az boşluklu yapıya sahip olduğu tespit edilmiştir.



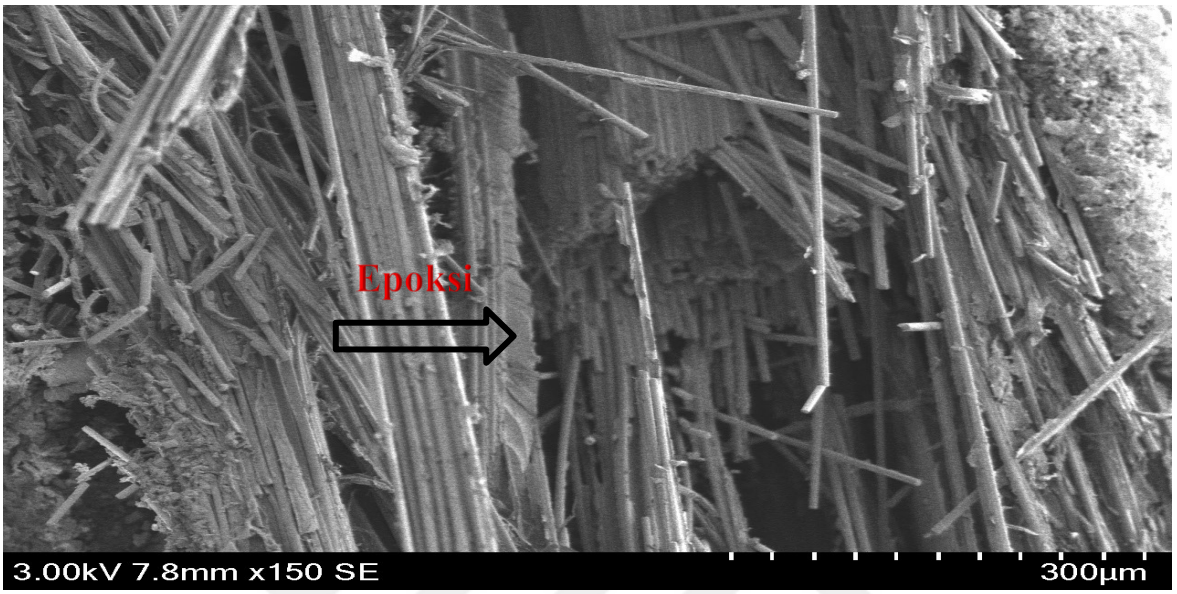
Şekil 7.99. Karbon elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-20) x35 büyütmedeki SEM görüntüsü

Karbon elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-20) x35 büyütmedeki görüntüsü Şekil 7.99.´da görülmektedir.



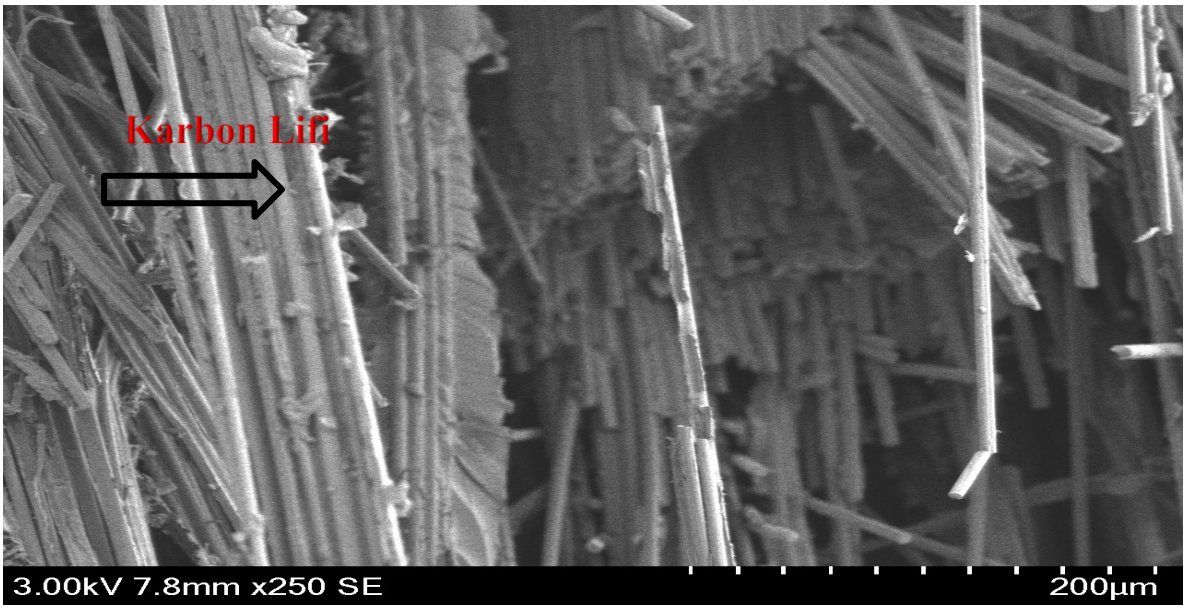
Şekil 7.100. Karbon elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-20) x75 büyütmedeki SEM görüntüsü

Karbon elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-20) x75 büyütmedeki görüntüsü Şekil 7.100.´de görülmektedir. Karbon elyafı ve epoksi matris arasında bazı noktalarda boşluklu yapı oluştuğu tespit edilmiştir.



Şekil 7.101. Karbon elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-20) x150 büyütmedeki SEM görüntüsü

Karbon elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-20) x150 büyütmedeki görüntüsü Şekil 7.101.´de görülmektedir.



Şekil 7.102. Karbon elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-20) x250 büyütmedeki SEM görüntüsü

Karbon elyafı takviyeli kompozit numunesinin (N-20) x250 büyütmedeki görüntüsü Şekil 7.102.´de görülmektedir.

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada doğal elyaf ve sentetik elyaf takviyeli kompozit malzemelerin üretilmesi gerçekleştirilmiştir. Üretilen kompozit malzemelerin mekanik ve metalografik özellikleri araştırılmış, doğal ve sentetik elyaf malzemelerinin mekanik özellikleri karşılaştırılmıştır.

Kompozit malzemelerin üretiminde jüt, kenevir, keten, pamuk, sisal, yün, cam, karbon, Hindistan cevizi elyafları takviye malzemesi olarak kullanılmıştır. Matris malzemesi olarak epoksi reçine kullanılmış olup kompozit malzemelerin vakum destekli reçine infüzyon yöntemiyle üretimi sağlanmıştır. Kompozit numuneler genel olarak 4 tabaka olacak şekilde üretilmiştir. Üretimi gerçekleştirilen her bir kompozit malzemeden bir adet çekme testi numunesi alınmıştır.

Tabakalı kompozit malzemelerden ASTM D638 standardına göre çekme testi numuneleri lazer kesim ile kesilmiştir. Numunelerine uygulanan çekme testi sonucunda doğal elyaf takviyeli kompozit malzemeler arasında en yüksek çekme mukavemeti 75,56 Mpa değeri ile dört tabakalı keten elyaftan oluşan N-2 numunesinin gösterdiği tespit edilmiştir. Sentetik elyaf takviye malzemesi ile üretilen kompozit malzemeler arasında en yüksek çekme mukavemeti 406,830 Mpa değeri ile dört tabakalı karbon elyaf takviyeli, N-20 numunesinin gösterdiği tespit edilmiştir. En düşük çekme mukavemeti 12,5740 Mpa değeri ile iki tabaka kenevir ve iki tabaka yün elyaf takviye malzemelerinin bir arada kullanılmasıyla oluşturulan N-16 kompozit malzemesinin gösterdiği tespit edilmiştir.

Üretilen doğal elyaf ve sentetik elyaf takviyeli numuneler arasında en yüksek yüzde uzama %25,5739 değeri ile kenevir ve yün elyaf takviye malzemelerinin kullanıldığı, N-16´in sahip olduğu tespit edilmiştir. Kompozit malzemeler arasında en düşük yüzde uzama değeri %1,94870 olarak Hindistan cevizi lifi takviyeli N-7´de tespit edilmiştir.

Doğal elyaf takviyeli kompozit malzemelerin çekme mukavemetinin sentetik elyaf olan karbon ve cam takviye malzemeleri ile üretilen numunelere göre düşük olduğu tespit edilmiştir.

SEM analizlerine göre tabakalı kompozit malzemelerin, tabakaları arasında boşluklu yapıların olduğu, tabakalar arasındaki yapışmanın tam olarak sağlanamadığı özellikle farklı yapıda doğal elyaf takviye malzemelerinin kullanımında, elyaf tabakaları arasındaki

yapışmanın arttırılması için vakum gücünün arttırılması gerektiği değerlendirilmektedir. Büyük lif yapısına sahip takviye malzemelerinin kullanıldığı durumlarda epoksi reçine oranının arttırılması gerektiği tespit edilmiştir.

Yüksek çekme mukavemetinin çok önemli olmadığı durumlarda doğal elyaf takviyeli kompozit malzemelerin, sentetik elyaf takviyeli kompozit malzemelere alternatif olarak kullanılabileceği değerlendirilmektedir.

9. KAYNAKLAR

Alemdaroğlu, N., Kayran, A., 2007. Vakum Torbalama Yöntemi ile Kompozit Malzemeden Yapı Üretimi Örnek Bir Havacılık Uygulaması, *Makale*, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Havacılık ve Uzay Mühendisliği Bölümü.

Al-Oraimi, S. K., , Seibi, A. C. 1995. Mechanical characterisation and impact behaviour of concrete reinforced with natural fibres. *Composite Structures*, *32*(1-4): 165-171.

Arıcasoy, O., 2006. Kompozit Sektör Raporu*, İstanbul Ticaret Odası*,. 4-9s.

Bansal, S., Ramachandran, M., & Raichurkar, P., 2017. Comparative analysis of bamboo using jute and coir fiber reinforced polymeric composites. *Materials Today*: Proceedings, 4(2 Pt A): 3182-3187.

Barbero, E. J., 2018, "Introduction to Composite Materials Design, Third edition", *CRC Press Taylor & Francis Group* , New York, (3): 37-102.

Bismarck, A., Mishra, S., Lampke, T., 2005. Plant fibers as reinforcement for green composites, In: *Natural Fibers, Biopolymers, and Biocomposites (Eds. A. K. Mohanty, M. Misra, L. T. Drzal). Taylor & Francis Group*, New York, 37-108.

Bledzki, A. K., Faruk, O., Sperber, V. E., 2006. Cars from Bio-Fibres. *Macromolecular Materials and Engineering*, 291(5): 449-457.

Bulut, Y., Erdoğan, Ü. H., 2011. SELÜLOZ ESASLI DOĞAL LİFLERİN KOMPOZİ ÜRETİMİNDE TAKVİYE MATERYALİ OLARAK KULLANIMI. *Journal of Textiles & Engineers/Tekstil ve Mühendis*, *18(*83): 14-26.

Bunsell, A.R., Renard, F., 2005. Fundamentals of Fibre Reinforced Composite Materials, Series in *Material Science and Engineering*

Can, S. 2016. Doğal sentetik karma kompozitlerin çekme ve eğilme özelliklerinin araştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir, 73s.

Caprino, G., Carrino, L., Durante, M., Langella, A., & Lopresto, V. 2015. Low impact behaviour of hemp fibre reinforced epoxy composites. *Composite Structures*, *133:*892-901.

Chandu, G., 2017 "Material Science : Chapter 7: Composites [online]", (24 December 2017), http://iesgeneralstudies.com/chapter-7-composites/. 24 Aralık 2017

Chawla, K.K., 1987. Composite Materials Science and Engineering. 140-283s *Springer Verlag* New York Inc.

Chawla, K.K., 2011. "Composite Materials Science and Engineering, Third Edition"

Springer , New York, USA, 11-140.

Chawla, N., Chawla, K.K., 2006. Metal Matrix Composites, *Springer Science & Business Media*, Inc., New York, ABD.

Chin, S. C., Tee, K. F., Tong, F. S., Ong, H. R., & Gimbun, J., 2020. Thermal and mechanical properties of bamboo fiber reinforced composites. *Materials Today Communications*, (23).

Chung, D. D., 2010. Composite materials: science and applications. Springer Science & Business Media.

Clyne,T.W., Withers., 1993, An Introduction to Metal Matrix Composites, *Cambridge University pres*, USA

Corbiere, N.T., Laban, B.G., Lundquist, L., Leterrier, Y., Manson, J.A.E., Jolliet, O. 2001. Lifecycle assessment of biofibers replacing glass fibers as reinforcement in plastics, resources. *Resources*, Conservation and Recycling, (33): 267-287.

Czichos, H. and Hennecke., 2010, Hütte, Mühendislik Bilimi, İstanbul: Literatür.

Çuhadar, B. 2005. İçten basınca maruz kapların dizaynı Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Bitirme Projesi. İzmir.

Dayıoğlu, H., Canbaz Karakaş, H., 2007. Elyaf Bilgisi. Teknik Fuarcılık, İstanbul.

Deniz, M.E., 2005, "Kompozit malzemelerin üretim yöntemleri ve ısıl işlemle presleme tekniğini kullanarak kompozit malzeme üretecek bir düzeneğin tasarım ve imalatı", *Yüksek Lisans Tezi,* Harran Üniversitesi Fen Bilimleri EnstİtüsÜ, Şanlıurfa, (4): 32-47.

Dönmez Çavdar, A , Boran, S . 2016. Doğal Liflerin Otomotiv Sanayinde Kullanımı. *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty* , 16 (1) .

Eker, A.A., 2008. Metal Matrisli Kompozit Malzemeler ve Üretim Yöntemleri, Yıldız Teknik Üniversitesi,

Erbay, K., 2009, "Silah gövdeleri için polimer esaslı kompozit malzeme üretimi ve özelliklerinin incelenmesi", *Yüksek Lisans Tezi*, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, (4-5): 7- 8.

Ersoy, H.Y. 2001. Kompozit Malzeme. Literatür Yayıncılık, İstanbul, 3- 12s.

Erkan, Ö., İstanbul Kültür Üniv. Fen Bilimleri Enstütüsü, *Yüksek Lisans Tezi* 07.2011 İstanbul, 5-9.

Gürcüm, H.B. 2013, Tekstil Malzeme Bilgisi. Kerasus Yayınları, 1. Basım

Hahn, H. T., Tsai, S. W. 1980. Introduction to composite materials (Vol. 1): *CRC Press.* New York.

Harmancıoğlu, M. ve Yazıcıoğlu, G., 1979. *Bitkisel Lifler, Ege Universitesi Tekstil Fakultesi Yayınları*, (3), İzmir.

Huda, M. S., Drzal, L. T., Ray, D., Mohanty, A. K., Mishra, M., 2008. Natural- fiber composites in the automotive sector, pp. 221-268. In: Properties and Performance of Natural-Fibre Composites (Eds. K. L. Pickering). *Woodhead Publishing Limited*, Cambridge.

Hull, D., ve Clyne, T.W., 1996. An introduction to composite materials, 2nd Edition, *Cambridge University Press*, İngiltere.

Karabulut, N. ,Aktaş M.., 2014. Jüt Lifi Takviyeli Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin Yüzey Modifikasyon İşlemiyle İyileştirilmesi. *Engineer & the Machinery Magazine*, (649).

Karadeniz, E., 1989. Elyaf Takviyeli Plastik Kompozitlerin Mukavemeti. Marmara Üniversitesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, , 3-18s.

Karslı, M., 2016, "Hafif silahlar için polimer kompozit malzeme seçimi", *Yüksek Lisans Tezi*, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 17-25.

Kaushik, P., Jaivir, J., & Mittal, K., 2017. Analysis of mechanical properties of jute fiber strengthened epoxy/polyester composites. *Engineering Solid Mechanics*, *5*(2): 103-112.

Kaya, A. İ., 2016. Kompozit malzemeler ve özellikleri. *Putech & Composite Poliüretan ve Kompozit Sanayi Dergisi*, (29):38-45.

Ku, H, Wang, H, Pattarachaiyakoop, N., Trada, M., 2011. A Review on the Tensile Properties of Natural Fiber Reinforced Polymer Composites. *Composites: Part B*, (42):856–873.

Lewin, M., 2006. Handbook of Fiber Chemistry, Boca Raton, CRC Press, 25s.

Lucintel 2011, Opportunities in Natural Fiber Composites, Las Colinas, USA, 21s.

Mallick, P. K., 2008. Fiber-reinforced composites: materials, manufacturing, and design, Boca Raton; *CRC Press*, New York, 25s.

Mallick, P. K., 1997 Composites engineering handbook, New York: *Marcel Dekker Inc*.

Matthews, F. L. and Rawlings, R. D., 1999, Composite Materials: Engineering and Science, Washington: CRC Press,

Mazumdar, S.K., 2002. Composites Manufacturing, *Materials, Product and Process Engineering*, New York. USA. 4-5s.

MEB Megep. 2011. Giyim Üretim Teknolojisi. Tekstil Lifleri Modülü. Ankara, 7-14s.

Mizuuchi, K., Inoue, K., Sugioka, M., Itami, M., Kawahara, M., & Yamauchi, I., 2006. Microstructure and mechanical properties of boron-fiber-reinforced titanium-matrix composites produced by pulsed current hot pressing (PCHP). *Materials Science and Engineering: A*, *428*(1-2):175-179.

Mohanty, A.K., Misra, M. ve Hinrichsen, G., 2000. Biofibres, Biodegradable Polymers and Biocomposites: An Overview, *Macromolecular Materials and Engineering*, 276-277 (1): 1–24.

Neves, A. C. C., Rohen, L. A., Mantovani, D. P., Carvalho, J. P., Vieira, C. M. F., Lopes, F. P., & Monteiro, S. N., 2020. Comparative mechanical properties between biocomposites of Epoxy and polyester matrices reinforced by hemp fiber. *Journal of Materials Research and Technology*, 9(2):1296-1304.

Niska, K. O., Sain, M., 2008. Wood-Polymer Composites. *Woodhead Publishing Limited*, Cambridge, 366s.

Öktem, M. F., Altıntop, B. 2019. Development of Chemically Treated Hybrid Jute- Flax Natural Composites for Elevated Temperature Applications. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, *8*(1):187-196.

Romanzini, D., Ornaghi Junior, H. L., Amico, S. C., & Zattera, A. J., 2012. Preparation and characterization of ramie-glass fiber reinforced polymer matrix hybrid composites. *Materials Research*, 15(3):415-420.

Rosato, D. V. 1997. Designing with reinforced composites: *Hanser Gardner Publications*.

Rostamzadeh, T., & Shahverd, H. R., 2011. Microstructure study on Al-5% SiC nanocomposite powders. Iranian Journal of Materials Science and Engineering, 8(1):32-39.

Rouchan, J., 1987. Materiaux composites pour d'aeronefs, Ecole Nationale Superieure d'Ingenieurs de Constructions Aeronautiques. 95s.

Rubio-López, A., Artero-Guerrero, J., Pernas-Sánchez, J., & Santiuste, C., 2017. Compression after impact of flax/PLA biodegradable composites. *Polymer Testing*, (59):127-135.

Saçak, M., 1994. Lif ve Elyaf Kimyası. Gazi Kitabevi, 271s, Ankara.

Salpietra, M., 2010. "The World's Strongest Stuff [online]", (24 December 2017), http://www.pbs.org/wgbh/nova/tech/strong-materials.html., 24 Aralık 2017

Santhi, K. A., Srinivas, C., & Kumar, R. A., 2020. Experimental investigation of mechanical properties of Jute-Ramie fibres reinforced with epoxy hybrid composites. *Materials Today: Proceedings*.

Seiko Jose, S. Rajna and P. Ghosh., 2017. Ramie Fibre Processing and Value Addition. *Asian Journal of Textile,* (7): 1-9.

Seki, Y., 2009. Innovative multifunctional siloxane treatment of jute fiber surface and its effect on the mechanical properties of jute/thermoset composites, *Materials Science and Engineering A,* (508): 247-252.

Suddell, B. C., Evans, W. J., 2005. Natural fiber composites in automotive applications, In: *Natural Fibers, Biopolymers and Biocomposite*s (Eds. A. K. Mohanty M. Misra, L. T. Drzal). *CRC Press,* New York. (15): 243-272.

Şahin, Y., 2000. Kompozit Malzemelere Giriş. Gazi Kitap Evi Ankara 2s

Şahin, Y., 2006, "Kompozit Malzemelere Giriş, 2. Baskı", *Seçkin Yayınevi*, Ankara, 27-139.

Toptan, F., 2006. "Alüminyum Matrisli B4C Takviyeli Kompozitlerin Döküm Yöntemi ile Üretimi", *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

Ulcay, Y. 1989, The Effect of Surface Treatment on the Bonding Properties of Spectra Fibers for Use in Composites Structures. Maryland College Park University, USA.

URL-1, 2018. http://accluster.com/kompozit-malzemelerinin-kullanim- alanlari/ Kompozit Malzemelerinin Kullanım Alanları. 11 Mart 2003.

URL-2, 2015 Aviation. Available on the Internet: https://aviation.stackexchange.com/questions/22148/are-composite-materialswhich- are-being-widely-used-in-newer-aircrafts-better 14 Nisan 2015

URL-4, 2020 https://tr.wikipedia.org/wiki/Keten 20 Mayıs 2020

URL-5, 2020 https://tr.wikipedia.org/wiki/Kenevir 20 Mayıs 2020

Yıldızhan, H., 2008. Polimer Matrisli Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Eğitimi Anabilim Dalı, 15-17s.

Yıldırım, H., 2009. "Degişik kompozit malzemelerin mekanik davranışlarının incelenmesi", *Yüksek Lisans Tezi,* Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, (18):22-23.

Qu, J., 1993. The effect of slightly weakened interfaces on the overall elastic properties of composite materials. *Mechanics of Materials,* 14(4):269-281.,

Xu, Y., Dayo, A. Q., Wang, J., Wang, A., Lv, D., Zegaoui, A., Liu, W. 2018. Mechanical and thermal properties of a room temperature curing epoxy resin and related hemp fibers reinforced composites using a novel in-situ generated curing agent. Materials Chemistry and Physics, (203):293–301.

Wambua, P., Ivens, J., & Verpoest, I. 2003. Natural fibres: can they replace glass in fibre reinforced plastics. *Composites science and technology*, 63(9):1259- 1264.

ÖZGEÇMİŞ