



**T.C.
TUNCELI ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**VAKUM DESTEKLİ REÇİNE İNFÜZYON KALIPLAMA
YÖNTEMİYLE KOMPOZİT MALZEME ÜRETİMİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Engin ŞAHİN**

Anabilim Dalı: Makine Mühendisliği

**DANIŞMAN
Yrd. Doç. Dr. Yahya TAŞGIN**

Haziran– 2015

**T.C.
TUNCELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**VAKUM DESTEKLİ REÇİNE İNFÜZYON KALIPLAMA
YÖNTEMİYLE KOMPOZİT MALZEME ÜRETİMİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Engin ŞAHİN**

Anabilim Dalı: Makine Mühendisliği

**DANIŞMAN
Yrd. Doç. Dr. Yahya TAŞGIN**

Temmuz – 2015

T.C.
TUNCELI ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

VAKUM DESTEKLİ REÇİNE İNFÜZYON KALIPLAMA
YÖNTEMİYLE KOMPOZİT MALZEME ÜRETİMİ

Engin ŞAHİN
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez / 07/ 2015 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından **oybirliği** ile kabul edilmiştir.

İmza:.....	İmza:.....	İmza:.....
Yrd. Doç. Dr. Yahya TAŞGIN (T.Ü)	Prof.Dr.Sedat KOLUKISA (T.Ü)	Doç.Dr. Uğur ÇALIGÜLÜ (F.Ü.)
DANIŞMAN	ÜYE	ÜYE

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

İmza ve Mühür

Bu çalışma, Tunceli Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir.

Proje No:

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.

ÖZET

Bu çalışmada, genel olarak bilinen kompozit üretim yöntemlerinin yanı sıra tabakalı kompozit malzeme üretimine imkan veren vakum infüzyon yöntemi ile kompozit malzemeler üretilmiştir. Vakum infüzyon yöntemi üretim tekniği hakkında yazılı ve görsel tüm parametreler incelenmiştir. Vakum İnfüzyon Tezgahının tasarımı ve imalatı projemiz bünyesinde tamamlanmıştır.

Farklı fiber yapıları ürünlerin mekanik özelliklerinin ve bu farklı fiber yapıları ürünlerin kombinasyonunun mekanik özellikleri deneysel olarak Kopma Kuvveti, Kopma Gerilmesi, Kopma Uzaması, Max Uzama Kuvveti, Max Uzama Gerilmesi, Max Uzama gibi parametreler yönünden incelenerek, farklı kombinasyondaki bu numunelerin SEM analizleri yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Vakum İnfüzyon Tekniği, Tabakalı Kompozit, Fiber

ABSTRACT

Composite Materials With Vacuum Assisted Resin Infusion Molding Process

In this study, as well as generally known composite manufacturing method that enables the production of laminated composite material with vacuum infusion method composite materials. All parameters examined vacuum infusion production technology and Vacuum Infusion written and visual on the counter of the design and construction was completed within our project. The mechanical properties of the mechanical properties and the combination of these different fiber product made of different fiber product made experimentally Breaking Strength, Tensile stress, elongation, Max Elongation, Max Force Elongation, Tensile Elongation Max, Max examined in terms of parameters such as elongation SEM analyzes of these samples was performed in different combinations.

Keywords: vacuum infusion technique, layered composites, fiber

TEŞEKKÜRLER

Kompozit Malzemelerin tarihsel gelişim ve değişimi incelendiğinde, kullanılan saf ve doğal malzemelerin tercih edilme oranının zamanla azaldığı, fakat teknolojik gelişmelerle birlikte, farklı yapıda birçok malzemenin farklı tekniklerle bir araya getirilip, amacına uygun özellikler taşıyan malzemelerin, bir başka deyişle kompozit malzemelerin kullanımının gitgide arttığı, yaygınlaştığı açıkça görülmektedir.

Kompozit malzemeler mühendisler açısından geliştirilmeye, iyileştirilmeye son derece açık bir sektör niteliğindedir. Bu çalışmamda kompozit malzemelerin tarihçesinden başlayarak günümüz modern dünyasında ulaştığı yeri ve önemini, kompozit malzemelerin işlerliği, kullanım alanları, çalışma alanları avantajları vs. özelliklerini ana halleriyle ifade etmeye çalıştım.

Tez bünyesinde Vakum Destekli Reçine İnfüzyon Kalıplama Yöntemi için önce tezgah imal edilerek farklı kombinasyonlarda kompozit Malzeme numuneleri üretilmiştir, elde edilen bu numuneler mekanik özellikler yönünden karşılaştırılarak, çekme deneyi ile testleri de yapıp, sonrasında numunelerin SEM mikroskopunda detaylı incelemeleri ve karşılaştırmaları yapılmıştır.

Bu çalışmamın her aşamasında bana destek olan eşim Eylem ŞAHİN' e katkılarından dolayı değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Yahya TAŞGIN' a teşekkürlerimi borç bilirim.

Saygılarımla.

Engin ŞAHİN

TUNCELİ-2015

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET	II
ABSTRACT	III
TEŞEKKÜRLER	IV
İÇİNDEKİLER	V
ŞEKİLLER LİSTESİ	IX
TABLolar LİSTESİ	XI
RESİMLER LİSTESİ	XII
SEMBOLLER, TERİMLER, SİMGELER LİSTELERİ	XVII
SİMGELER LİSTESİ	XVIII
TERİMLER LİSTESİ	XIX
1. GİRİŞ	1
1.1. TARİHÇE	2
1.2. Kompozit Malzemeler	4
1.2.1 Kompozit Malzemenin Tanımı	4
1.2.1.1 Yapılarını Oluşturan Malzemelere Göre Kompozitler	5
1.2.1.2 Yapılarındaki Malzemenin Formuna Göre Kompozitler	6
1.2.1.3. Kompozit Malzemelerin Genel Özellikleri	9
1.2.1.4. Kompozit Yapılı Malzemelerin Avantajları;	12
1,2.1.5. Kompozit Malzemelerin Dezavantajları;	13
1.2.2. Kompozit Malzeme Üretimi İçin Gerekli Malzemeler	14
1.2.2.1. Epoksi Reçineli Matrisler	16
1.2.2.2. Polyester Reçineli Matrisler	16
1.2.2.3. Vinylester Reçineli Matrisler	16
1.2.2.4. Fenolik Reçineli Matrisler	17
1.2.2.5. Silikon Reçineli Matrisler	17
1.2.2.6. Metal Fiberli Matrisler	17
1.2.3. Elyaf lar	18
1.2.3.1. Cam Elyaf lar	19
1.2.3.2. Asbest Elyaf lar	21

1.2.3.3.	Çelik Teller	22
1.2.3.4.	Karbon Lifleri	22
1.2.3.5.	Aramid Lifler	22
1.2.3.6.	Bor Elyaf lar.....	23
1.2.3.7.	Silis Karbür Elyaf lar.....	23
1.2.4.	Takviye Türlerinin Karşılaştırması	24
1.2.4.1.	Elyaf Fiber Kompozitler	25
1.2.4.2.	Parçacıklı Kompozitler	26
1.2.4.3.	Tabakalı Tip Kompozitler	26
1.2.4.3.1.	Tabakalı Kompozitlerin Örnekleri ve Uygulamaları	26
1.2.4.3.2.	İleri Kompozitler	29
1.2.5.	Takvivel i Kompozitlerin Üretim Yöntemleri	30
1.2.5.1.	Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemelerinin Üretim Yöntemleri.....	30
1.2.5.2.	Termoset Matrisli Kompozitlerin Üretimi	32
1.2.5.3.	El Yatırma Yöntemi	32
1.2.5.4.	Hazır Kalıplama	34
1.2.5.5.	Reçine Transfer Kalıplama	35
1.2.5.6.	Profil Çekme Yöntemi.....	36
1.2.5.7.	Elyaf Sarma Yöntemi	37
1.2.5.8.	Püskürtme Metodu	37
1.2.5.9.	Tabakalı Birleştirme	38
1.2.5.10.	Enjeksiyon Kalıplama	39
1.2.6.	Termoplastik Matrisli Kompozitler.....	40
1.2.7.	Kompozitlerin Kullanım Alanında Tasarım Teknikleri	40
1.2.7.1.	Yükleme Vaziyeti.....	41
1.2.7.2.	Isıl ve Elektriksel Depolama	41
1.2.7.3.	Çevresel Şartlar ve Kimyasal Yükleme.....	42
1.2.7.4.	Parçaların Birleştirilmesi	43
1.2.7.5.	Ağırlık.....	44
1.2.8.	Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları	46
1.2.8.1.	Şehircilik.....	47
1.2.8.2.	Ev Aletleri.....	47

1.2.8.3.	Elektrik ve Elektronik Sanayi	47
1.2.8.4.	Havacılık Sanayi	47
1.2.8.5.	İş Makinaları	47
1.2.8.6.	İnşaat Sektörü.....	47
1.2.8.7.	Tarım Sektörü	48
1.2.8.8.	Spor Araçları.....	48
1.2.8.9.	Otomotiv Sanayiinde Kompozit Malzeme Kullanımı.....	48
1.2.8.10	Havacılık Sektöründe Kompozit Malzeme Kullanımı	51
1.2.8.11.	Basınçlı gaz Tankları.....	55
1.2.8.12.	Deniz Endüstrisi.....	56
1.2.8.13.	Tüketici Eşya Endüstrisi.....	56
1.2.8.14.	Spor ve Eğlence Endüstrisi.....	57
1.2.8.15.	Diğer kullanım alanları.....	57
1.2.9.	Vakum İnfüzyon Yöntemi	57
1.2.9.1	Yöntemin Avantajları	61
1.2.9.2	Yöntemin Dezavantajları.....	61
2.	MATERYAL VE METOT.....	62
2.1.	İnfüzyon Yöntemiyle Malzeme Üretme Tezgahı :	62
2.2.	Kullanılan Deney Malzemeleri	63
2.2.1.	Kevlar Fiber Ürünler	63
2.2.2.	Karbon Fiber Ürünler	64
2.2.3.	Aramid Fiber Ürünler	66
2.2.4.	Cam Fiber Ürünler	66
2.3.	DeneySEL Yöntem	67
2.3.1.	Üretim Aşamaları	67
2.3.2.	Reçine Yapılması	72
2.3.2.1.	Deneylerde Kullanılan Reçinenin Hazırlanması.....	72
2.3.2.3.	Numunenin Kalıptan Çıkarılması ve Numunelerin Hazırlanması	73
2.4.	İnfüzyon Yöntemiyle Üretilen Numuneler	74
2.4.1.	Numunelerin Çekme deneyi İçin Hazırlanışı	75
2.4.2	Numunelerin Markalanması	75
2.5.	Çekme Deneyi.....	79

2.5.1.	Çekme Deneyinin Amacı.....	79
2.5.2.	Tanımlar ve Formüller.....	80
2.5.3.	Deneyin Yapılışı.....	85
3.	DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ	87
3.1.	Deney Sonuçları.....	87
3.2.	Deney Numunelerinin Scanning Electron Misroskope’ unda analizleri ..	99
3.2.1.	Kompozit Kevlar çekme numunesi (F:1)	99
3.2.2.	Kompozit Aramid çekme numunesi (F:2)	107
3.2.3.	Kompozit Karbon çekme numunesi (F:3)	113
3.2.4.	Kompozit Karbon- Aramid Fiber çekme numunesi (F:4)	121
3.2.5	Kompozit Kevlar-Aramid-Cam Fiber çekme numunesi (F:5).....	132
3.2.6	Kompozit Karbon-Aramid- Cam Fiber- Kevlar Tabakalı çekme Numunesi (F:6)	144
4.	SONUÇLAR.....	152
5.	ÖNERİLER	154
	KAYNAKLAR	155
	ÖZ GEÇMİŞ	157

SEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Kompozitin ilk kullanım alanları.....	2
Şekil 2.1. Kompozit Malzemelerin Yapısı. (Atabey, 2013)	8
Şekil 2.2. Kompozit oluşumunda kullanılan plastikler.....	9
Şekil 2.3. Kış sporlarında kullanılan kayakların kompozit malzemedeki üretimi	14
Şekil 2.4. Kompozit malzeme de kullanılan fiber ve reçine	15
Şekil 2.5. Elyaf Dokuma Türleri	19
Şekil 2.6. Malzemelerin uzama – gerilme ilişkileri (kompozit, yumuşak metal ve cam) ..	24
Şekil 2.7. Kompozit malzeme türleri.....	25
Şekil 2.8. Farklı doğrultulu açılara sahip tabakalardan oluşan kompozit plak	27
Şekil 2.9. Kalıp işleme basamakları (Gay, Ar., 2003).....	31
Şekil 2.10. Kompozit malzemelerin üretim yöntemlerinin sınıflandırılması (Mazumdar, 2002).	32
Şekil 2.11. El yatırma düzeneği görülmektedir (Philips., 1989).	34
Şekil 2.12. Hazır kalıplama düzeneği (Gay, Ar.,2003).....	35
Şekil 2.13. Reçine transfer kalıplama düzeneği (Gay, Ar., 2003).....	35
Şekil 2.14. Profil çekme düzeneği (Gay, Ar., 2003).	36
Şekil 2.15. Prepregin şematik şekli (Chawla, K.K., 1987).	38
Şekil 2.16. Tabakalı kompozit (Mazumdar, S.K., 2002).....	38
Şekil 2.17. Tabakalı açılı kompozit (Mazumdar, S.K., 2002).....	39
Şekil 2.18. Uçaklarda Kullanılan Malzemelerin Oranları	46
Şekil.2.19.'da uçak tasarımında kullanılmakta olan bazı metal alaşımları ile kompozit yapıların mekanik özellikleri gösterilmektedir.....	53
Şekil 2.20. Uçak yapısında kullanılan malzemelerin yıllara göre dağılımı	54
Şekil 2.21. Uçak malzemelerin kullanım oranlarının yıllara göre değişimi (Margolis, 1986).	55
Şekil 2.22. İnfüzyonun genel görünümü.....	58
Şekil 2.23. Vakum infüzyon yönteminde kullanılan elemanlar	59
Şekil 2.24. Etrafindan vakumlanıp reçinenin ortadan verildiği vakum infüzyon sistemi....	59
Şekil 2.25. Vakum ve reçine hatlarının karşılıklı yerleştirildiği vakum infüzyon sistemi ..	60

Şekil 2.26. Vakum infüzyon yönteminin şematik olarak gösterimi.	60
Şekil.2.6. Deney için numunelerde kullanılan fiber elyaflar	74
Şekil 2.7. Çekme numunesi örneği.....	78
Şekil 3.7. Çekme deneyinde üniform uzama, büzülme ve kopma.....	82
Şekil 3.8 Gevrek (A) ve sünek (B) malzemenin kırılma şekli.	83
Şekil 2.9. Gevrek ve sünek malzemelere ait çekme deneyi grafiği.....	84
Tablo 3.2. Çekme deneyi ortalama değerler parametreler tablosu	88
Şekil .3.1. F:1-1 Kompozit kevlar çekme numunesi gerilme-uzama diyagramı.....	89
Şekil .3.2. F:1-2 Kompozit kevlar çekme numunesi gerilme-uzama diyagramı.....	89
Şekil .3.3. (F:2-1) Kompozit aramid çekme numunesi gerilme-uzama diyagramı	90
Şekil .3.4. (F:2-2) Kompozit aramid çekme numunesi gerilme-uzama diyagramı	91
Şekil .3.5. - (F:3-1) Kompozit karbon çekme numunesi gerilme-uzama diyagramı.....	92
Şekil .3.6. - (F:3-2) Kompozit karbon çekme numunesi gerilme-uzama diyagramı	92
Şekil .3.7. - (F:4-1) Kompozit karbon-aramid fiber çekme numunesi gerilme-uzama diyagramı	93
Şekil .3.8. (F:4-2) Kompozit karbon-aramid fiber çekme numunesi gerilme-uzama diyagramı	94
Şekil .3.9. - (F:5-1) Kompozit kevlar -aramid-cam fiber çekme numunesi gerilme-uzama diyagramı	95
Şekil .3.10. - (F:5-2) Kompozit kevlar-aramid-cam fiber çekme numunesi gerilme-uzama diyagramı	95
Şekil .3.11. - (F:6-1) Kompozit karbon-kevlar-aramid-cam fiber çekme numunesi gerilme-uzama diyagramı	96
Şekil .3.12. - (F:6-2) Kompozit karbon-kevlar-aramid-cam fiber çekme numunesi gerilme-uzama diyagramı	97
Şekil .3.13. Numunelerin gerilme, uzama yönünden çekme makinası verilerinin aynı tabloda değerlendirilmesi.....	98

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa No:

Tablo 2.1. Cam türlerinin temel özellikleri	21
Tablo 2.2. Farklı elyaflardan oluşan kompozitlerin birim maliyetleri	23
Tablo 2.3. Kompozit malzemelerinin sınıflandırılması ve özellikleri	24
Tablo 2.4. Belli başlı termoplastik reçineleri ve işlem ısıları (URL-11,2015).....	29
Tablo 2.5. Farklı fiber takviyeli kompozitlerin uygulama alanları	29
Tablo 2.6. Titanyum ve Alüminyum alaşımları ile karbon fiber-epoksi özgül yorulma dayanımının kıyaslanması	30
Tablo 2.7. 1988 ve 1993 yılları arasında otomobillerde kullanılan kompozitlerin oranı (Anonim, 1994)	51
Tablo 2.8. İleri kompozitlerle uçak elemanı bazında sağlanan ağırlık kazançları.....	52
Tablo 2.1. Çekme numuneleri ölçüleri	79
Tablo 3.1. Çekme Deneyi Parametreler Tablosu	87

RESİMLER LİSTESİ

	Sayfa No
Resim 2.1. El yatırma düzeneği (Gay, Ar.,2003).....	33
Resim 2.2. Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan Bazı Kompozit Malzemeler	42
Resim 2.3. Yekpare olarak imal edilmiş otomobil tahrik şaftı	44
Resim 2.4. Kompozit Malzemelerin Deniz Taşıtlarında Kullanımı	56
Resim2.5. Kompozit malzemelerin köprü kirişlerinde kullanımı	58
Resim 2.2. Vakum infüzyon tezgahı	63
Resim 2.3. Vakum infüzyon tezgahının üretim alanı	68
Resim 2.4. Vakum infüzyon tezgahında (kevlar, aramid, cam elyafı) tabakalı numuneler	69
Resim 2. 5. Spiral hortumun peel ply üzerine konulması	70
Resim 2. 6. Yayıcı filenin peel ply'a serilmesi	71
Resim 2. 7. İnfüzyon ile reçine emdirilmesi	72
Resim 2.8. Reçine akışı için tabakaların hazırlanması	74
Resim 2.9. Kompozit kevlar çekme numunesi.....	75
Resim 2.10. Kompozit aramid çekme numunesi.....	76
Resim 2.11. Kompozit karbon çekme numunesi.....	76
Resim 2.12. Kompozit karbon+aramid tabakalı çekme numunesi.....	77
Resim 2.13. Kompozit kevlar-Aramid-cam fiber tabakalı çekme numunesi.....	77
Resim 2.14. Kompozit karbon-aramid- cam fiber- kevlar tabakalı çekme numunesi.....	78
Resim .2.15. Çekme deneyi cihazı.	85
Resim .3.1. Kompozit kevlar çekme numunesi (F:1) SEM' de X27 büyütme görüntüsü .	99
Resim 3.2. Kompozit kevlar çekme numunesi (F:1) SEM' de X40 büyütme görüntüsü .	100
Resim .3.3. Kompozit Kevlar çekme numunesi (F:1) SEM' de x80 büyütme görüntüsü	101
Resim .3.4. Kompozit Kevlar çekme numunesi (F:1) SEM' de X 200 büyütme görüntüsü	102
Resim .3.5. Kompozit kevlar çekme numunesi (F:1) SEM' de X 300 büyütme görüntüsü	103

Resim .3.6. Kompozit keklar çekme numunesi (F:1) SEM’ de X1000 büyütme görüntüsü	104
Resim .3.7 Kompozit keklar çekme numunesi (F:1) SEM’ de X2000 büyütme görüntüsü	105
Resim .3.8 Kompozit Kevlar çekme numunesi (F:1) SEM’ de X700 büyütme görüntüsü	105
Resim .3.9 Kompozit keklar çekme numunesi (F:1) SEM’ de X2000 büyütme görüntüsü	106
Resim .3.10. Kompozit aramid çekme numunesi (F:2) SEM’ de X30 büyütme görüntüsü	107
Resim .3.11. Kompozit aramid çekme numunesi (F:2) SEM’ de X100 büyütme görüntüsü	108
Resim .3.12. Kompozit aramid çekme numunesi (F:2) SEM’ de X700 büyütme görüntüsü	109
Resim .3.13. Kompozit aramid çekme numunesi (F:2) SEM’ de X3000 büyütme görüntüsü.....	110
Resim .3.14. Kompozit aramid çekme numunesi (F:2) SEM’ de X700 büyütme görüntüsü	111
Resim .3.15. Kompozit aramid çekme numunesi (F:2) SEM’ de X3000 büyütme görüntüsü.....	112
Resim .3.16. Kompozit karbon çekme numunesi (F:3) SEM’ de X200 büyütme görüntüsü	113
Resim .3.17. Kompozit karbon çekme numunesi (F:3) SEM’ de X500 büyütme görüntüsü	114
Resim .3.18. - Kompozit karbon çekme numunesi (F:3) SEM’ de X900 büyütme görüntüsü.....	115
Resim .3.19. Kompozit karbon çekme numunesi (F:3) SEM’ de X4000 büyütme görüntüsü.....	116
Resim .3.20. Kompozit karbon çekme numunesi (F:3) SEM’ de X2.500 büyütme görüntüsü.....	117
Resim .3.21. Kompozit karbon çekme numunesi (F:3) SEM’ de X10.000 büyütme görüntüsü.....	118

Resim .3.22. Kompozit karbon çekme numunesi (F:3) SEM’ de X50.000 büyütme görüntüsü.....	119
Resim .3.23. Kompozit karbon çekme numunesi (F:3) SEM’ de X100.000 büyütme görüntüsü.....	120
Resim .3.24. Kompozit karbon- aramid çekme numunesi (F:4) SEM’ de X55 büyütme görüntüsü.....	121
Resim .3.25. Kompozit karbon- aramid çekme numunesi (F:4) SEM’ de X200 büyütme görüntüsü.....	122
Resim .3.26. Kompozit karbon- aramid çekme numunesi (F:4) SEM’ de X500 büyütme görüntüsü.....	123
Resim .3.27. Kompozit karbon- aramid çekme numunesi (F:4) SEM’ de X1.500 büyütme görüntüsü.....	124
Resim .3.28. Kompozit karbon- aramid çekme numunesi (F:4) SEM’ de X50.000 büyütme görüntüsü.....	125
Resim .3.29. Kompozit karbon- aramid çekme numunesi (F:4) SEM’ de X1.500 büyütme görüntüsü.....	126
Resim .3.30. Kompozit karbon- Aramid çekme numunesi (F:4) SEM’ de X400 büyütme görüntüsü.....	127
Resim .3.31. Kompozit karbon- aramid çekme numunesi (F:4) SEM’ de X1.500 büyütme görüntüsü.....	128
Resim .3.32. Kompozit karbon- aramid çekme numunesi (F:4) SEM’ de X25.000 büyütme görüntüsü	129
Resim .3.33. Kompozit karbon- aramid çekme numunesi (F:4) SEM’ de X800 büyütme görüntüsü.....	130
Resim .3.34. Kompozit karbon- aramid çekme numunesi (F:4) SEM’ de X2.000 büyütme görüntüsü.....	131
Resim .3.35. Kompozit kevlar-aramid-cam fiber çekme numunesi (F:5) SEM’ de X27 büyütme görüntüsü	132
Resim .3.36. Kompozit kevlar-aramid-cam fiber çekme numunesi (F:5) SEM’ de X100 büyütme görüntüsü	133
Resim .3.37. Kompozit kevlar-aramid-cam fiber çekme numunesi (F:5) SEM’ de X350 büyütme görüntüsü	134

Resim .3.38. Kompozit kevlar-aramid-cam fiber çekme numunesi (F:5) SEM' de X1.500 büyütme görüntüsü	135
Resim .3.39. Kompozit kevlar-aramid-cam fiber çekme numunesi (F:5) SEM' de X1.500 büyütme görüntüsü	136
Resim .3.40. Kompozit kevlar-aramid-cam fiber çekme numunesi (F:5) SEM' de X100 büyütme görüntüsü	137
Resim .3.41. Kompozit kevlar-aramid-cam fiber çekme numunesi (F:5) SEM' de X300 büyütme görüntüsü	138
Resim .3.42. Kompozit kevlar-aramid-cam fiber çekme numunesi (F:5) SEM' de X500 büyütme görüntüsü	139
Resim .3.43. Kompozit kevlar-aramid-cam fiber çekme numunesi (F:5) SEM' de X800 büyütme görüntüsü	140
Resim .3.44. - Kompozit kevlar-aramid-cam fiber çekme numunesi (F:5) SEM' de X160 büyütme görüntüsü	141
Resim .3.45. Kompozit kevlar-aramid-cam fiber çekme numunesi (F:5) SEM' de X400 büyütme görüntüsü	142
Resim .3.46. Kompozit kevlar-aramid-cam fiber çekme numunesi (F:5) SEM' de X1.000 büyütme görüntüsü	143
Resim .3.47. Kompozit karbon-aramid- cam Fiber- kevlar tabakalı çekme numunesi (F:6) SEM' de x25 büyütme görüntüsü	144
Resim .3.48. Kompozit karbon-aramid- cam fiber- kevlar tabakalı çekme numunesi (F:6) SEM' de X25 büyütme görüntüsü	145
Resim .3.49. Kompozit karbon-aramid- cam fiber- kevlar tabakalı çekme numunesi (F:6) SEM' de X400 büyütme görüntüsü	146
Resim .3.50. Kompozit karbon-aramid- cam fiber- kevlar tabakalı çekme numunesi (F:6) SEM' de X1.500 büyütme görüntüsü	147
Resim .3.51. Kompozit karbon-aramid- cam fiber- kevlar tabakalı çekme numunesi (F:6) SEM' de X850 büyütme görüntüsü	148
Resim .3.52. Kompozit karbon-aramid- cam fiber- kevlar tabakalı çekme numunesi (F:6) SEM' de X400 büyütme görüntüsü	149
Resim .3.53. Kompozit karbon-aramid- cam fiber- kevlar tabakalı çekme numunesi (F:6) SEM' de x1.100 büyütme görüntüsü	150

Resim .3.54. Kompozit karbon-aramid- cam fiber- kevlar tabakalı çekme numunesi (F:6)
SEM' de X3000 büyütme görüntüsü151

SEMBOLLER, TERİMLER, SİMGELER LİSTELERİ

SEMBOLLER LİSTESİ

A(x)	:Yüzeydeki çentiğin kesit alanı (mm ²)
E	:Elastisite modülü (MPa)
E _{max}	:Maksimum erozyon oranı (mg/kg)
F _t	:Teğetsel kuvvet (N)
H	:Malzemenin sertliği (N/mm ²)
K	:Boyutsuz aşınma faktörü
L	:Diskler arasındaki mesafe (mm)
n	:Disklerin devir sayısını (d/d)
Q	:Toplam aşınma oranı (mm ³ /m)
r	:Erozyon izlerinin ortalama yarıçapı (mm)
t	:Aşındırıcı partiküllerin hareket süresi (s)
T _g	:Camsı geçiş sıcaklığı (°C)
U	:Başlangıç hızı (m/s)
V	:Çentiğin son hacmi (mm ³)
V _f	:hacim oranı
W	:Uygulanan toplam normal yük (N)
W _c	:Kompozitin ağırlığı (g)
W _f	:Elyafın ağırlığı (g)
kopma	:Kopma uzaması (%)
c	:Kompozitin yoğunluğu (g/cm ³)
W	:Aşındırıcı partikül çarpma hızı (m/s)
Hz	:Hertz
µm	:Mikrometre
mm	:Milimetre
N	:Newton
Kg	:Kilogram
g	:Gram
PMMA	:Poli Metil Metakrilat
MEKP	:Metil Etil Keton Peroksit
CoOC	:Kobalt Oktoat

SİMGELER LİSTESİ

GF/EP :	:Glass Fibre Reinforced Epoxy Cam Elyaf Takviyeli Epoksi
DIN :	:Deutsches Institut für Normung (Almanya Normlar Kurulu)
ASTM :	:USA Society for Testing and Materials (ABD Testler ve Materyaller Birliği)
SEM :	:Scanning Electron Microscope (Taramalı Elektron Mikroskobu)
MANOVA :	:Multivariate Analysis of Variance (Çok Faktörlü Varyans Analizi)

TERİMLER LİSTESİ

ATIK MALZEME: Üretim veya herhangi bir imalat veya eylem sonunda oluşan kullanılmayacak olan herhangi bir madde veya cürufu ifade etmektedir.

CAM ELYAFI: Camın maksimum sıcaklıklarda eritilerek çekilmesi ile oluşan fiberimsi filamentleri ifade etmektedir.

ELYAF: Proseste mevcut olan Filament türünden oluşan malzemeleri ifade etmektedir.

ELYAF TAKVİYE MALZEMESİ: Matriks prosesin mukavemet özelliklerinin iyileştirilmesi için matriks yapıya ilave edilecek olan ve dayanıklılığı artırıcı her tür elyaf yapıyı ifade etmektedir.

ENJEKSİYON: Reçinenin elyaf ve takviye elyaf prosesinin yer aldığı kapalı sisteme reçinenin nüfuz ettirilmesini ifade etmektedir.

PEEL PLY: Reçinenin akışını kolaylaştıran plastik esaslı delikli kumaş,

HAMMADE :Homojen durumdaki kompozit malzemelerin oluşumunu sağlayan elyaf, reçine, takviye malzemesi vb. malzemeleri ifade etmektedir.

HAREKET VERİCİ: Kompozit yapının erken reaksiyona girerek sertleşmesini hızlandıran katalizör malzemeyi ifade etmektedir.

HIZLANDIRICI: Kompozit üründe Katalizör ile reçine karıştırıldığında kimyasal reaksiyonu hızlandıracak olan maddeyi ifade etmektedir.

HOMOJEN: Karışım veya yapının her noktasında aynı lineer (homojen) yapının hakim olmasını ifade etmektedir.

JELKOT(wax): Özellikle boyalı, düzgün ve hassas bir yüzey elde edilmek istenildiği durumlarda elyafın yerleştirilmesinden önce kalıba uygulanan reçineyi ifade etmektedir.

JELLEŞME: Reçinenin sertleşme tepkimesinden önceki evre olan pelte kıvamını ifade etmektedir.

KALIP AYIRICI: Elde edilecek parça veya malzemenin kürleşme evresinden sonra mevcut kalıbından rahat bir şekilde ayrılabilmesi için kalıp yüzeyine uygulanan sıvı, silikonumsu veya yağimsu malzemeleri ifade etmektedir.

KALİBRASYON: Bilinen doğruluğu kabul edilen standartlar sistemi veya referansa göre elimizdeki mevcut olan test, alet ve edevatlarının uydurulması işlemini ifade etmektedir.

KAT PLANI: Üretimi yapılacak tabakalı kompozit ürünün elyaf ve takviye malzemelerinin yer ve sırasını ifade etmektedir.

KATALİZÖR: Kompozit üretiminde tepkimeyi başlatan malzemeyi ifade etmektedir.

KOMPOZİT: İki veya daha fazla, farklı malzemenin bir araya getirilerek makro yapıdaki yeni özellikte üstün malzeme üretimini ifade etmektedir.

KÜRLEŞME: Kompozit yapının üretim sırasında reaksiyona uğrayıp sertleşmesini ifade etmektedir.

MARKALAMA: Ürünü tanıtmak diğerlerinden ayırıp seçilebilir kılmak için uygulanan işaretler topluluğunu ifade etmektedir.

MATRİKS: Kompozit yapı içinde mevcut olan polimer yapıyı ifade etmektedir.

LAMİNASYON: İki veya daha fazla fiber takviye elemanının reçine yardımıyla sıcaklık ve basınç ile birleştirilmesini ifade etmektedir.

PİGMENT : Rengi sağlamakta olan maddeyi ifade etmektedir.

POLİMER: Molekül yapıdaki natürel (doğal) veya sunni organik bileşimi ifade etmektedir.

REÇİNE: Genellikle yarı akışkan olup basınç ile akan molekül yapıdaki organik malzemeyi ifade etmektedir.

REÇİNE TRASFER METODU (RTM): Üretimi gerçekleştirilecek olan kompozit malzemesinin takviye elemanlarını barındıran kapalı sisteme reçinenin transfer edilmesi prosesini ifade etmektedir.

SERTLEŞTİRİCİ: Yapının sertleşme süresi için reaksiyonu kontrol altına alan kimyasal sıvı maddeyi ifade etmektedir.

TAKVİYE MALZEMESİ: Üretilecek malzemenin istenilen teknik özellikleri barındırması için matriks ile bağ oluşturmadan yapı içerisinde yer alacak ahşap, plastik, metal vs. malzemeleri ifade etmektedir.

TERMOSET: Isı, reaksiyon veya kimyasal karışımla sertleştikten sonra çözülmez, erimez bir yapı haline dönen plastik esaslı malzemeleri ifade etmektedir.

VAKUM İNFÜZYON YÖNTEMİ: Kapalı bir kalıp içinde kompozit malzemenin ana elemanları olan elyaf, reçine, takviye malzemelerini eksi basınç kuvvetiyle bir araya getirme prensibini ifade etmektedir.

VAKUM DESTEKLİ REÇİNE TRANSFER YÖNTEMİ (VDRTY): Kapalı bir kalıp içinde kompozit malzeme ana elemanları olan elyaf, reçine, takviye malzemesini bir tarafından eksi basınç diğer taraftan artı basınç kuvvetiyle bir araya getirilmesi prensibini ifade etmektedir.

1.GİRİŞ

Güncel teknolojimizle imal edilip farklı sektörlerde kullanım alanı bulan makine elemanları veya malzemeler en iyi şekilde tasarlanmış olsalar dahi işletme ve kullanım şartlarındaki farklılıktan dolayı zamanla bu mükemmelliklerini yitirip iş görmez hale gelirler.

Kompozit malzemeler en basit tanımsal ifadeyle, belirlenen kullanım alanı veya amaca yönelik, istenilen özellikleri sağlamak üzere en az iki farklı yapıdan oluşan malzeme grubudur. Kompozit malzemelerin tarihi insan oğlunun varlığıyla beraber çok eskilere dayanmaktadır. Örneğin; ağaç, kemik ve diş gibi doğal malzemeler insanlığın varoluşu ile birlikte kompozit yapılarda kullanılmıştır.

Kompozitlerin en köklü ve bilinen örneklerinden biride yapı sektöründe kullanımınıdır. Kerpiç tuğla dediğimiz saman ile killi çamurun birleştirilerek oluşturulduğu liflendirilmiş olan ve kerpiç adıyla adlandırılan toprak duvar malzemesi ilk kompozit malzemelerdendir.

Kompozit Malzemelerin tarihsel gelişim ve değişimi incelendiğinde, kullanılan saf ve doğal malzemelerin tercih edilme oranının zamanla azaldığı, fakat teknolojik gelişmelerle birlikte, farklı yapıda birçok malzemenin farklı tekniklerle bir araya getirilip, amacına uygun özellikler taşıyan, kompozit malzelerin gitgide arttığı, yaygınlaştığı açıkça görülmektedir. Kompozit malzemeler uygulanacakları alanda üstün fiziksel ve mukavemet özelliklerinin elde edilmesi için çok özel yapıda farklı fazda makro yapıdaki malzemelerin bir araya gelmesiyle oluşan çok fazlı malzeme grubu olarak ta bilinirler. Kompozit malzemeler otomobil gövdesinden, uçak gövdesine köprü kirişinden deniz teknesine, bina dış cephe kaplamasından ev eşyalarına, mutfak, banyo ve tarım araçlarına kadar birçok sanayi kolunda problemleri çözümlenmek amacıyla kullanılan malzemelerdir. Yirminci yüzyılın ortalarında dünya ekonomisinde önemli oranda katkı payıyla yer alan Kompozit malzemeler; yüksek kalitede, kayda değer performans ve teknik bilgi içeriği olan, gelişen bütünleşmiş işlevsel çeşitliliği olan katma değeri yüksek ileri teknoloji malzemeleri olarak ta tarif edilebilirler.

1.1. TARİHÇE

Kompozit malzemeler günümüzde bina yapımından gemi yapımına, ev eşya ve aletleri yapımından tutunda hava araçları teknolojisine değin birçok alanda yaygın ve sürekli gelişen bir kullanım alanına sahiptir. Kompozit malzemelerin var oluşu son birkaç yüz yıl olarak görünse de var oluşu çok eskilere uzanır. Kompozit malzemelerin mühendislik konusu olarak kabul görülüp ele alınması 1900' lu yılları bulmaktadır. Çok bileşenli malzemeye ilk geçiş çalışmaları, doğada tekil yapıda bulunan malzemeye müdahalelerle kullanım açısından daha işlevsel hale getirilmeye çalışıldığı aşamadır. İlk çağlardan günümüze değin insanlar sert, kırılğan yapıdaki malzemelere bitkisel veya hayvansal lif ekleyerek bu sertlik ve kırılğanlık dezavantajını ortadan kaldırmaya çalışmışlardır. Bu çalışmalara en iyi örnek kerpiç malzemelerdir.



Şekil 1.1. Kompozitin ilk kullanım alanları

Kerpiç malzeme üretiminde kil yapılı çamura ilave edilen saman, sap, sarmaşık, ağaç dalları gibi lifsi yapıdaki malzemelerle yapının üretim ve kullanım sırasındaki dayanımının iyileştirilmesi sağlanmıştır. Öte yandan, kompozit yapıların özelliklerinin iyileştirilmesinde olmazsa olmaz olan liflerin çok yeni olmadığı daha M.Ö. 1600'lü yıllarda cam liflerinin Mısırlılar tarafından bilindiği, XVIII. Yüz yılda Hanedan Devri'nden kalan çeşitli renkte liflerle bezenmiş Amfora' ların varlığından anlaşılmıştır.

Cam liflerinin sanayi alanında kullanımı ile ilgili ilk bulgu, 1877 tarihidir. Hidrolik bağlayıcı yöntemiyle ve elyaf malzeme takviyesiyle sunni taş plakaların üretimiyle 1800' lü yüz yılın başlarında alınmış olan patentlere rastlanılmaktadır. Günlük uygulamalarda yaygın şekilde kullanım 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 malzemedan yapılmıştır. Ülkemizde Cam lifli sentetik reçine esaslı kompozit matrisli malzemeler için "Cam Takviyeli Plastik (CTP)" adı dilimizde yaygınlaşmıştır. CTP' lerin üretiminde, günümüzde yaygın olarak kullanılan malzemelerden polyester diğer farklı yapıda termoset ve termoplastik yapılı reçinelerde de yaygın olarak kullanılmaktadır (URL-1, 2009).

1.2. Kompozit Malzemeler

Yaşantımızda kullandığımız her şeyin yapımında kullanılan yapay ve doğal olarak üretilmiş maddelere malzeme denir. Malzemeler plastik, seramik, metal ve kompozit olarak dört esas grupta ele alınabilirler.

Plastik malzemeler; Isı ve elektriği iletmeyen, hafif, işlenebilir, dayanıklı malzemelerdir. Plastik malzemelerde; elastik, plastik, vizkoelastik şekil değiştirme görülebilir. Kuvvet etkisi ile polimerlerdeki bağ açıları büyüyerek başlayan şekil değiştirme sonucunda büyük bir elastik şekil değiştirme meydana gelir. Plastik malzemelerin iç yapıları amorf ve ısıya karşı dayanımları düşüktür (Biçer, 2004).

Metal malzemeler; palastik şekildeğiştirme oranları ile elektrik ve ısıl iletkenlik değerleri yüksek olan, kesilmiş yüzeyleri parlak ve ışığı yansıtan malzemelerdir. Sert ve yumuşak yapıda olabilmektedirler. Esnek yapıdırlar, şekil değiştirebilir, levha, tel ve toz haline gelebilirler.

Seramik malzemeler; kayaların ve taş malzemelerin dış etkenlerle parçalanması ile oluşan kil, kaolen ve benzeri maddelerin yüksek ısı karşısında pişirilmesi ile oluşurlar. İletkenlikleri iyi değildir ancak ısıya karşı yüksek dayanımları vardır. Sert ve kırılğan yapıdırlar (Addlington, 2005).

Kompozit malzemeler; metal, seramik ve plastik malzeme gruplarının türevi olarak bilinen çok fazlı malzemelerdir.

1.2.1 Kompozit Malzemenin Tanımı

Kompozit malzemeler yüksek performans uygulamaları için tasarlanmış, özellikleri spesifik amaçlara uygun olarak oluşturulmuş ve istenilen fonksiyonlara göre dizayn edilen malzemelerdir (Addlington, 2005).

Kompozit malzemeler doğada hazır olarak bulunmazlar. Doğal olmayan malzeme sistemleridir ve kendisini oluşturan malzemelerden farklı özelliklere sahip olurlar.

Kompozit malzemeler takviye malzemesi, bu malzemenin içine gömüldüğü reçine ya da matris ve nadir olarak dahili çekirdek malzemelerin bir araya gelmesiyle oluşurlar (Addlington, 2005).

Kompozit malzemenin yapısında bulunan takviye elemanları yükü taşıyarak matrisin rijitliğini ve dayanımını artırır. Reçine ve matris malzemeleri ise elyafları bir arada tutarak çevresel etkilerden ve darbelerden korur (Şahin, 2000).

Kompozit malzemenin özellikleri, bileşen fazların özelliklerinin, bu fazların göreceli miktarlarının ve matris içinde dağılan takviye elemanının geometrisinin fonksiyonu niteliğindedir (Callister, 1997).

Kompozit malzemelerin yapılarında çok farklı türde ve sayıda malzeme bulunmaktadır ve yapıdaki bu malzemeler çeşitli formlara sahiptirler. Kompozit malzemeler; yapılarındaki malzemenin çeşidine ve formuna göre üç farklı şekilde sınıflandırılmaktadır.

A - Takviye Malzemeleri

B - Reçine ve Matris Malzemeleri

C - Çekirdek (Core) Malzemeleri

1.2.1.1 Yapılarını Oluşturan Malzemelere Göre Kompozitler

Kompozitlerde takviye elemanı ve matris olarak kullanılan malzemeler istenilen amaca uygun olarak seçilmektedirler. Genellikle metal, seramik ve plastik malzemeler kullanılmaktadır ve kompozitler yapısında kullanılan bu malzemelere göre aşağıdaki gibi sınıflandırılmaktadır.

Metal Kompozitler: Bir metalik yapıya bazı takviye elemanları eritme, vakum emdirme, sıcak presleme ve difüzyon kaynağı gibi ileri teknikler uygulanarak metal matrisli kompozitler elde edilirler.

Metal kompozitlerin polimer kompozitlere göre avantajları; yüksek çalışma sıcaklığına dayanıklılık, yanmazlık ve organik sıvılar karşısında yüksek dayanımıdır (Callister,1997).

Seramik Kompozitler: Yapısal ve fonksiyonel açıdan gelişmiş niteliklere sahip ileri teknoloji seramikleri kullanılarak üretilen kompozit malzemelere seramik kompozitler denir

Seramik kompozitler sıcak presleme, sıcak statik presleme ve sıvı faz sinterleme teknikleri uygulanarak elde edilirler. Yüksek sıcaklık ve stres gerektiren uygulamalar için en uygun malzemelerden biri olarak bilinmektedirler (Callister,1997).

Polimer Kompozitler: Matris olarak plastik malzeme kullanılan kompozitlerdir. En yaygın olarak kullanılan plastikler; termosetler, termoplastikler ve elastomerlerdir

Polimer kompozitlerde pekiştirici olarak cam, karbon, keklar ve boron lifleri kullanılır. Pekiştirici liflerin miktarı arttıkça kompozitin mukavemeti yükselir. Kullanılan en önemli bağlayıcı malzemeler de polyster ve epoksidir.

Polimer kompozitlerin en önemli özellikleri yüksek özgül dayanım (mukavemet/özgül ağırlık) ve özgül elastisite modülleridir.

Üretim kolaylığı ve düşük maliyetleri nedeniyle kullanım alanları geniştir (Callister,1997).

1.2.1.2 Yapılarındaki Malzemenin Formuna Göre Kompozitler

Kompozitlerde istenilen özellikleri elde etmek amacıyla, yapıdaki malzemeler farklı formlara sahip olabilmektedirler. Yapıdaki malzemenin formuna göre kompozitler aşağıdaki gibi sınıflandırılmaktadır.

Elyafli Kompozitler: Bu kompozit tipi ince elyafların matris yapıda yer almasıyla meydana gelmiştir. Elyafların matris içindeki yerleşimi, mukavemeti, uzunluk/çap oranı ve elyaf-matris arasındaki bağın yapısı kompozit yapının mukavemetini etkileyen faktörlerdir

Sert, dayanıklı, elastikliği yüksek elyaflar kompozit malzemenin çekme dayanımı, yorulma dayanımı, özgül modül ve özgül dayanım özelliklerini iyileştirir (Şahin, 2000).

Parçacıklı Kompozitler: Bir matris malzeme içinde başka bir malzemenin parçacıklar halinde bulunması ile elde edilen izotrop yapılardır.

Parçacıklı kompozitler yüksek dayanımdan ziyade, alışılmışın dışında birleştirilmiş özellikler elde etmek için tasarlanmaktadır (Şahin,2000).

Beton, çimento matriste kaba kum veya çakıl içeren bir parçacıklı kompozit malzeme örneğidir. Plastik matris içinde yer alan metal parçacıklardan oluşan parçacıklı kompozitler ise uçak motor parçalarının üretiminde tercih edilmektedir.

Tabakalı Kompozitler: Temel malzeme eksenleri doğrultusunda değişik yönlerdeki tabaka ve katmanların üst üste konularak bir araya getirilmesi ile elde edilen kompozitlerdir (Şahin,2000).

Farklı elyaf yönlendirmelerine sahip tabakaların bileşimi ile çok yüksek mukavemet değerleri elde edilir. Isıya ve neme dayanıklı yapılardır. Metallerle göre hafif ve aynı zamanda dayanıklı olmaları nedeniyle tercih edilen malzemelerdir.

Kontrplak, ağaç kaplama katmanlarından oluşan bir tabakalı kompozit malzeme örneğidir.

Karma (Hibrit) Kompozitler: Aynı kompozit yapıda iki ya da daha fazla elyaf çeşidinin bulunması olasıdır. Bu tip kompozitlere hibrit kompozitler denir. (Erkan, 2011)

Aynı matris içinde keklar ve grafit elyafın dağılmasıyla oluşan kompozit malzeme bir karma kompozit malzeme örneğidir. Kevlar, ucuz ve tok bir elyaftır ancak basma kuvveti düşüktür. Grafit ise düşük tokluğa sahip, pahalı ancak yüksek basma kuvveti olan bir elyaftır. Bu iki elyafın kompozit yapıda bir arada bulunması ile elde edilen karma kompozitin tokluğu grafit kompozitten daha iyi, maliyeti daha düşük ve basma kuvveti keklar elyafı kompozitten daha yüksektir.

Kompozit malzeme; yapı içinde birbirlerinin eksik veya zayıf yönünü iyileştirerek üstün yapısal özellikler elde etmek amacıyla farklı tür veya farklı fazdan oluşan malzemelerin bir araya getirilmesiyle oluşan yeni malzeme sistemine denir. Kompozitlere örnek olarak; Cam elyafı polyesterler, demir donatılı betonsal elemanlar, otomobil dış lastikleri, metal-seramik kombinasyonu olan sermentler vs. verilebilir.

Kompozit malzemeler çok fazlı yapıdadırlar. Yapısında daima bir baskın faz ve onun içinde yayılmış halde pekiştirici bir tali donatı fazı yer alır.

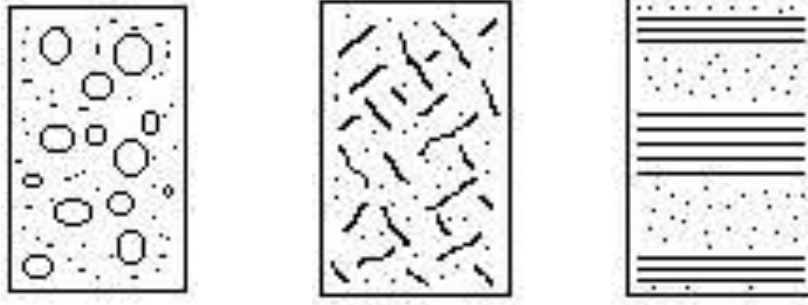
Faz: Malzemenin içyapı bakımından farklılık gösteren kısımları olarak adlandırılır. Fazlar iki değişik türde bileşikle oluşturulabilirler: Mikroskobik ve Makroskobik

Mikroskobik bileşim: Örnek olarak perlit çeliği iç yapı olarak ferrit ve sementit çeliğinin mikro yapıda homojen şekilde karışımlarından oluşurlar. Yalnız başına ferrit çeliği yumuşak ve dayanımı az olup ancak sert ve gevrek yapıları sementit çeliği ile birleşince yan yana tabakalar şeklinde dizilerek dayanım ve tokluk bakımından yüksek değerli perlit çeliğine dönerler.

Makroskobik bileşim: 0,1 mm'nin üstündeki boyutlarıyla çıplak gözle görülebilir yapıdadırlar. Daha sonradan birleştirilerek iyileşmiş özellikli kütlelerin oluşması sağlanmaktadır.

* Kompozit Yapıdaki malzemeler pekiştirilme ve donatı türüne göre üç grupta sınıflandırılırlar:

Taneli Tip kompozitler Lifli Tip kompozitler Tabakalı Tip kompozitler



Şekil 2.1. Kompozit Malzemelerin Yapısı. (Atabey, 2013)

Tabakalı ve lifli yapıdaki kompozitlerin sağladığı özelliklerdeki iyileşme, taneli yapıdaki kompozitlere oranla daha kayda değerdir.

Taneli kompozitlere örnek olarak en akla gelen yapı betondur. Diğer bir örnekte sünek bir malzeme içine sert taneli malzemelerin birleştiril ilmesi suretiyle aglomera oluşturan yapı haline gelen asfalt betonudur. Asfalt düşük mukavemetli ve viskoz yapıdır. Taş ise gevrek ve serttir, kütsel olarak şekil değiştirmesi fazla olmayıp çatlayarak kolay kırılabilirler. Değişik boyutlardaki kırmataş ve asfalt bir araya gelerek sünek ve yeterli derecede mukavemeti olan bir yol kaplama malzemesi oluşturur. Tungsten karbür (WC) yapılı içeriğin (CO) içeren metal ile yüksek basınç ve sıcaklık yardımıyla sinterlenmesi ile oluşan kompozit yapı çok sert ve mukavemetli olup yaygın olarak yüksek hızlı kesme takımları üretiminde kullanılmaktadır. Bu uygulamalara SERMET denir. Kompozit uygulamalarının en önemlileri lifli yapıda olanlardır. Lif çapları genellikle 0,1 mm civarındadır ve tek başına kullanılmaları tercih edilmezler. Liflerin çapları büyüdüğünde kusurlulaşma ihtimali dolayısıyla mukavemetleri düşer. Kullanılacak lif uygun bir aparatla istenilen boyutta taşıyıcı kütleler oluşturulurlar. Gerekli olan birleştirici (bağlayıcı) malzemeler polyesterler ve epoksilerdir. Uygulamada kullanılan donatı malzemesi kolovent bağa sahip kuvvetli yapıdaki liflerdir. Benzer amaca yönelik kullanılan metalik esaslı liflerin de dayanımları soğuk çekme yöntemiyle artırılmaktadır. Elyaf lar rastgele dağılmış veya yönlenmiş yapıda olabilir. Uzunlamasına yönlenmiş liflerin mukavemeti doğal olarak yatay doğrultulu olanlardan daha yüksektir. Pekiştirici liflerin yoğunluğu artıkça kompozit yapının mukavemeti de artar. Yönlenmiş lifli yapılarda bu oran hacimsel olarak %80, rastgele yönlenmiş yapılarda da %40-50 aralığındadır. Cam lif yapıdaki polyesterlerin mukavemetleri ve elastisite modülleri de düşüktür. Fakat rakiplerine göre son derece ucuz ve uygulamadaki kolaylığından dolayı tekneler, otomobil

parçaları, spor araçları, yapı elemanları vs. gibi malzemelerin üretiminde yaygın kullanım alanı bulmaktadırlar (Atabey, 2013).

Kompozit malzemelerde genellikle dört koşul aranmaktadır:

- Doğal bir malzeme olup sunni bir yapısı olmaması,
- Kimyasal yapıları birbirinden farklı en az iki malzemedен oluşmuş olması.
- Farklı yapıdaki malzemelerin üç boyutlu olarak birleştirilmiş olması,
- Bileşenlerin tek başınayken sahip olmadığı özellikleri taşıması,

Böylece yapı, mikroskobik yönden heterojen özellik göstermekle birlikte makroskobik açıdan ise homojen özellik göstermektedir.



Şekil 2.2. Kompozit oluşumunda kullanılan plastikler

1.2.1.3. Kompozit Malzemelerin Genel Özellikleri

Kullanılabilir ve kabul görür cisimler üretmek amacıyla doğal veya yapay yollarla üretilmiş maddeye malzeme denir. Malzemeler cinsine göre şu şekilde sınıflandırılabilirler; polimer, seramik, kompozit, metalik, elastomer ve camyapılı malzemeler. Kompozitler esasında karışım anlamına gelip, bir çözünen ve bir çözenin birleşmesinden ise oluşmazlar. Karışımdaki bileşenlerin arasında atomsal alışveriş olmaz. Malzemenin genel yapısında mevcut olmayan özellikleri geliştirmek iyileştirmek maksadıyla birbiri içinde çözünmeyen farklı en az iki bileşenden oluşan yapıya kompozit malzemeler denir. Kompozit malzemelerin bileşenleri kimyasal olarak tepkimeye girmez ve insanoğlu tarafından amacına uygun dizayn edilir ve kullanılırlar. Kompozit malzemelerde atom

boyutuna görede adlandırılma yapıla bilinir örneğin kompozitin atom boyutu 300 nano dan küçük ise bu yapıdaki kompozitlere nano kompozitlerdenir. Kullanılan malzemeler birbiri içinde çözünürse bu yapıdaki malzemeler alaşım malzemeler olur, Kompozit malzemelerde hacimsel olarak ana malzeme matriks yapıdır, yapı içerisinde çeşitli yapı ve oranlarda takviye fazları bulunur. Bu iki grup olan matriks ve takfiye fazı kompozit malzemeye kattığı özellikler şöyle sıralanabilir, takfiye malzemesi; yük taşıma kabiliyeti ve mukavemet özelliğini; matriks yapı ise malzemeye plastik deformasyona geçiş aşamasında oluşabilecek çatlakların ilerlemesini önleyici rol oynar ve kompozit malzemenin kopma dayanımını artırır. Matris malzemenin bir diğer görevi de fiber liflerini yük altında dağılmadan bir arada tutarak gelen kuvveti liflere eşit ve homojen şekilde dağıtmaktır. Bu sayede fiber malzemedeki plastik deformasyon başladığında meydana gelebilecek çatlak ilerlemelerinin önüne geçilmiş olunur. Kompozit malzemelerde amaç, bileşenlerinin en ideal özelliklerinden faydalanmaktır. Kompozit malzeme üretiminde aşağıdaki özelliklerin geliştirilmesi amaçlanır (URL-3,2011).

- Yüksek mukavemet değerleri
- Aşınma dayanımının artırılması
- Yorulma dayanımının yükseltilmesi
- Kırılma tokluğunun iyileştirilmesi
- Korozyon dayanımının artırılması
- Sıcaklık performansının iyileştirilmesi
- Isıl ve akustik iletkenlik özelliklerinin iyileştirilmesi
- Maliyetin düşürülmesi
- Estetik görünümün iyileştirilmesi
- İmalat kolaylığının sağlanması

Yüksek Mukavemet: Doğada maksimum mukavemet verileri sağlayan yapılar arasında etkin kullanım alanı olanlardan bir tanesidir.

Hafiflik: Kompozitler malzemeler birim alan ağırlığındaki takviyesiz plastiklere oranla, gerek ağırlık gerekse mukavemet yönünden üstün özelliklere sahiptirler.

Tasarım Esnekliği: İstenilen tasarımda çeşit, yapı, ebat, dekoratif, fonksiyonel olarak şekil edilebilir esnekliğe sahiptir.

Boyutsal Kararlılık: Çeşitli iç ve dış mekanik, yapısal, çevresel baskılar sonucunda termoset yapıdaki kompozit ürünler şekilsel ve işlevsel olarak kararlılıklarını korumaktadırlar.

Yüksek Anti elektrik Direnimi: Kompozit malzemelerin metallere oranla gözle görünür anti elektrik iletim özelliği, birçok komponentin imalatında karşı konulamaz bir tercih sebebidir.

Korozyon Direnci: Korozyona karşı direnç özelliği, fiziki ve görsel anlamda kullanım alanlarına göre rakiplerinden üstün olan özelliklerinden bir tanesidir.

Kalıplanma Kolaylığı: Çeliğe benzer türdeki bilinen birçok farklı yapının bir araya getirilerek birleştirilmesi yerine bu işlemin tek parça olarak kalıplanmasıyla elde edilebilirler.

Yüzey Uygulaması: Kompozit malzemelerde yüzeyin istenilen renkle üretimi için kullanılacak polyester reçineye, pigment katkıları vasıtasıyla renklendirilmek suretiyle, istenilen renkte amacına uygun renkli olarak da üretilebilmektedir.

Saydamlık Özelliği: Beyaz renk cam kadar ışık geçirgenliğine sahip olabilirler. Tam şeffaf oluşu sebebiyle ışığı yayararak, diffüze ışığın değer kazandığı sera ve hatta güneş kolektörlerinin yapımında kayda değer avantaj sağlamaktadır.

Beton ve Türevi Yüzeylerde Uygulanabilirlik imkanı: Kompozitler, beton yüzeylere mükemmel bir şekilde yapışmaktadır. Betonun gözenekli yapısı sebebiyle, kompozitin ana materyallerinden polyester reçinenin gözenekli yapıdaki beton yüzeyinden içeri sızması ve sertleşmesi sebebiyle mükemmel değerde bir yapışma imkanı sağlanmaktadır.

Ahşap Yüzeyli Yapılara Uygulanma İmkani: Kompozit malzemeler ahşap esaslı yüzeyler ile yapışma kabiliyetine sahiptirler. Fakat ahşap yüzeyin kuru ve temiz olması kompozit yapıdaki stiren içeren polyester reçinenin iyi bir şekilde nüfuziyet etmesinin sağlanması gerekmektedir.

Demir Esaslı Yüzeylere Uygulama İmkani: Demir malzemelerin yüzeyindeki pas ve yağ atıkları iyi bir şekilde temizlendikten sonra kompozit malzemelerle sorunsuz bir şekilde kaplanabilirler. Aynı zamanda bu kaplama ile demir esaslı malzemelere korozyon ve elektriksek olarak yalıtım özelliklerinin iyileşmesine olanak sağlamış oluruz.

Yanmazlık Özelliği: Kompozit malzemelerin alev direnci, kullanılacak olan polyesterin alev direncine bağlıdır. Aleve karşı dayanım özelliğine ihtiyaç duyulan yerlerde Alev dayanım modülü yüksek polyester kullanmak gerekir.

Kompozitlerin içine Farklı yapıdaki malzemeler eklene bilir: Kompozitlerin bünyesine demir, ahşap, tel, halat, mukavva, köpük, poliüretan gibi bir çok farklı malzemeler eklenerek mekanik özellikler bakımından farklılıklar yapıla bilir.

Tamir Edilebilme Özelliği: Tamir edilen yerlerinin izleri belli olmaması için onarımın bir kalıp ile yapılması veya onarım işleminden sonra zımparalanarak boya yapılması gereklidir.

Kompozitler Delinip Kesilebilirler: Kompozitler malzemeler, ahşap gibi kolayca kesilebilir, delinebilir, zımparalanırlar. Bu maksatla kullanılan kesici aletlerin sert çelik hatta elmas gibi yapıdaki malzemelerden olması durumunda daha olumlu sonuçlar alınabilir (URL-2,2005 ; Akdoğan, 2014).

1.2.1.4. Kompozit Yapılı Malzemelerin Avantajları;

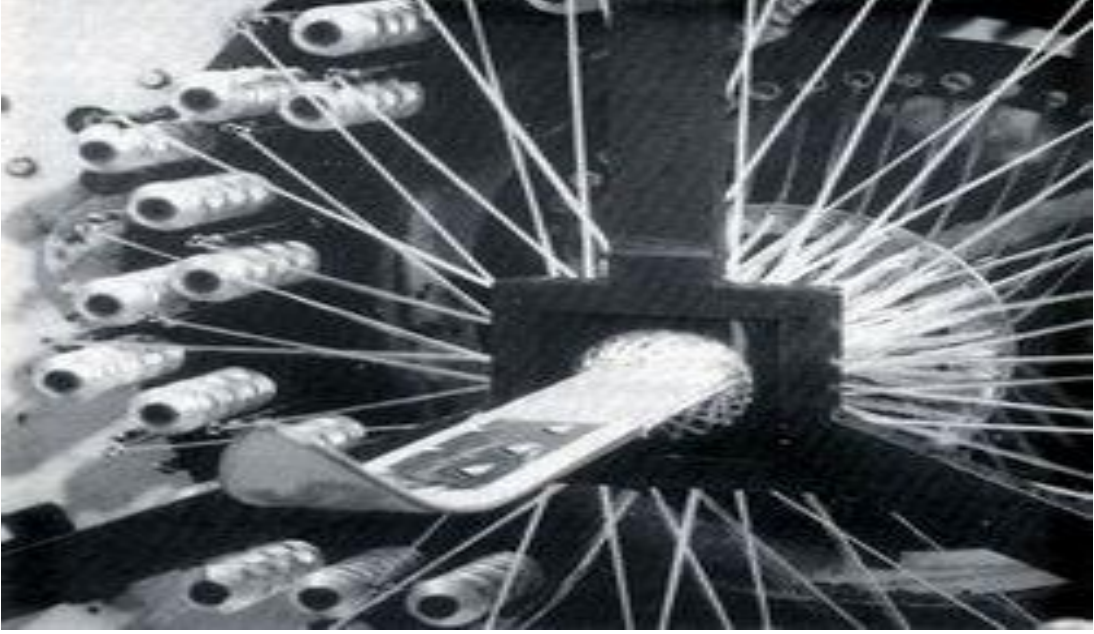
- Farklı türde mekanik özelliklere ulaşmak için değişik katmanlar veya değişik kombinelerle istenilen özellikte kompozit malzeme elde edile bilir.
- Kompozit malzemeler korozyona, kimyasallara ve farklı hava şartlarına karşı üstün özellikler gösterirler.
- Karmaşık yapıdaki birçok parçanın birleştirilerek tek parça olarak üretilebilir olmasından dolayı üretim ve ekonomiklik açısından avantaj sağlar.
- Bu sayede tali birleştirme ve detay parçalarının azalmasıyla imalat süreside kısalmış olur.
- Kompozit malzemeler hafif olmalarıyla birlikte yüksek sertliğe sahip malzemelerdir.
- Polimer matrisli Kompozit Malzemeler; genellikle 1,5 ile 2 gr/cm³ aralığında yoğunluk değerine sahiptirler.
- Kompozitler Malzemelerin basma, çekme, yorulma ve darbe dayanımları oldukça yüksektir.
- Kompozit yapıların dış yüzeyi polimerlerle kaplı olduğundan kimyasal direnç ve antikoroziyon özellikleri oldukça iyidir. Kompozitler yüksek ısı dayanıma sahip malzemelerdir.

- Kompozitlerin gürültü ve titreşim iletimleri oldukça düşüktür. Bu özellikleri kompozitleri metallere üstün kılmaktadır. Bu nedenle kompozitlerin, golf sopalarından uçak kanatlarına kadar yaygın bir kullanım alanları vardır.
- Kompozitlerin tasarım ve şekillendirilmesi kolaydır. Kompozitlerin elektriksel özellikleri oldukça esnektir.
- Kompozit malzemeler içerdikleri malzemeye göre yalıtkan veya iletken özellik gösterebilirler.
- Otomobil ve uçaklarda kompozit malzemeler kullanılarak, bu araçlarda ağırlık azaltılarak yakıt tasarrufu sağlanır (Atabey, 2013).

1,2.1.5. Kompozit Malzemelerin Dezavantajları;

- Hammaddenin ucuz olmayışı; hava araçlarında ve uçaklarda kullanılacak özellikteki karbon elyaf kumaşlarının maliyeti ortalama 50 \$/m² civarlarındadır. Lamine edilen kompozitlerin mukavemet özellikleri sıklıkla yüksek sonuçlar vermemektedir, kalınlık yönünden düşük dayanım ve tabakalar arasında düşük kesme dayanımı özelliği bulunmaktadır.
- Kompozit malzemenin kalitesi üretim şekli ve yönteminin kalitesiyle bire bir bağlıdır, standart hale gelmiş bir kalite örneği yoktur. Kompozitler yapısal olarak kırılğan (gevrek) bir malzeme olduklarından kolaylıkla zarar görebilmektedirler. Tamiri hesapta olmayan başka problemler yaratabilir.
- Kompozit Malzemelerin dikkat edilmesi gereken rafta bekleme süreleri vardır. Bazı kompozitlerin soğutulmuş ya da dondurularak saklanmaları gerekir.
- Kurumalarında ısı gerekmektedir.
- Kompozitler tamir edilmeden önce iyice temizlenip kurutulmalıdırlar. Bazı kurutma yöntemleri uzun zaman alabilir.
- Kompozit malzemelerin üretimi zor ve maliyetleri yüksektir.
- Kompozit malzemelerin sıcaklık direnci matris malzemelerine bağlıdır. Genelde matris malzemeler polimerlerdir. Ve bu malzemelerin sıcaklık dirençleri sınırlıdır.
- Kompozit malzemelerin kimyasal dirençleri matrislere bağlıdır. Ve bu matris malzemeler polimerlerdir. Bazı polimerlerin kimyasal dirençleri düşüktür.

- Kompozit malzemeler nem emerler. Bu da onların boyutsal istikrarını etkiler. Kompozitler geri dönüşümü olmayan malzemelerdir.
- Aynı kompozit malzeme için farklı mukavemet değerleri çıkabilir (Arıcasoy, 2006).



Şekil 2.3. Kış sporlarında kullanılan kayakların kompozit malzemedan üretimi

1.2.2. Kompozit Malzeme Üretimi İçin Gerekli Malzemeler

Matris yapılı kompozit malzemelerde matrisin üç tane ana fonksiyonu bulunur.

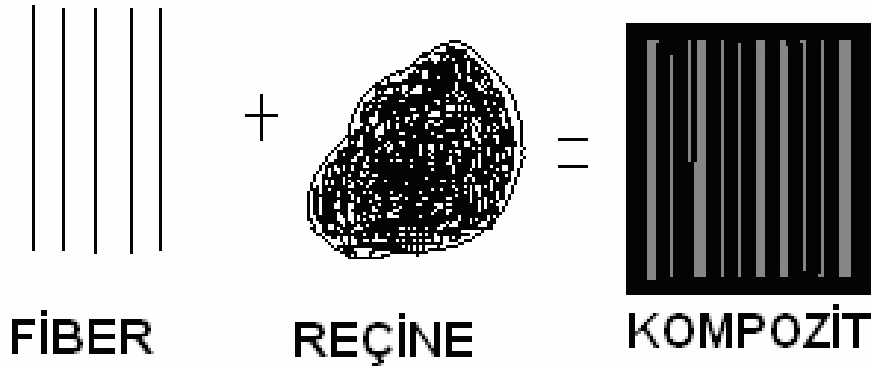
Bu fonksiyonlar kısaca, elyafları bir arada tutmak, yükü elyaflara eşit ve homojen bir şekilde dağıtmak ve elyafları dış çevresel etkilerden korumak şeklindedir. İdeal yapıdaki bir matris ilk başta düşük viskoz bir yapıdayken sonrasında elyafları dengeli ve sağlam bir yapıda sararak rijit bir forma kolaylıkla dönüşebilir.

Kompozit malzemelerde ağırlığı taşıyan liflerin fonksiyonlarını yapabilmeleri açısından matrisin mekanik özelliğinin önemi çok büyüktür. Mesela matris malzemesi olmadan bir elyaf demeti ele alınırsa gelen yük bir ya da birden fazla elyaf tarafından karşılanacaktır. Fakat matris yapı yükün tüm elyaflara eşit ve homojen bir şekilde dağılımını sağlayacaktır. Kesme yüküne maruz bir malzemede gerilme dayanımı sırasında elyaflar ile matris arasında güçlü bir bağ oluşarak matrisin yüksek kesme mukavemeti bertaraf edilir. Elyafların yönlenmelerine doksan derecelik yönde, matrisin mukavemet özellikleri ve elyafla matris arasındaki bağlantı kuvvetleri, kompozit malzemenin

mukavemetinin belirlenmesinde önemli hususlardandır. Matris yapı, elyaf liflere göre esnek ve daha zayıftır. Bu durum kompozit malzemelerin tasarımında ve imalatında göz önüne alınması gereken bir unsurdur. Matrisin yapının kesme mukavemeti ile, matris ile elyaf arasındaki bağ kuvvetleri yüksek değerlerde ise bu durum oluşacak bir çatlak yön değiştirmeksizin ilerlemesini mümkün kılmaktadır. Bu durumda da kompozit malzeme gevrek bir özellik gösterdiğinden kopma yüzeyi parlak ve temiz bir yapı göstermektedir. Şayet bağ mukavemeti düşükse, elyaf yapı boşluktaki bir elyaf demetine benzer şekilde davranır. Kompozit malzeme zayıflar. Orta derecede ki bir bağ mukavemetindeyse, elyaf veya matristen başlayan yatay doğrultuda bir çatlak elyaf ve matris ara yüzeyine doğru elyaf doğrultusunda ilerleyebilmektedir. Bu şartlarda Sünek yapılı kompozit malzemelerin kopması şeklinde lifli bir yüzey ortaya çıkar.

Kompozitlerin üretimin aşamasında kullanılan matrislerin malzemelerinin tipleri; polyester, epoksi, fenolik ve vinylesterli reçinelerdir.

Yüksek mukavemet özelliklerine ihtiyaç duyulmayan koşullarda en çok tercih edilen matris polyester reçinesidir. Günümüz kompozitlerinin üretiminde ise epoksi reçinesi tercih edilir. Matrisin iyileştirilmesi çalışmaları genellikle ısıya karşı dayanıklı ayrıca neme karşıda etkin dayanıma sahip yapıların üretilmesi doğrultusunda olmaktadır (Çuhadar, 2005).



Şekil 2.4. Kompozit malzeme de kullanılan fiber ve reçine

1.2.2.1. Epoksi Reçineli Matrisler

Tüm kompozitler gibi Epoksiler de içinde iki veya daha fazla yapı barındıran bileşenlerden oluşmaktadır. Polifenolün epikloridinine bazik şartlardaki tepkimesi sonucu elde edilmektedirler. Eposilere uygulanan kür işlemi sonucunda ise maksimum sıcaklıklara dayanımı 150c -200 c'a kadar artırılabilir bilinmektedir. Büzülmesi ise % 2'den de azdır.

Avantajları: Epoksi reçine matrislerin Kapma dayanımları yüksektir. Elyaf malzeme, yapılarda üstün bağ mukavemeti sağlar ve üstün aşınma direncine sahiptirler. Uçucu olmayıp kimyasal dirençleri üstündür. Yüksek ve düşük ısılarda sertleşebilirler.

Dezavantajları: Polyester ile karıştırıldığında pahalı, Polyesterlere oranla viskozitesi düşüktür. Genellikle tüm elyaf malzemelerde kullanılabilmesi nedeni ile uçak yapısında da kabul görür bir kullanım sahasına sahiptirler. Çoğunlukla karbon elyaflar la birlikte kullanılmaktadırlar (URL-4, 2009).

1.2.2.2. Polyester Reçineli Matrisler

Polyester matrisler di-bazik asitlerin, di-hidrik alkoller (glikol) veya di-hidrik fenollerle bir araya gelip yoğunlaşması ile şekil almaktadırlar. Polyesterler esas olarak polyester bileşeninin doymuş asitle veya alternatif olarak di-hidrik ile etkileşimi temeline dayanır. Ayrıca kütleme ile matrislerin esnekliğinin iyileştirilerek kopma gerilmesi artırılabilir bilinir (URL-4, 2009).

1.2.2.3. Vinylester Reçineli Matrisler

Vinylester Reçine Matrisler yapı olarak Polyesterlere benzer özellik gösterirler. Bilinen özellikler olarak elyaf ile matrisin güçlü bir bağ kuvvetine sahip olmasıdır. Polyester ile di-hidriğin bir bölümünün yerine doymamış hidrosilik bileşenlerinin kullanılmasıyla elde edilmektedir. Korozyona mağruz ortamlarda kullanımı için donatılı plastik bileşenlerden faydalanılır. Vinylester Reçine Matrisler kimyasal dayanıklılık ihtiva eden kimya tesislerinde, boru, depo ve tanklarında yaygın olarak kullanılırlar (URL-4, 2009).

1.2.2.4. Fenolik Reçineli Matrisler

21. yüzyıldan itibaren yaklaşık 100 yıldır kullanılmaktadır. Sertleşmeleri için ısı işleme ihtiyaçları olup, laminant ve kalıplama işlemi için ise basınç gereklidir. Fenolik reçinelerin ısıl stabiliteleri, elektriksel özellikleri, su ve alkaliler dışındaki kimyasal yapı maddelere dayanım seviyeleri çok iyidir. Fenolik Reçine Matrisleri 300 C'ye kadar asbest lifleri ile donatılmaları durumunda uzun süreli olmamak kaydıyla 1000 C' lere kadar kullanılabilirler (Çuhadar, 2005).

1.2.2.5. Silikon Reçineli Matrisler

Silikonlu reçineler, diğer reçinelerden farklı olarak bünyelerinde karbonun yerine inorganik yapıdaki silikonlar barındıran malzemelerdir. Elektriksel ve mekanik kabiliyetlerini çok az değişikliklerle 250 C'lere çıkarabilen silikon yapı reçinelerin kullanımları ve mekanik özellikleri diğer reçinelere kıyasla oldukça düşük olup maliyetinin ise genellikle yüksek olması nedeniyle kısıtlıdır (URL-3, 2011).

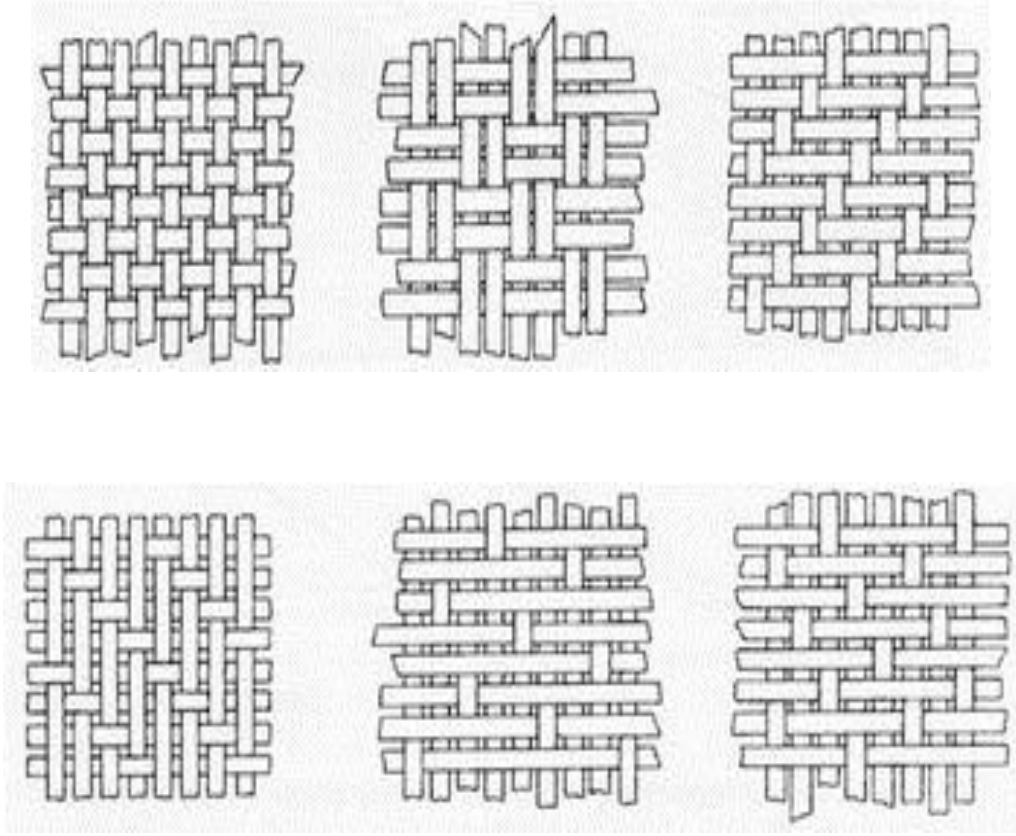
1.2.2.6. Metal Fiberli Matrisler

Kompozit yapıyı oluşturan ve bu oluşumun içindeki liflerle birlikte malzemelerin yapısını belirleyen metal matrisler, başta taşıyıcılık açısından, özellikle polimer esaslı matris malzemelerine kıyasla yüksek dayanım özelliğine sahiptirler. Üretimleri zor, maliyetleri yüksek olmasına rağmen, metal yapı matris malzemesi kompozitlerin tokluğunu kayda değer oranda yükseltmekte ayrıca yüksek ısı etkisi altındaki uygulamalara da imkan vermektedir. Metallerin matris malzemesi olarak yaygın kullanılması sebebiyle metal yapı birçok ince lif üretimiyle başlanmıştır. Kompozit malzeme üretiminde metal matris ürünleri olarak, genellikle bakır, alüminyum, nikel, titan, gümüş gibi metaller yaygın kullanılmaktadır. Matris malzemesi moleküler yapıda, ergimiş durumda, levha veya ince tabaka şeklinde olabilmekte ve kullanılan üretim yöntemine bağlı olarak, presleme, dökme, karıştırma, elektroliz ile kaplama, haddeme gibi yöntemlerle liflerle birleştirile bilinmektedir. Bu oluşumda kullanılacak yüksek dayanımlı tel, lif ve kılların zedelenmemesi ve tahrip olmaması sağlanmalıdır. Metal yapı matris içinde en iyi sonuç veren bor, elyaf ve borsic elyafıdır. Metal matrisli kompozitler 300 C'e sıcaklık değerine kadar oda sıcaklığında ki özelliklerini korumaktadır. Kompozitin üretimi 450-500 C' sıcaklıkta, ve sıcak preslenerek yapılmaktadır (URL-3, 2011).

1.2.3. Elyaf lar

Matris malzeme bünyesinde bulunan elyaf takviye malzemeleri kompozitin temel mukavemet elemanlarını oluşturur. Yoğunluklarının düşük olmasının yanında yüksek sertlik değerine ve yüksek elastiklik modülüne sahip olan elyaf lar aynı zamanda kimyasal korozyona karşıda yüksek dirençlidirler. Günümüzde kullanım alanı bulan kompozitlerin donatılmasında şekilsel ve boyutsal ebatlarda çok değişken elyaf lar (lifler) kullanılmaktadır. Örneğin; cam elyafı lifleri üretim esnasında demetler şeklinde hazırlanır. Kompozitlerde kullanılan elyaf ların Elastisite modülü değeri bakımından matris malzemenin Elastisite modülünden düşük veya yüksek oluşuna göre iki grupta toplanabilir. Beton ve Harçların donatılmasında kullanılan Teller, milimetrik boyutta ve metal yapıdır dolayısıyla da lif çapları diğer metal olmayan donatı malzemelerine kıyasla biraz daha büyüktür. Elyaf kelimesi tekil olan liflerden oluşan çoğul yapıyı ifade eder ve dilimizde elyaf kelimesi yaygın kullanım alanı bulmaktadır. Lif çapları ortalama 0,01 mm, civarında olup narinlik oranı ise 10000'lere ulaşabilmektedir.

Lifler farklı kaynaklardan elde edilebilir ve farklı özellikleriyle mekanik özellikler bakımından çeşitlilik gösterirler. Kıl yapı donatılarda kullanılan en ince malzemelerdendir. Bu yapı, buhar yoğunlaşmasıyla büyütülen farklı şekillerdeki tekil kristallerdir. Kılların çapları micron mertebesinde olup, boyları mm mertebesinde. Buharla büyütülen bu kıllarda genellikle yapısal olarak hatalar oluşmaktadır. Bu nedenle dislokasyon ihtiva etmeyen bu yapıların dayanımı, normal halde bulunan boyutlarına oranla neredeyse bin katına kadar yükselebilmektedir. Üstün özelliklerine karşın, yapım yönteminin meşakkatli olması nedeniyle kıllarla donatılı kompozit malzemelerin üretimi pek tercih edilmemektedir. Kılların sahip olduğu maksimum çekme dayanımı elastiklik bölgesinde olduğundan plastik deformasyonun başlamasıyla beraber dislokasyon oluşup dayanımlarında ani düşüşler olur (URL-5 ,2014).



Şekil 2.5. Elyaf Dokuma Türleri

1.2.3.1. Cam Elyafı

Cam elyafları veya bir başka deyişle cam lifleri kompozit malzemelerin ana donatı malzemelerindedir. Yüksek değerde özelliklerinin yanında, ekonomik oluşunun da bu kadar yaygın kullanılmasında payı büyüktür. Cam lifleri değişik matris malzemeleriyle kullanılıyor olmasına rağmen, en çok kullanılan alan cam takviyeli plastik (CTP) sanayisidir. 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 deyişle “alkali cam” kullanılmıştır. Kullanım açısından A- Camını çok az alkali içeren ve çok üstün mekanik ve elektriksel özelliklere sahip olan borsilikat camı (elektrik dayanımlı cam), kısaca E- camının takip etmiştir (Çuhadar, 2005).

Farklı tipte dört cam elyafı vardır:

1. Alkali 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 çözümlere karşı direnci oldukça yüksektir.
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 oldukça yüksek olan bir cam çeşididir.

Çekme dayanımı elektirik camının %33 fazlasıdır. Bunun yanında yüksek sıcaklık karşısında iyi derecede yorulma dayanımına da sahiptir Cam elyaflar yaygın olarak epoksi ve plastic reçinelerle birlikte kullanılırlar.

Cam elyaflarının bazı özellikleri aşağıdaki gibi özetlenebilir (Anonim, 1984).

Cam elyafları yüksek çekme dayanımı değerine sahiptirler, özgül mukavemet değeri olan birim ağırlık başına mukavemet değeri çelikten yüksektir. Isıya karşı dirençleri de düşüktür. Yanmaz, fakat yüksek sıcaklıklarda yumuşarlar. Cam elyaflarının bu özelliklerinin katkı malzemelerinin iyileştirilmeleri mümkündür. Cam elyafların kimyasal dayanımları da yüksek seviyelerdedir. Nemi bünyesine almazlar, fakat cam elyaflı kompozit yapılarda matris yapı ile cam elyaflar bünyesindeki nemin etkisiyle bir ayrışma olabilmektedir. Fakat bu özelliği de elyaf kaplama yöntemi ile iyileştirile bilinir. Yalıtkan malzemelerdir ve elektriği iletmezler. Bu özelliği sayesinde kullanım alanı geniştir.

Farklı özellikte Cam liflerinin üretiminde kullanılan camların cinsi, imalat sıcaklığı, çekme hızı, viskozitesi gibi değerler esnetilerek, farklı özellikte cam elyafları üretilmektedir (Çuhadar, 2005).

Tablo 2.1. Cam türlerinin temel özellikleri

Özellikler	Cam Tipi			
	A	C	E	S
Özgül ağırlık (gr/cm ³)	2.50	2.49	2.54	2.48
Elastik modül (GPa)	-	69.0	72.4	85.5
Çekme mukavemeti(MPa)	3033.0	3033.0	3448.0	4585.0
Isıl genişleme katsayısı (m/m/°Cx10 ⁶)	8.6	7.2	5.0	5.6
Yumuşama sıcaklığı (°C)	727.0	749.0	841.0	970.0
Katkı Malzemeleri (%)				
SiO ₂	72.0	64.4	52.4	64.4
Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃	0.6	4.1	14.4	25.0
CaO	10.0	13.4	17.2	-
MgO	2.5	3.3	4.6	10.3
Na ₂ O, K ₂ O	14.2	9.6	0.8	0.3
B ₂ O ₃	-	4.7	10.6	-
BaO	-	0.9	-	-

1.2.3.2. Asbest Elyafı

Asbest lifleri natürel yapılı minerallerdir, yapısında magnezyum- silikat ihtiva eden, yanmazlık özelliği olan bu yapının birçok türü bulunmaktadır. Bu doğal yapıdan elde edilen asbest liflerinin boyutları, genellikle 0,8 ila 19-20 mm aralığında değişmektedir. Asbest liflerinin çapları minimum 0,01 mm'ye kadar olabilmektedir. Asbest liflerin çekme dayanımlarının 3000 N / mm² 'nin üstünde olduğu belirtilmektedir. Asbest liflerinin alkali ve kimyasal ortama karşı direnci sayesinde harç ve çimento şeklindeki bağlayıcılarla elde edilen kompozitlerde başarılı bir şekilde kullanılmasını sağlamıştır. Asbest liflerinin sağlık açısından olumsuz sonuçlar doğuran, mavi asbest veya corocidolite çeşitleri bulunmaktadır. Bu lifli yapıların bulunduğu ortamlarda çok solunmasının ve bu lifleri ihtiva eden ortamda solunmanın insan yaşamını olumsuz yönde etkilediği asbestosis ismi verilen solunum yolu hastalığı, akciğer kanseri gibi olumsuzluklara sebebiyet verdiği öne sürülmektedir. Asbest lifleri, 21. yüzyıldan itibaren günümüze değin çimento bağlayıcı ile beraber teknik açıdan oldukça yaygın bir şekilde kullanım alanı bulmaktadır Asbest lifleri donatılı çimento kompozitleri ile çevresel koşullara ve korozyona dayanıklı, çürümeye karşı dirençli, 400°C sıcaklığa kadar dayanıklı bir malzemedir. Ancak bu malzemenin darbe dayanımı düşüktür ve kırılma biçim değiştirme oranı düşüktür (Çuhadar, 2005).

1.2.3.3. Çelik Teller

Beton ve harç malzemelerinin donatılmasında özellikle çelik teller kullanılırlar. Beton veya harç malzemenin çelik tel ile adalansını (tutunma) artırmak için değişik nevürlü teller, ucu kancalı şekilde vb. yöntemler kullanılır. Düşük karbon oranlı lifler soğuk çekme yöntemi ile beton ve harç donatılarında yaygın olarak kullanılırlar. Kullanılan çelik teller sıklıkla suda kolay çözülebilen özel yapıştırıcılar sayesinde bir arada tutturularak demetler şeklinde üretilirler (URL-3, 2011).

1.2.3.4. Karbon Lifleri

Kompozit malzemelerde karbon Lifleri sıklıkla kullanılan önemli bir donatı malzemesidir. 1960'lı yıllardan sonra kullanım alanı artan karbon liflerinin düşük yoğunluklarına rağmen çekme mukavemetleri ve Elastisite modülleri oldukça yüksektir. Yüksek ısılara dayanabilen karbon yapıları elyafların karakteristik özellikleri, üretim yöntemindeki işlem sıcaklıklarına bağlı olarak farklılıklar gösterir. İşlem sırasında 0,6-1 milimetre çaplarında ortalama 1000 ile 1500 adet lif demeti bir araya gelmektedir. Karbon elyafları düşük özgül yoğunluklarına rağmen yüksek tokluk ve mukavemet değerlerine sahiptirler. Karbon lifler, nemden etkilenmemekte ve aşınma mukavemetleri oldukça yüksektir. Bu sebeple sivil ve askeri uçak yapılarında çok iyi bir kullanım sahasına sahiptirler. Karbon lifler birçok plastic esaslı matrisle ve en çokta epoksili reçinelerle kullanılmaktadırlar. Karbon elyaflar ayrıca magnezyum, alüminyum gibi metal esaslı matrislerle de kullanılmaktadır (URL-3, 2011).

1.2.3.5. Aromid Lifler

Aromid Liflerinin kısaltılmış adı "aromatik polyamid"tir. Polyamidler bağ olarak uzun zincir yapıda olan polimerlerdendir. Aromatik esaslı polyamide lif molekülerinin atom dizilişlerinde altı adet karbon atomu ile bu atomları birbirine bağlayan hidrojen atomlarından oluşmuştur. Bun atomlardan biri kevlar 29 ve diğeri kevlar 49'dur. Aramid lifleri cam liflerinden daha hafif fakat daha rijit yapıdadır, bu malzemeyi fiyat açısından değerlendirirsek cam liflerinden sonra en ucuz lif türüdür. Yüksek sıcaklıklara karşı sönme dayanımı oldukça yüksektir. Bunun yanı sıra korozif dirençleri de oldukça yüksektir. Hava araçlarından özellikle uçak parçalarında, hafif oluşları ve karbon elyaflarıyla bir arada hibrit yapı oluşturarak yoğun bir şekilde kullanım alanı bulurlar (URL-6, 2015).

Tablo 2.2. Farklı elyaflardan oluşan kompozitlerin birim maliyetleri

Kompozit	Maliyet
E Camı/Epoksi	1
S Camı/Epoksi	4-8
Kevlar/Epoksi	15-40
Karbon(HT)/Epoksi	30-60
Karbon(HM)/Epoksi	80-120

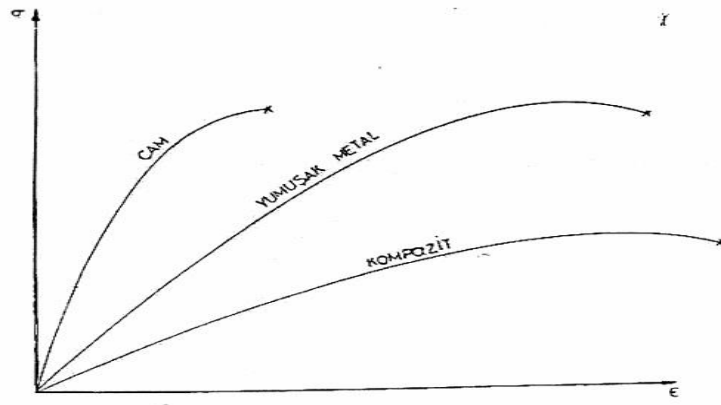
1.2.3.6. Bor Elyaf lar

Bu lif yapılar 1950' li yıllarda üretimine başlanan mukavemet özellikleri yüksek olan ve diğer liflere oranla pahalı bir türdür. Bu yapı özellikle metal matrislerle bir arada kullanılır. Liflerin çapları 0,1 ile 0,2 mm aralığında olup diğer liflere oranla çapları kalın bir malzemedir, bu lifler çekme mukavemeti ve E-modülü yüksek olan malzemelerdir. Bu malzemelerin E-modül değeri 400 Gpa seviyesinde ve S camının E- modülüne oranla 5 kat yüksek değerdedir. Bu liflerin yüksek mukavemet özellikleri ile başlangıçta hava araçlarında kullanıldıysa da maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle yerini karbon liflerine devretmiştir (Çuhadar, 2005).

1.2.3.7. Silis Karbür Elyaf lar

Silisyum Karbür Liflerinin yüksek ısıdaki mukavemet özellikleri bor liflerine oranla oldukça yüksektir. Silisyum karbür lifler 1370 °C' de yüksek sıcaklıklara rağmen yüksek mukavemet özelliklerinden sadece %30'unu yitirirler.

Isı dayanımı özelliği bakımından kıyaslanacak olursa Bor elyaflarında bu değer 640 °C' dolaylarındadır. Silisyum karbür elyaflar çoğunlukla Titanyum matris yapılarla bir arada kullanılmaktadır. Bu lifler Jet uçakları motor parçalarında, Alüminyum, Titanyum, Vonodyum alaşımlı matrisler ile kullanılmaktadırlar (Çuhadar,2005).



Şekil 2.6. Malzemelerin uzama – gerilme ilişkileri (kompozit, yumuşak metal ve cam)

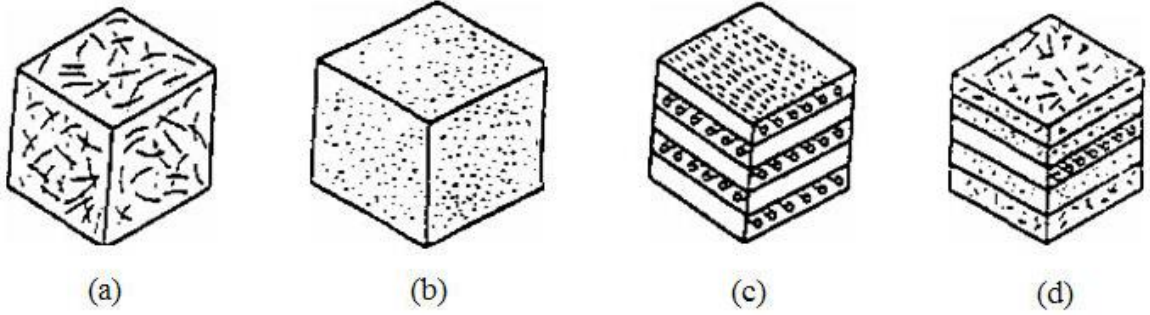
1.2.4. Takviye Türlerinin Karşılaştırması

Aşağıdaki tabloda Takviye malzemelerinin karakteristik özellikleri listelenmiştir. (URL-7,2015)

Tablo 2.3. Kompozit malzemelerinin sınıflandırılması ve özellikleri

Takviye Türleri	Gerilme Dayanımı (MPa)	Gerilme Modülü (GPa)	Özgül Ağırlık	Özellikler
Cam	3000 - 5000	72 - 82	2.48 - 2.60	Yüksek mukavemet, İyi kalıplama özellikleri, Düşük maliyet
Karbon/ Grafit	2500 - 3000	200 - 700	1.75 - 1.96	Yüksek modül, Elektriksel iletkenlik, Yüksek maliyet
Aramid	2750 - 3000	82 - 124	1.44	İyi spesifik özellikler, Orta maliyet
Boron	3500	400	2.55	Yüksek modül, Yüksek maliyet
Polyester	1000	9	1.38	İyi darbe dayanımı ve Alkali dayanımı
Naylon	950	5	1.16	İyi darbe dayanımı ve Alkali dayanımı
Poliyeten	1200 - 1500	40 - 60	0.97	Düşük yoğunluk, İyi darbe dayanımı, Düşük derece

Kompozit Malzemeler karma yapılı olup yapılarında bir çok malzemeye yer verebilirler bu nedenle sınıflandırılması veya gruplandırılmasını kesin olarak yapmak zordur, bununla beraber yapısında barındırdığı malzemelere göre aşağıda sınıflandırılmıştır.



Şekil 2.7. Kompozit malzeme türleri

- a. Elyafli yapı K. malzemeler
- b. Parçacıklı K. malzemeler
- c. Tabakalı K. malzemeler
- d. Karma (hibrid) K. malzemeler olarak sınıflandırılabilir.

1.2.4.1. Elyaf Fiber Kompozitler

Elyaf fiber kompozitler ince yapılı fiberin matris yapı ile birleşmesiyle oluşur. Elyaf yapının matris içinde yerleşim şekli kompozitin mukavemetini etkileyen en önemli faktördür. En yüksek mukavemet değerlerini elyaf yapının matris içinde kuvvete paralel olarak uzun ve kopuksuz bir halde sıralanması ile elde etmek mümkündür. Elyaf takviyelerin İki aksenel sıralanma tipi oluşturduğu matris yapıda iki eksen de (x,y) eşit mukavemet verileri alınırken, matris yapı içinde homojen dağılmış kısa tip elyaflar ile izotrop yapıda kompozit malzeme elde edilebilir. Kompozit yapının mukavemeti direkt elyafların mukavemeti ile doğru orantılıdır. Bunun yanında elyafların uzunluğu artıp çapı azaldıkça matris yapının life iletileceği kuvvet artacaktır. Mukavemet açısından Elyaf yapının homojen ve lineer olması önem arz etmektedir.

Kompozit yapıda aranan mukavemet değerlerinde dikkat edilecek diğer bir unsur ise matris ve elyaf arasındaki bağ kuvvetidir. Elyafalara nüfuzu yet ve mukavemet değerleri kazandırmak için matris yapının boşluksuz olması gerekmektedir (URL-3, 2011).

1.2.4.2. Parçacıklı Kompozitler

İçinde parçacıklı yapıda malzeme ihtiva eden matris yapıya Parçacıklı Kompozitler denilmektedir. Matris yapının mukavemet değerleri parçacık yapının sertliğine ve yoğunluğuna bağlı İzotrop yapılardır. Yaygın olarak kullanılan tip plastik matris yapı içerisinde bulunan metal esaslı parçacıklardır. Bu metal esaslı parçacıklar malzemeye ısı ve elektriksel iletkenlik sağlamaktadır. Metal yapılı matris malzemeler içinde seramik yapılı matris ihtiva eden yapıların (sermet), sıcaklık dayanımları yüksektir. Bu malzemeler tencere kulpları, kolları, elektrik malzemeleri, muhafaza elemanları gibi birçok küçük parçacıkların imalatında kullanılmaktadırlar (Çuhadar, 2005).

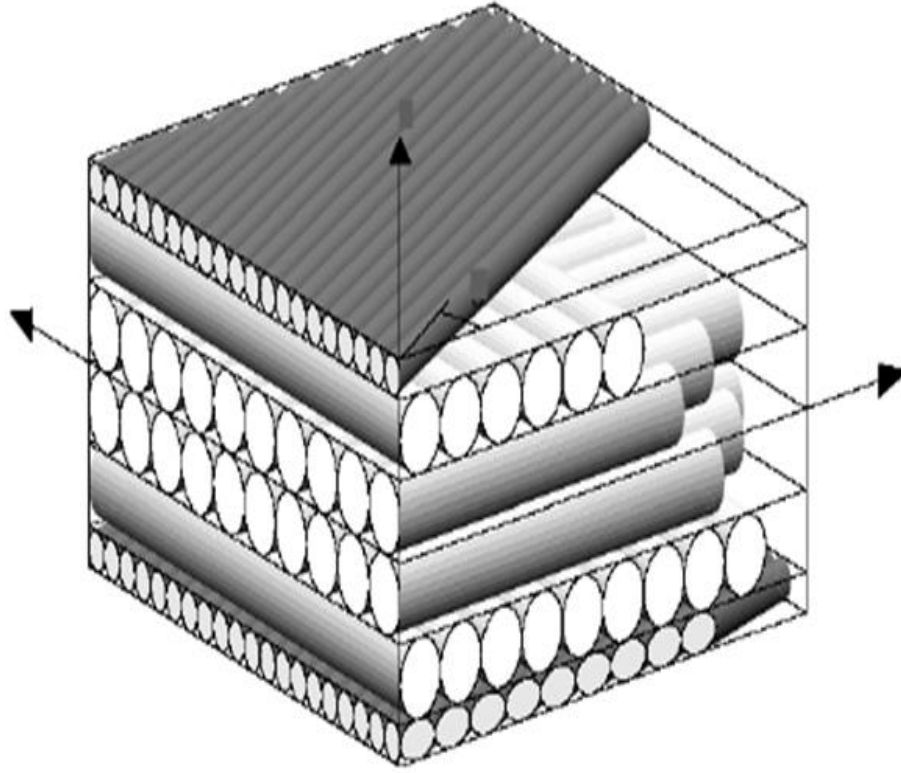
1.2.4.3. Tabakalı Tip Kompozitler

Bu tip kompozitler, diğer kompozit türlerine oranla eski ve yaygın kullanım sahasına sahiptir. Farklı tip fiber yönelmelerinde ki tabakaların bileşmesi ile oluşan yapılarla yüksek derecede mukavemet verileri elde edilebilir. Neme ve ısıya karşı dayanımları yüksektir. Metallere kıyasla hafif oluşları ve bunun yanında yüksek mukavemet değerleriyle tercih edilen malzemeler arasında yer almaktadır. Çok tabakalı kompozit malzemeler düşük maliyet ve yüksek mukavemet özelliklerini hafif bir yapıda sağlaya bilmekte bunlara ek olarak aşınma ve ısıl genleşmeye karşı dirençli ve mükemmel bir yüzey görünümüne sahiptirler. Elektriksel olarak sırasıyla iletken ve yalıtkan plakalar üst üste gelerek kondansatör oluşturup elektriği depolayan (şarj) katmanlı kompozitleri oluştururlar (Çuhadar, 2005).

1.2.4.3.1. Tabakalı Kompozitlerin Örnekleri ve Uygulamaları

Tabakalı kompozit malzemelerin uygulama ve kullanım alanları çok yaygındır. İstenilen karakteristik özellikleri sağlamak için gerekli katmanlar bir araya getirilerek ürün oluşturulur sabit bir kullanım alanı genellemesi yapmak doğru olmaz. Yaygın olarak tabakalar organik yapıştırıcılar ile yapıştırılarak katmanlar oluşturulur, yaygın olarak kontra plaklar, ağaç kaplamalar, mdf, suntan malzemeler örnek olarak verilebilir, bu

katmanlar fenolik, amine vs. reçinelerin bir yapıştırıcı vasıtasıyla yüksek basınç altında birleştirilmesiyle oluşmaktadır (URL-6, 2015).



Şekil 2.8. Farklı doğrultulu açılara sahip tabakalardan oluşan kompozit plak

Göz emniyeti için kullanılan gözlükler iki veya daha fazla camın polivinil, butiral vs. bir şeffaf yapıştırıcı ile birleştirilmesiyle oluşan tabakalı kompozit bir malzemedir. Bu gözlüklerde kullanılan Cam bir darbeye maruz kalıp kırıldığında yapıştırıcı cam kırıntılarının dağılmamasını sağlayarak darbenin göze zarar vermesini önlemektedir. Tabakalı yapılar araç camlarında, yalıtım malzemelerinde, motorlarda, dişli çarklarda vs. alanlarda darbe dayanımı, ısı direnç, korozyon direnci, hafiflik, alev direnci, sürtünme direnci gibi özellikleri bünyesinde barındırarak kullanılırlar (URL-6, 2015).

Sert yüzey oluşturma : Özellikle metal esaslı yüzeyi yumuşak, aşınmaya dirençsiz olan malzemenin yüzeyini sertleştirmek , aşınma direncini arttırmak için ergitme kaynağı tekniklerini kullanarak Kompozit yapıdaki tungsten karbür çubukları ile

yüzeye kaplama yapılarak korozyon, aşınma, sertlik gibi özellikler artırılmaktadır (URL-6, 2015).

Giydirilmiş Metaller : Metal–metal kompozitleridir. ABD’de kullanılan gümüş paralar buna örnek olarak verilebilir. Ni alaşım yapının iki yanına Cu %80 Ni alaşımı bağlanır. Genellikle bakır içeren çekirdek yapı düşük maliyeti sağlarken, yüksek nitelikli olan alaşım yapıya gümüş renk kazandırmaktadır. Giydirilmiş tip kompozit malzemeler üstün mukavemet ve korozyon direnci özelliklerine sahiptir Alklod olarak adlandırılan giydirilmiş kompozitler, ticari saflıktaki alüminyum ile yüksek mukavemet değerlerine sahip alüminyum alaşımlar ile bağ oluştururlar. Yüksek mukavemet özellikli yapıyı korozyona karşı saf alüminyum korur. Saf alüminyum tabakasının kalınlığı bileşik oluşturmuş yapının kalınlığının %1-1,5’u oranında çok ince bir tabakadır. Alklad yapı, mukavemet, korozif yapı ve hafifliğin önem arz ettiği uçak parçalarında, bina inşasında, tank, silo ve ısı değiştirgeçlerinde kullanılmaktadır (Çuhadar, 2005).

İkili Metaller : Isı göstergelerinin yapımında katmanlı yapıdaki iki farklı metalin ısı karşısındaki farklı genleşme oranlarından faydalanılır. İki metal aynı ısı miktarı karşısında genleşme katsayısına bağlı olarak farklı değerlerde şekil değiştirirler. Bu İki farklı parça birbirine paralel çubuk şeklinde monte edilirse ısı genleşme farklılıklarından ısı karşısında bu şerit eğilecektir. Şeridin bir ucu sabitlenip diğer ucuna skala bağlanır ise ısı karşısında eğilme miktarına bağlı olarak sapmanın tespiti ile sıcaklık ölçüle bilinir. Bu şekilde ki ikili metal yapılar fırınlar, ütüler gibi cihazlar ile termostat, ısıölçerler vb. Alanlarda yaygın kullanım olanağı bulmaktadır (Çuhadar,2005).

Tablo 2.4. Belli başlı termoplastik reçineleri ve işlem ısıları (URL-11,2015)

Malzeme	Erime sıcaklık aralığı (°C)	Maksimum işlem sıcaklığı (°C)
PP	160-190	110
PA	220-270	170
PES- poli eter sülfon	-	180
PEI- polieterimid	-	170
PAI- poliamid imide	-	230
PPS- polfenilen sulfit	290-340	240
PEEK- polieter eter keton	350-390	250

1.2.4.3.2. İleri Kompozitler

İleri kompozitler, uzay ve uçak sanayisi gibi sağlamlık, dayanım hafiflik ve bükülmez ligin gerekli olduğu uygulamalarla alakalıdır. Birkaç örnek tablo 2,5'te gösterilmiştir. İleri kompozitlerde özgün bir şekilde polimer yapı veya metal matris yapı içerisinde Kevlar fiber veya boron- grafit kullanılmaktadır. İleri kompozit yapılar fiber cam ve yüksek dayanım alaşımlarından daha iyi yorulma ve dayanım özelliğine sahiptirler. (Çuhadar, 2005).

Tablo 2.5. Farklı fiber takviyeli kompozitlerin uygulama alanları

Malzeme	Uygulamalar
Borsik Alüminyum	Motorlarda, diğer hava taşıtlarında, uzay uygulamalarında
Kevlar – Epoksi	Havacılık, uzay (uzay mekiği dahil), bot teknesi
Kevlar – Polyester	Spor gereçleri (tenis raketleri,golf sopası,olta çubuğu) uçaksavar kılıfı
Grafit – Polimer	Uzay, otomotiv, spor gereçleri
Cam – Polimer	Hafif otomotiv uygulamaları, su ve denizcilik uygulamaları, korozyon dirençli uygulamalar, spor gereçleri, uzay ve havacılık parçaları.

Tablo 2.6. Titanyum ve Alüminyum alaşımları ile karbon fiber-epoksi özgül yorulma dayanımının kıyaslanması

Malzeme	Yogunluk (gr/cm ³)	E.Modülü (GPa)	Çekme Muk.(GPa)
Çelik (3140)	7,90	200	1,85
Alüminyum (6061)T6	2,70	70,0	0,35
Titanyum	4,40	119,0	1,14
Bor/Epoksi	2,10	270,0	2,00
Grafit/Epoksi	1,70	208,0	1,34
Cam/Epoksi	2,20	53,0	1,45
Karbon/Epoksi	1,50	142,0	1,60
Karbon/Polyester	1,68	127,5	1,52

Titanyum ve Alüminyum alaşımları ile karbon fiber-epoksi özgül yorulma dayanımının kıyaslanması İleri kompozitlerin, yüksek dayanım üstünlüğünün sağlanması için uçaklarda gerek donanım gerekse gövde bölümünde yoğun bir biçimde kullanılır. Yalın halde ısıl direnci yüksek olmadığından baron, silisyum veya grafit karbürle güçlendirilerek alüminyum, nikel veya titanyum gibi metal matris yapılarla kompozit, yüksek sıcaklıkların söz konusu olduğu alanlarda kullanılmaktadır. (Çuhadar, 2005).

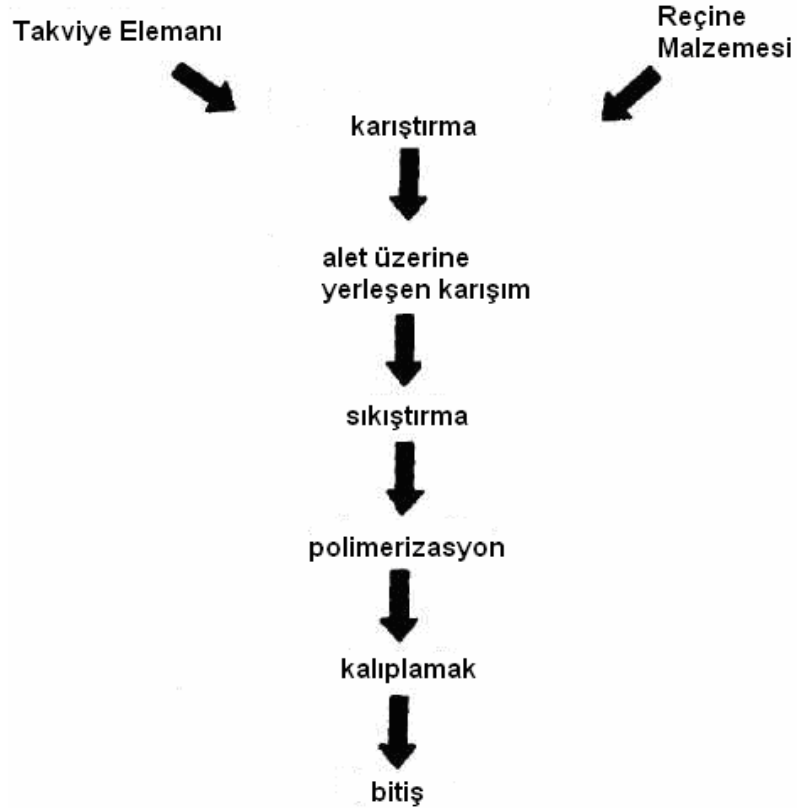
1.2.5. Takviyeli Kompozitlerin Üretim Yöntemleri

1.2.5.1. Elyaf Takviyeli Kompozit Malzemelerinin Üretim Yöntemleri

Takviye malzemesi ile reçine malzemesinin karışımında oluşan yeni malzeme de matris malzemesi sertleşene kadar malzeme kompozit olamaz. Matris sertleştikten sonra malzeme kompozit malzeme olabilir. Bununla birlikte oluşan malzemeyi değiştirmek mümkün değildir. Buna karşılık metal alaşımlı bir yapıyı ısı işlemle değiştirmek mümkündür.

Polimer matrisli kompozitlerde, reçine polyester olduğundan malzeme polimerize edilmek zorundadır. Katılaştırma işlemi boyunca bir katkı malzemesi ile karıştırılan reçine, malzeme polimerize edilirken malzeme sıvı halden katı hale geçer.

Kompozit malzemelerin üretim işlemleri kalıplama yöntemleri ile olmaktadır. Bütün kalıplama işlemlerinin basamakları şekil 2.9.' da gösterilmiştir. Kalıpla yöntemleri çeşitleri malzemenin yapısına, malzemelerin sayısına ve malzemenin maliyetine bağlıdır. Kalıplama malzemesi; metal, polimer, ağaç, ve alçı olabilir (Gay, Ar., 2003).

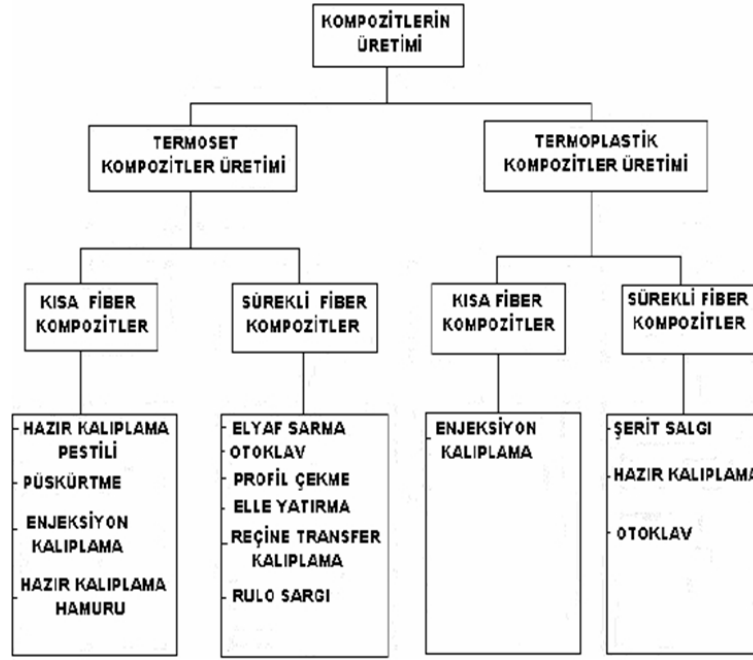


Şekil 2.9. Kalıp işleme basamakları (Gay, Ar., 2003).

Kompozit malzemelerin üretimi reçine malzemesine göre iki kısımda görülür. Bunlar termoset reçineli kompozit malzeme ve termoplastik reçineli kompozit malzemelerdir.

1.2.5.2. Termoset Matrisli Kompozitlerin Üretimi

Termoset matrisli kompozitlerin birçok üretim yöntemleri vardır. Bu üretim yöntemlerinden bazıları şekil 2.10 da açıklanmıştır. Termoset matrisli kompozit malzemesinin üretiminde matris malzemesi genellikle epoksi, doymamış polyester ve vinil ester içerir.



Şekil 2.10. Kompozit malzemelerin üretim yöntemlerinin sınıflandırılması (Mazumdar, 2002).

1.2.5.3. El Yatırma Yöntemi

Düşük ve orta hacimli temas kalıplama olup, kayık teknesi, tanklar, bina panelleri ve sanık gibi büyük boyutlu yapısal parçalar için yaygın olarak kullanılan en basit bir yöntemdir. Genellikle keçe dokuma biçimindeki elyaflar takviye elemanı olarak seçilir. Fakat ek dayanım ve elastik modülü kazandırmak için belirli konumlarda dokuma şeklindeki elyaflar yanında sürekli cam ve karbon elyaflar da yerleştirilir. El yatırma yöntemi termoset matrisli malzemelerin üretim yöntemlerinden en basit olanıdır. Resim 2.1.'de el yatırma yöntemi bu yöntemden oluşmuş kayık gösterilmiştir.



Resim 2.1. El yatırma düzeneği (Gay, Ar.,2003).

Elle yatırmanın avantajları şu şekilde sıralanabilir:

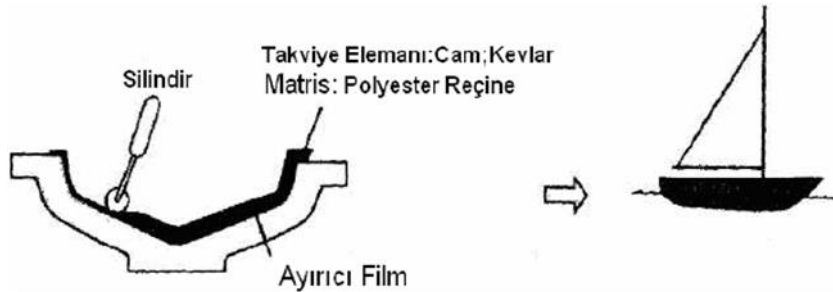
- Ucuz üretim
- Düşük kalıp maliyeti
- Hızlı tip şekil değişikliği imkanı
- Çok farklı boyutlarda, şekillerde üretim yapılabilmektedir.

El yatırma yönteminin dezavantajları:

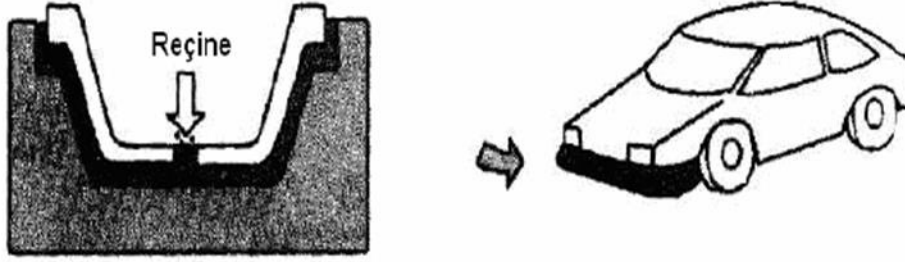
- Öncelikle çevre kirliliği,
- Yapıda homojenliği tam yakalayamayarak,
- Kalitede tutarlılık sorunu (bu işlem kişiler tarafından otomasyonsuz olarak yapıldığından uygulamada mekanik özellikleri etkileyebilecek heterojen yapı veya hava kabarcıkları olabilmektedir.
- Yüksek işçilik maliyeti, yetişmiş eleman sorunu ve ürünün sadece kalıba temas eden yüzeyinin pürüzsüz ve parlak olması boyutlarda sapma olasılığının yüksek olması dezavantajları olarak sıralanabilir.

1.2.5.4. Hazır Kalıplama

Bu yöntem erkek ve dişi olmak üzere genellikle metal esaslı malzemeden oluşan kalıpların arasına kompozit yapının yerleştirilip preslenmesi işlemidir. Bu yöntemde reçine içerisinde istenilen özellikleri sağlamak için matris içinde fiber, dolgu, katkı malzemeleri yapıya eklenir. Hazır kalıplama yöntemi olarak adlandırılan kompozit malzemeler (BMC, SMC) sıcak pres kalıplarla ürüne dönüştürülme işlemidir. Bu yöntemin, karmaşık şekillerin imalatının yapılabilmesi, metal parçaların yapı içine gömülebilmesi, istenilen kalınlıkta cidar kalınlıklarının elde edilebilmesi gibi avantajları vardır. Ürünün iki yüzeyi de kalıp ile şekillendiğinden pürüzsüz ve düzgündür. Diğer kompozit malzeme üretim yöntemlerinde karşılaşılan delik, boşluk gibi kompleks şekilleri bu yöntemde elde etmek mümkündür. Fire oranı çok düşüktür. Bu yöntemin dezavantajları yüksek basınçtan dolayı metal kalıpların kullanılması ve bu kalıpların maliyetlerinin yüksek olması, büyük parçaların üretimi için yüksek presleme gücüne ihtiyaç duyulmasıdır. En çok kullanılan iki çeşit Hazır kalıplama yöntemi mevcuttur. Hazır kalıplama pestili / SMC (sheet moulding composites), kırılmış lif yapı ile dolgu malzemesini de içeren matris yapı önceden hazırlanarak pestil biçimine getirilerek iki kalıp arasında preslenir. Lifler, 25-50 mm aralığında kırılarak kompozit yapının ağırlığının %25 – 30' una denk gelecek oranda kullanılmaktadır. Diğer bir yöntem ise bir adet kalıp olup hazırlanan kompozit malzemesi kalıba tam oturacak şekilde nüfus ettirilerek uygulanır. Hazır kalıplama hamuru / BMC (bulk moulding composites), takviye malzemesi olarak kırılmış lif ve dolgu malzemesi içeren bir reçinenin önceden birleştirilmesi ile oluşan hamur biçiminde olan bir malzeme türüdür.(Arıcasoy,2006)



Şekil 2.11. El yatırma düzeneği görülmektedir (Philips., 1989).

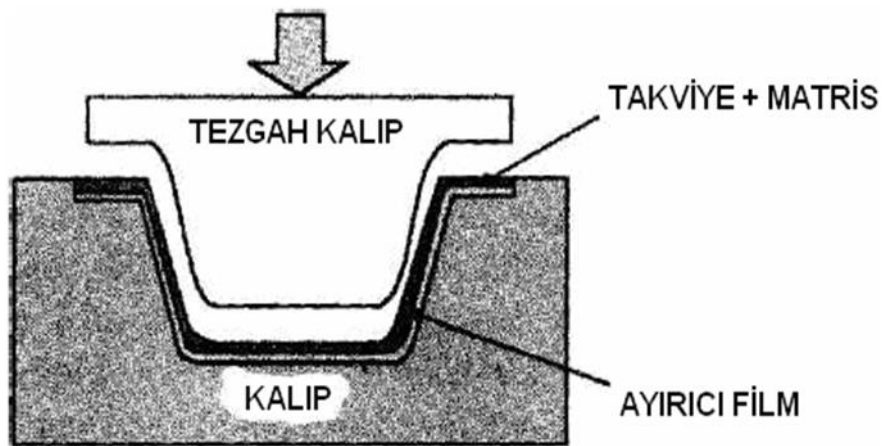


Şekil 2.12. Hazır kalıplama düzeneği (Gay, Ar.,2003).

1.2.5.5. Reçine Transfer Kalıplama

Termoset malzemeler enjeksiyon kalıp ünitesine yerleştirilir ve ısıtılmış kalıp içerisine uygun miktarda termoset plastikler enjekte edilir. Uygulanan basınç ve sıcaklık kontrol edilir ve kalıplanacak ürüne bağlı olarak çevrim 45 S ve 120 S arasında değişir (Şahin, 2000).

Bu yöntem sayesinde karmaşık yapılı parçalar üretilebilir. Formula1 araçlarında bazı parçalar bu yöntemle hazırlanmaktadır.



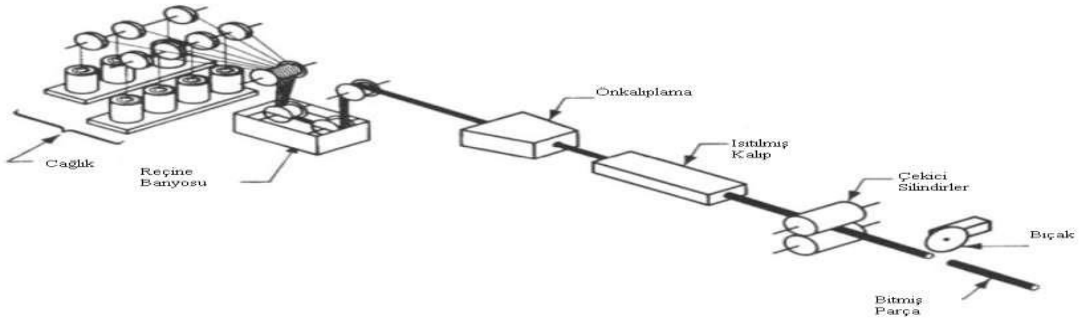
Şekil 2.13. Reçine transfer kalıplama düzeneği (Gay, Ar., 2003).

1.2.5.6. Profil Çekme Yöntemi

Profil çekme yöntemi şekil 2.14'de gösterilmiştir. Bu yöntemde reçine malzemesi olarak genellikle polyester, vinil ester ve epoksi kullanılır. Takviye malzemesi olarak ta sürekli fiber malzemesi kullanılır.

Profil Çekme yönteminin avantajları:

- Elyaf lar yönlenmiş olurlar
- Elyaf ların Uzunlamasına çekme dayanımı yüksektir
- Otomasyon ihtiva eder
- İşletme maliyeti düşüktür
- Yatırım maliyeti düşüktür
- Orta ve yüksek seviyede üretim hacmine sahiptir



Şekil 2.14. Profil çekme düzeneği (Gay, Ar., 2003).

Pultruzyon ile üretilir ve birçok parça için sanayinin birçok alanında kullanılır;

Elektrik: “Merdiven komponentleri, ray muhafazaları, kablo kanalları, direk parçaları ve aydınlatma direkleri,

Antikorozyon: Gübre ayırıcıları, ızgaralar, borular, emme demirleri, takviye kirişleri,

İnşaat sanayileri: Pencereler, süsler, varena kapıları, çatı takviye malzemeleri, çatı kaplama plakaları ve çerçeveler,

Otomotiv sanayi: sürgü shaftı, gösterge panelleri, Sürgülü kapılar, iç düzenlemeler, otobüs plakaları ve eşya konulan raflar,

1.2.5.7.Elyaf Sarma Yöntemi

Bu sarma yöntemi özel biçimlere sahip ürünlerin seri üretim aşamasında kullanım için uygundur. Bu yöntem elyaf liflerinin makaradan çekilerek sürekli reçine ile beslendikten sonra kalıp üzerine sıralı homojen bir şekilde sarılması işlemidir. liflerin farklı açılar ile kalıba sarılmasıyla değişik mekanik özellikli ürünler elde edilmiş olur. Yeterli kalınlığa ulaşıncaya dek elyaf katının sarılmasına devam edilir ve sonra ürün sertleşene kadar beklenir. Bunun ardından malzeme döner kalıptan çıkarılır. (Philips, 1989).

Elyaf sarma yönteminin avantajları;

Kontrol edilebilir özellikleri, Az işçilik, değişken mukavemette üretim yapılabilmesi, Otomasyon kolaylığı, reçine alanı ve geniş takviye, - termoplastik termoset kompozit üretme imkânı Elyaf sarma yönteminin sınırlamaları: - Sadece ekipman yatırımı, dönen yüzeyler,- Uçucu emisyonların mekanik kontrolünün gerekliliğidir.

Elyaf sarma yönteminin kullanım alanının sınırlamaları;

- Sadece dönen yüzeyler
- Ekipman yatırımı
- Uçucu emisyonların mekanik kontrolünün gerekliliği

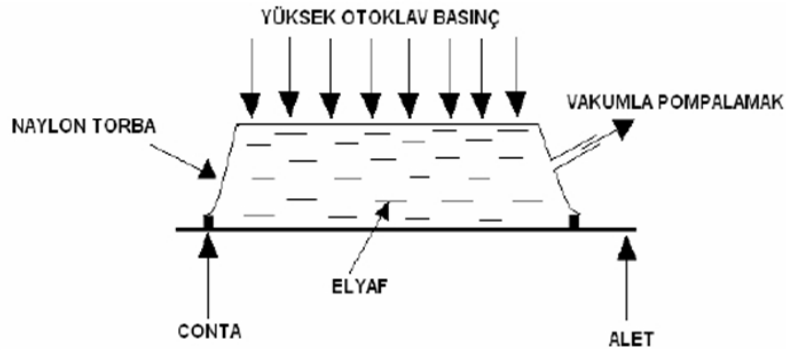
1.2.5.8. Püskürtme Metodu

Püskürtme yöntemi, elle yatırma yöntemini aletli şekli olarak kabul edile bilinmektedir. El yatırma metoduna benzer açık kalıplama düşük ve orta hacimdeki tekneler ve kayıklar, tanklar, duş ünitesi ve daha büyük karmaşık şekilli ise bu teknikle el yatırmadan daha iyidir. Kırıcı ve püskürtme tabancası arasından sürekli cam elyaf demeti beslenir. Bu aygıt aynı anda elyafları kırarak kalıp üzerine reçineyi kataliz eder. Bu nedenle kalıplanan laminate havayı yok etmek ve reçine içine takviye elemanı ıslatabilmek için rulolar kullanılır. Gerekli kalınlık elde edilinceye kadar kırılmış elyaf ve reçine ilave edilir. Katılma genellikle oda sıcaklığında veya ısı kullanılarak hızlandırılabilir. Ana malzemeyi püskürtmeden önce kalıp içerisine silikon sürülür daha iyi yüzey elde edilir. Özgül dayanım için örgü elyaflar da ilave edilebilir. Reçine olarak yine polyesterler

kullanılır. Bu metot parça karmaşıklığı fazla ise faydalıdır. Bu tekniğin avantajı, basit, maliyeti düşük olması, taşınabilir aygıt ve parça boyutu sınırlamasının olmamasıdır (Şahin, 2000).

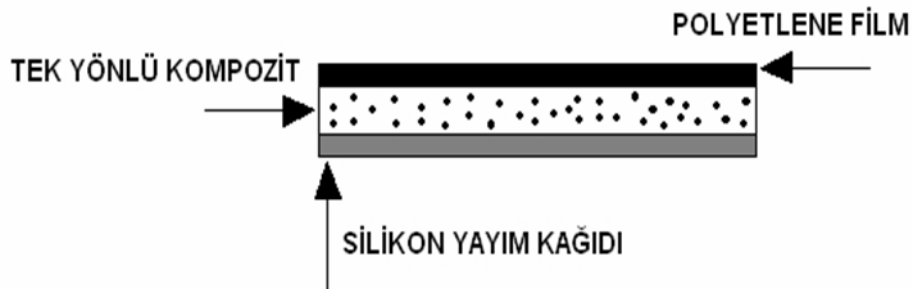
1.2.5.9. Tabakalı Birleştirme

Tabakalı Birleştirme Açık yapılar şekillenmiş kalıp yüzeyi ile ısıtılmış zımba arasında sıcak presleme usulü ile uygun şekilde üretilir. Ön gömülmüş elyaf (prepreg)'ların reçine ile doyurulması ile preslenir veya sarılarak üretilir. Mandren üzerine veya levha arkasına şerit yerleştirilmelidir. Tabakayı elle tutulabilir hale getirmek için kısmi ısıtma işlemi yapılarak levha arkası daha sonra kaldırılır. Böylece tabakada bütün elyaflar aynı doğrultuda yönlendirilmiş olur ve buna 'Prepreg' adı verilir (Şahin, 2000). Şekil 2.15.'de gösterilmiştir.



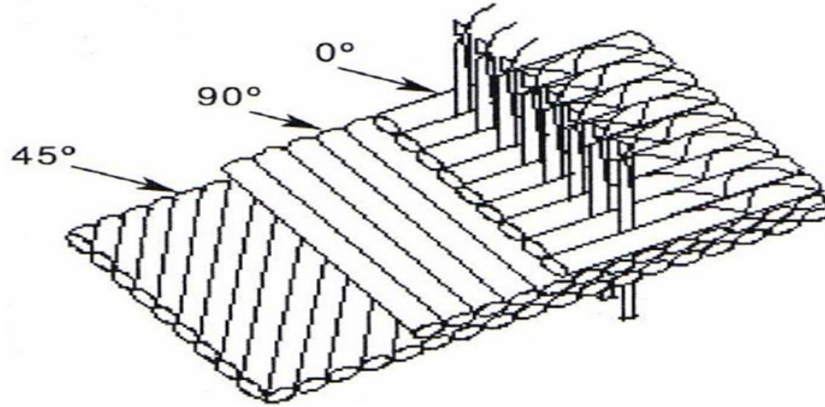
Şekil 2.15. Prepregin şematik şekli (Chawla, K.K., 1987).

Prepregin şematik şekli (Chawla, 1987.) Bu prepregler bilgisayarla kontrollü lazer veya su jeti ile kesilerek yaprak şeklinde levhalar oluşturulur ve bunlar kalıp içerisinde belirli yönde (şekil 2.16.) yerleştirilerek istif edilir.



Şekil 2.16. Tabakalı kompozit (Mazumdar, S.K., 2002).

Otoklav (şekil 2.16.) diğer bir birleştirme metodudur. Bu yöntemde kalıp içine levha şeklinde yerleştirilen elyaf yapı ve matriks vakum torbası içine alınarak sistemdeki tüm havayı almak için vakumlanır. Bu vakum işlemi ve reçineni kolay hareketi için delikli yayıcı film tabakası kullanılır. Sistem için düzener üzerine vakum torbası örtülür ve kenarlardan sızdırmazlığın sağlanması için sızdırmaz bant kullanılır, otoklav yavaşça ısıtılır. İlk önce reçine erimeye başlar sonra basınç altında ve sıcak bir gaz ile sertleşmesi sağlanır. Atmosfer basıncı kalıp içindeki havayı ve sızan reçineyi ve laminentdeki boşlukları elimine eder ve konsantre olmasını sağlar. Parçanın dış yüzeyini iyileştirir. Sıcak gazın sirkülasyonu üniform bir sıcaklık sağlar (Şahin, 2000).



Şekil 2.17. Tabakalı açılı kompozit (Mazumdar, S.K., 2002).

1.2.5.10. Enjeksiyon Kalıplama

Enjeksiyon Kalıplama yüksek üretim miktarlarında büyük hacimli kompleks parçalar üretmek için tekli veya çok parçalı kalıplar kullanılarak yapılır. Cam elyaf takviyeli plastiklere oranla yüksek hacimli bir metottur. Farklı termoplastik malzemelerle çok değişik mekanik, kimyasal, elektriksel ve ısıl özellikler elde edilebilir. Bu işlem normal plastik kalıplamak için kullanılan işleme benzer. Topak elde etmek için polimer tanecikler ve kırılmış elyaflar karıştırılır ve vidalı bir karıştırıcıda ısıtılır. Çok delikli kalıp aracılığıyla çekilir. Bu deliklerden geçirilen kırılmış elyaflar %50 hacim oranlı çok ince dağılmış boyu 1 mm olan küçük tanecikler topaklar haline dönüşür. Tanecikler enjeksiyon makinesine gönderilir ve daha sonra soğuk kalıp içine enjekte edilir. Plastik kalıpta katılaştığında kalıp ayrılarak parça çıkarılır. Elyaf takviyeli enjeksiyon kalıplama, normal enjeksiyon kalıplamadan daha yüksek basınç (200 MPa) ve daha uzun çevrim zamanı (2

dak) gerektirir. Dişliler, valf gövdeleri, otomobil panelleri ve yüksek boyutsal kararlılığa sahip ve tasarımı karışık parçalar üretilir (Şahin, 2000).

1.2.6. Termoplastik Matrisli Kompozitler

Termoplastik matris kompozitler termoset matrisli kompozitlere göre bir çok avantaj ve dezavantajları vardır (Chawla, 1987.)

Termoplastik kompozitlerin avantajları:

- Soğutma ihtiyaçları yoktur
- Parçalar ısı tarafından birleştirilebilir
- Parçalar tekrar kalıba sokulabilir ve geri dönüşüm sağlanabilir
- Termoplastikler, termosetlerden daha dayanıklı ve dirençlidir.

Termoplastik matrisli kompozitlerin dezavantajları:

- Termosetler den daha fazla sıcaklıkta üretilirler
- Termoplastikler rijitlerdir. Yani onlarda kısmi kür edilmiş epoksilerin yapışkanlığı yoktur.

1.2.7. Kompozitlerin Kullanım Alanında Tasarım Teknikleri

Kompozitlerin tasarımında dikkat edilecek hususlar, yapı ve makinaların üretimini gerçekleştirirken anizotropik malzemenin belirli avantajları ve de dezavantajları mevcuttur.

Üstünlükleri: rijitlik ve ilave doğrultusunda oldukça yüksek özgül mukavemet, elastik olarak yüksek kopma uzaması ve şekillendirilebilme kabiliyeti, kalıcı deformasyon olması, çok iyi yorulma dayanımı, çok düşük enine ve ısıl elektrik katsayısı, düşük ve kontrol edilebilir ısıl genleşme katsayısı, tabakalı kompozitlerin tabaka inşalarının istenen hedefe göre düzenlenebilir olması.

Dezavantajları; malzeme iç yapısında hasara neden olabilecek biçimde ikincil gerilmelerin ortaya çıkması, kritik uygulamalarda oldukça zaman alan, masraf gerektiren ayrıntılı gerilme çözümlene ihtiyacı, ürün çoğaltma ve harcama sahasında yüksek sıcaklık olması halinde fiber matris ısıl genleşmelerinin ayrı olması nedeniyle hasara neden olan iç gerilmeler, lineer elastik özellikleri nedeniyle gevrek kırılma tehlikesi, kullanım alanının sıcaklığı matris olan malzemenin özellikleri ile kısıtlanması sıcaklık nedeniyle özellikle

polimer matrisli malzemelerde sürünme tehlikesi, birleştirme kısımlarında oldukça hassas tasarım gerekliliği sayıla bilinmektedir.

Kompozit ürünlerinden üretimi gerçekleştirilecek makine parçalarının bu özelliklerini hesaba katarak dizayn edilmesi gerekmektedir. Kompoziten imal edilecek olan makine elemanlarının dizaynında göz önüne alınması gerekli olan etmenler; ısıl, mekanik, kimyasal, elektrik ve manyetik yükleme gibi yük doldurma durumları, takviye biçimi ve yükleme doğrultusuna göre durumu ve makine ekipmanlarının yükleri ile montaj noktalarının seçimi ve montaj biçimidir. Dizayn da göz önüne alınacak etkenler birer birer inceleyecek olursak (Çuhadar,2005).

1.2.7.1.Yükleme Vaziyeti

Yükleme durumu klasik malzemelerden ayrı olarak, kompozitin üstüne gelecek olan kuvvetin doğrultusu, tesir ve şiddetleri oldukça fazla önem arz etmektedir. Çünkü kompozitler fiberlerin takviye şekline göre malzemelerin üzerinde olan gerilme paylaşımı değişiklik göstermektedir (Çuhadar,2005).

1.2.7.2. Isıl ve Elektriksel Depolama

Isıl ve Elektriksel depolama Isı ve elektrik akımı direncinin az olan kısımlardan geçmeye çalışması sebebiyle ısıl ve elektriksel iletim özellikleri aramid, seramik ve cam fiberlerin kullanım durumları matris malzemelere yakındır. Karbon fiberlerine benzer yalıtım özelliği olan fiberlerin katıldığı kompozitlerde ise fiber malzemesinin özelliklerine benzerlik göstermektedir. Polimerik matrisli kompozitlerde, matris malzemeler metallere kıyasla, yani yaklaşık olarak %1 payında iletme özelliğine sahip olduğu söylenilebilir. Kompozit bünyesindeki yardımcı malzemeler ve doğrultuları ile enerji akış dalları arasındaki yön önem arz etmektedir. İzotrop cam fiberlerinde dahi enine ve boyuna iletme katsayıları arasında %30 a yakın farklılık bulunur. Bu oran Karbon fiberleri söz konusu olduğunda yaklaşık olarak %0,2'i oranına kadar düşer. Bu sebepten dolayı elektrik ve ısıl yüke sahip kompozitlerin tasarımında hacim oranı, takviye doğrultusu ve üretimin boşluk kalmayacak olması önem arz etmektedir. Rastgele seçilen bir kompozit yapıda dahi, kullanılacak olan malzemelerin ısıl genişleme özelliklerinin ayrı olması nedeniyle, ısı yükü altında ayrı uzamalar neticesinde büyük gerilmeler ortaya çıkması söz konusudur. Bu gerilmeler, dış çevreden malzemeye rastgele bir yük uygulanması halinde malzemede zararlara yol açabilecek kadar büyük olabilir. Tabakalı kompozit üretimde ise çeşitli

tabakalar arasında aynı uzamalara rağmen yardımcı malzeme doğrultusundaki farklılıklar nedeniyle çarpılma biçiminde zararlar oluşabilir. İzotropik malzemelerde oluşan bu gerilmeleri farklı ısıl işlemler ile ortadan kaldırmak mümkünken kompozitlerde bu durum söz konusu değildir. Bu sebepten dolayı ikincil bir yük olarak ısı yükünün de bulunduğu durumlarda malzeme tayini önem kazanmaktadır. Tabakalı üretim durumunda tabakalar, uzamalar birbirini yok edecek bir biçimde yerleştirilmemelidir. Birleşme yerinin tasarımında, bu gerilmelerin de göz önünde bulundurulması gerekmektedir. (URL-6,2015)

1.2.7.3. Çevresel Şartlar ve Kimyasal Yükleme

Çevre Şartları ve Kimyasal Yükleme, Matris malzemelerin nem, ısı ve kimyevi maddeler gibi çevre etkilerine maruz kalan kısmı olduğundan korozyon dayanımı, nem absorpsiyonu gibi atmosferin etkilerine karşı özelliklerini de belirlemektedir. Plastik malzeme, plastik matrisli kompozitlerin çok çeşitli çevre ve kimyevi yüklere karşı yüksek performans göstermesini sağlar. Metalik matrisli kompozitlerde ise kimyasal etkilere karşı direnç, malzemenin yüzeyinde meydana getirdiği koruyucu tabaka kalınlığı ile belirlenir. örneğin, 200 ° santigrat derecede üzerinde özellikleri kararlı olmayan veya kimyevi etkilere dayanıksız olan bir fiber, çok daha yüksek sıcaklıklara yada çok etkin kimyevi yüklemelere dayanabilen ve ısıl iletkenlik özellikleri iyi olmayan bir matris içinde söz konusu şartlara dayanıklı, mukavemeti yüksek bir kompozit oluşturabilir. (URL-6,2015)



Resim 2.2. Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan Bazı Kompozit Malzemeler

Otomobili oluşturan parçalar çökme ve plastik şekil değiştirme zorlanmaları ile gevrek kırılma, yorulma, sürünme yüklemeleri ve -40 ila 120 °C sıcaklık aralığı, %55 ila %100'e varan bağıl nem su, yakıt, antifriz ve tuz gibi çevre ve kimyevi yüklemelerin etkisi altındadır. Araçlarda motor bloğu gibi kısımlarda Al alaşımları ve kaporta içinde CTP kullanımı en iyi çözümü vermektedir. CTP malzemelerde 60 °C üzerinde sürünme hasarları meydana geldiğinden bunun dikkate alınması, ayrıca nem absorbe etme özellikleri sebebiyle %20'ye varan mukavemet azalması da hesaba katılmalıdır.

1.2.7.4 Parçaların Birleştirilmesi

Parçaların birleştirilmesi, tasarımda göz önünde bulundurulması gereken bir diğer önemli faktördür. Kompozit makine elemanlarının farklı bir başka parça ile birleştirilmesi durumudur. Gerek "kompozit-kompozit", gerekse "kompozit-diğer malzemeler" aralarındaki birleşmelerde birleştirme, yerleri ve şekilleri usulünün çok dikkatli olarak tayin edilmesi gerekmektedir. Kompozit malzemelerden yapılmış makine elemanlarının metal malzemeler için geçerli olan sökülebilen ve sökülemeyen birleştirme sınıflandırılması içine alınması çoğu zaman mümkün olmaz. Bu yüzden kompozitten yapılacak eleman komple eleman olarak, birleştirme yerlerindeki delik, pim, vida v.s.de mümkünse komple imalat için düşünülmelidir. Çok parçadan imal edilen makine elemanlarının, kompozit malzemenin hafifliği sebebiyle yekpare olarak imal edilmesi ise bir avantaj olmaktadır.

Resim 2,3'de yekpare olarak imal edilmiş bir otomobil tahrik şaftı görülmektedir. Yekpare imalatın avantajlarından biri de birleştirme yerleri sebebiyle meydana gelen gürültülerin ortadan kaldırılmasıdır. Sonradan talaşlı şekillendirme yoluyla yapılacak işlemler malzeme mukavemetini düşürmekle kalmayıp çatlak oluşumu gibi hasarlara da sebep olmaktadır (Çuhadar,2005).



Resim 2.3. Yekpare olarak imal edilmiş otomobil tahrik shaftı

Kompozitlerin birbirine kaynak edilmesi ve yapıştırılarak birleştirilmesi ile ilgili çalışmalar devam etmektedir. Yapıştırıcıların basınç gerilmesi altında çok zayıf olmaları, nedeniyle birleştirmenin uygulama alanı daralmaktadır (Çuhadar,2005).

1.2.7.5. Ağırlık

Kompozit malzemeler, çelik gibi geleneksel izotropik malzemelerin yerine kullanılırken yapılacak iş elbette, çelikten yapılmış olan makine elemanlarının sökölüp yerine daha hafif olan kompozit malzemelerden yapılmış olanının monte edilmesinden ibaret değildir. ister kompozit isterse çeliğe göre daha hafif olan alüminyum alaşımları olsun birbiri yerine kullanılırken tercihi tayin edecek karşılaştırmalar, klasik dizayn, maksimum gerilme veya maksimum şekil değiştirme kriterleri kullanılarak yapıldığından, yine bu kriterlere göre yapılacaktır. Makine elemanı olarak en çok karşılaşılan çekme çubuğu, kiriş veya plak için karşılaştırma kriterleri, ağırlığa bağlı olarak çıkarılmıştır.

Burada bazı kullanılan değişkenler şöyle sıralanabilir;

S (mm): maksimum şekil değiştirme

m (kg): elemanın kütlesi

P (N):uygulanan kuvvet

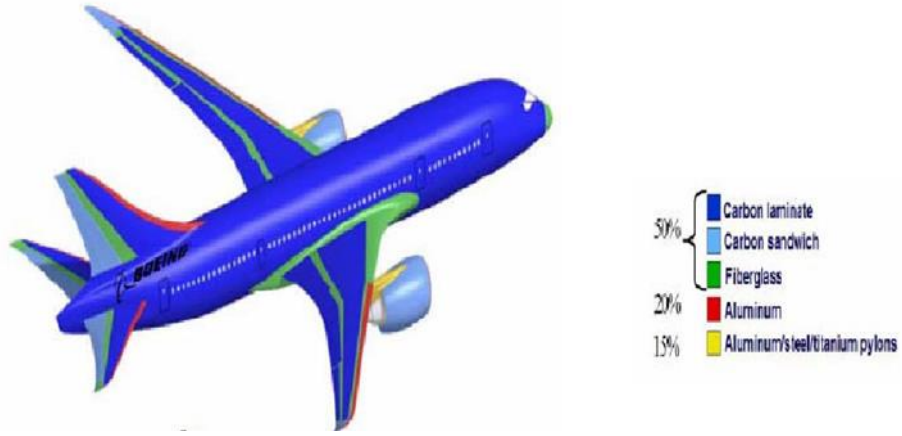
G (N/mm²): oluşan maksimum gerilme

E (N/mm²): Elastisite modülü

P (Kg/mm³):yoğunluk

C: yükleme tipine göre katsayı

Kullanılan elemanların boyutları Yalnızca taşıyacakları yüke göre sıralama yapılacak olursa ele alınan malzemelerden en elverişlisi maksimum uzamaya göre Boron-Epoksi, Be-38 Al. Karbon epoksi, Kevlar-Epoksi ve cam –Epoksi'dir. Bu sıralamayı kiriş için yaptığımızda ise ilk sıraları maksimum gerilme açısından yüksek mukavemetli karbon fiber takviyeli Epoksi kompozit, Kevlar-Epoksi ve maksimum deformasyon açısından da Karbon- Epoksi kompozitler ve arkasından Be-38Al alüminyum alaşımı gelmektedir. Durum plak eleman açısından Karbon-Epoksi, Kevlar-Epoksi, cam tülü polyester şeklinde ve maksimum çekme açısından da yüksek mukavemetli Karbon-Epoksi Kevlar-Epoksi ve Al-Li şeklinde bir sıralama olduğu görülmektedir. Burada karşılaştırma için seçilen çelik olan maraging çeliği %18-25 Ni, Mo % 4.8, Ti %0,4, Co %7,5 ve %,03 C içeren 815 °C'den havada su verilerek ve 480 °C'de yaşlandırma ile 1750 MPa akma mukavemetli, %11 uzama, yüksek tokluk ve 35-52 Rc sertliğine sahip bir çeliktir. Kaynak edilme imkanları vardır ve roket motor bloğu yapımında kullanılmaktadır. Görüldüğü üzere yüksek mukavemetli bir çelik olmasına rağmen kompozitlere göre mukavemet açısından çok gerilerde kalmaktadır. Bu durum ekonomik açıdan en çarpıcı şekliyle uçak sanayiinde görülür. Çeşitli kombinasyonlar yapılarak maksada en uygun kompozitin elde edilmesi mümkündür ve belirli özelliklerin ağırlıkla oranı önemli ve sınırlayıcı bir faktördür . Uçakların kendi ağırlıkları azaldıkça taşıyacakları yük artmaktadır ve ayrıca ağırlığındaki azalma orantılı olarak yakıt tüketimide azaltacaktır. Bir OC 10 uçağının ağırlığında sağlanacak 1 Kg'lık azalma yıllık 2900 Lt. yakıt tasarrufu sağladığı göz önüne alınacak olursa, alüminyum yerine cam, karbon ve aramid fiberli kompozit kullanılarak bir A 310 uçağında sağlanan 397 Kg'lık ve bir A 320 uçağında sağlanan 800 Kg'lık bir ağırlık kazancının ne kadar önemli olduğu görülür (Çuhadar,2005).



Şekil 2.18. Uçaklarda Kullanılan Malzemelerin Oranları

1.2.8. Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları

Günümüzde kompozit malzemeler oldukça geniş bir kullanım alanına sahiptir. Kompozit malzemelerin ağırlıkça en çok kullanıldığı sektörler inşaat ve altyapı (%27) ve ulaşım (%26).

Havacılık sektöründe kullanılan kompozit malzemeler, diğer sektörlerde kullanılanlara oranla daha kaliteli ve yüksek mukavemetli olmasından dolayı daha pahalıdır. Bu nedenle havacılık sektörü ağırlıkça dünyada yüzde 5 kullanım oranına sahipken, fiyat temel alındığında yüzde 21'lik orana sahiptir (İnkaya, 2011).

Günümüzde dünyada tüketilen kompozit miktarı ağırlıkça 7,8 milyon ton olmuştur. Son dönemlerdeki kompozit malzeme kullanımındaki artış göz önüne alındığında, 2014 yılında dünya çapındaki kompozit malzeme tüketiminin 9,5 milyon tona erişeceği tahmin edilmektedir. Son 50 yıldır dünyada kullanılan kompozit malzeme miktarı ağırlıkça (kütlesel olarak) yıllık ortalama yüzde 8 oranında artmaktayken, ülkemizde son yıllardaki bu değer yüzde 10 civarlarındadır. Kompozit malzeme kullanımının dünya üzerindeki dağılımını inceleyecek olursak, Asya 2,8 milyon ton kompozit kullanımıyla dünyada yüzde 36'lık paya sahiptir. Kuzey Amerika ise 2,7 milyon ton kompozit kullanımıyla dünyada yüzde 35'lik paya sahiptir. Avrupa ise yüzde 22'lik oranla 1,7 milyon ton kompozit malzeme tüketmektedir (İnkaya, 2011).

Günümüzde kompozit malzemelerin kullanım sahası çok geniş boyutlara ulaşmıştır. Kompozit malzemelerin belli başlı kullanım alanları ve bu alanlarda sağlanan avantajlar şöyle sıralanabilir (URL-4, 2009).

1.2.8.1 Şehircilik

Bu sahada kullanılan kompozitler, toplu konut yapımında, çevre güzelleştirme çalışmalarında (bankalar heykel, elektrik direkleri vb.) kullanılır. Üretim yapan üreticiler çok sayıda standart ürünü kısa bir zaman diliminde üretilmesi, montajdan tasarruf ve ucuz maliyet olanakları, kullanıcıya da yüksek izolasyon kapasitesi, hafiflik ve yüksek mekanik dayanım imkanları sağlamaktadır. (URL-4, 2009)

1.2.8.2. Ev Aletleri

Bu alanda kompozitler sandalye, masa, sandalye, televizyon kabinleri, dikiş, saç kurutma makinesi gibi çok kullanılan ev aletlerinde ve dekoratif ev eşyalarında kompozit malzemeler kullanılır. Buna benzer komple ve karışık parça üretimi, montaj kolaylığı, elektriksel etkilerden korunum ve hafiflik gibi avantajlar sağlarlar. (URL-4, 2009)

1.2.8.3. Elektrik ve Elektronik Sanayi

Elektrik ve Elektronik Sanayisinde: Kompozitler, başta elektriksel izolasyon olmak üzere her tür elektrik ve elektronik malzemenin yapımında kullanılır. (URL-4, 2009)

1.2.8.4. Havacılık Sanayi

Bu alanda kompozitler, her geçen gün biraz daha geniş bir uygulama sahasına sahip olmaktadır. Uçak modelleri, Planör gövdesi, uçak gövde ve iç dekorasyonu, helikopter parçaları ve uzay araçlarında başarıyla kullanılır bir durum söz konusudur. Kompozit kullanımıyla daha hafif malzeme atmosfer şartlarına dayanım ve yüksek mukavemet sağlanır. (URL-4, 2009)

1.2.8.5. İş Makinaları

İş makinalarının kapakları ve çalışma kabinleri yapımında da kompozit malzemeler kullanılır. Bu sayede üretimde kullanılan parçaların sayısı azaltılmaktadır, tek parça üretimi mümkün kılınmaktadır. Ayrıca elektrik izolasyon malzemelerinden de tasarruf sağlanır. (URL-4, 2009)

1.2.8.6. İnşaat Sektörü

Büfeler, cephe korumaları, tatil evleri, soğuk hava depoları, otobüs durakları, inşaat kalıpları da birer kompozit malzeme uygulamasıdır. Tasarım esnek ve kolay olmakla

birlikte, montaj ve nakliye de büyük imkanlar sağlar. İzolasyon problemi çözümlenerek ve de bakım giderleri azaltılmasında büyük bir rol sahibidir. (URL-4, 2009)

1.2.8.7. Tarım Sektörü

Su boruları, Seralar, tahıl toplama siloları ve sulama kanalları yapımında kompozitler özel bir önem arz etmektedirler. Kompozit malzemelerden üretilen bu malzemeler istenirse ışık geçirgenliği, tabiat şartlarına ve korozyona dayanıklılık, düşük yatırım ve kolay montaj gibi avantajlar sağlamaktadır

1.2.8.8. Spor Araçları

Kompozit malzemelerin önem kazandığı bir diğer sektörler arasında spor araç ve gereçleridir. Her geçen gün daha da popülerlik kazanarak öne çıkmaktadır. Özellikle ağırlığının azaltılması, hareket kabiliyetinin artması ve dayanıklılığın artmasına neden olan cam ve elyaf takviyeli kompozitler kullanılır. Kompozitler sörf, kano ve yatlar için oldukça önemli olan darbe dayanımı ve malzeme yoğunluğu konusunda üstün özelliğe sahiptirler. Dağ bisikletleri en iyi dayanım /ağırlık oranı ve en düşük ağırlık özellikleri kazanmak için karbon elyafı ile üretimi gerçekleştirilmektedir.

Ayrıca tenis raketi ve golf sopası vb. spor ürünleri de ağırlığı daha da hafifletmek için karbon elyaf takviyeli kompozit malzemelerden üretilirler. Kompozit malzemeler çok geniş bir yelpaze oluşturduğundan bu bölümde kompozit malzemelerin makine mühendisliği açısından kullanım alanları incelenecektir.(Arıcasoy, 2009)

1.2.8.9. Otomotiv Sanayiinde Kompozit Malzeme Kullanımı

Otomobil sektöründe kullanılan kompozit malzemeler, Otomobili hafifletmek ve buna birincil derecede bağlı olarak yakıt tüketimini azaltmaya yöneliktir. Otomobil firmaları bir yandan araç motorlarında tasarrufa yönelik çalışmalar yapıyorsa da diğer yandanda araçlarda kullanılan malzemelerin ağırlığı azaltma yönünde yeni materyaller arayışlarına girmişlerdir. Tasarruf yönünde yapılan çalışmalarda petrol yakıtla çalışan araçların yerine alternatif enerji olarak geliştirilmeye çalışılan hibrit (elektrikli) arabaların motor aksamları geliştirilmiştir, fakat hibrit motorlar sıvı yakıtlılara göre yeteri kadar tork ve güç üretmediğinden araçların ağırlığının yakıt tasarrufu açısından ne kadar önemli olduğu anlaşılmıştır. Demir ve alüminyumun özgül ağırlığı Kompozit malzemelere oranla,,

birkaç kat daha fazla olabilmektedir. Bu sebeple ağırlığın ve kompozit malzemeleri kullanımının önemi anlaşılmaktadır. Kompozit malzemeler arasında en çok kullanılanlar polimer matrisli kompozitlerdir. Ön kısmı cam elyaf takviyeli polimer kompozitten yapılmış bir araç 35 mil/saat çarpma testini geçmiş bulunuyor. Çarpışmalar sonucunda çelik kadar güvenlik sağladığı gibi, polimer kompozitler titreşim kontrolü gibi özellikleriyle de daha üstün performans göstermeye aday olan bir malzemedir. Polimer kompozitler matrisi, termoplastik veya termoset olmak üzere iki başlık altında toplayabiliriz. Termoplastik polimerler (nylon gibi), uzun molekül zincirlerinden oluşmaktadır. Sıcaklıklar yüksek olduğunda bu zincirlerin birbirleri üzerinde kaymaları sonucu, termoplastikler eriyebilme özelliğine sahiptirler. Bu durum Termosetler de ise umumiyetle başlangıçta monomerlerden veya kısa zincirlerden oluşan sıvı bir halde bulunmaktadır. Sıcaklıklar yükseltildiğinde, bunların aralarında karşılıklı bağların oluşması sonucunda büyük bir moleküle dönüşerek katılaşma sağlamaktadır. İyileştirme denen bu işlemden sonra artık polimerin erimesi söz konusu olmamaktadır. Termoplastik ve termoset polimerlerin mikro yapılarındaki bu farklılık; mekanik özelliklerine, imalat tekniklerine ve yeniden dönüşüm imkânlarına da yansımaktadır. Termoplastikler molekül zincirlerinin hareket kabiliyetinden dolayı termosetlere göre daha az kırılığandır. Mukavemet ve katılık gibi kompozitin mekanik özelliklerini ağırlıklı olarak elyaf takviyesi belirlediğinden, polimer matrisinin bu gibi özellikleri çok önemli sayılmaz. Üretim yöntemine gelince, termoplastikler yüksek sıcaklıklarda eritilerek şekil verildikten, sonra soğutulularak katı hale getirilmektedir. Fakat imalatındaki en büyük zorluk, eriyik halde bile viskozitesi çok yüksek olduğundan dolayı elyafla karıştırılması oldukça zordur. Viskozitesini düşürmek için sıcaklıklar dahada yükseltildiğinde ise polimer ayrışarak bozulmaktadır. Termosetler ise yaygın olarak içinde örülü elyaf bulunan bir kalıba sıvı bir şekilde aktarılır, sonra sıcaklık yükseltilerek iyileştirme işlemi yapılmaktadır. Bu işlemden sonra şekil vermek mümkün olmadığından termosetlerin yeniden dönüşüm imkânı ortadan kalkar. Ayrıca bu iyileştirme kimyasal bir işlem süreci olduğundan dolayı, imalat süresini uzatır. Bazı otomotiv uygulamalarında bu iyileştirme işlemi 5-10 dakikaya kadar inmiş olsada çelik veya termoplastiğin işlenmesine göre bu süre daha uzundur. Otomotiv sanayiinde şu ana kadar termoplastikler, termosetlere nazaran daha fazla kullanım sahası bulmuştur. Otomobil gövdelerinde termoset kullanımı yaygın olmasına karşın, termoplastiklere rağbet görülmeye başlanmıştır. Golf A4 ve POLO A3 dâhil olmak üzere bütün yeni VW arabalarının ön kısımları cam elyaf örgütlü termoplastik tabakalardan

yapılmıştır. Son zamanlarda giriş manifoldları ekseriyetle alüminyumdan imal edilmiştir. Fakat bu parçaların şekilleri daha karmaşık hale geldikçe ve tek kalıpla üretilen cam elyaf takviyeli termoplastikler ağırlıktan tasarruflar sağladıkça, termoplastikler tasarımcılara cazip gelmeye başlanmıştır. Ford Mondeo'nun 4 silindirli 16 valfli motorunun giriş manifoldu cam elyaf katkı PA'dan üretilmiştir. Chevroletlerin giriş manifoldlarında cam elyaf katkı nasyon kullanılmıştır. Plastik ağırlıktan tasarruf sağladığı gibi motorun performansın da artış olmuştur. Giriş manifoldlarının iç yüzeyi son derece pürüzsüz olmalı. Aksi takdirde oluşacak türbülâns, motorun verimliliğini azaltacaktır. Düzgün yüzeyleriyle plastik manifoldlar alüminyumla yapılanlara göre motorun verimini %5'lik bir artış sağlamaktadır. Malzemenin düşük ısı iletkenliği; manifold içindeki havanın motorun sıcaklığından daha iyi yalıtılmasına yol açarak; manifoldun havayı daha yoğun olarak tutmasıyla, yanma daha randımanlı gerçekleşir. Plastik titremeyi azalttığından motorun gürültüsü azalmasına olanak sağlar. Avrupalı motor üreticisi PSA da Peugeot 406 ve 605, Citroen Xantia ve XM modellerinde kullanılmakta olan motorun giriş manifoldunda nasyon kullanarak buna benzer faydaları elde etmişlerdir. Alüminyumdan Nasyon 46'ya geçmekle PSA manifoldun ağırlığın %50, üretim maliyetinin %20, 30 azaltabilmişlerdir. Döküm sonrası işlemeyi ortadan kaldırmışlardır. Chrysler gibi otomobil üreticileri de valf kapaklarını termoset kompozitlerinden yaparak maliyetleri %15-20 indirebilmişlerdir. Plastik kompozitlerin önemli bir potansiyel uygulama alanı ön koltukların monte edildiği çatı kısmıdır. Kompozitlerin fanlarda da kullanımı görülmeye başlanmıştır. Plastik kompozitlere ilaveten, mühendisler matrisi metal olan kompozitleri de ciddi bir şekilde düşünmeye başlamışlardır. GM elektrikli taşıtının çatısında metal matrisli Boralyn kompozitini kullanmaktadır. Boralyn'in katılığının özgül ağırlığa oranı, çelik ve alüminyumunkinin 1.5 katıdır, yoğunluğu ise alüminyumun yoğunluğuna yakındır. Bütün avantajlarına rağmen kompozitlerin otomotiv sanayiinde yoğun olarak kullanılmasının önündeki iki önemli engel vardır. Bu engellerden birincisi, kompozit parçaların halen çelikten daha maliyetli olmasıdır. Üretimi çelik gibi yüksek basınç gerektirmediğinden, plastik kompozitleri işleyen makinalar bu duruma binayen daha hafif ve dolayısıyla ilk yatırım maliyeti daha düşüktür. (URL-5,2014)

Fakat ilerleyen zamanlarda imalat teknolojisinde olabilecek yeniliklerle ve kompozit malzemelerin daha yoğun kullanımın alanı getireceği malzeme maliyetlerindeki düşüşle, kompozit parçaların daha ucuza bir şekilde imal edilebileceği beklenmektedir. Günümüzde birçok büyük ölçekli araştırma projelerinde daha verimli imalat

teknolojilerinin geliştirilmesi amacıyla çalışılmalar yapılmaktadır. Kompozitlerin sanayi de daha yoğun olarak kullanılmamasının ikinci önemli engeli ise, kompozitlerin tasarımı ve üretimi konusunda tecrübeli, bilgili mühendis ve teknisyen sayısının yetersiz olmasından kaynaklanmaktadır. Bu engellerin zamanla aşılacağı ve kompozit malzemelerin üstün özelliklerinden otomotiv sanayiinde daha fazla faydalanılacağı öngörülmektedir.

Otomotiv endüstrisi 2000 yılında kompozit malzemelere 318 milyon sterlin para harcamıştır. Çünkü otomobil pazarı çok pahalıdır, karbon fiber takviyeli kompozit malzemeler yüksek maliyetlerinden dolayı kabul edilmezler. Otomotiv endüstrisi cam fiberleri ana takviye malzemesi olarak yararlanırlar.

Otomobil endüstrisi geçmişinde kullanılan, uygulamalar alanlarına göre kullanılan matris malzemeler ve üretim metodları tablo 2.7.' de gösterilmiştir (Mazumdar, 2002).

Tablo 2.7. 1988 ve 1993 yılları arasında otomobillerde kullanılan kompozitlerin oranı (Anonim, 1994)

Uygulamalar	Kullanım6 (kgx10)	Matris Malzeme	Kullanım6 (kgx10)	Üretim Yöntemi	Kullanım6 (kgx10)
Tampon	42	Polyester	42	SMC (Hazır Kalıplama)	40
Koltuk	14	Polypropylene	22	GMT (Preslenebilir Takviyeli)	20
Kaput	13	Polycarbonate/PBT	10	Enjeksiyon Kalıplama	13
Radyatör	4	Polyethylene	4	Ekstra Güç Kalıbı	5
Tavan	4	Epoksi	4	Elyaf Sarma	3
Diğer	11	Diğer	7	Diğer	8
Toplam	89	Toplam	89	Toplam	89

1.2.8.10 Havacılık Sektöründe Kompozit Malzeme Kullanımı

Kompozit malzemelerin havacılık sektöründe kullanımı son yıllarda yapılan önemli bir atılım niteliğindedir. Metal yerine kompozit malzemelerin kullanımı uçak parçaları imalatında kullanılan kompozitler, takviyeli kompozitlerdir uçakların şase ve gövde yapısında kullanılan alüminyum alaşımların yerini kompozit malzemeler, hafiflik ve yüksek mukavemet özelliklerinden dolayı almaktadır. Uçaklar için tercih edilen en önemli kriter olan özgül mekanik değerler; mekanik özelliklerin yoğunluğa oranı şeklinde ifade

edilir. Özellikle bor/epoksi ve karbon/epoksi oranı kompozit malzemelerin metal esaslı malzemelerden önemli farklarla üstün olduklarını gösterir.

Bu özgül mekanik değerler sayesinde kompozit malzemelerin uçakların tasarımında kullanılmasıyla çok daha hafif ve mukavemetli olurlar.

Uçakların tasarımında ağırlık kazancı önem arz etmektedir çünkü ağırlık kazancı yakıt miktarında da kazanç sağladığından dolayı uçaklarda ekonomikliğin temel taşlarından olan enerjide verimlilik programında kompozit malzemelerin geliştirilmesine gidilmiştir. 1980'li yıllarda uçak yapısal elemanlarında ikinci planda tutulan kompozit malzemeler, 1985'li yıllardan temel yapısal elemanlarda temel yapısal elemanlarda artan ve gelişen bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Tablo 2.8' de kompozit malzeme kullanımı ile konvansiyonel malzemelere oranla elde edilen ağırlık kazançları gösterilmektedir (Vatangül,2008).

Tabo 2.8. İleri kompozitlerle uçak elemanı bazında sağlanan ağırlık kazançları

UÇAK TİPİ	ELEMAN	KONVANSİYONE L MALZEME	KOMPOZİT MALZEME	AĞIRLIK KAZ. (%)	YAPIMCI FİRMA
DC-10	İstikamet dümeni	Alüminyum Alaşımı	Grafit /epoksi	26,8	Mc Donnell-
	Düşey kuyruk grubu	Alüminyum Alaşımı	Grafit /epoksi	20,2	Douglas
L-1011	Kanatçık Dikey kuyruk	Alüminyum Alaşımı	Grafit /epoksi	26,3	Lockheed Company
		Alüminyum Alaşımı	Grafit /epoksi	27,9	
Boeing 727	İrtifa dümeni	Alüminyum Alaşımı	Grafit /epoksi	25,6	Boeing
Boeing 737	Yatay kuyruk gr.	Alüminyum Alaşımı	Grafit /epoksi	27,1	
F-III	İrtifa dümeni Kanat hücum kenarı	Alüminyum Alaşımı	Bor /epoksi	27,0	General Dynamics
		Alüminyum Alaşımı	Bor/epoksi	11,0	
F-15	İrtifa dümeni	Titanyum Alaşımı	Bor /epoksi	25,0	Mc Donnell- Douglas
	İstikamet dümeni	Alüminyum Alaşımı	Bor/epoksi	35,0	
F- 14	İrtifa dümeni	Titanyum Alaşımı	Bor/epoksi	42,0 -	Grumman
F-4	İstikamet dümeni	Alüminyum Alaşımı	Bor/epoksi	44,0	Mc Donnell- Douglas
F-5	İniş takım kapakları	Alüminyum Alaşımı	Grafit /epoksi	36,0	Northrop

Bir başka gelişmiş kompozit tipi ise Kevlar aramid/epoksidir. Uçak yapısında oldukça yaygın bir kullanımı söz konusudur. Genellikle karma kevlar-grafit/epoksi yapılar kullanılır. Boeing 767'lerde bu karma yapı kanat hücum kenarı ve motor kaplaması yapılarında kullanmıştır. (Vatangül,2008).

Kevların düşük basma mukavemeti bu karma yapılarda ortadan kaldırılmıştır. Sürekli elyaf takviyeli kompozitlerin uçakların tasarımında geniş bir kullanım sahası söz konusudur. Yukarıda verilen tüm örneklerde görüldüğü üzere bor/epoksi, kevlar/epoksi ve grafit/epoksi uçakların yapısında kullanılan en önemli kompozit çeşitlerindedir.

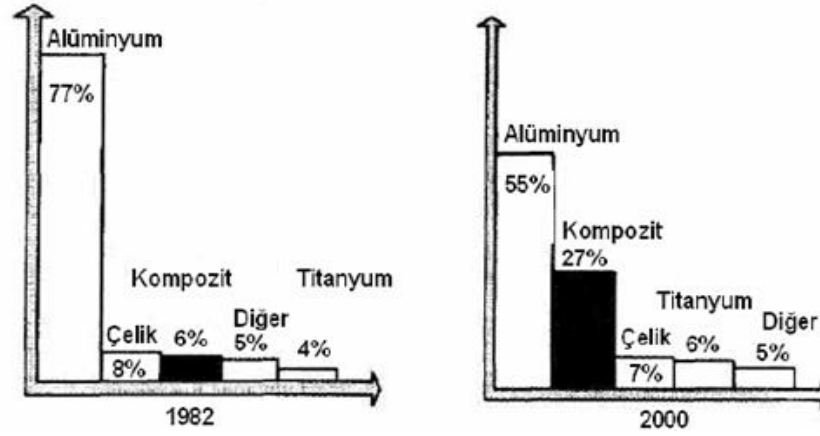
Havacılık sektöründe son yıllarda yapılan çalışmalar sonucunda metal yapı malzemeler yerine kompozit malzemeler kullanımı oldukça artmıştır.

Elyaf Yönünde **: Elyaflara Dik Yönünde

MALZEME	Yoğunluk P/3 (gr/cm)	Elastik Modül E (GPa)	Özgül K. Modül E/p	Çekme Muk. □ç (GPa)	özgül Çek. Muk □ç /p	Maks. Şek. Değ. (%)	
K O N V A N S I	ÇELİK (3140)	7,90	200,0	25	1,85	0,24	11,00
	ALÜM. ASG (6061)T	2,70	70,0	26	0,35	0,13	11,00
	ALÜMİNYUM AU4 1(2024)74	2,80	73,0	26	0,29	0,21	11,00
	ALÜMİNYUM A25G4(7075)T6	2,80	76,0	27	0,45	0,16	11,00
	TİTANYUM T6V	4,40	119,0	27	1,14	0,26	14,00
K O M P O Z İ T	BOR/EPOKSİ	2,10	270,0 *	129 *	2,00 *	0,95 *	6,50 *
	BOR/ALÜMİNYUM	2,70	225,0 **	83 *	1,25 »	0,46 *	10,00 *
	GRAFİT/EPOKSİ	1,70	208,0 10,3 **	122 *	1,34 * 0,03 **	0,79 *	0,78 * 0,29 **
	KARBON/EPOKSİ	1,50	142,0 10,3 **	95 *	1,60 * 0,07 *	1,06 *	1,10 * 0,57 *
	KEVLAR/EPOKSİ	1,35	80,0 * 5,5 *	59 *	1,38 * 0,03 **	1,02 *	1,70 * 0,50 *
	CAM/EPOKSİ	2,20	53,0 * 12,4 **	24 *	1,45 * 0,04 *	0,66 *	2,70 * 0,30 *
	KARBON/ POLYESTER	1,68	127,5 * 7,6 **	76 *	1,52 * 0,04 *	0,9 *	1,20 * 0,53 *
	KEVLAR/ POLYESTE	1,40	76,0 * 5,5 **	54 *	1,20 * 0,02 **	0,86 *	1,60 * 0,40 **
	CAM/ POLYESTER	1,80	39,0 * 9,6 **	22 *	1,13 * 0,02 **	0,63 *	2,80 * 0,21 *

Şekil.2.19.'da uçak tasarımında kullanılmakta olan bazı metal alaşımları ile kompozit yapıların mekanik özellikleri gösterilmektedir.

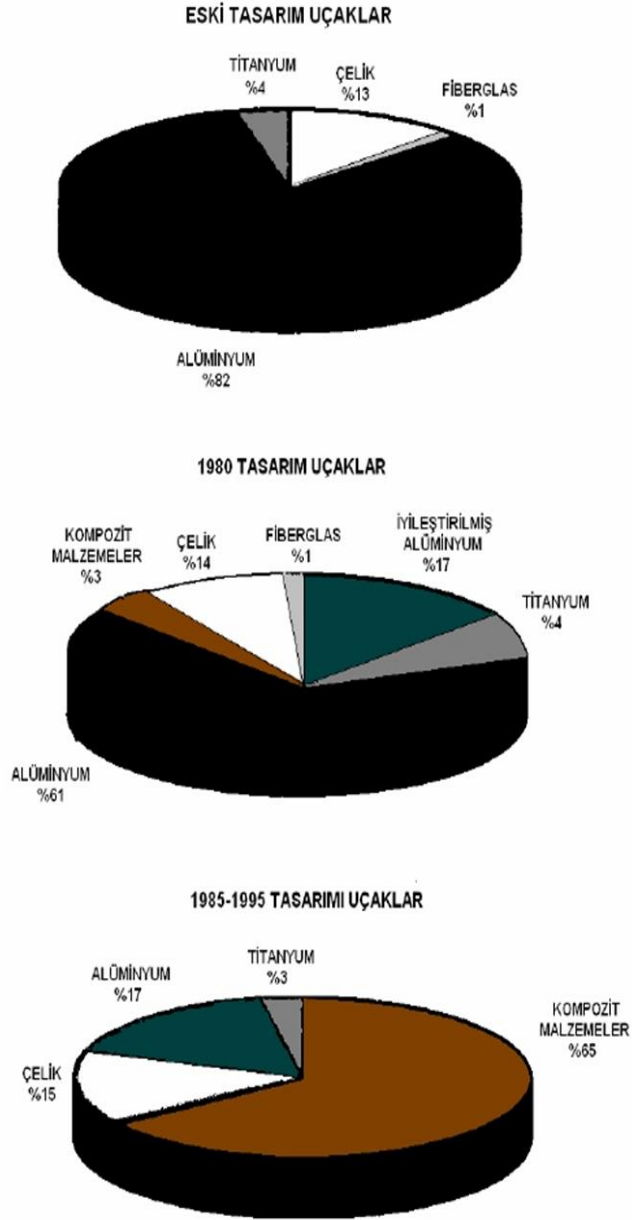
Uçaklarda kullanılan malzeme seçiminde en önemli kıyaslardan biride mekanik özellik ile yoğunluk oranı olarak ifade edilen, özgül mekanik değerleri kıyaslandığında karbon/epoksi ve bor/epoksi kompozitlerin konvensiyonel malzemelerden önemli farklarla üstün oldukları görüle bilinmektedir.



Şekil 2.20. Uçak yapısında kullanılan malzemelerin yıllara göre dağılımı

Havacılık sektöründe kullanılan kompozit malzeme miktarı her geçen gün artmaktadır. Şekil 2.20. de uçak yapısında kullanılan en önemli malzemelerin yıllara göre miktarları verilmektedir. Şekilde görüldüğü gibi 1982 yılında kompozit malzemelerin oranı %6 iken bu oran 2000 yılında %27 gibi büyük bir artış göstermiştir.

Düşük bir yoğunluğa sahip olan kompozit yapıların uçak tasarımında kullanılmasıyla metal yapıya sahip uçaklara oranla ağırlık kazancı sağlanmıştır. Şekil 5.2'de gelişen teknoloji sayesinde, uçak tasarımında kullanılan kompozit malzeme artışı gösterilmektedir (Margolis, 1986).



Şekil 2.21. Uçak malzemelerin kullanım oranlarının yıllara göre değişimi (Margolis, 1986).

1.2.8.11. Basınçlı gaz Tankları

Basınçlı gaz tankları konusunda, farklı yapıdaki malzemeler ile farklı alternatif çözümler bulunur. (Örneğin çelik, alüminyum, cam elyaf takviyeli plastikler gibi.) Kullanım amacına göre istenen yüksek önem ve emniyet faktörlerinden dolayı bu basınçlı tankların ağırlıkları genel olarak kullanılan malzemeye göre birbirinden farklılık gösterir. Bu kap ve tankların kullanım alanları, Gaz ile çalışan otobüs ve kamyonların fren tertibatları, hidrojen ve helyum gibi sıkıştırılmış sanayi gazı taşıyan Tanker treylerler vs. alanlarda

kullanılması ön görülmektedir. Bu yapıların çoğunda aynı boyuttaki kompozit malzemeden imal edilmiş kap ve tankların bütünü ile çelik olan kaplara kıyasla çok daha hafif oldukları ve bu hafiflik başta taşınma ekonomikliği olmak üzere kompozit malzemelerin üstünlüğünü sağlamıştır. Metal esaslı malzemeden üretilmiş gaz taşıyan bir tankerin şase ağırlığı, cam elyafla imal edilmiş bir tankere oranla %35 daha fazladır. Bu oran cam elyafla imal edilmiş gaz tankerinin, çelik gövdeli tankere oranla yaklaşık iki kat daha fazla gaz taşıyabileceğini gösterir ki buda işletme masrafı zaman ve yakıttan tasarrufu, çevre kirliliği vs. konularda ne kadar avantajlı ve önemli olduğunun göstergesidir (URL-6,2015).

1.2.8.12. Deniz Endüstrisi

Deniz Endüstrisi Kompozit malzemeler, korozyon direncinin iyi olması, hafifliği, yakıt tasarrufu sağlaması, hızlı hareket olanağı sağlaması ve daha konforlu olmasından dolayı deniz endüstrisi uygulamalarında çok çeşitli uygulama alanları vardır. Kompozit malzemeler, gemi, yat, yolcu feribotları, deniz botları, can simidi vb. Ürünlerin üretiminde kullanılırlar. Deniz endüstrisinde kullanılan kompozit malzemeler genellikle cam takviyeli plastik kompozitlerdir (Mazumdar, 2002).



Resim 2.4. Kompozit Malzemelerin Deniz Taşıtlarında Kullanımı

1.2.8.13. Tüketici Eşya Endüstrisi

Kompozit malzemeler tüketici eşya üretiminde çok geniş uygulama alanları vardır. Kompozit malzemeler dikiş makineleri, kapılar, küvetler, masalar, bilgisayarlar, yazıcılar vb. ürünlerin üretiminde kullanılırlar. Bu ürünlerin parçalarını çoğu kısa fiber kompozit

malzemeler olup hazır kalıplama ve enjeksiyon kalıplama yöntemleriyle üretilirler (Mazumdar, 2002).

1.2.8.14. Spor ve Eğlence Endüstrisi

Spor ve eğlence endüstrisinde kompozit malzeme kullanımı çok yaygındır. Kompozit malzemeler diğer malzemelere göre hafif, mukavemetli iyi, titreşim özellikleri iyi olmasından dolayı tercih edilirler. Kompozit malzemeler golf sopaları, yarış botları, tenis raketleri, kayak, balık oltaları, bisiklet vb. ürünlerin üretiminde kullanılırlar (Mazumdar, 2002).

1.2.8.15. Diğer kullanım alanları

Kompozitlerin kullanım alanları çok geniştir ve gün geçtikçe daha da genişlemektedir. Çünkü kompozit malzemeler doğal malzemeler değildirler, bileşik malzemelerdir. Kullanım yerine ve özelliklerine göre kompozit malzeme geliştirilebilir. Kompozit malzemeler, köprü yapımında, rüzgâr türbinleri, basınçlı gaz kapları, biomekanik uygulamalar, nükleer reaktörler boru tesisatları, dişli çarklar, batarya ızgaraları, Motorlar, elektrik kontak malzemeleri, spor malzemelerinin üretimi (kayak, tenis raketleri), dişli çarklar, karoseri elemanları, depolar , yapı işleri, deniz araçları yapımında, özel takımlar, kamyon yaprak yayları, nükleer reaktörler, sürünme dirençli manyetik malzemeler, elektrik elemanları, ısıtıcılar gibi geniş kullanım alanlarına sahiptirler (URL-6,2015).

1.2.9. Vakum İnfüzyon Yöntemi

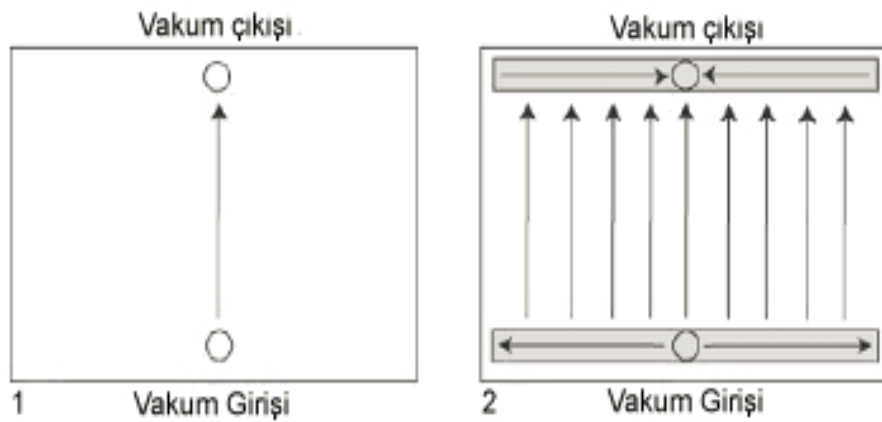
Vakum infüzyon yöntemi 1980'li yıllardan beri başta A.B.D. başta olmak üzere dünyada, farklı birçok sanayi dallarında uygulanmakta olan bir kompozit üretim yöntemidir. Vakumlanmış ortam içerisinde reçinenin ilerlemesi prensibiyle çalışan bu yöntemde, üretim hazırlıkları tamamlanmış ürüne el değmeden ürün imalatı amaçlanmaktadır. Çoğu zaman karmaşık yapılara sahip kompozit elemanların üretimi için kullanılan bu yenilikçi metotta, malzemelere emdirilen reçinenin uygun viskoziteli olması önemlidir. Dar aralık ölçülerinin ve uzun akış yollarının söz konusu olduğu yerlerde reçinenin mümkün olduğu kadar kısa zaman da güçlendirilmesi için elyaflarına emdirilmesi gerekmektedir. Genel olarak; epoxy, polyester ve vinylester reçineler kullanılır. Bilinen klasik elyaflar bu yöntemde kullanılabilir. Birbirlerine önceden dikilmiş

elyaf tabakalarının kullanımı durumunda bu yöntemler daha iyi sonuçlar verir. Ayrıca sandviç kompozit üretiminde; bal peteği (honeycomb) dışındaki core (çekirdek) malzemelere de uygulanabilirler (Durgun, 2014).



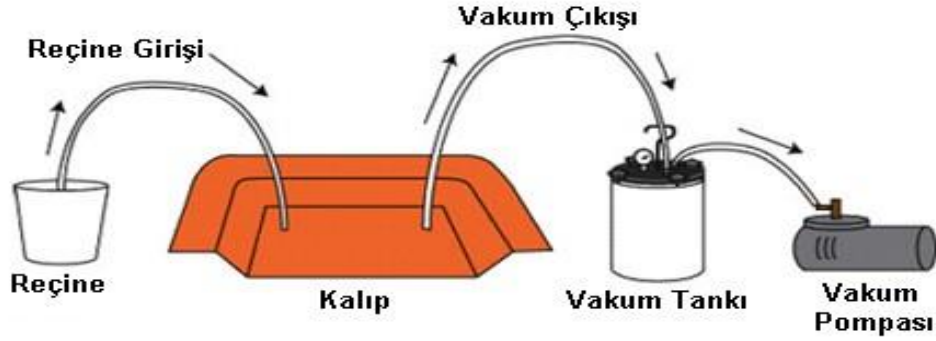
Resim2.5. Kompozit malzemelerin köprü kirişlerinde kullanımı

İnfüzyon yönteminin genel sistemi aynı olmakla beraber uygulama yolları farklılıklar göstermektedir. Sistemin en genel tanımıyla; kapalı ortam içinde reçinenin vakum deliğine doğru ilerlemesi olan infüzyonun genel görünümü Şekil 2.22'deki gibidir.



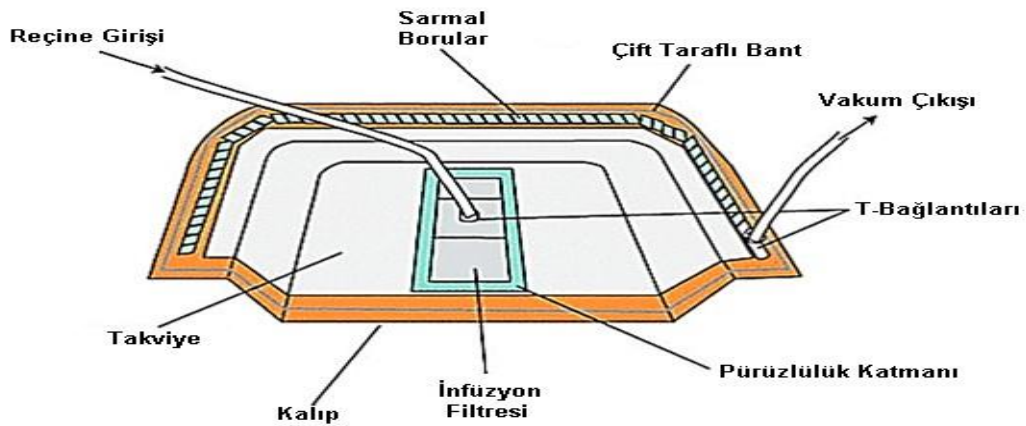
Şekil 2.22. İnfüzyonun genel görünümü

İnfüzyon yöntemi dört bölümden oluşturmaktadır: Vakum pompası, vakum tankı (reçine toplama tankı), kalıp ve reçine kovası (Şekil 2.23). Bu dört bölümün bağlantıları ve şekilleri değişebilir fakat genel sistem mantığı hep aynıdır (Durgun, 2014).

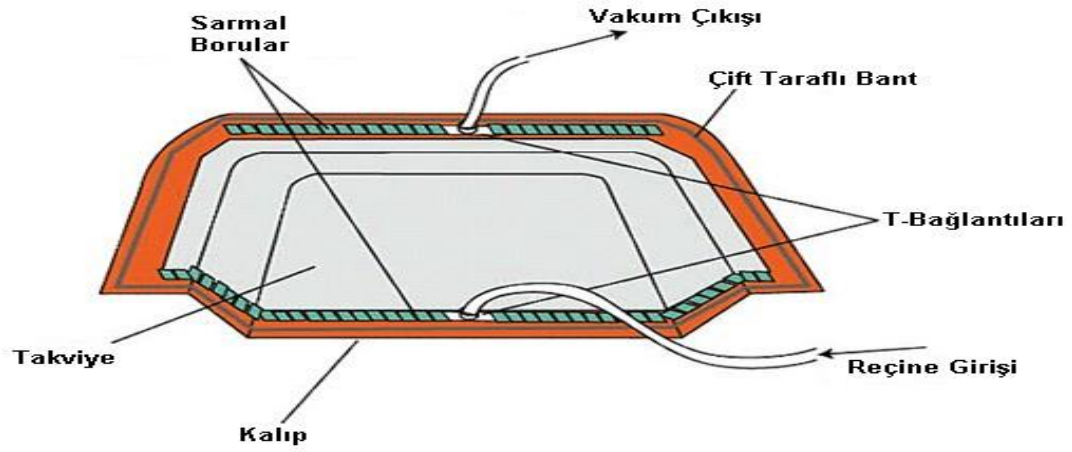


Şekil 2.23. Vakum infüzyon yönteminde kullanılan elemanlar

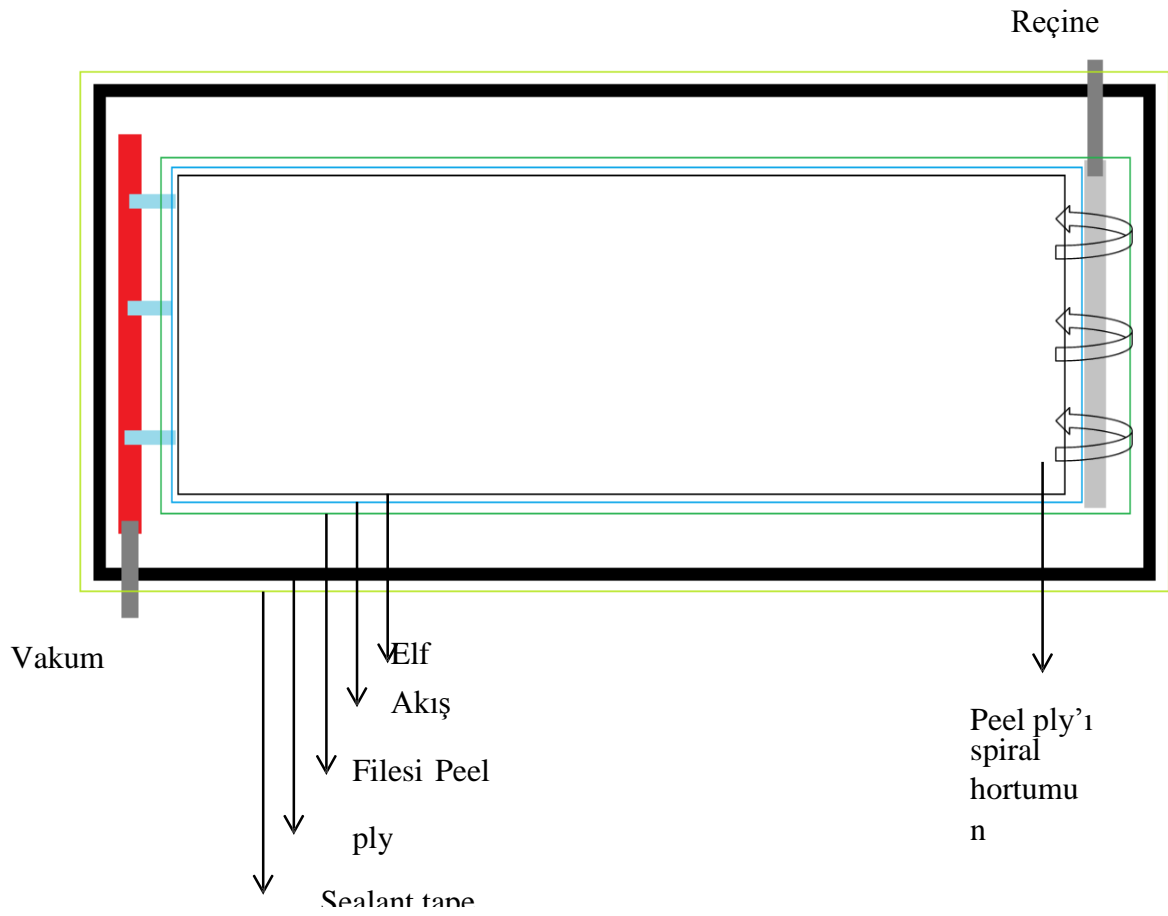
İki tip vakum infüzyon prosesi mevcuttur ve bu proseslerde sadece reçinenin kalıba girdiği yer değişmektedir. Şekil 2.24'da etrafından vakumlanıp ortasından reçine verilen bir ürün imalatı görülmektedir. Şekil 2.25'de ise aynı ürün farklı bir yolla imal edilmektedir. Bu sefer vakum ve reçine hatları karşılıklı olarak yerleştirilmiş ve ürün imalatı bu şekilde yapılmaktadır (Durgun, 2014).



Şekil 2.24. Etrafından vakumlanıp reçinenin ortadan verildiği vakum infüzyon sistemi



Şekil 2.25. Vakum ve reçine hatlarının karşılıklı yerleştirildiği vakum infüzyon sistemi



Şekil 2.26. Vakum infüzyon yönteminin şematik olarak gösterimi.

1.2.9.1 Yöntemin Avantajları

İnfüzyon yönteminin kullanılan diğer kompozit imalat yöntemlerine göre bazı avantajları vardır. Bu avantajları şu şekilde sayabiliriz;

- Düşük reçine /elyaf karışım oranı, elle yatırma yöntemindeki %30 elyaf %70 reçine kullanım oranı, infüzyon yönteminde tam tersine dönüp, %30 reçine,%70 elyaf kullanım oranını vermektedir. Buda malzemenin yapısını daha çok sağlam olmasına ve malzemenin uzun yıllar boyunca kullanılmasına olanak sağlar. Tutarlı Reçine kullanımı, İnfüzyon yönteminde harcanan reçine miktarı, aynı şartlar altında üretilen her üründe için aynıdır. El yatırmasında olduğu gibi kişilere bağlı farklı malzeme tüketimi olmamaktadır.
- Homojen ürün eldesi, infüzyonla ürün eldesin de reçinenin elyaf yüzeyine dağılımı ve emilimi aynı miktarda olduğundan reçine birikmeleri veya elyaf katlanmaları meydana gelmez bu da malzemenin yapısında ve görüntüsünde homojenlik sağlar.
- Temiz imalat, vakum naylonuyla üzeri kapatılmış olan elyaf katlarına reçine ilavesi naylonun altından boru yardımı ile yapıldığından, ürün yüzeyine ve çevreye reçine bulaşması gerçekleşmez, reçinenin ve tepkime sonucunda ürün yüzeyinde oluşan gazların da etrafa yayılması engellenir.
- Tek taraflı bir kalıba ihtiyaç vardır Kalıbın yüksek mukavemetli bir malzemedden yapılmasına gerek yoktur Kalıp ve üretim maliyeti RTM' ye oranla daha düşüktür. Büyük parçalar bu yöntem ile üretilir El yatırma yönteminde kullanılan kalıplar bu yöntem için modifiye edilerek kullanılabilir (Durgun, 2014).

1.2.9.2 Yöntemin Dezavantajları

Diğer basit yöntemlere göre kullanılan ekipman sayısı fazla olduğundan daha yüksek iş gücü gerektirir ve bu sebeple de maliyet artar. İşlem basamakları kısmen karmaşıktır. Düşük viskoziteye düşük reçine kullanımı mekanik özellikleri olumsuz etkileyebilir Reçine ile ıslanmamış bölgeler kalabilir; bu da pahalı atık malzeme demektir (Durgun, 2014).

2. MATERYAL VE METOT

2.1. İnfüzyon Yöntemiyle Malzeme Üretme Tezgahı

Tezgâhın yapımı, projemiz kapsamında olup Türkiye piyasasından yaptığımız mali ve teknik incelemeler sonucunda daha verimli ve daha ekonomik bir tezgah yapımı için gerekli tüm ekipmanları tarafımızdan tedarik edilerek imalat ve montajı tarafımızdan yapılmıştır. Temperli yüzey camı ve alttan homojen ısı yayan ısı havuzu ile emsallerinden bir adım öndedir. Tezgah; 1,500x1,500x1,00 metre ölçülerinde olup MDF malzemeden şase ve dış yüzeyi oluşturmaktadır. Kompozit üretim alanı olan üst yüzey 800 C ısıya dayanıklı 10 mm kalınlığında temperli (termo cam) camdan oluşmaktadır. Bu cam yüzey alttan 5 adet 3000 w çubuk ısıtıcılı içi mermer tozu ile doldurulmuş ısı havuzu ile homojen şekilde alttan ısıtılmaktadır. İnfüzyon için gerekli vakumu ise 130 litre/dak kapasiteli, Maksimum 2 Pa vakum seviyeli, 1/3 HP gücüne sahip vakum pompası tarafından sağlanmaktadır. Tezgahımız 380 Volt sanayi elektriği çalışmaktadır bir adet pako şalter, acil durum emniyet kumandası görevi görüp bunun yanında 40 Amp grup otomat sigorta ile sistem koruma altına alınmıştır. Tezgâhın alt kısmında bulunan ısı havuzunun orta noktasına termostat sensörü yerleştirilmiş olup homojen bir şekilde yayılan sıcaklığı kontrol etme imkanımız bulunmaktadır. Bu sayede üretilen numunelerin eşit sıcaklık altında imalatı yapıp değerlendirilmesi bu hassasiyetler kadar gerçeğe yakın olacaktır. Tezgahın imalat yüzeyinin temperli camdan olması yüzey kalitesi ve sonrasında temizlik işleri açısından da avantaj sağlamaktadır, ayrıca bu cam yüzey çok tabakalı malzemelerin infüzyonunda da alttan aydınlatma vasıtasıyla emilimin takip edilmesini kolaylaştırmaktadır.



Resim 2.2. Vakum infüzyon tezgahı

2.2. Kullanılan Deney Malzemeleri

2.2.1. Kevlar Fiber Ürünler

Kevlar kelimesi bir çeşit naylon olan aromatik poliamid'den gelmektedir.

Farklı uygulamaların ihtiyaçlarını karşılamak için birçok farklı özellikte Kevlar elyafı üretilmektedir.

Önemli özellikleri;

- Yüksek dayanıklılık
- Yüksek darbe dayanımı
- Yüksek aşınma dayanımı
- Yüksek yorulma dayanımı
- Yüksek kimyasal dayanım
- Kevlar elyafı kompozitler Cam elyafı kompozitlere göre 35% daha hafiftir
- E Cam türü elyaflara yakın basınç dayanıklılığı
- Genellikle rengi sarıdır
- Düşük yoğunluktadır.

Dezavantajlar şöyle sıralanabilir;

- Bazı tür kevlar elyafi ultraviyole ışınlarla maruz kaldığında bozulma göstermektedir.
- Sürekli karanlıkta saklanmaları gerekmektedir.
- Elyaf lar çok iyi birleşmeyebilirler. Bu durumda reçinede mikroskopik çatlaklar oluşabilir. Bu çatlaklar malzeme yorulduğunda su emişine yol açmaktadır.

Genellikle polimer matrisler için takviye elemanı olarak kullanılan kevlar elyafının bazı kullanım alanları;

- Balistik koruma uygulamaları; Askeri kasklar, kursun geçirmez yelekler
- Koruyucu giysiler; eldiven, motosiklet koruma giysileri, avcılık giysi ve aksesuarları
- Yelkenliler ve yatlar için yelken direği
- Hava araçları gövde parçaları
- Tekne gövdesi
- Endüstri ve otomotiv uygulamaları için kemer ve hortum
- Fiber optik ve elektromekanik kablolar
- Debriyajlarda bulunan sürtünme balatalarında ve fren kampanalarında
- Yüksek isi ve basınçlarda kullanılan conta, salmastra vb.

En çok bilinen ve kullanılan aramid elyafi Dupont firmasının tescilli ismi olan Kevlar'dır (URL-7,2015).

2.2.2. Karbon Fiber Ürünler

Karbon lifi ilk defa karbonun oldukça iyi bir elektrik iletkeni olduğu bilinmesinden dolayı üretilmeye başlanmıştır. Cam elyafının, metale kıyasla rijitliğinin minimum seviyelerde olmasından dolayı rijitliğin 3-5 kat yükseltilmesi çok belirgin bir amaçtı. Karbon elyaf ları çok yüksek ısı işlem uygulandığında elyaf lar tam manasıyla karbonlaşırlar ve bu elyaf lara grafit elyafi denir. Bugün ise bu fark ortadan kalkmıştır. Artık grafit elyafi da karbon elyafi da aynı malzemeyi tanımlar. Karbon elyafi epoksi matrisler ile bir araya getirilerek birleştirildiğinde olağanüstü dayanıklılık ve sertlik

özellikleri göstermektedir. Karbon fiber üreticileri sürekli bir gelişim içerisinde ki çalışmalarından dolayı karbon elyaflarının çeşitleri sürekli değişiklikler göstermektedir. Karbon elyaflarının üretimi çok pahalı olduğu için ancak spor gereçlerinde veya tıbbi malzemelerde, uçak sanayisinin yüksek değerli uygulamalarında kullanılır (URL-7,2015).

Karbon elyafları piyasada 2 biçimde bulunmaktadır:

Sürekli Elyaf:

Örgü, dokuma, tel bobin, tek yönlü bantlarda, uygulamalarında ve prepreg'lar da kullanılmaktadır. Bütün reçinelerle kombine etmek mümkündür. (URL-7,2015)

Kırılmış elyaf:

Genellikle enjeksiyon kalıplamada, makine parçaları, basınçlı kalıplarda ve kimyasal valf yapımında kullanılmaktadırlar. Elde edilen ürünler mükemmel yorgunluk ve korozyon dayanımının yanı sıra yüksek sağlamlık ve sertlik özelliklerine de sahiptirler.

Karbon elyafı genellikle iki malzemeden elde edilir; Zift, Pan (Poliakrilonitril)

Zift tabanlı karbon elyafları göreceli olarak daha düşük mekanik özelliklere sahiptir. Buna bağlı olarak yapısal uygulamalarda nadiren kullanılırlar. PAN tabanlı karbon elyafları kompozit malzemeleri daha sağlam ve daha hafif olmaları için sürekli geliştirilmektedir. PAN'ın karbon elyafına birbirini takip eden dört aşamada dönüştürülmektedir;

- Oksidasyon: Bu aşamada elyaflar hava ortamında 300 derecede ısıtılır. Bu işlem, elyaftan H'nin ayrılmasını daha uçucu olan O 'nin eklenmesini sağlar. Ardından karbonizasyon aşaması için elyaflar kesilerek graphite teknelerine konur. Polimer, merdiven yapısından kararlı bir halka yapısına dönüşür. Bu işlem sırasında elyafların rengi beyazdan kahverengiye, ardından siyah olur.

- Karbonizasyon: Elyafların yanıcı olmayan atmosferde 3000° C'ye kadar ısıtılmasıyla liflerin 100% karbonlaşma sağlanması aşamasıdır. Karbonizasyon işleminde uygulanan sıcaklık üretilen elyafın sınıfını belirler.
- Yüzey İyileştirilmesi karbonun yüzeyinin temizlenmesi ve elyafın kompozit malzemenin reçinesine daha iyi yapışabilmesi için elektrolitik banyoya yatırılır.
- Kaplama; Elyaf sonraki işlemlerden (prepreg gibi) korumak için yapılan nötr bir sonlandırma işlemidir. Elyaf reçine ile kaplanır. Genellikle bu kaplama işlemi için epoksi kullanılır. Kompozit malzemede kullanılacak olan reçine ile elyaf arasında bir ara yüz görevi görür.

Karbon elyafının tüm diğer elyaflara göre en önemli avantajı yüksek modülüs özelliğidir. Karbon elyafı bilinen tüm malzemelerle eşit ağırlıklı olarak karşılaştırıldığında en rijit malzemedir (URL-7,2015).

2.2.3. Aramid Fiber Ürünler

Karbon ve aramidin üstün özelliklerinden bir arada faydalanmak için lifli örgü şeklinde melez kumaşlar üretilmiştir. Karbon aramid kumaşlar yüksek mukavemetli, aşınma direnci, korozyon direnci, iyi iletkenliği, yüksek sıcaklık direncine sahiptir. (URL-7,2015)

2.2.4. Cam Fiber Ürünler

Silika, kolemanit, alüminyum oksit, soda gibi cam üretim maddelerinden üretilmektedir. Cam elyafı, elyaf takviyeli kompozitler arasında en bilinen ve kullanılanıdır. Cam elyafı özel olarak tasarlanmış ve dibinde küçük deliklerin bulunduğu özel bir ocaktan eritilmiş camin itilmesiyle üretilir. Bu ince lifler soğutulduktan sonra makaralara sarılarak kompozit hammaddesi olarak nakliye edilir. Özellikle cam elyafı ile matris arası yapışma gücünü arttıran "sılan" bazlı ve elyaf üzerinde ince film oluşturan kimyasalların sonra kullanım sahaları artmıştır. Elyaf lar işlem sırasında dayanıklılıklarının %50'sini kaybetmelerine rağmen son derece sağlamdırlar. Cam elyafı halen aramid ve karbon elyaf larından daha yüksek dayanıklılık özelliğine sahiptir. Elyaf kumaşları genellikle sürekli cam elyafının lifleri ile üretilmektedir. İşlemler sırasında değişik kimyasalların

eklenmesi ve bazı özel üretim yöntemleri ile farklı türde cam elyafı üretilmektedir (URL-7,2015).

A Cam - Pencerelerde ve şişelerde en çok kullanılan cam çeşididir. Kompozitlerde çok fazla kullanılmaz.

C Cam - Yüksek kimyasal direnç gösterir. depolama tankları gibi yerlerde kullanılır.

E Cam - Takviye elyaflarının üretiminde en çok kullanılan cam türüdür. Düşük maliyet, iyi yalıtım ve düşük su emiş oranı özelliklerine sahiptir. Türkiye’de Şişecam Grubuna bağlı olan Cam Elyaf Sanayii A.S. tarafından E cam elyafı üretilmektedir. Hem yurtiçine, hem yurt dışına satış yapan firmadan doğrudan veya bayileri aracılığıyla ürün satın almak mümkündür. 1976’dan beri faaliyet gösteren firma Avrupa’nın önemli elyaf üreticilerinden biridir.

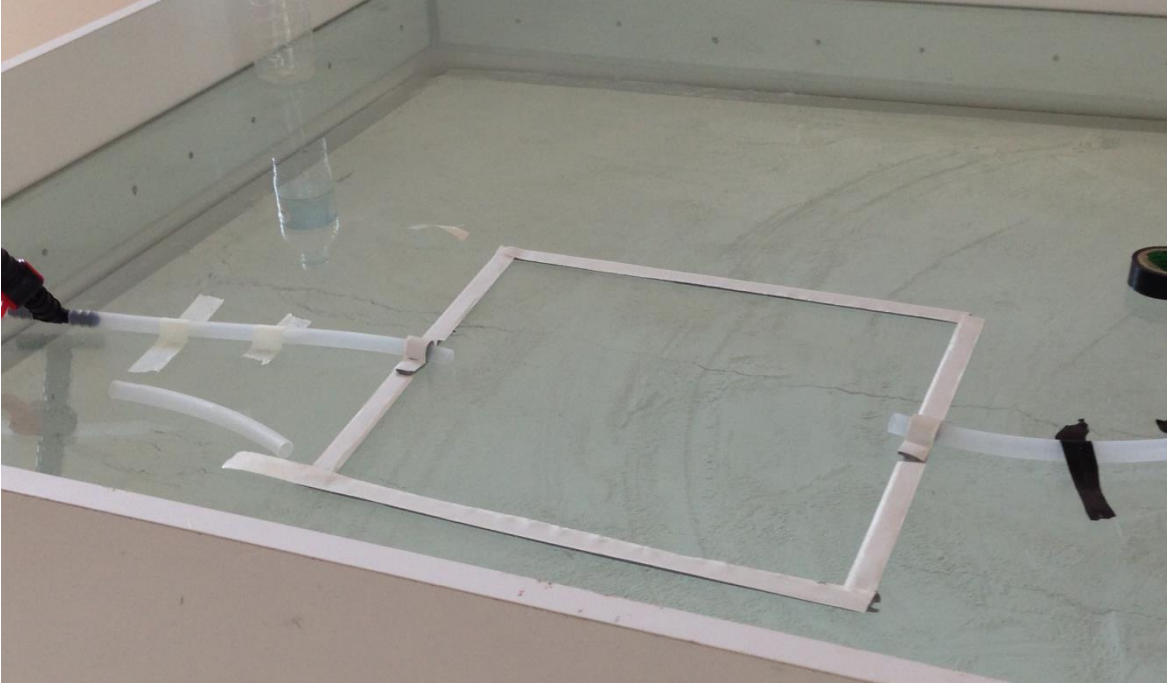
S + R Cam - Yüksek maliyetli ve yüksek performanslı bir malzemedir. Yalnız uçak sanayisinde kullanılır. Elyaf içindeki tellerin çapları E Cam’ın yarısı kadardır, böylelikle elyaf sayısı fazlaşır dolayısıyla birleşme özelliklerinin daha güçlü olması anlamına gelen daha sert yüzey elde edilebilmektedir. Cam elyafının kullanım amacına bağlı olarak elyaf sarma biçimleri farklı olabilir. Elyaf çapı ve demetteki lif sayısı farklılaşabilir. Cam elyafı biçimlendirildikten sonra yıpranmaya dayanımın artması için kimyasallarla bir kaplama işlemi yapılır. Kaplama malzemesi olarak genellikle elyafın kompozit malzemeye uygulanmasından önce kolaylıkla kaldırılabilen ve suyla çözülebilen polimerler kullanılmaktadır. Elyaf ile reçinenin birbirine iyi yapışması çok önemlidir. İyi yapışmaktan dolayı birbirinden kayan takviye malzemesi ve matris, kompozit malzemenin sertliğini ve sağlamlık performansını düşürür. Bu durumun engellenmesi için elyaf kimyasallarla kaplanır. (URL-7,2015)

2.3. Deneysel Yöntem

2.3.1. Üretim Aşamaları

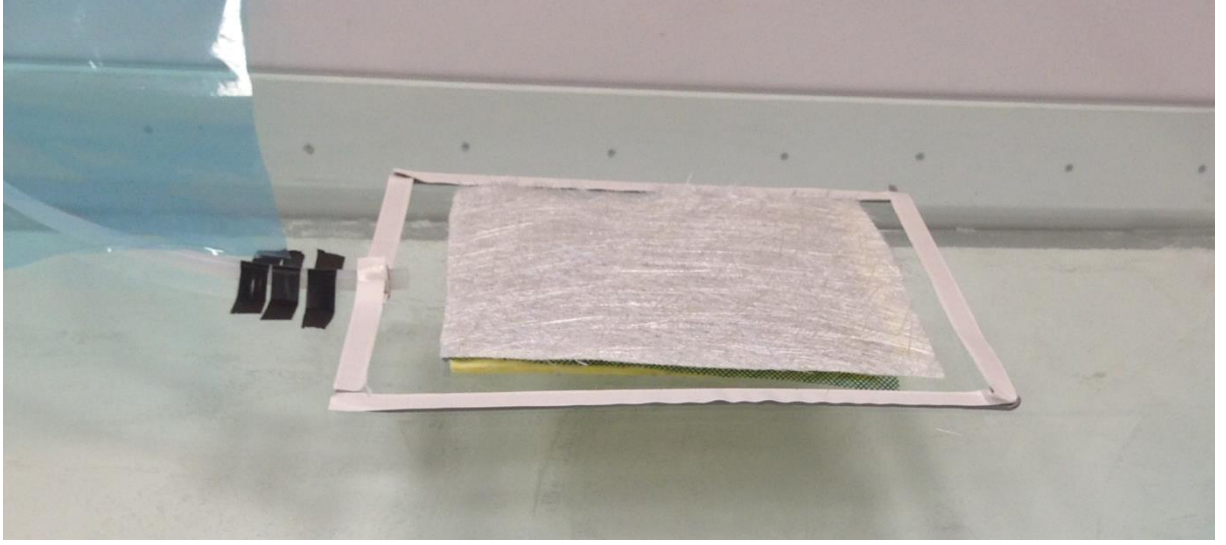
Üretim Aşamaları: Öncelikle tezgahın imalat yüzeyinin temizlik kontrolü, ısı havuzu, vakum pompası, termostat, termometre, vana ve valflerin kontrolü yapılarak, imalatın yapılacağı ısı derecesini ayarlayarak tezgahın ısınıp sabit ısı değerine ulaşınca; üretilmek istenen boyutlarından en az 50’şer mm geniş bir alanın etrafına çift taraflı

yapışkan bantlarla Resim 3.3.' de gösterildiği biçimde yapıştırılır. Örnek olarak; 300 x 300 mm'lik bir parça için 350 x 350 mm'lik alanın etrafı bant ile kaplanır.



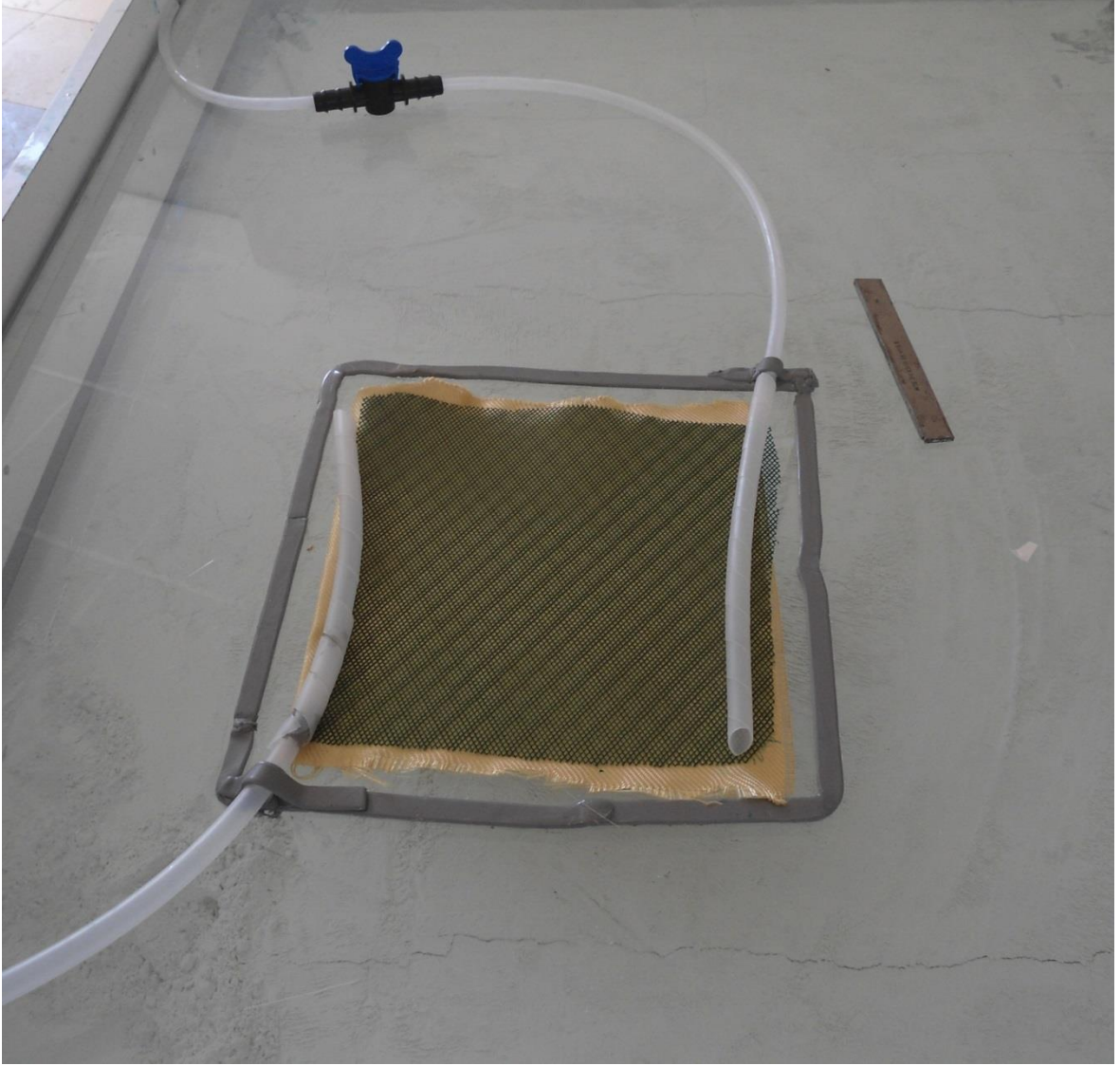
Resim 2.3. Vakum infüzyon tezgahının üretim alanı

- Bantın içinde kalan alana, toz bırakmayan ve çok yumuşak olmayan bir bezle kalıp ayırıcı sürülür. 3 kat kalıp ayırıcı sürülmesi yeterlidir. Sürerken kademe kademe sürülmesi gerekmektedir. İlk kat sürüldükten sonra, 5 dk kuruması beklenir, ikinci kat sürüldükten sonra bir 5 dk daha kuruması için beklenir ve en son kat sürülür.
- Elyaf lar istenen tasarıma göre kesilir. Örneğin 300 x 300 mm boyutlarında bir plaka üretilmek istenirse, kesilecek elyaf boyutları kenarlardan 10' ar mm paylı kesilmelidir. Yani kesilecek elyaf boyutları en az 310 x 310 mm olmalıdır.
- İstlenen tasarıma göre kesilmiş elyaf lar üst üste sıralı bir biçimde vakum alanına serilir, Bu sıralama çekme gerilmesi açısından önemli olmasa da eğilme, burulma dayanımları açısından son derece önemlidir.

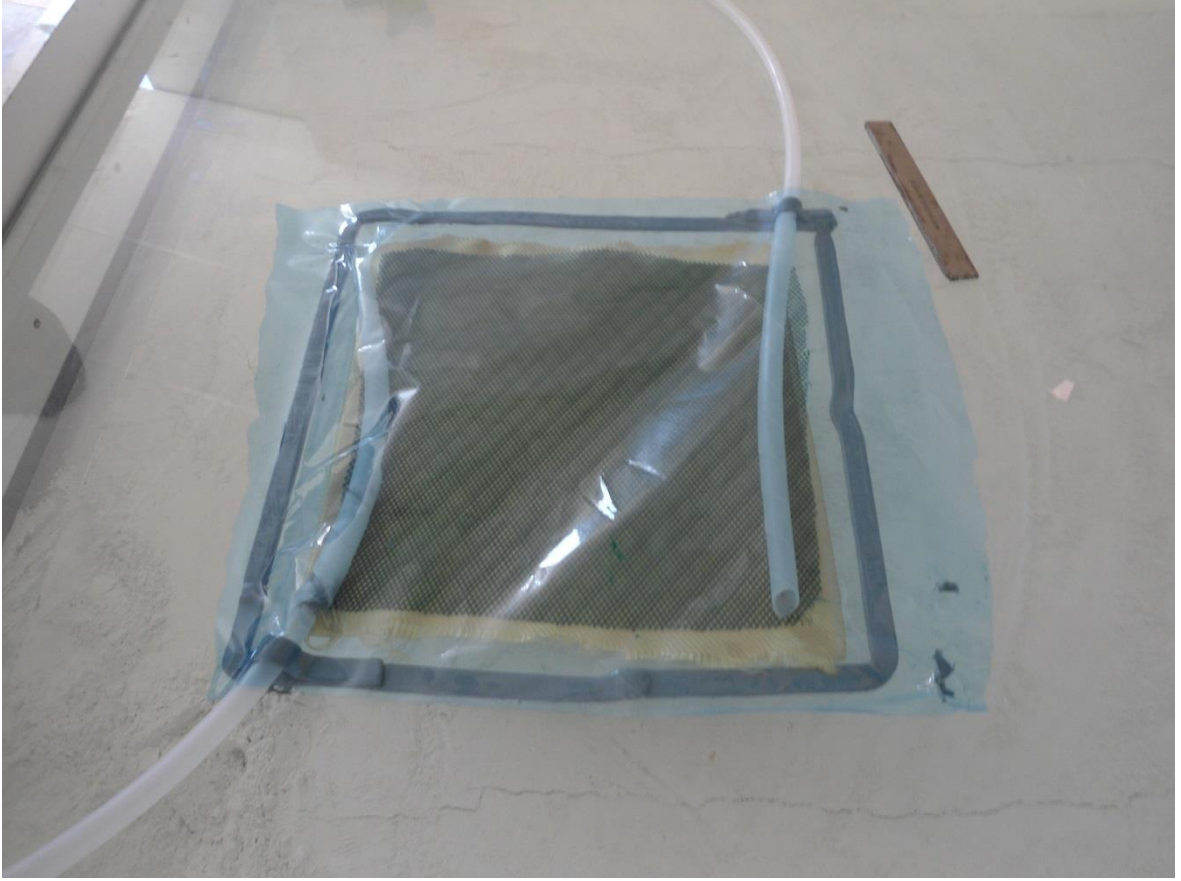


Resim 2.4. Vakum infüzyon tezgahında (kevlar, aramid, cam elyafı) tabakalı numuneler

Wax' lanan (kalıp ayırıcı) bölgeye yerleştirilen elyafların üzerine yayıcı film serilir. Yayıcı film kesilirken 3 kenardan 20'şer mm ve diğer kenardan (reçine hattı) 60 mm fazla olacak şekilde kesilmelidir. Yayıcı film (Peel ply) reçinenin akışını kolaylaştırdığı gibi üretilen malzemenin kalıptan ayrılmasında da kolaylık sağlamaktadır. Peel ply serildikten sonra, reçine tankından reçinenin akışını sağlayacak reçine hattı kurulur. Reçine hattı için spiral hortum ve normal şeffaf hortum kullanılır. Şeffaf hortum bir ucundan spiral hortuma bağlanır, bu spiral hortum sargı şeklinde delikli ve vakumun spiral boyunca oluşmasını sağlayarak infüzyonun dengeli ilerlemesini sağlar, Şekil 3.5. 'te bu hortumun yerleştirilmesi ve şekil 3.6.'da vakuma hazır vakum torbası ile kaplanmış hali görülmektedir.



Resim 2. 5. Spiral hortumun peel ply üzerine konulması



Resim 2. 6. Yayıcı filenin peel ply'a serilmesi

- Vakum hattı reçine hattının tam karşı kenarına kurulur.



Resim 2. 7. İnfüzyon ile reçine emdirilmesi

- Vakum infüzyon düzeneğine vakum göstergesi bağlanır ve vakum pompası açılır. Vakum torbasında kaçak olup olmadığı vakum göstergesi, görsel ve işitsel olarak kontrol edilir.
- Reçine geçişini sağlayacak portlar düzenek üzerine bağlanır.
- Tezgahın istenen ısı değerine ulaşıncaya kadar beklenir ve ısı ayarı sabit tutulur.

2.3.2. Reçine Yapılması

2.3.2.1. Deneyleerde Kullanılan Reçinenin Hazırlanması

- Gerekli reçine miktarı hazırlanır, bu miktar hazırlanırken hortum içinde kalacak miktarda hesaba katılır. Bu ürün için epoxy reçine kullanılmıştır, kullanılacak olan reçinenin % 4'ü kadar sertleştirici ve % 8'i kadar pigment eklenir.
- Deneylelerimizde 300 ml epoxy reçine Hexion LR 285 reçine ve $300 \times 0.04 = 12$ ml Nutanox M-50 sertleştirici, $300 \times 0,08 = 24$ ml pigment $300 \times 0.06 = 18$ ml Akcobalt CX1-6 kobalt (hızlandırıcı) toplamda $300 + 12 + 24 + 18 = 354$ ml karışım kullanılmıştır

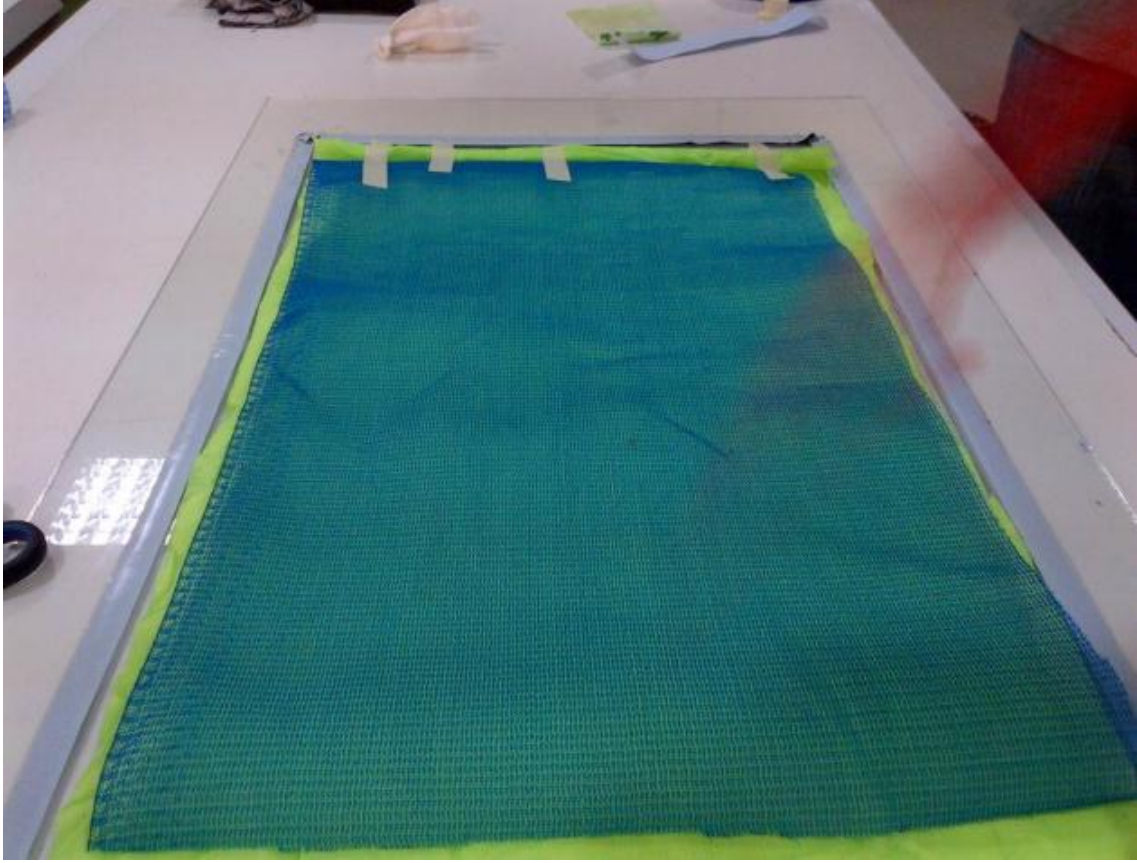
- Toplamda 354 ml olan ve ilk başta heterojen biçimde bulunan karışım, 2 dk boyunca karıştırılarak iyice homojen hale getirilir.

2.3.2.2. Numuneye Reçinenin Emdirilmesi

- Hortumlar portlara takılarak reçine akışına başlanır. Kalıbın her noktası reçine ile ıslanana kadar işleme devam edilir. En son kalıbın köşe noktaları ıslanır. Tüm noktalar ıslandıktan sonra tüm reçine besleme hatları vana veya klemp ile kapatılır. Bu infüzyon işlemi sırasında tezgaha alttan ısıtma sistemiyle 50 C ısı altında infüzyon bitip kuruma tam sağlanıncaya kadar (deneylerimizde 2 saat olarak yapılmıştır) ısıtmaya devam edilir.

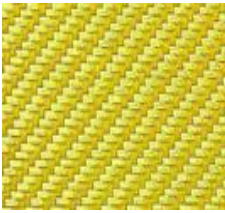
2.3.2.3. Numunenin Kalıptan Çıkarılması ve Numunelerin Hazırlanması

- Parça, vakum altında tamamen sertleşene kadar yaklaşık 2 saat 50 C ısı altında beklenir. Bu iki saatlik beklemeden sonra sızdırmaz bant ayrılarak, önce torba kalıptan sökölür ve reçine akış hatları temizlenir. Daha sonra parça kalıptan çıkarılır. Üretilen numunenin yüzeysel olarak hava kabarcığı olup olmadığı reçinenin homojen yapıda dağılmış olup olmadığı gözle kontrol edilerek, kullanılan elyaf türüne göre markalanarak çekme deneyi için çekme numunesi hazırlanır.

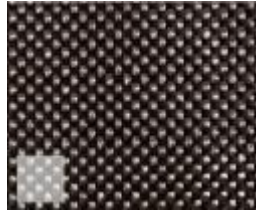


Resim 2.8. Reçine akışı için tabakaların hazırlanması

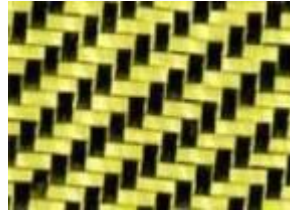
2.4. İnfüzyon Yöntemiyle Üretilen Numuneler



Kevlar



Karbon



Aramid



Cam Elyaf

Şekil.2.6. Deney için numunelerde kullanılan fiber elyaflar

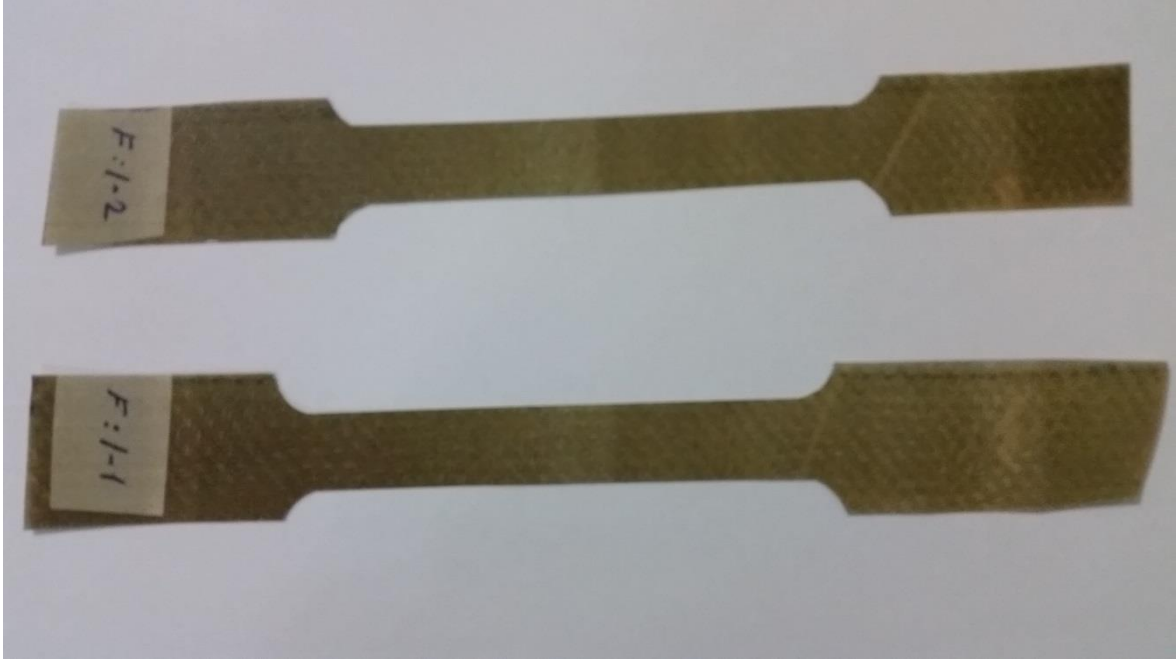
- Kompozit Kevlar çekme numunesi üretimi (F:1)
- Kompozit Aramid çekme numunesi üretimi (F:2)
- Kompozit Karbon çekme numunesi üretimi (F:3)
- Kompozit Karbon-Aramid Fiber çekme numunesi üretimi (F:4)
- Kompozit Kevlar -Aramid-Cam Fiber çekme numunesi üretimi (F:5)
- Kompozit Karbon-Aramid- Cam Fiber- Kevlar Tabakalı çekme numunesi (F:6)

2.4.1. Numunelerin Çekme deneyi İçin Hazırlanışı

Numuneler kalıplardan çıkarılıp kontrolleri yapılarak çekme deneyi için ölçülerinde kesilerek şerit taşlama ile çapak ve çentikler yok edilmiştir. Numuneler mukavemet ve aşınma direnci açısından yüksek değerlere sahip olduklarından şerit taşlamadan sonra 0,00 (Yüzde) hassasiyetli kumpas ile son ölçüleri alınarak çekme misinasına değerler girilmiştir.

2.4.2 Numunelerin Markalanması

Numuneler ihtiva ettiği fiberlere göre etiket ile markalanarak her numuneden iki adet çekme testine tabii tutulmuştur.



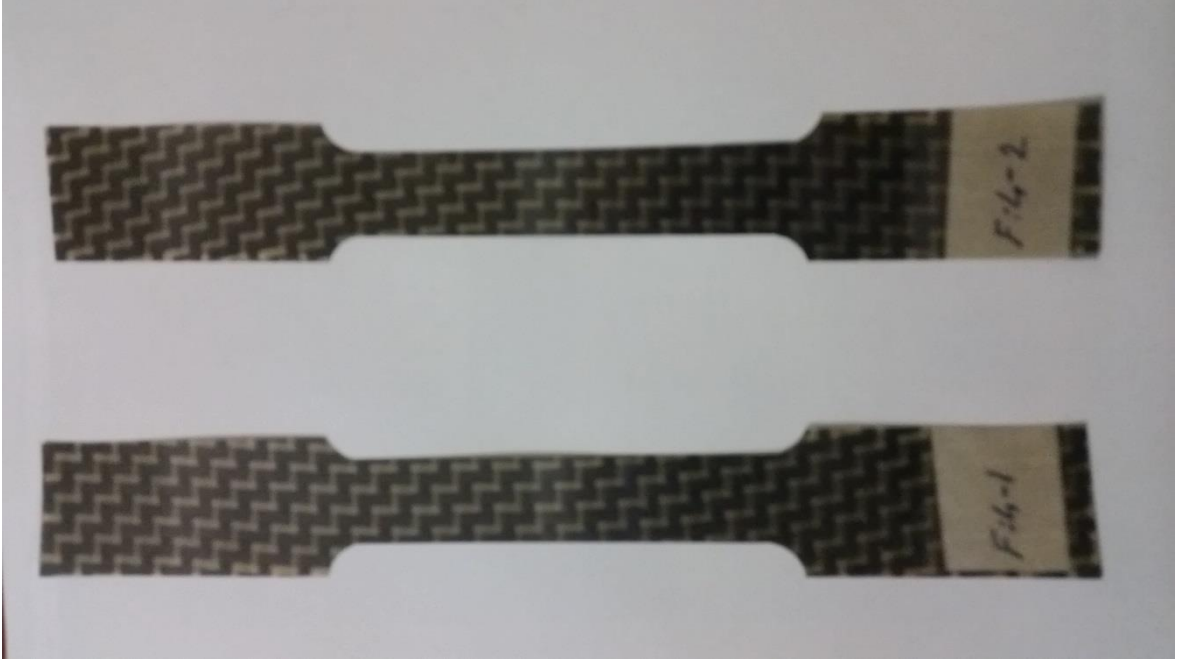
Resim 2.9. Kompozit kevlar çekme numunesi



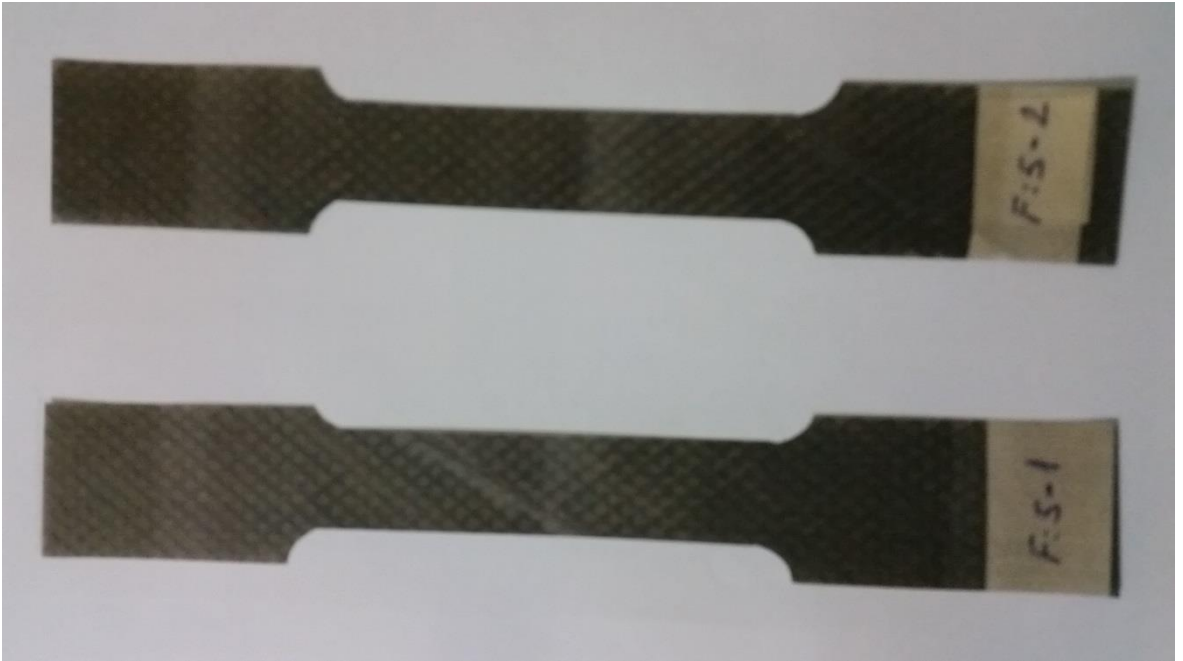
Resim 2.10. Kompozit aramid çekme numunesi



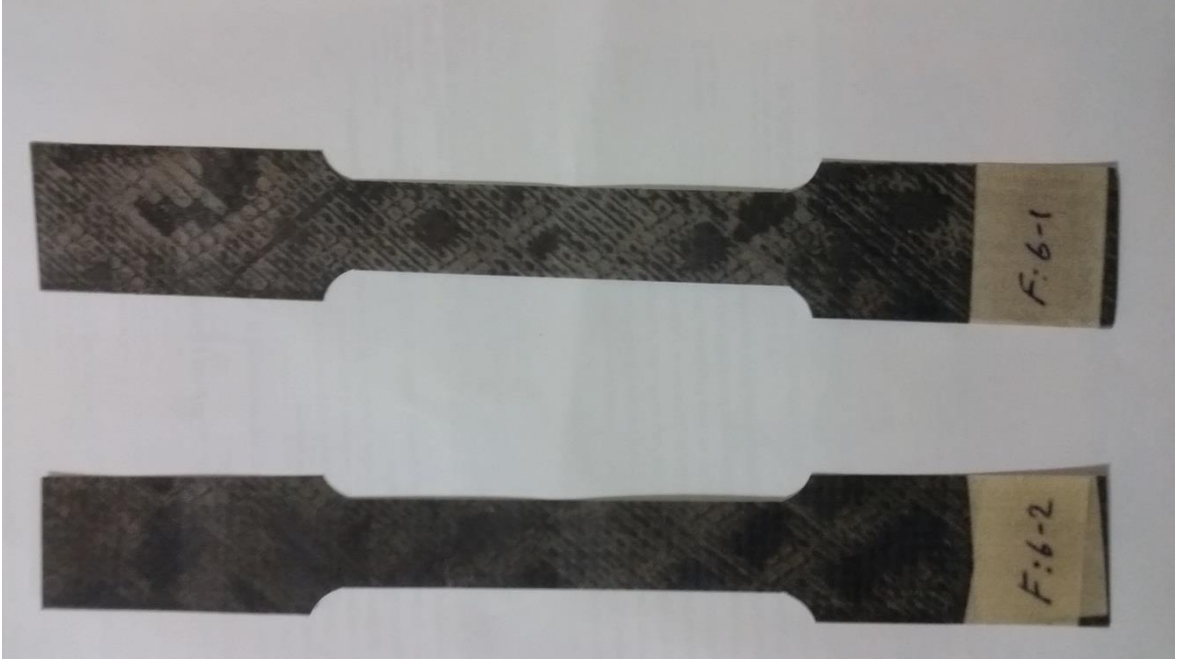
Resim 2.11. Kompozit karbon çekme numunesi



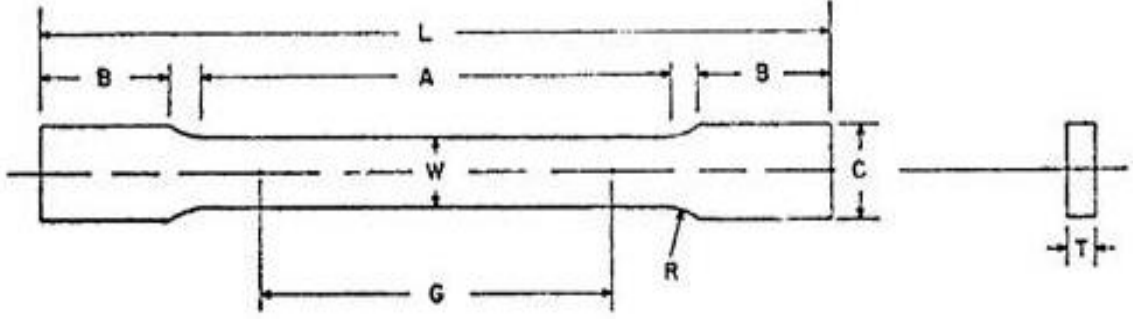
Resim 2.12. Kompozit karbon+aramid tabakalı çekme numunesi



Resim 2.13. Kompozit kevlar-Aramid-cam fiber tabakalı çekme numunesi



Resim 2.14. Kompozit karbon-aramid- cam fiber- kevlar tabakalı çekme numunesi



Şekil 2.7. Çekme numunesi örneği

Tablo .2.1. Çekme numuneleri ölçüleri

Numunenin Kodu	Çekme Numunesi Ölçüleri			
	G	W	T	L
	mm	mm	mm	160
F:1-1	80,00	20,00	1,30	160,00
F:1-2	80,00	20,00	1,30	160,00
F:2-1	80,00	20,00	1,35	160,00
F:2-2	80,00	20,00	1,35	160,00
F:3-1	80,00	20,00	0,50	160,00
F:3-2	80,00	20,00	0,50	160,00
F:4-1	80,00	20,00	1,50	160,00
F:4-2	80,00	20,00	1,50	160,00
F:5-1	80,00	20,00	3,90	160,00
F:5-2	80,00	20,00	3,90	160,00
F:6-1	80,00	20,00	4,10	160,00
F:6-2	80,00	20,00	4,10	160,00

2.5. Çekme Deneyi

2.5.1.Çekme Deneyinin Amacı

Malzemede şekil değiştirme başka bir deyişle deformasyon oluşturmak için gerekli kuvvetin hesaplanması mühendislik açısından önemlidir. Oluşacak şekil değişikliği ile uygulanan kuvvetin arasındaki bağlantının incelenmesinde kullanılan en temel ve basit yöntem çekme deneyidir. Bu deneyler sayesinde malzemelerin elastiklik, plastiklik gibi mekanik davranışları belirlenmiş olur.

Yapılan deneyler sonucunda elde edilen bulgular karşılaştırılarak, malzemelerin mekanik özellikleri hakkında bilgi edinilir. Metal malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesinde standart oluşturmuş kurallar vardır ve çekme deneyleri bu kurullara göre yapılır. (URL-10,2015)

3.5.2. Tanımlar ve Formüller

Gerilme (σ): Birim alana etki eden kuvvet.

$$\sigma = \frac{P}{A_0}$$

Numunesinin başlangıçtaki kesit alanı A_0 ,

Uygulanan çekme kuvveti P

Kuvvet uygulanma anındaki kesit alanı A olup, nominal gerilme kuvveti bulunur

$$\sigma_n = \frac{P}{A_0} \quad (1)$$

Gerçek gerilme (oluşan gerilme);

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (2)$$

Olarak bulunur.

Birim Şekil Değişirme (e):

$$e = \frac{l - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (3)$$

Gerçek Sekil Değişirme (ε):

$$\varepsilon = \int_{l_0}^l \frac{dl}{l} = \ln \frac{l}{l_0} \quad (4)$$

ε , logaritmik veya tabii şekil değişirme

$$\frac{l}{l_0} = 1 + e$$

Şeklinde yazılıp denklem 4'e taşınırsa,

$$\varepsilon = \ln(1+e) \quad (5)$$

bulunur.

$$\ln(1+e) \cong e$$

Alınabileceğinden

$$\varepsilon \cong e$$

Kabul edilir. e ' nin büyük değerleri için ε ve e arasındaki fark hızla artar. (URL-10,2015)

Elastisite Modülü (E): İki atom arasındaki bağ kuvveti olarak tanımlanmaktadır ve malzemenin dayanımının (mukavemetinin) ölçüsüdür.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

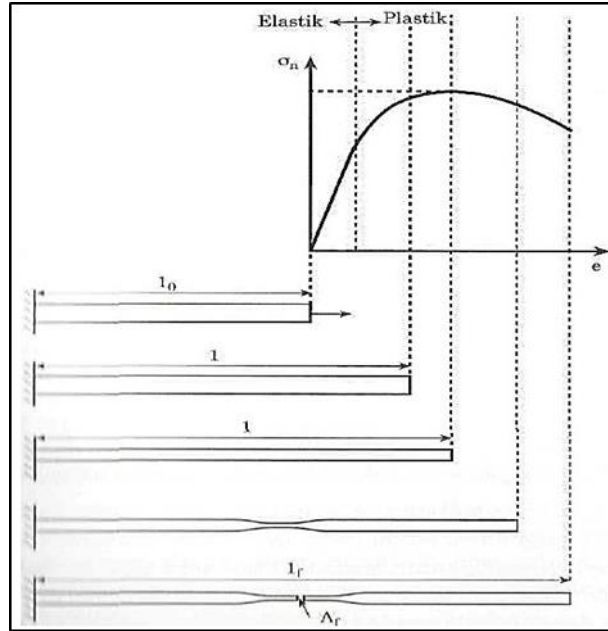
(6)

Çekme dayanımı (σ_{ζ}): Malzemenin kırılma veya kopma anına kadar dayanabildiği en üst gerilme değeridir.

$$\sigma_{\zeta} = \frac{P_{\max}}{A_0}$$

Kopma Gerilmesi (σ_K): Numunenin koptuğu andaki gerilme değeridir.

$$\sigma_K = \frac{P_K}{A_0}$$



Şekil 3.7. Çekme deneyinde üniform uzama, büzülme ve kopma.

Yüzde Kopma Uzaması (KU): Çekme numunesinin boyunda meydana gelen en yüksek yüzde plastik uzama oranı olarak tanımlanır.

$$\Delta L = L_k - L_0 \quad (7)$$

Denklemden L_0 numunenin ilk boyu, L_k ise kırıldığı anındaki boyudur.

Kopma uzaması;

$$KU(\%) = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100 \quad (8)$$

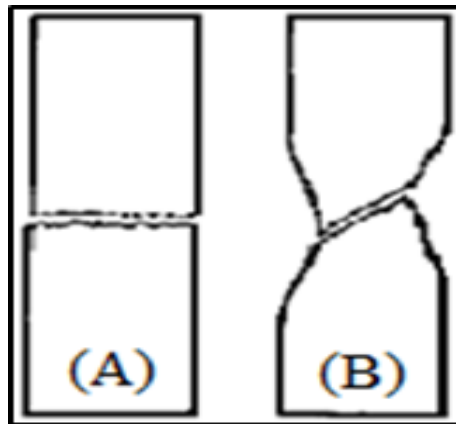
Bağıntısı belirlenir. Bulunan değer malzemenin sünekliğidir.

Yüzde Kesit Daralması (KD): Numunesinin kesit alanında oluşan en büyük yüzde daralma veya büzülme oranıdır;

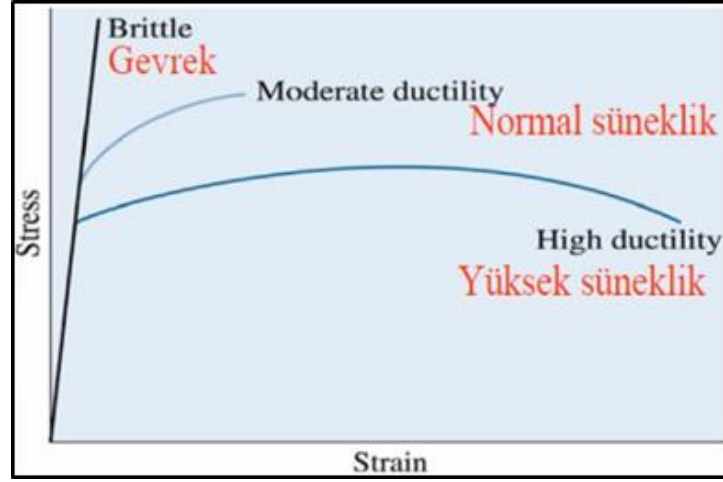
$$KD(\%) = \frac{A_0 - A_K}{A_0} \times 100$$

Denklemden A_0 ilk kesit alanını, A_k ise kırılma anındaki kesit alanını ifade eder.

Kesit daralması, kopma uzaması gibi sünekliğin bir göstergesidir. Şekil 3.8.'de gevrek ve sünek malzemelerin kırılma anındaki davranışları olarak gösterilmiştir. Şekil 3.9.'da gevrek ve sünek malzemelerin çekme deneyi grafiği görülmektedir. (URL-10,2015)



Şekil 3.8 Gevrek (A) ve sünek (B) malzemenin kırılma şekli.



Şekil 2.9. Gevrek ve sünek malzemelere ait çekme deneyi grafiği

Rezilyans: Numunenin elastik şekil değiştirmesi için gerekli enerji veya elastik tip şekil değişiminde numunenin absorbe ettiği enerjiyi ifade eder.

$$\left(\frac{\sigma_0 \cdot \varepsilon_{el}}{2} \right)$$

Elastik alanda akma anına kadar oluşan hacimsel birim şekil değişimine ise rezilyans modülü denir

$$\text{Rezilyans modülü} = \frac{\sigma_0^2}{2E}$$

Tokluk: Numunenin hacimsel olarak plastik şekil değiştirme enerjisi olarak tanımlanır ve numunenin kopuncaya kadar emdiği (soğurduğu) enerji kabiliyetini gösterir.

$$\left(\int_0^{\varepsilon_k} \sigma \cdot d\varepsilon \right)$$

(URL-10,2015)

2.5.3.Deneyin Yapılışı

Tez çalışmasında yapılan çekme deneyleri, Tunceli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Laboratuvarında bulunan Resim 3.15’ de ki çekme cihazında yapılmıştır.Çekme cihazı birbirine göre aşağı ve yukarı hareket edebilen, deney parçasının bağlandığı iki çene ve bunlara hareket ve kuvvet veren, bu iki büyüklüğü zaman mesafe vs. değerlendiren ünitelerden oluşur. Çenelerden birisi sabit hızda hareket ettirilerek deney parçasına değişken miktarlarda çekme kuvveti uygulanır ve bu kuvvete karşılık gelen uzama ve gerilme kaydedilir. Çekme testimizde boyutları standartlara uygun dikdörtgen kesitli numune; çekme cihazının çenelerine bağlanıp ve numuneye ekseni boyunca yük uygulanarak test uygulanmıştır.



Resim .2.15. Çekme deneyi cihazı.

Çekme deneyinin yapılışı çeşitli standart ve kaynaklarda ayrıntılı biçimde verilmiştir. Numune tipi büyük ölçüde malzemenin biçimine göre seçilir. Çekme deney numuneleri, içi dolu çubuk, boru, profil, köşebent, levha veya inşaat demirinden ilgili

standartlara göre talaşlı işleme ile hazırlanır. Çekme deneyinin yapılışı ve deney numuneleri farklı standartlarda detaylı olarak verilmektedir. Türk standartlarında TS 138 A, B, C, D, E, F olmak üzere altı tip numune bulunur.

Son yıllarda Avrupa birliği uyum sürecinde çekme deneyi ile ilgili olarak kullanılan standart EN 100022'dir ve testlerimiz bu standart çerçevesinde yapılmıştır.

3. DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

3.1. Deney Sonuçları

Deney sonuçları Çekme Makinası ile bağlantılı bilgisayardan PDF (resim) formatında çıktılar alınmıştır. Bu deney sonuçlarında çekme deneyinin tüm parametreleri yer almaktadır. Her çekme numunesinden iki tane deneye tabi tutularak sonuçlar alınmış ve bu değerler Tablo.4.1. de görülmektedir. Değerlerin aritmetik ortalaması ise hesaplanarak Tablo.4.2' de düzenlenmiştir

Tablo 3.1. Çekme Deneyi Parametreler Tablosu

Anahtar Kelime		Ürün Adı	
Test Dosyası Adı	engin deney.xtai	Metot Dosya Adı	
Rapor Tarihi	21.04.2015	Test Tarihi	14.04.2015
Test Modu	Tek	Test Tipi	Çekme
Hız	5mm/min	Şekil	Plaka
Grup Sayısı:	6	Alt Grup Sayısı:	2

İsim	Kopma_Kuvvet	Kopma_Gerilme	Kopma_Uzama	Kopma_Yüzde Uzama
Parametreler	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10	Hassasiyet: 10
Birim	N	MPa	mm	%
1-1	1253,13	60,2464	2,15500	2,31720
1-2	1796,88	86,3882	2,39600	2,57634
2-1	2062,50	67,9012	1,58000	1,69893
2-2	2121,88	78,5880	1,61100	1,73226
3-1	2678,13	256,895	2,28400	2,45591
3-2	2837,50	276,829	1,96200	2,10968
4-1	5093,75	155,061	2,41700	2,59893
4-2	4521,88	133,389	2,22800	2,39570
5-1	9206,25	94,8023	3,17400	3,41290
5-2	10543,8	105,196	3,68500	3,96237
6-1	12984,4	137,096	5,94600	6,39355
6-2	12318,8	135,954	6,43800	6,92258

İsim	Max_Uzama_Kuvvet	Max_Uzama_Gerilme	Max_Uzama_Uzama	Max_Uzama_Yüzde Uzama
Parametreler				
Birim	N	MPa	mm	%
1-1	21,8750	1,05168	2,29200	2,46452
1-2	21,8750	1,05168	2,63300	2,83118
2-1	65,6250	2,16049	1,78800	1,92258
2-2	175,000	6,48148	1,74900	1,88065
3-1	3,12500	0,29976	2,41700	2,59893
3-2	6,25000	0,60976	2,07800	2,23441
4-1	62,5000	1,90259	2,51700	2,70645
4-2	43,7500	1,29056	2,32800	2,50323
5-1	1465,63	15,0924	3,18300	3,42258
5-2	3909,38	39,0040	3,69100	3,96882
6-1	5468,75	57,7421	5,95100	6,39893
6-2	3537,50	39,0409	6,44400	6,92903

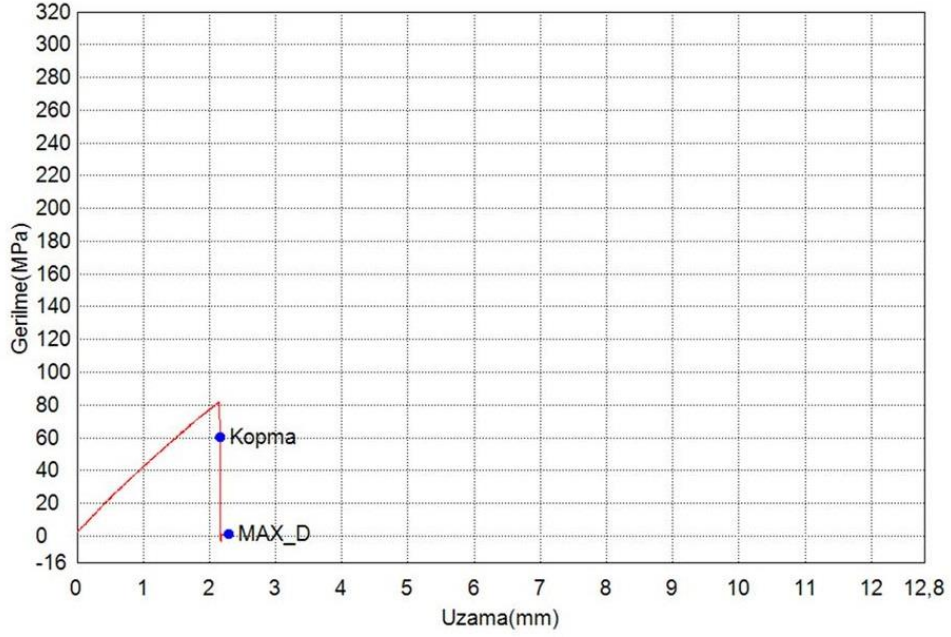
Tablo 3.2. Çekme deneyi ortalama değerler parametreler tablosu

Ürün Adı		Test Tipi	Çekme
Test Tarihi	21.04.2015	Şekil	Plaka
Test Modu	Tek	Hız	5mm/min

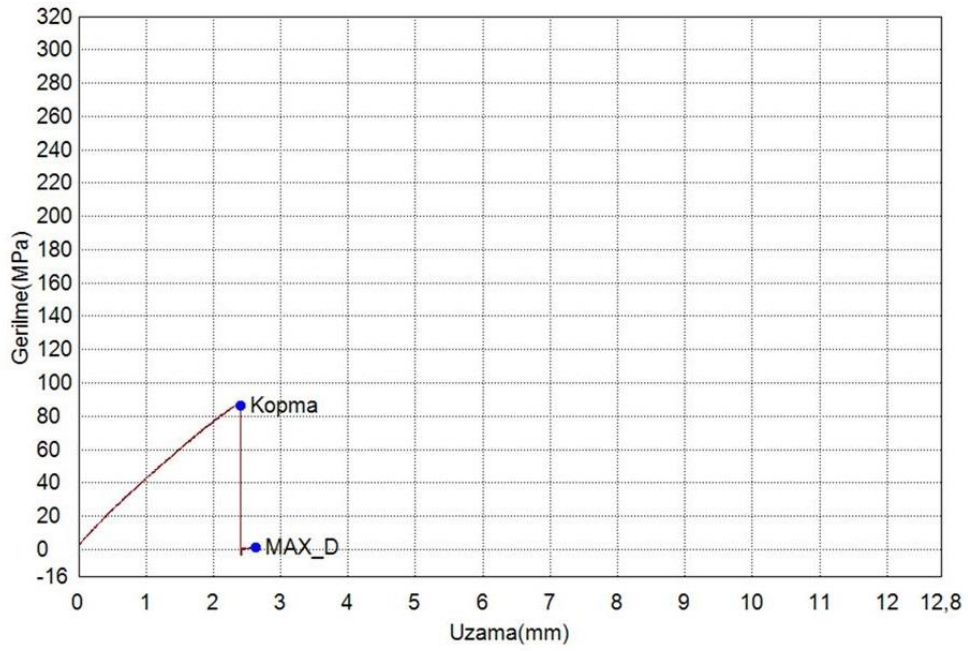
İsim	Kopma Kuvvet	Kopma Gerilme	Kopma Uzama	Kopma Uzama Yüzde Uzama
Parametreler	Haasasiyet: 10	Haasasiyet: 10	Haasasiyet: 10	Haasasiyet: 10
Birim	N	N/mm ²	N	%
F:1 ort	1525,01	73,3173	2,2755	2,44677
F:2 ort	2092,19	73,2446	1,5955	1,71395
F:3 ort	2757,815	266,862	2,123	2,282795
F:4 ort	4807,815	144,225	2,3225	2,497315
F:5 ort	9875,025	99,99915	3,4295	3,687635
F:6 ort	12651,6	136,525	6,192	6,658065
İsim	Max Uzama Kuvvet	Max Uzama Gerilme	Max Uzama Uzama	Max Uzama Yüzde Uzama
Parametreler				
Birim	N	N/mm ²	N	%
F:1 ort	21,8750	2,05168	2,4625	2,64785
F:2 ort	120,3125	4,320983	1,7685	1,901615
F:3 ort	4,6875	0,45476	2,2475	2,41667
F:4 ort	53,125	1,596575	2,4225	2,60484
F:5 ort	2687,505	27,0482	3,437	3,6957
F:6 ort	4503,125	48,3915	6,1975	6,66398

Ürün Adı		Test Tipi	Çekme
Test Tarihi	21.04.2015	Şekil	Plaka
Test Modu	Tek	Hız	5mm/min

Deney numunelerinin gerilme-uzama diyagramı aşağıda listelenmiştir.



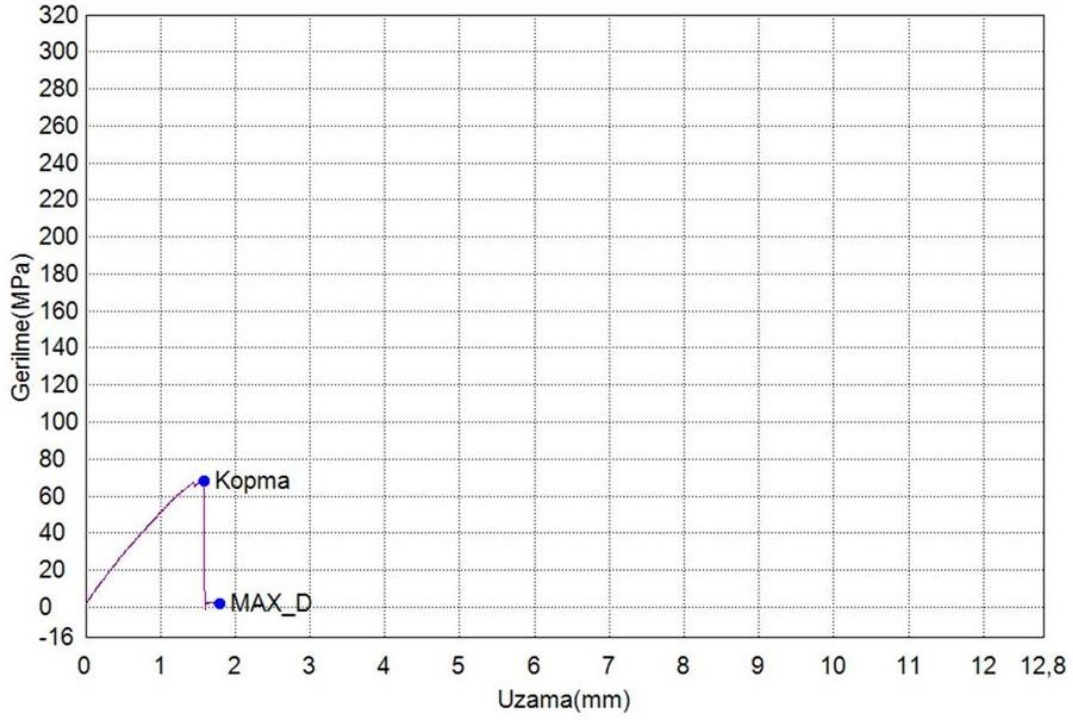
Şekil .3.1. F:1-1 Kompozit kevlar çekme numunesi gerilme-uzama diyagramı



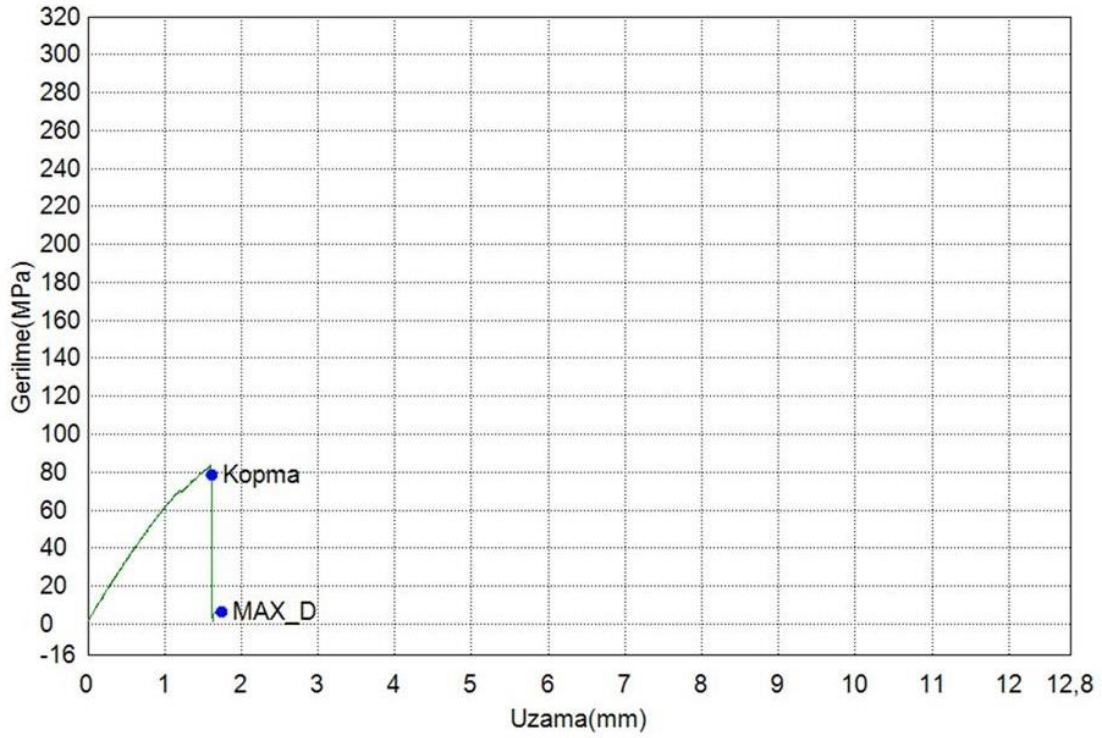
Şekil .3.2. F:1-2 Kompozit kevlar çekme numunesi gerilme-uzama diyagramı

Kompozit Kevlar çekme numunesinin çekme cihazında testi yapıldıktan sonra oluşan Gerilme / Uzama grafiği Şekil 3.1 ve Şekil 3.2' de görüldüğü gibi tespit edilmiş

olup test diyagram sonuçları birbirine yakın değerler vermiştir. Tablo 4.2. Çekme Deneyi Ortalama Değerler Parametreler Tablosu' unda numune ile ilgili kuvvet, gerilme, uzama, yüzde uzama, max kopma, max gerilme, max uzama ve max yüzde uzama gibi parametreler görülmektedir.

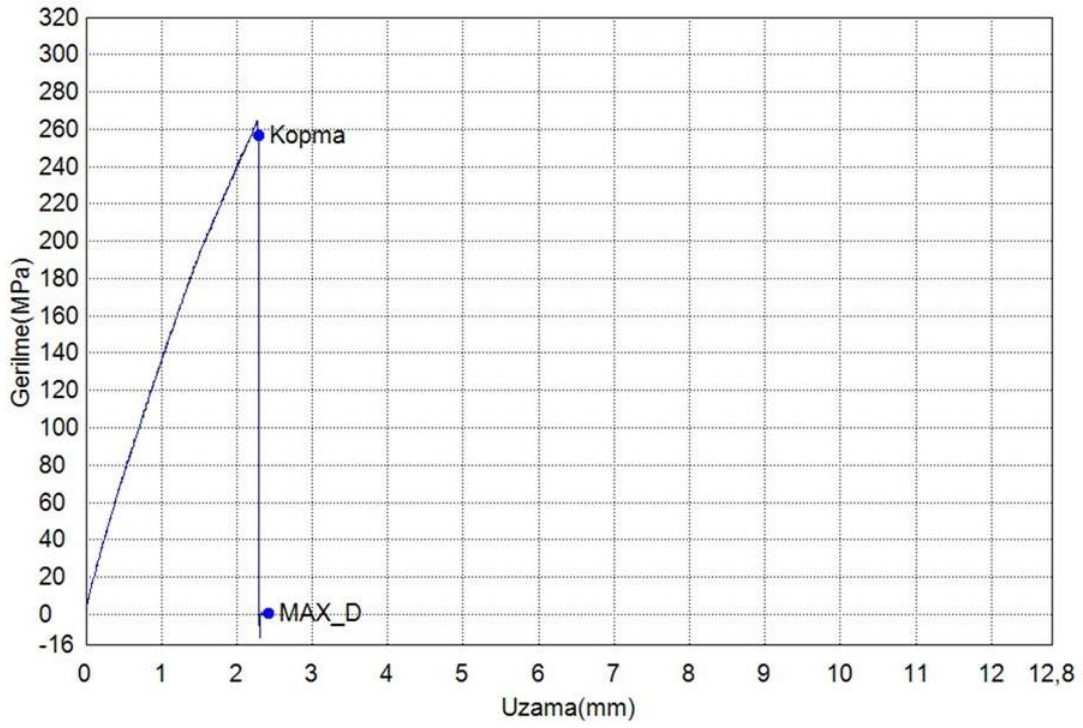


Şekil .3.3. (F:2-1) Kompozit aramid çekme numunesi gerilme-uzama diyagramı

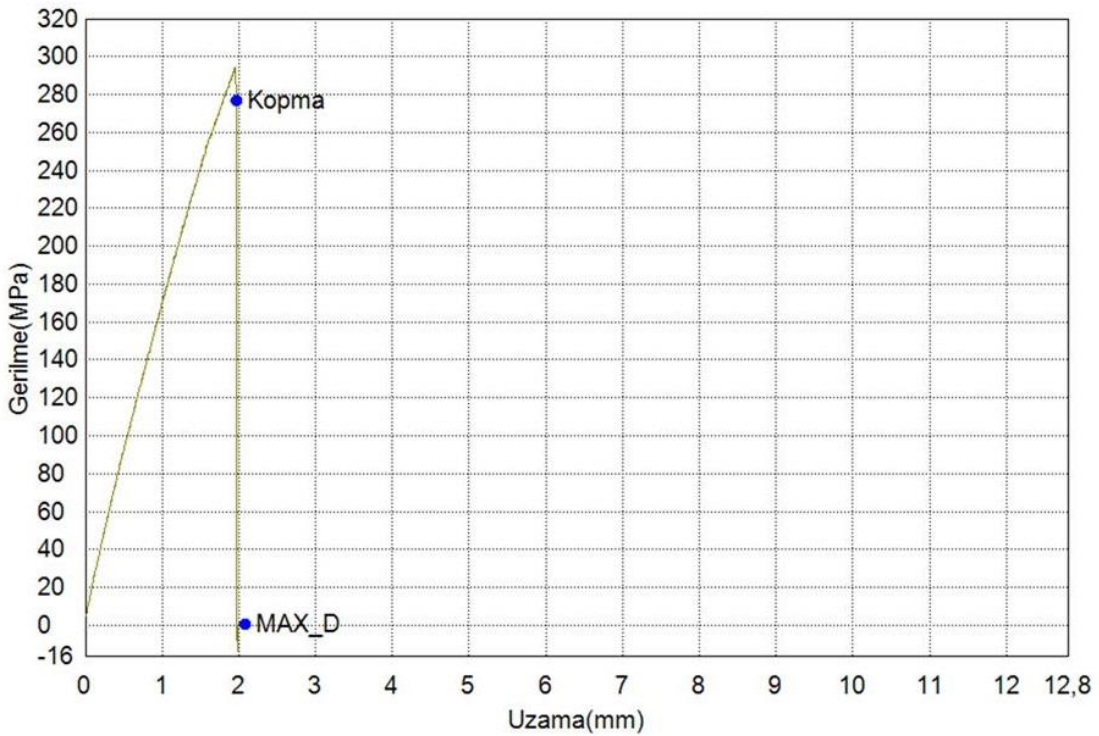


Şekil .3.4. (F:2-2) Kompozit aramid çekme numunesi gerilme-uzama diyagramı

Kompozit Aramid çekme numunesinin çekme cihazında testi yapıldıktan sonra oluşan Gerilme / Uzama grafiği Şekil 3.3 ve Şekil 3.4 tespit edilmiş olup test diyagram sonuçları birbirine yakın sonuçlar vermiştir. Aramid çekme numunesinin Kevlar çekme numunesine yakın grafik değerleri verdiği görülmektedir, her iki numunesinin de çekme alanına bağlı kopma değerleri 65-85 mpa değerleri aralığındadır. Tablo 10.3.2. Çekme Deneyi Ortalama Değerler Parametreler Tablosu' unda numune ile ilgili kuvvet, gerilme , uzama, yüzde uzama, max kopma, max gerilme, max uzama ve max yüzde uzama gibi parametreler görülmektedir bu değerlerin numunenin kesit alanı hesaba katılarak numunelerin özgül değerleri hesaplanabilir.



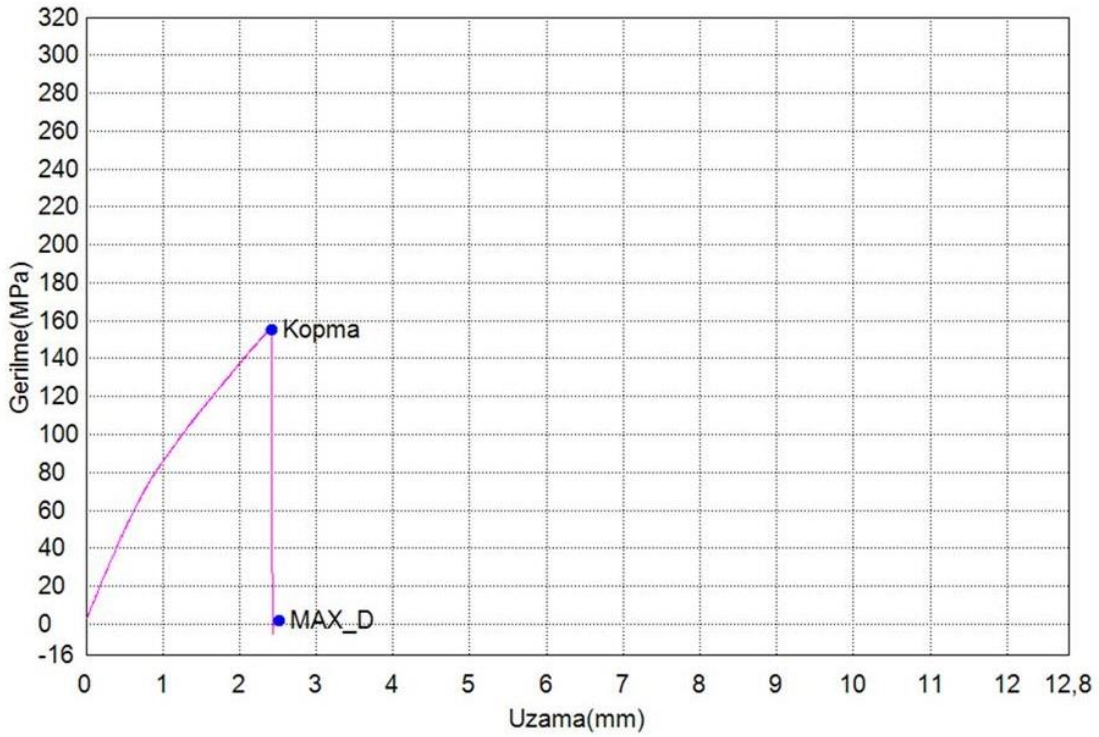
Şekil .3.5. - (F:3-1) Kompozit karbon çekme numunesi gerilme-uzama diyagramı

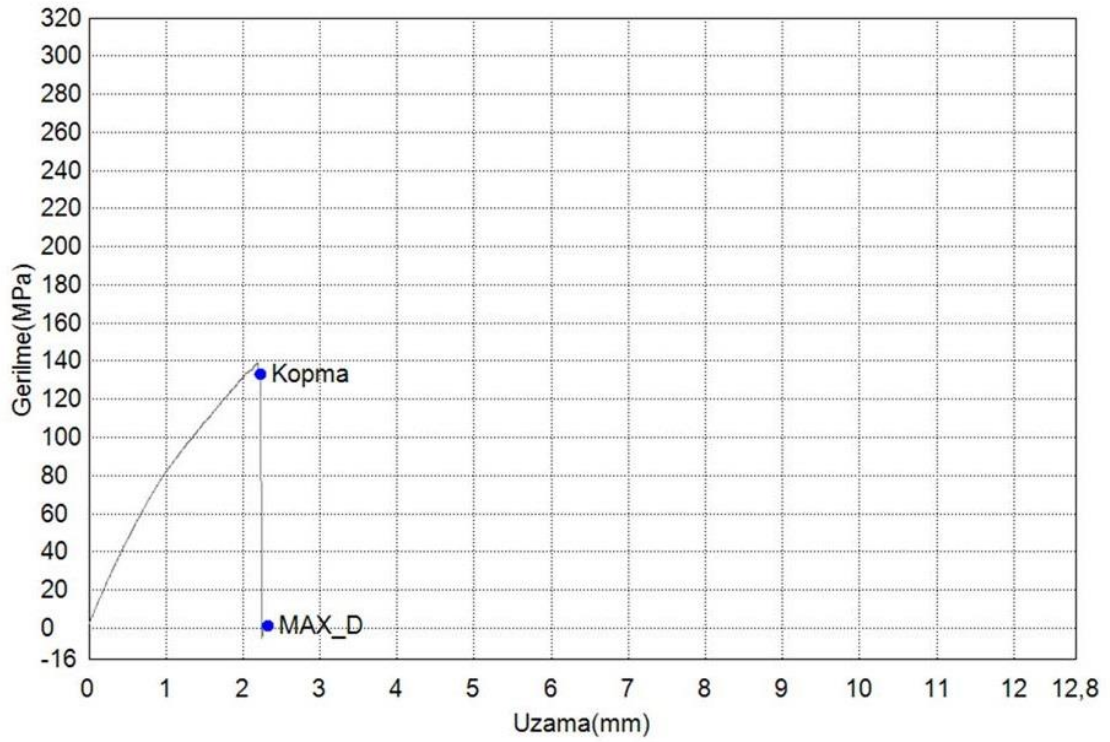


Şekil .3.6. - (F:3-2) Kompozit karbon çekme numunesi gerilme-uzama diyagramı

Kompozit Karbon çekme numunesinin çekme cihazında testi yapıldıktan sonra oluşan Gerilme / Uzama grafiği Şekil 3.5 ve Şekil 3.6 tespit edilmiş olup test diyagramı

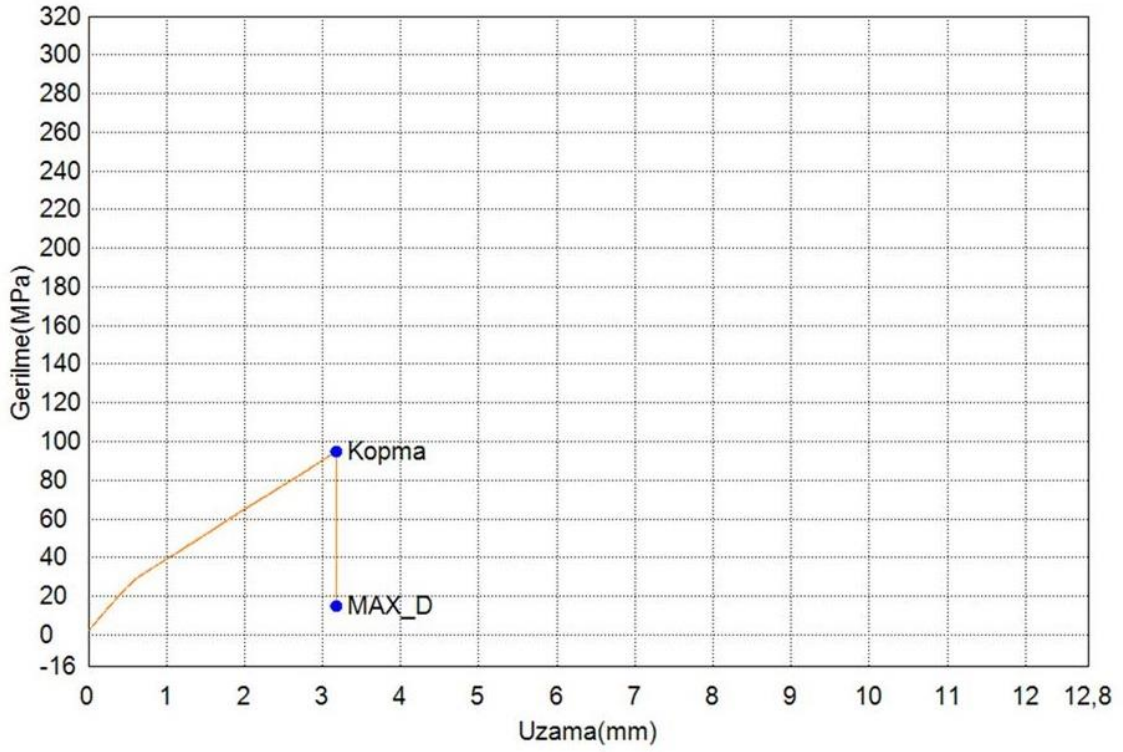
sonuçları mukavemet açısından yaklaşık 2,00 mm' de 270 MPa değerinde koptuğu görülmüş ve karbon kompozit numunenin çekme mukavemetinin Kevlar ve Aramid kompozit numunelerine kıyasla ne denli yüksek olduğu görülmektedir. Bu yüksek mukavemet değerlerine sahip olan karbon yüksek fiyatından dolayı genellikle hava araçlarında ve ağırlığın önemli olduğu alanlarda tercih edilmektedir. Tablo 10.3.2. Çekme Deneyi Ortalama Değerler Parametreler Tablosu' unda karbon numunesinin kesit olarak en ince numune olduğu da görülmektedir.



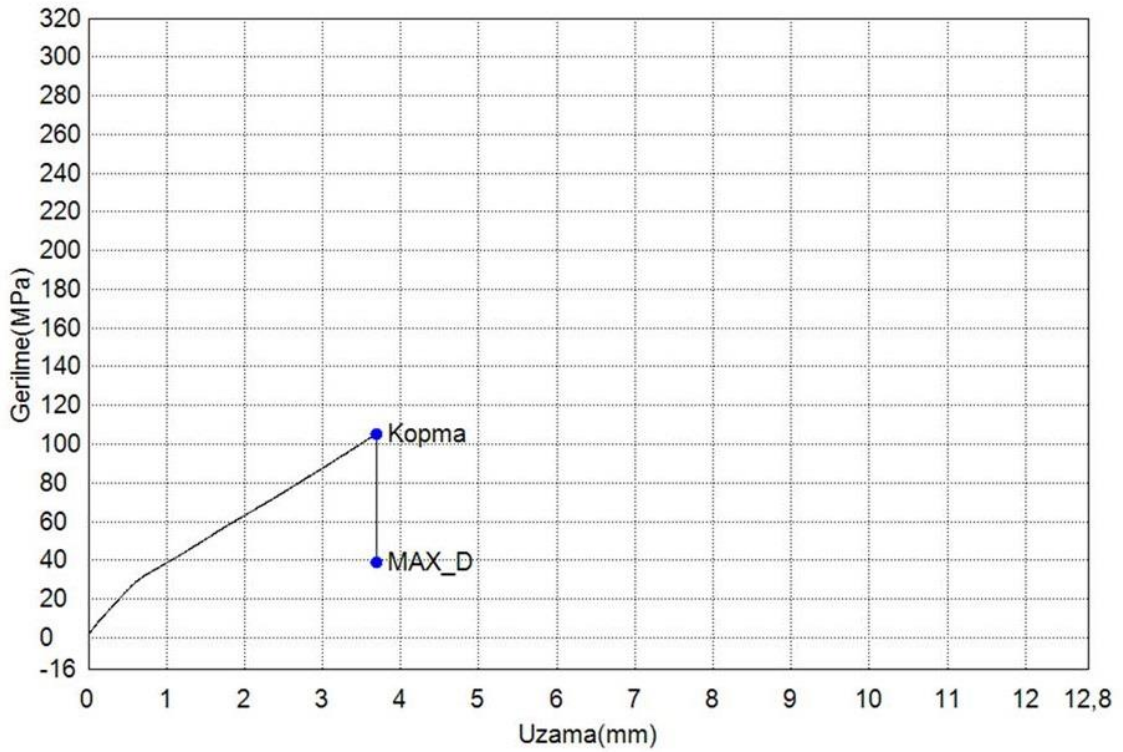


Şekil .3.8. (F:4-2) Kompozit karbon-aramid fiber çekme numunesi gerilme-uzama diyagramı

Kompozit Karbon-Aramid çekme numunesinin çekme cihazında testi yapıldıktan sonra oluşan Gerilme / Uzama grafiği Şekil 3.7 ve Şekil 3.8 tespit edilmiş olup test diyagram sonuçlarından kullanılan tabakalı kompozit malzemenin yaklaşık 2,30 mm' de ve 145 MPa değerinde koptuğu görülmüştür. Karbon ve aramid elyaflarının infüzyon yöntemiyle birleştirilmesi sonucunda 130 mpa' da 2.4 mm uzama gerçekleştirdiği görülmektedir, gerekli mukavemet, süneklik, tokluk, darbe dayanımı, ağırlık gibi parametrelerden istenilen aralığın belirlenmesi ile farklı tabakalı kompozitlerin birleştirilmesi sonucunda infüzyon yöntemiyle ekonomik olarak istenilen ürünler elde edilebilir.



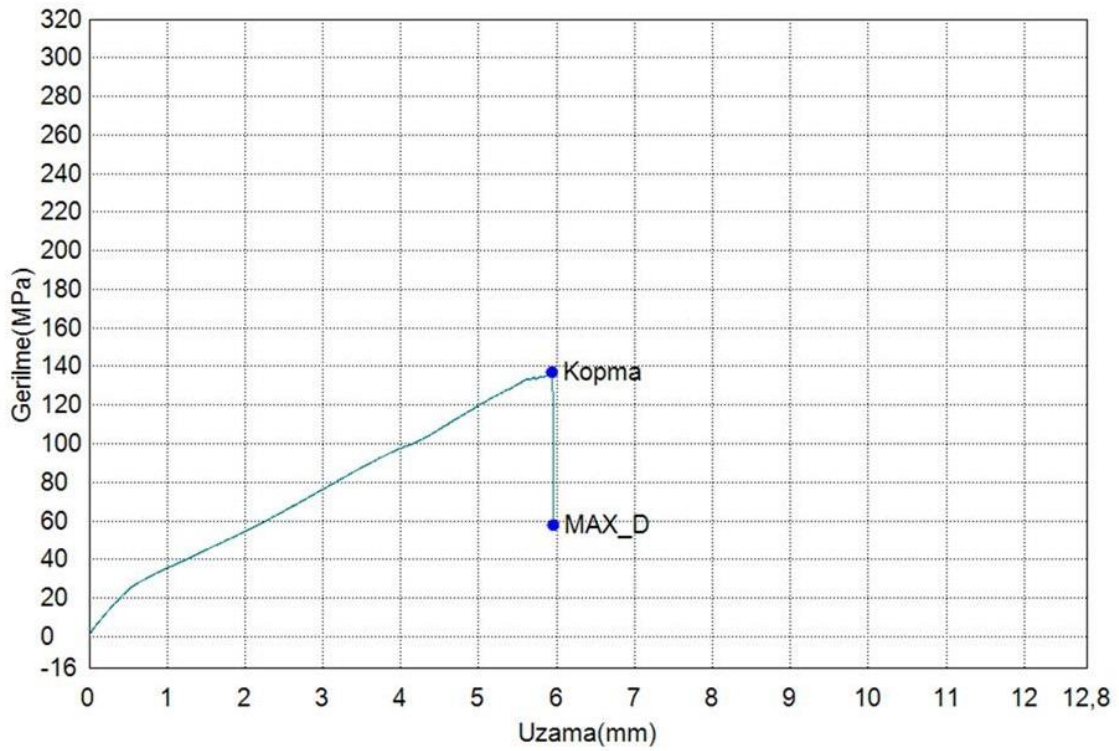
Şekil .3.9. - (F:5-1) Kompozit kevlar -aramid-cam fiber çekme numunesi gerilme-uzama diyagramı



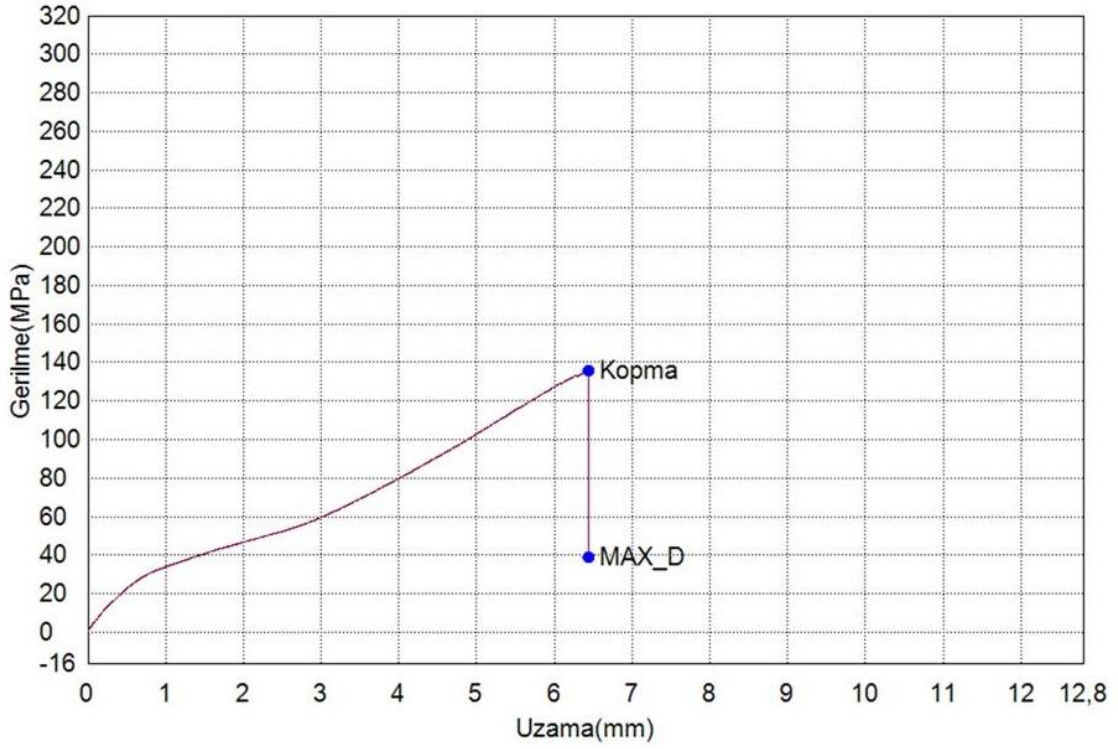
Şekil .3.10. - (F:5-2) Kompozit kevlar-aramid-cam fiber çekme numunesi gerilme-uzama diyagramı

Kompozit Karbon-Kevlar-Aramid çekme numunesinin çekme cihazında testi yapıldıktan sonra oluşan Gerilme / Uzama grafiği Şekil 3.9 ve Şekil 3.10 görüldüğü gibi

tespit edilmiş olup test diyagram sonuçlarından tabakalı kompozit malzemelerin tabaka sayısına bağlı olarak Gerilme / Uzama diyagramında grafiğinin uzama yönünde artış gösterdiği gözlemlenmektedir. Cam fiber takviye malzemesinin yer aldığı numuneye süneklik katmıştır, süneklik istenilen duruma göre numuneye cam elyaf numunesi hacimce eklenerek veya azaltılarak bu özellik üzerinde oynama bilinir. Tablo 10.3.2. Çekme Deneyi Ortalama Değerler Parametreler Tablosu' unda numune ile ilgili kuvvet, gerilme, uzama, yüzde uzama, max kopma, max gerilme, max uzama ve max yüzde uzama gibi parametreler görülmektedir.

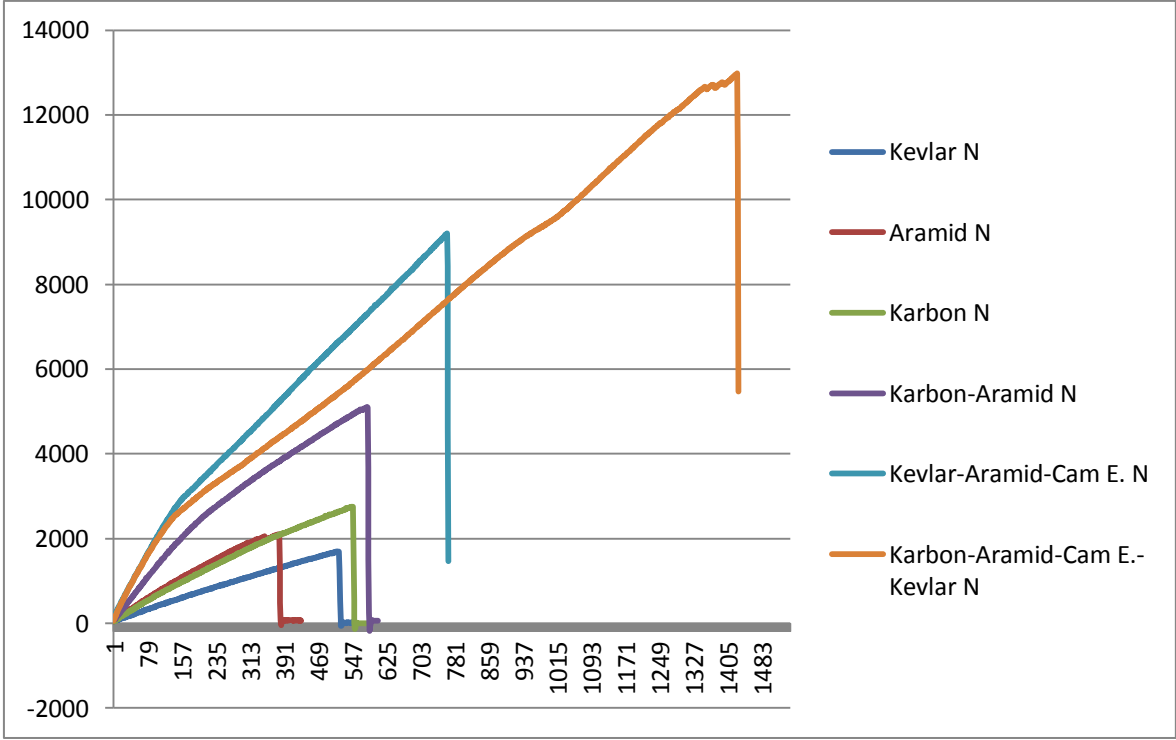


Şekil .3.11. - (F:6-1) Kompozit karbon-kevlar-aramid-cam fiber çekme numunesi gerilme-uzama diyagramı



Şekil .3.12. - (F:6-2) Kompozit karbon-kevlar-aramid-cam fiber çekme numunesi gerilme-uzama diyagramı

Kompozit, Karbon-Kevlar-Aramid-Cam Fiber çekme numunesinin çekme cihazında testi yapıldıktan sonra oluşan Gerilme / Uzama grafiği Şekil 3.11 ve Şekil 3.12 tespit edilmiş olup test diyagram sonuçlarından Şekil 3.9 ve Şekil 3.10 deki kullanılan kompozitlere tek başına en yüksek gerilme değerine sahip karbon fiber ürün dahil edilince Gerilme / Uzama diyagramında karbon fiber malzemenin yapıya Gerilme ve Uzama yönünde gözle görünür katkı sağladığı gözlemlenmektedir. Maliyetin ön planda olmadığı durumlarda karbon elyafının kullanımının numuneye üstün mukavemet özellikleri sağladığı açıktır. Tablo 10.3.2. Çekme Deneyi Ortalama Değerler Parametreler Tablosu' unda numune ile ilgili kuvvet, gerilme, uzama, yüzde uzama, max kopma, max gerilme, max uzama ve max yüzde uzama gibi parametreler görülmektedir.

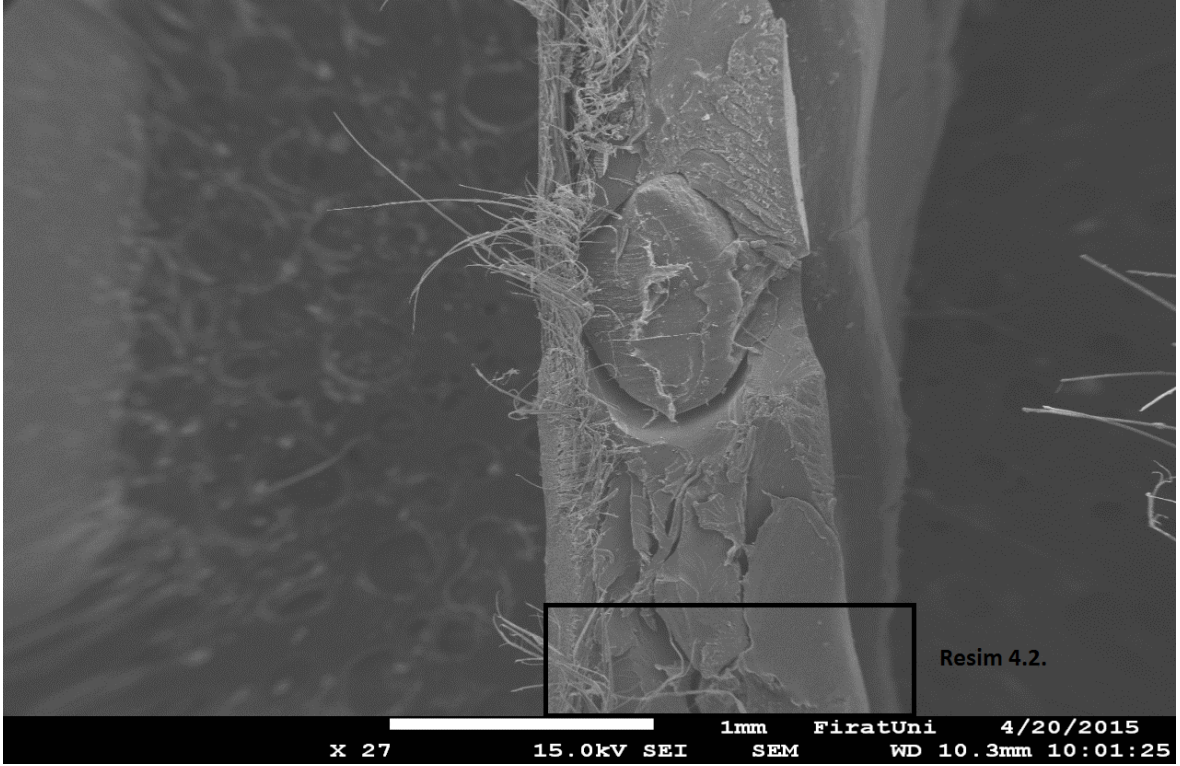


Şekil .3.13. Numunelerin gerilme, uzama yönünden çekme makinası verilerinin aynı tabloda değerlendirilmesi

Şekil 3.13 de deneylerde kullanılan çekme numunelerinin gerilme uzama grafiği verilmiştir. Renklendirilerek verilen çekme eğrilerinde tabaka sayısı arttıkça kopma gerilmesinin de arttığı görülmektedir.

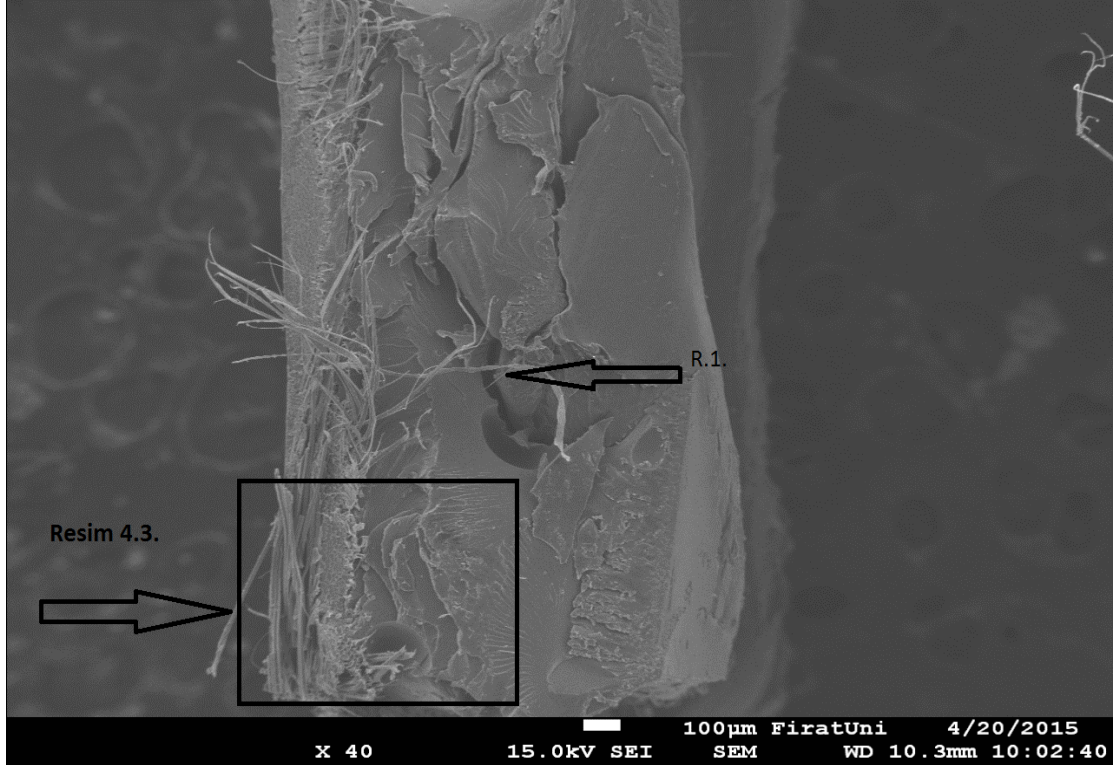
3.2. Deney Numunelerinin Scanning Electron Misroskope' unda analizleri

3.2.1. Kompozit Kevlar çekme numunesi (F:1)



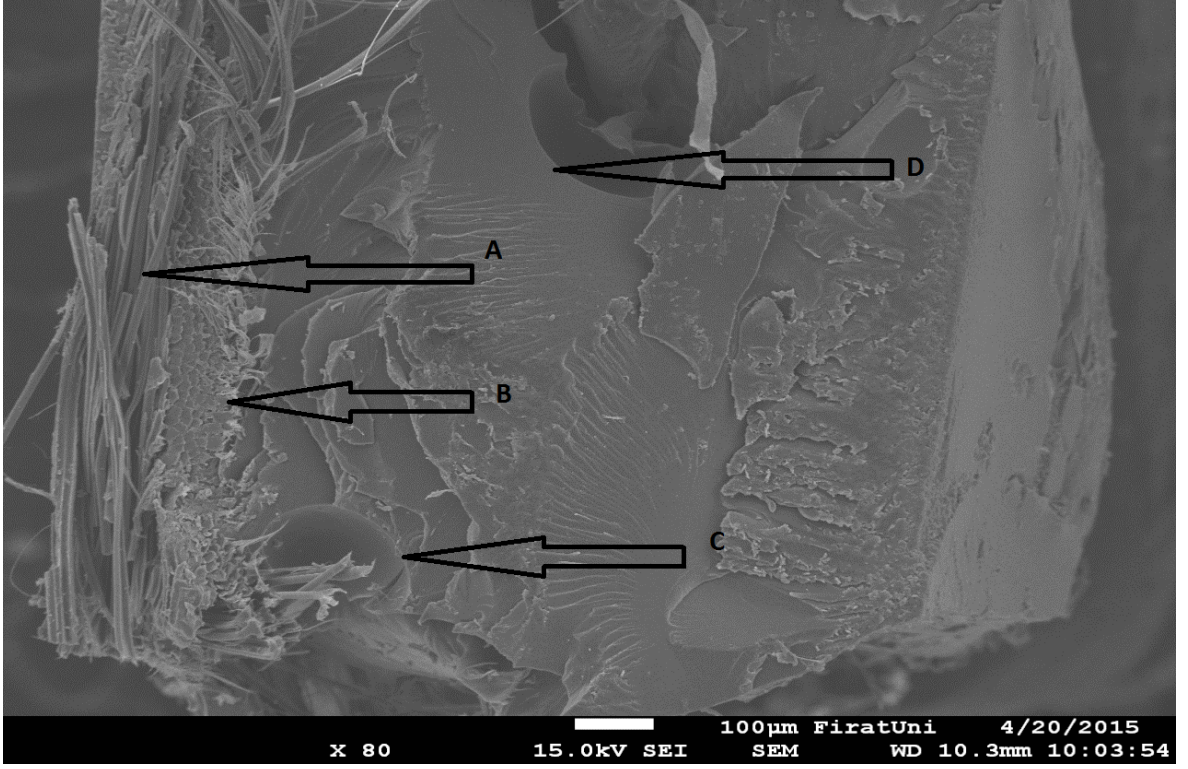
Resim .3.1. Kompozit kevlar çekme numunesi (F:1) SEM' de X27 büyütme görüntüsü

Resim 3.1' de Kompozit Kevlar numunesinin X27 büyütmede ki görüntüsü görülmektedir. Kevlar kumaşın lifleri epoksi reçine ve yayıcı film gözükmemektedir. Aşağıda Kompozit Kevlar numunenin daha yüksek büyütmelerde daha detaylı görüntüleri sıralanmıştır.



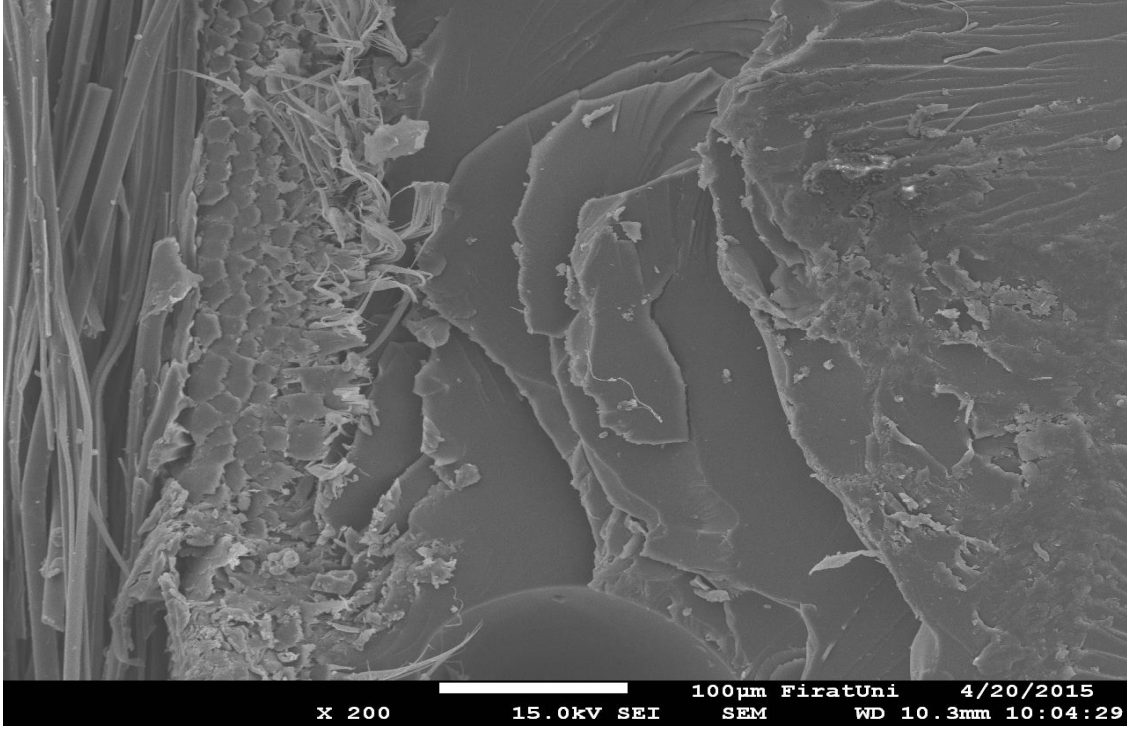
Resim 3.2. Kompozit keklar çekme numunesi (F:1) SEM’ de X40 büyütme görüntüsü

Resim 3.2’ de Kompozit Kevlar numunesinin x40 büyütmede ki görüntüsü görülmektedir. Görüntüde R.1. olarak gösterilen bölümde yayıcı film ile reçine arasındaki birleşme sınırı gözükmemektedir. Numunenin et kalınlığının az oluşundan (1.30 mm) SEM analizi için kesme işlemi yapılırken oluştuğu tahmin edilen ayrışma noktası gözükmemektedir.



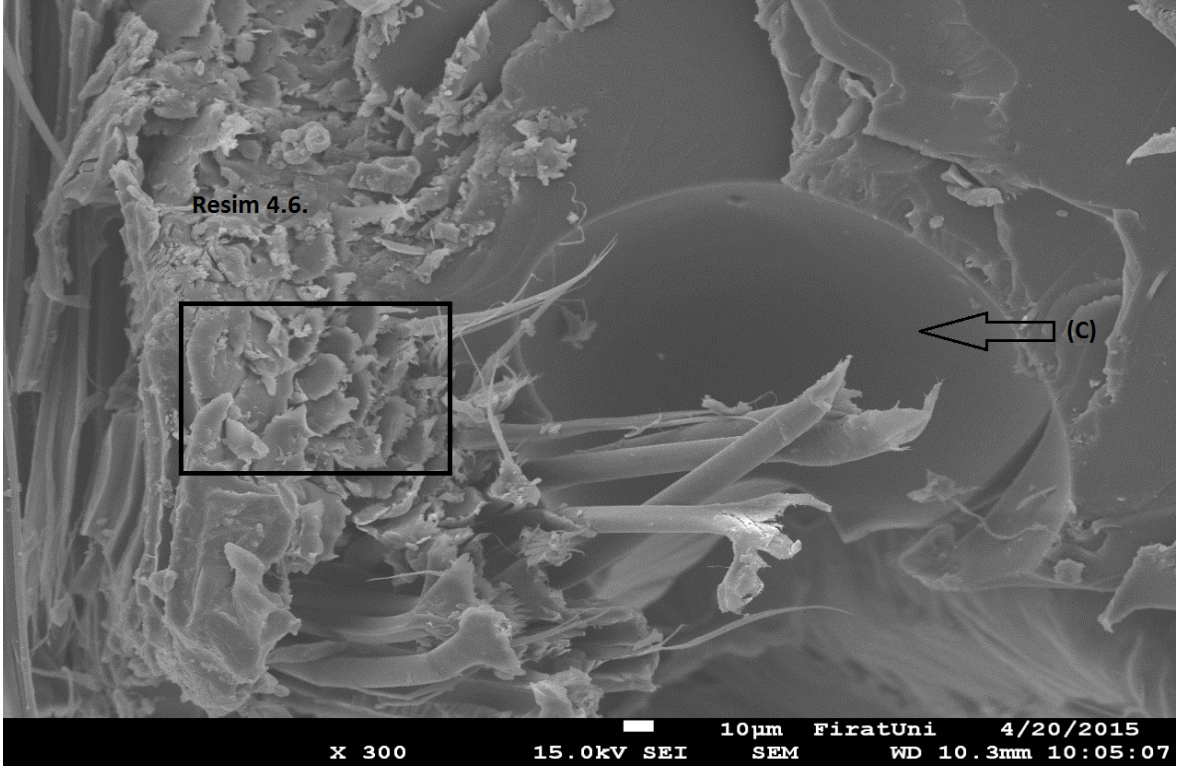
Resim .3.3. Kompozit Kevlar çekme numunesi (F:1) SEM’ de x80 büyütme görüntüsü

Resim 3.3’ Kompozit Kevlar numunesinin de x80 büyütmede ki görüntüsü görülmektedir. Görüntüde (A) ile yatay kevlar lifleri, (B) ile dikey kevlar lifleri görünmektedir. (C) ve (D) ile gösterilen bölgede numunenin kesilmesi sırasında yayıcı filmin ayrılması sonucu oluşan boşluklar gözükmemektedir. Kevlar kumaşın enine ve boyuna saçaklanmış görüntüsünün daha yüksek büyütme görüntüsü Resim 3.4.’ de verilmiştir.



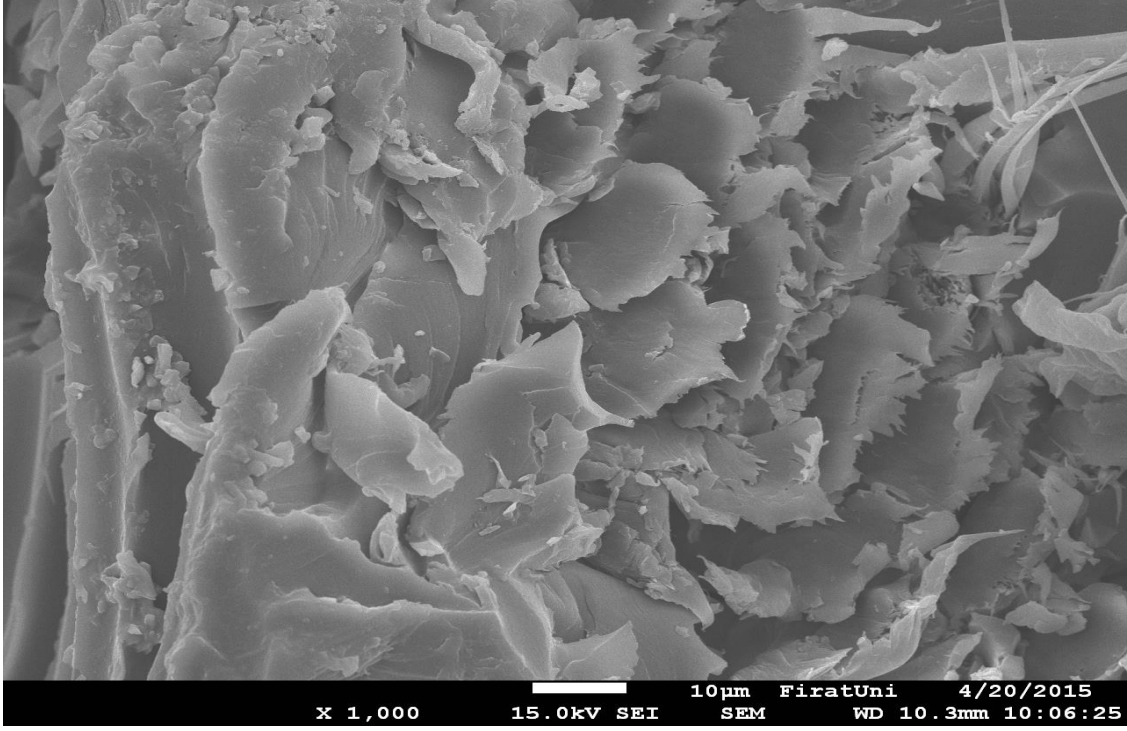
Resim .3.4. Kompozit Kevlar çekme numunesi (F:1) SEM' de X 200 büyütme görüntüsü

Resim 3.4' de Kompozit Kevlar numunesinin X200 büyütmede ki görüntüsü görülmektedir. Görüntüde Kevlar kumaşın liflerinin Resim 3.3. (A) ve (B) ile gösterilen enine ve boyuna yapısı daha net gözükmemektedir. (B) ile gösterilen enine liflerin son derece boşluksuz yapıda olduğu gözükmemektedir.



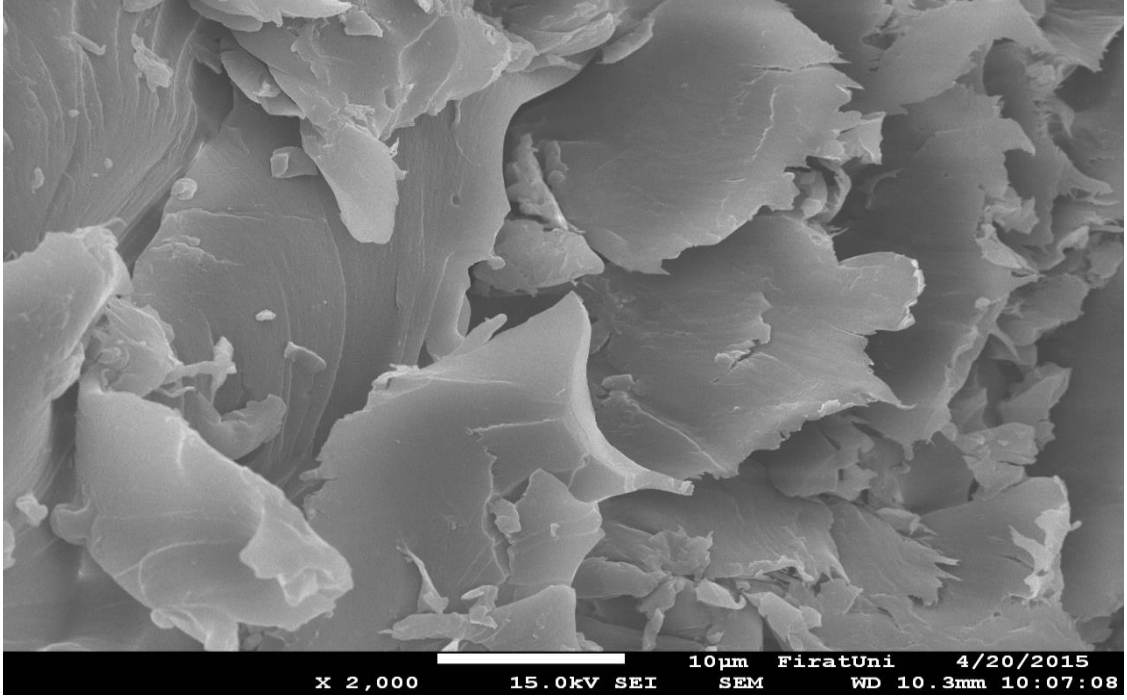
Resim .3.5. Kompozit kevlar çekme numunesi (F:1) SEM’ de X 300 büyütme görüntüsü

Resim 3.5.’ de Kompozit Kevlar numunesinin X300 büyütmede ki görüntüsü görülmektedir. Resim 3.3. (C) detayının X300 büyütmede enine liflerin SEM görüntüleri için kesilmesi sırasında saçaklandığı görülmektedir. Bu saçaklanma yayıcı filmin kesme işleminde ayrışması sonucu oluşan boşluktan ötürü oluşmaktadır, daha yüksek devirli ve daha sert kesme takımları ile kesme işleminin yapılması ile giderilebilir, fakat malzemenin detaylı incelenmesine engel teşkil etmemektedir.



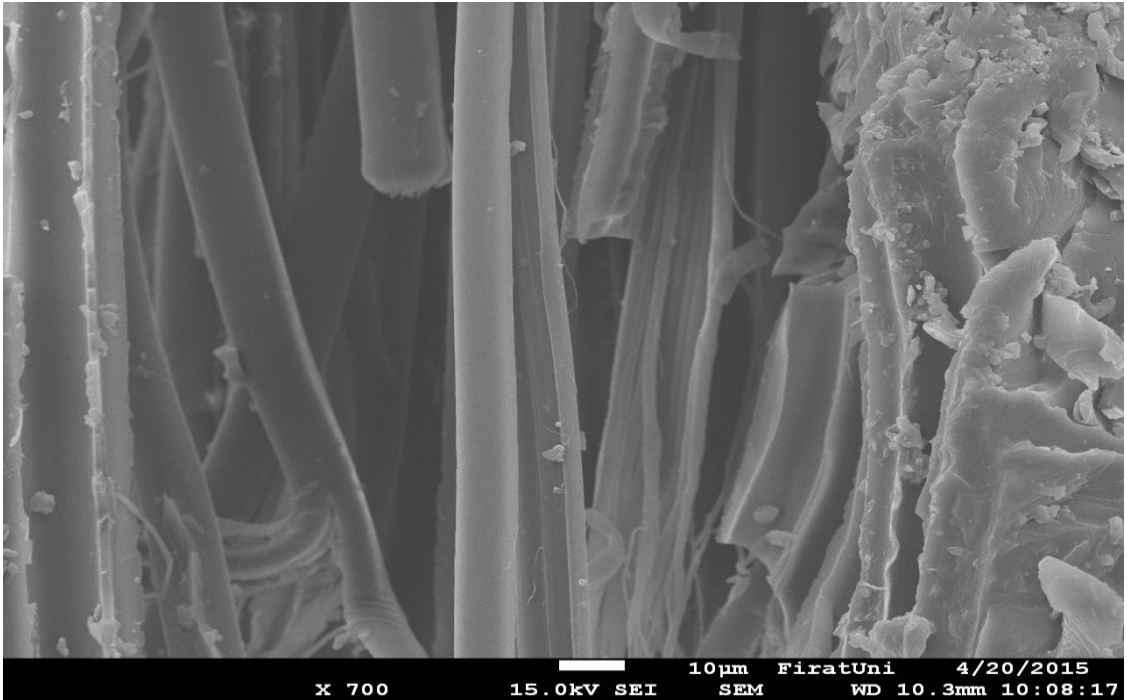
Resim .3.6. Kompozit kevlar çekme numunesi (F:1) SEM’ de X1000 büyütme görüntüsü

Resim 3.6’ de Kompozit Kevlar numunesinin X1000 büyütmede ki görüntüsü görülmektedir. Görüntüde Kevlar kumaşın liflerinin enine yapısı x1000 büyütme ile gözükmemektedir. Aşağıda Kompozit Kevlar numunenin daha yüksek büyütmelelerde daha detaylı görüntüleri sıralanmıştır.



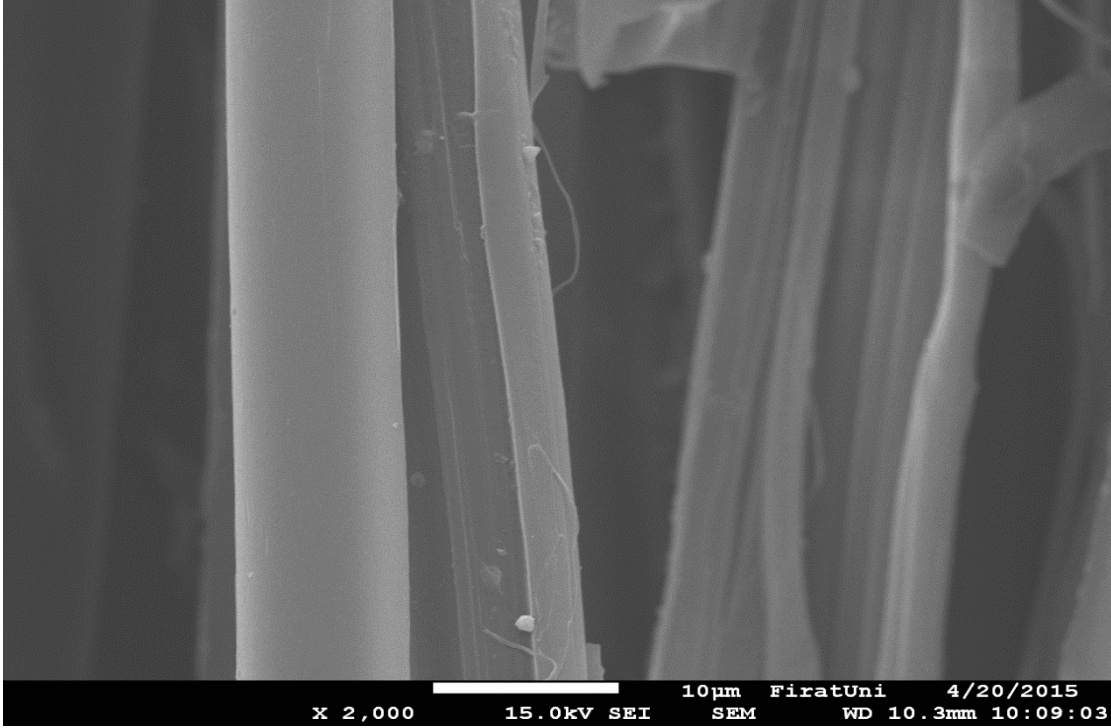
Resim .3.7 Kompozit kevlar çekme numunesi (F:1) SEM' de X2000 büyütme görüntüsü

Resim 3.7.' de Kompozit Kevlar numunesinin X2000 büyütmede ki görüntüsü görülmektedir. Görüntüde Kevlar kumaşın liflerinin enine yapısındaki yapraksı yapı gözükmemektedir.



Resim .3.8 Kompozit Kevlar çekme numunesi (F:1) SEM' de X700 büyütme görüntüsü

Resim 3.8' de Kompozit Kevlar numunesinin x700 büyütmede ki görüntüsü görülmektedir. Görüntüde Resim 3.3. (A) bölgesinde yer alan Kevlar kumaşın boyuna lifleri gözükmemektedir. Reçinenin lifleri boşluksuz şekilde nüfus ettiği gözlemlenmektedir.



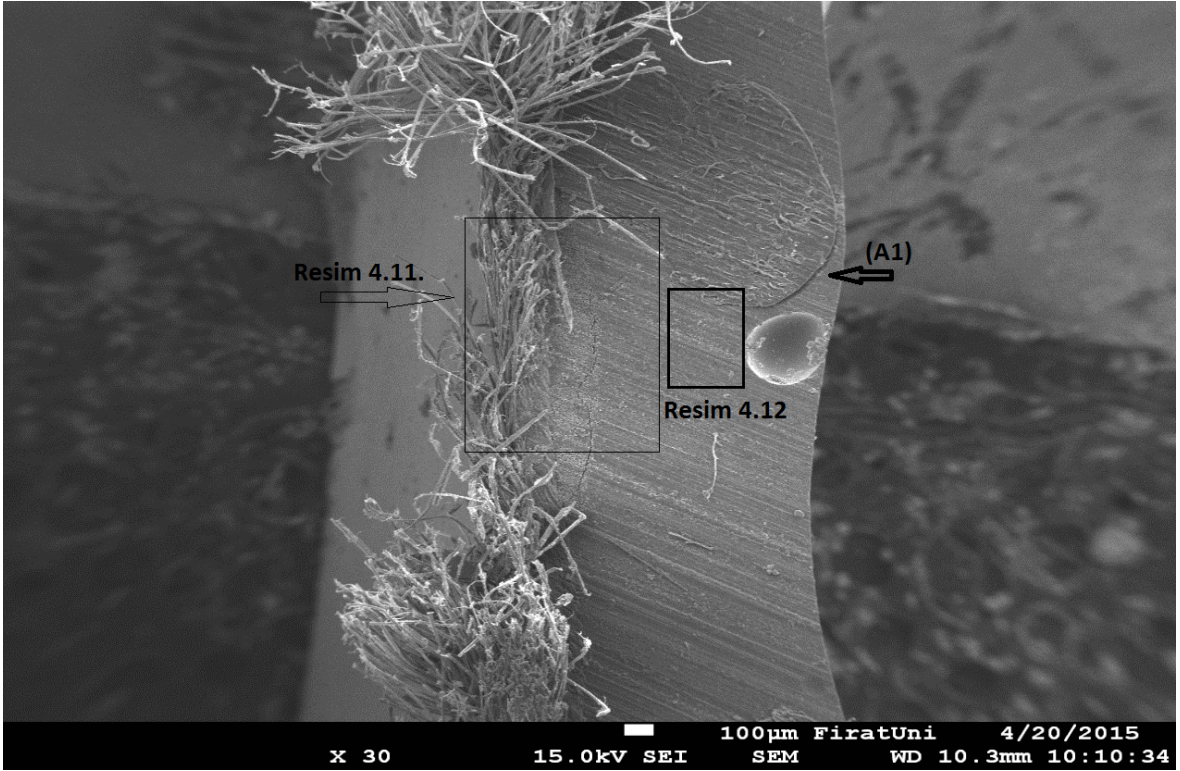
Resim .3.9 Kompozit kevlar çekme numunesi (F:1) SEM' de X2000 büyütme görüntüsü

Resim 3.9' de Kompozit Kevlar numunesinin X2000 büyütmede ki görüntüsü görülmektedir. Görüntüde Kevlar kumaşın liflerinin boyuna yapısı x2000 büyütme ile daha detaylı olarak gözükmemektedir.

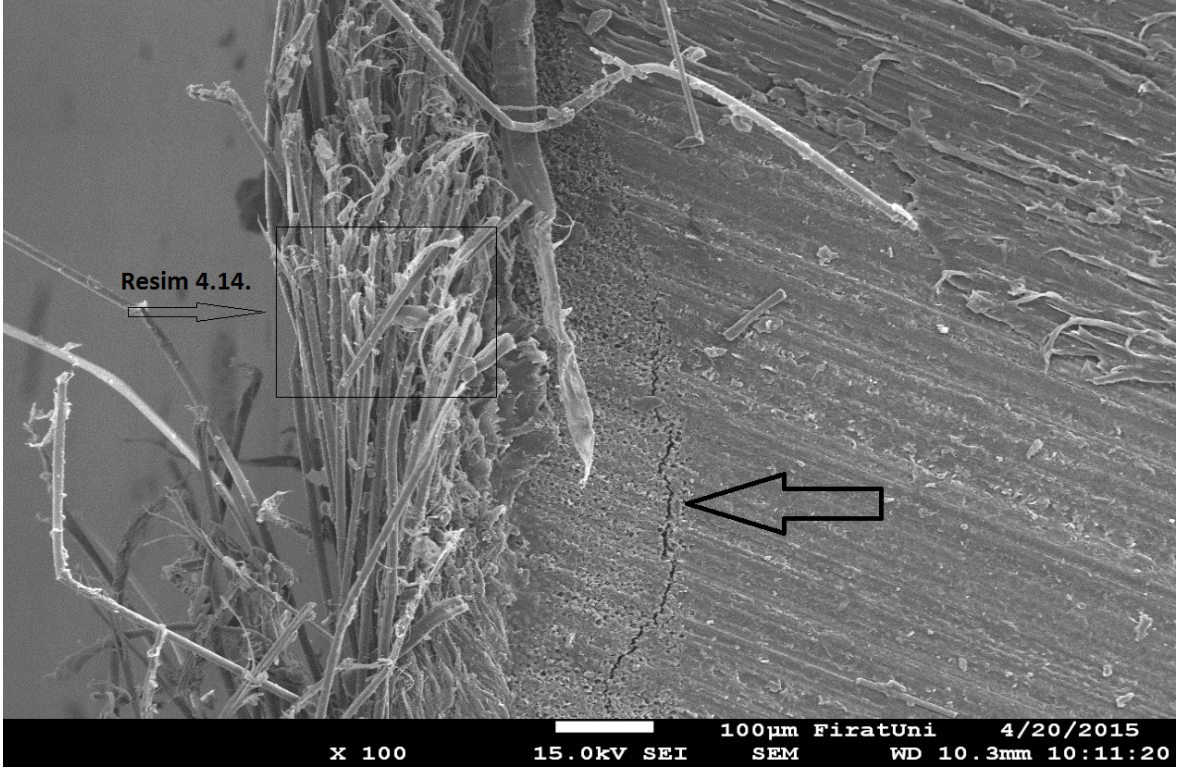
SEM analizlerinde Kompozit Kevlar çekme numunesinin Fiber yapı ile reçinenin çeşitli büyütmelerde görüntüleri detaylı incelenmiş infüzyon yöntemi ile reçinenin fiber yapıya emdirilmesinde mikro makro yapıda boşlukların oluşmadığı ve tam nüfuziyet sağlandığı görülmekle beraber bu durumun karmaşık şekilli yapıların üretiminde de avantaj sağlayacağı fikrini oluşturmuştur.

3.2.2. Kompozit Aramid çekme numunesi (F:2)

Resim 3.10.' da Kompozit Aramid numunesinin X30 büyütmede ki görüntüsü görülmektedir. Görüntüde Aramid elyaf lifler, epoksi reçine ve yayıcı film gözükmektedir. (A1) ile gösterilen bölümde yayıcı film ile reçinenin birleşme noktası gözükmektedir. Aşağıda Kompozit Aramid numunenin daha yüksek büyütmelerde daha detaylı görüntüleri sıralanmıştır.

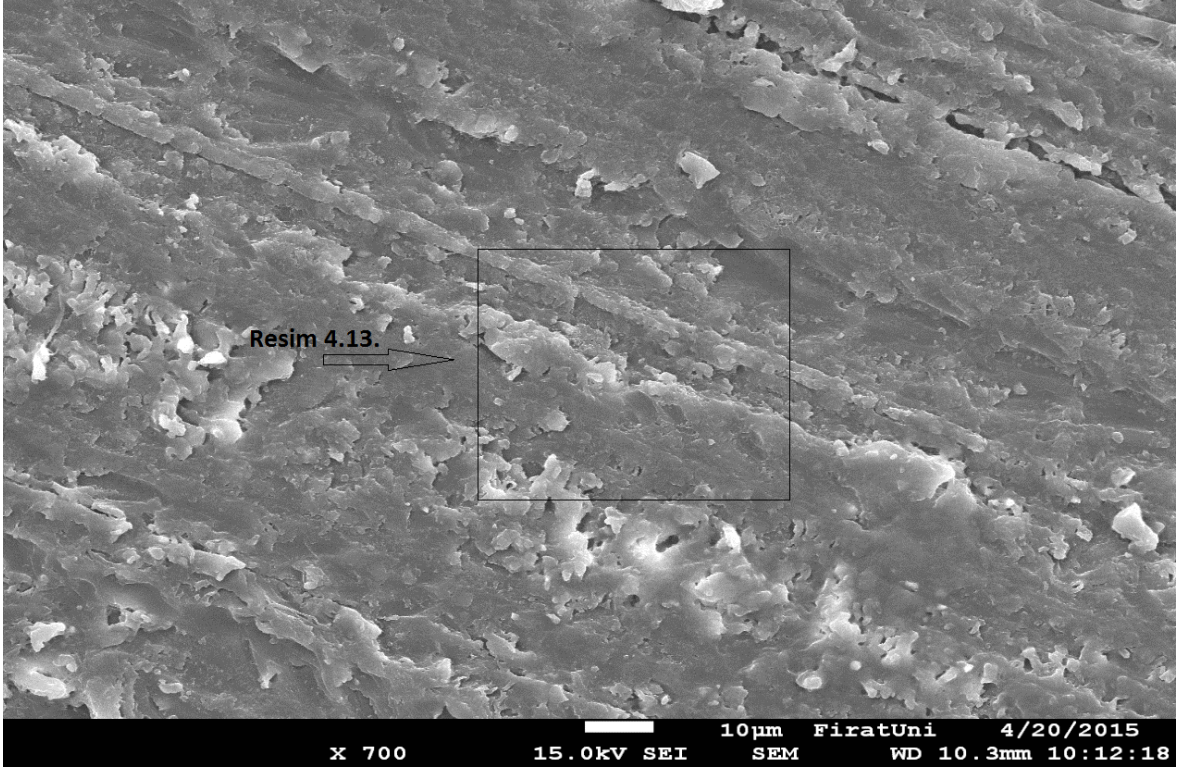


Resim .3.10. Kompozit aramid çekme numunesi (F:2) SEM' de X30 büyütme görüntüsü



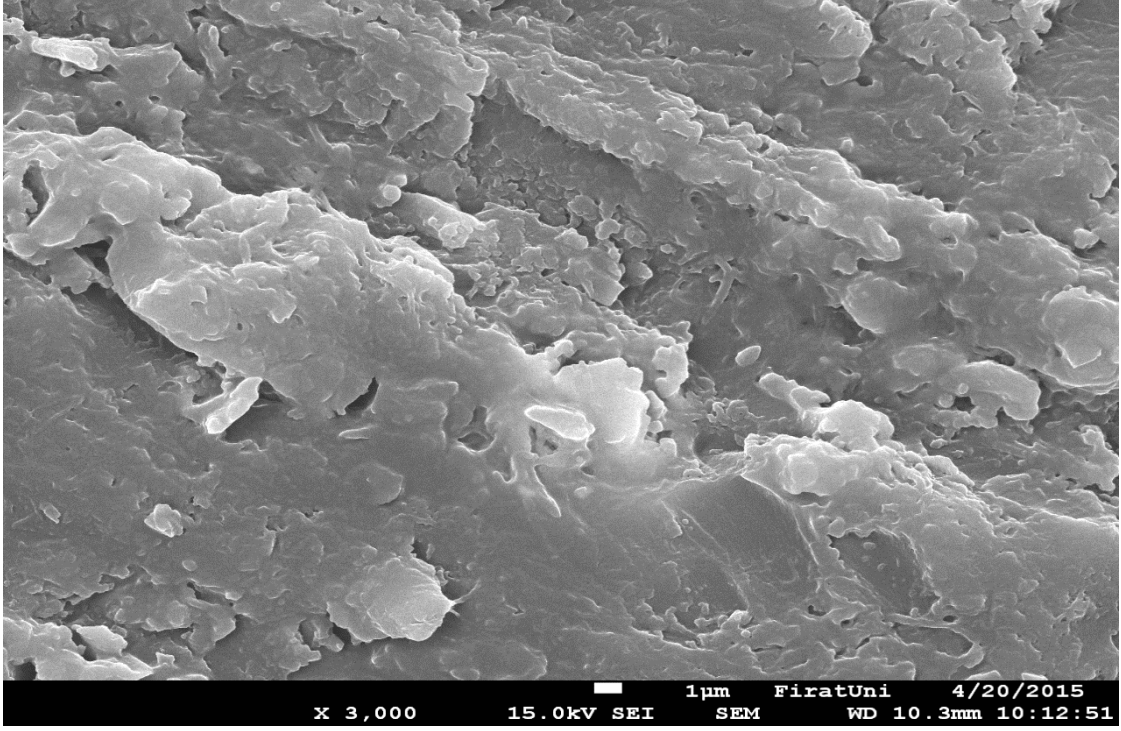
Resim .3.11. Kompozit aramid çekme numunesi (F:2) SEM' de X100 büyütme görüntüsü

Resim 3.11.' de Kompozit Aramid numunesinin X100 büyütmede ki görüntüsü görülmektedir. Görüntüde Aramid elyaf lifleri epoksi reçinenin soğuma sırasında oluşan ayrışma (çatlak) bölgesi gözükmemektedir. Numune üretim yönteminde tezgahın ısının artırılıp, azaltılması yöntemleri denenerek çatlak oluşumu incelenip uygun ısı değeri tespit edilebilir. Aşağıda Kompozit Aramid numunenin daha yüksek büyütme görüntüleri sıralanmıştır.



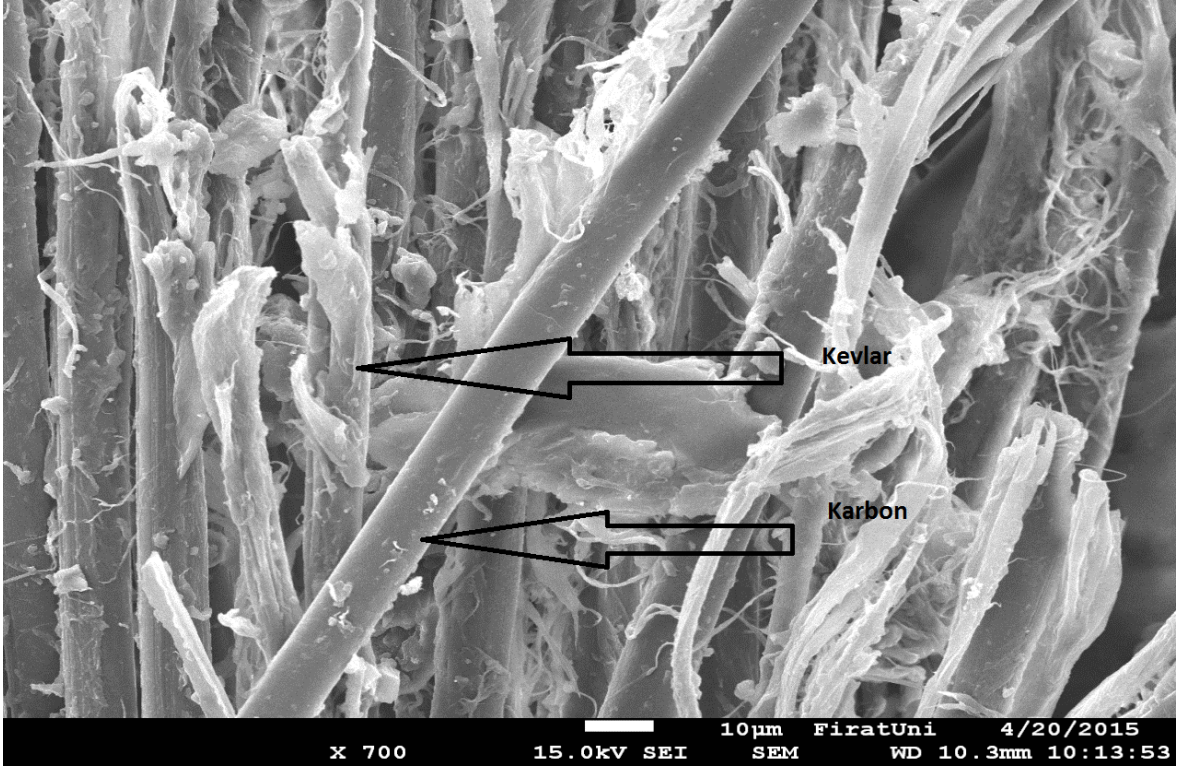
Resim .3.12. Kompozit aramid çekme numunesi (F:2) SEM’ de X700 büyütme görüntüsü

Resim 3.12.’ de Kompozit Aramid numunesinin X700 büyütmede ki görüntüsü görülmektedir. Görüntüde Resim 3.10’ da gösterilen bölge büyütülmüştür reçine bölgesinde kesme işlemi sırasında oluşan paralel dalgalar gözükmemektedir.



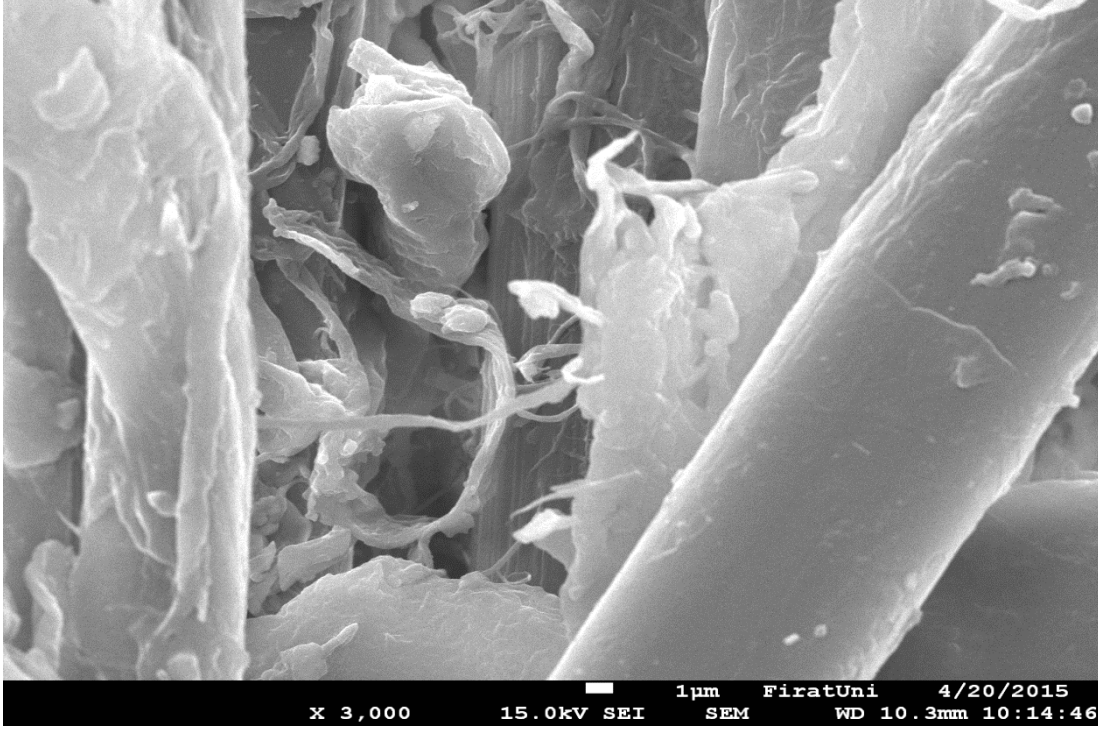
Resim .3.13. Kompozit aramid çekme numunesi (F:2) SEM’ de X3000 büyütme görüntüsü

Resim 3.13.’ de Kompozit Aramid numunesinin X3000 büyütmede ki görüntüsü görülmektedir. Görüntüde Kompozit Aramid numunesinin epoksi reçine bölgesinde çatlak veya ayrışmanın olmayıp süreklilik arz ettiği anlaşılmıştır.



Resim .3.14. Kompozit aramid çekme numunesi (F:2) SEM’ de X700 büyütme görüntüsü

Resim 3.14.’ de Kompozit Aramid numunesinin X700 büyütmede ki görüntüsü görülmektedir. Görüntüde Aramid elyaflarının recine ile nüfuziyeti görülmektedir. Aramid kevlar ve karbonun örgüsünden oluştuğundan karbon ve kevlar liflerinin yapısı incelendiğinde karbonun daha silindirik kevların ise kesilme noktalarında saçaklanmalar gözükmektedir. Aşağıda Kompozit Aramid numunenin daha yüksek büyütmelerde daha detaylı görüntüleri sıralanmıştır.

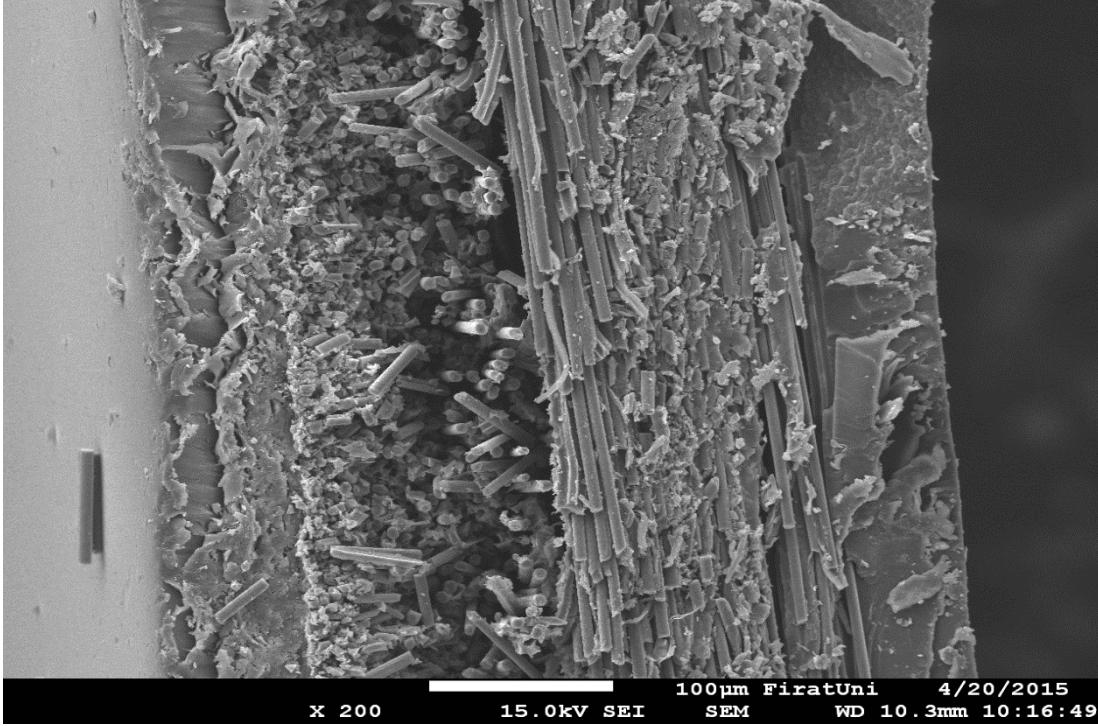


Resim .3.15. Kompozit aramid çekme numunesi (F:2) SEM’ de X3000 büyütme görüntüsü

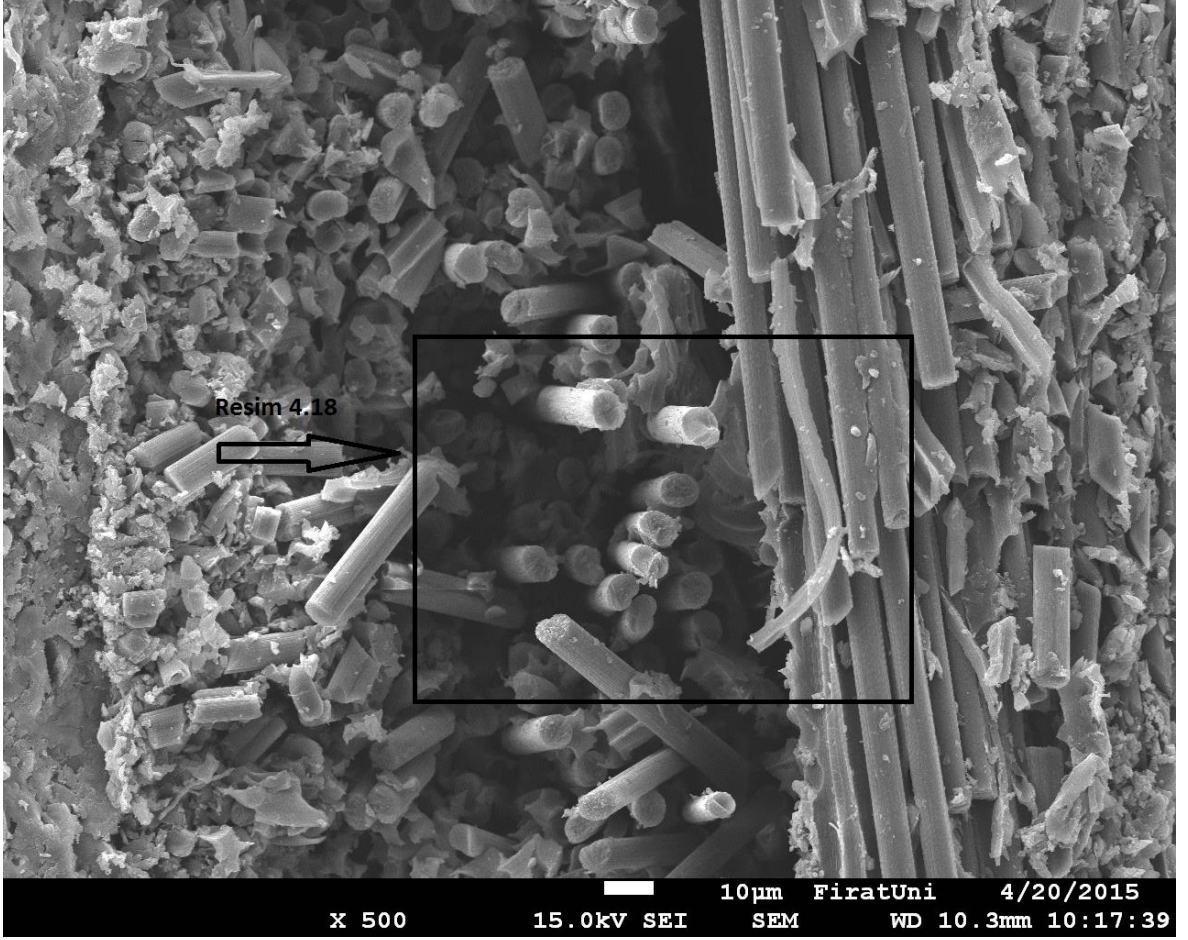
Resim 3.15.’ de Kompozit Aramid numunesinin X3000 büyütmede ki görüntüsü görülmektedir. Görüntü Resim 4.14.’de incelenen kısmın daha detaylıdır. Karbon ve Kevların yüzey görüntülerinden karbonun sertliği ve mukavemet özelliklerinin üstünlüğü anlaşılmaktadır, bu yargı çekme deneyi grafiği ve parametreler tablosuyla da örtüşmektedir.

3.2.3. Kompozit Karbon çekme numunesi (F:3)

Resim 3.16.'da Kompozit Karbon numunesinin X200 büyütmede ki görüntüsü görülmektedir. Karbon kumaşın lifleri ve epoksi reçine gözükmemektedir. Karbon lifleri Kevlar ve Aramid'e kıyasla daha ince olduklarından X200 büyütme den X100.000 büyütmeye doğru genelden detaya numune görüntülenmiştir

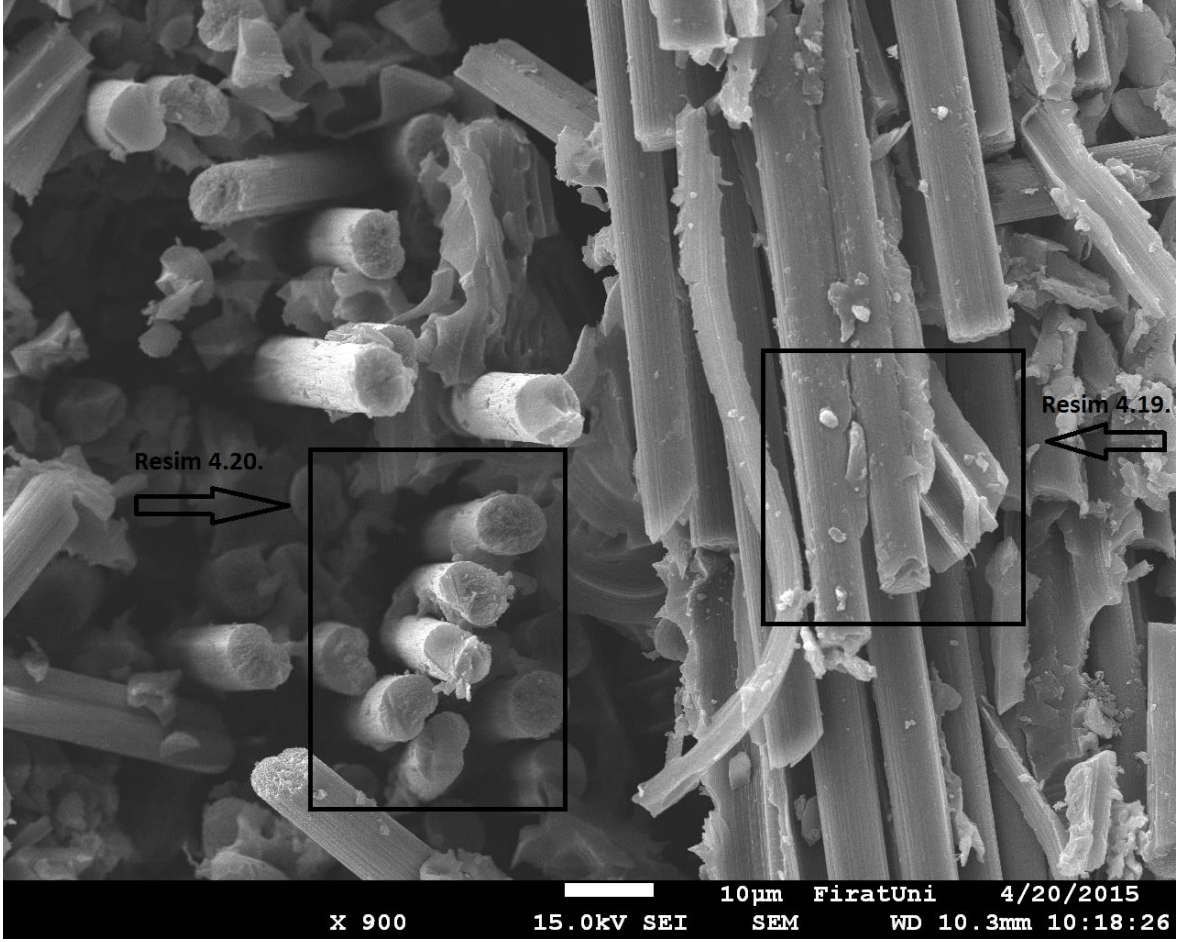


Resim .3.16. Kompozit karbon çekme numunesi (F:3) SEM' de X200 büyütme görüntüsü



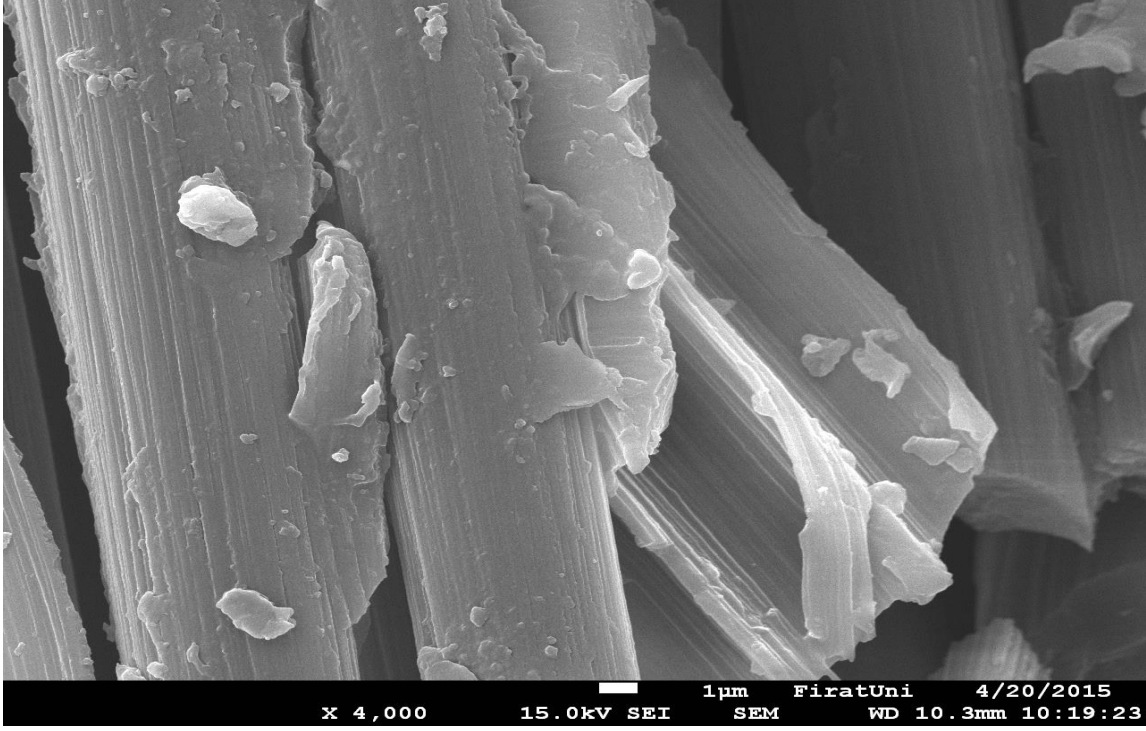
Resim .3.17. Kompozit karbon çekme numunesi (F:3) SEM' de X500 büyütme görüntüsü

Resim 3.17'de Kompozit Karbon numunesinin X500 büyütmede ki görüntüsü görülmektedir. Karbon kumaşın liflerinin enine ve boyuna yapısı gözükmemektedir. Dikkat çekici şekilde karbon liflerinin ucunda saçaklanma olmayıp küçük parçacıklı oluşundan da kırılğan yapıda olduğu anlaşılmaktadır.



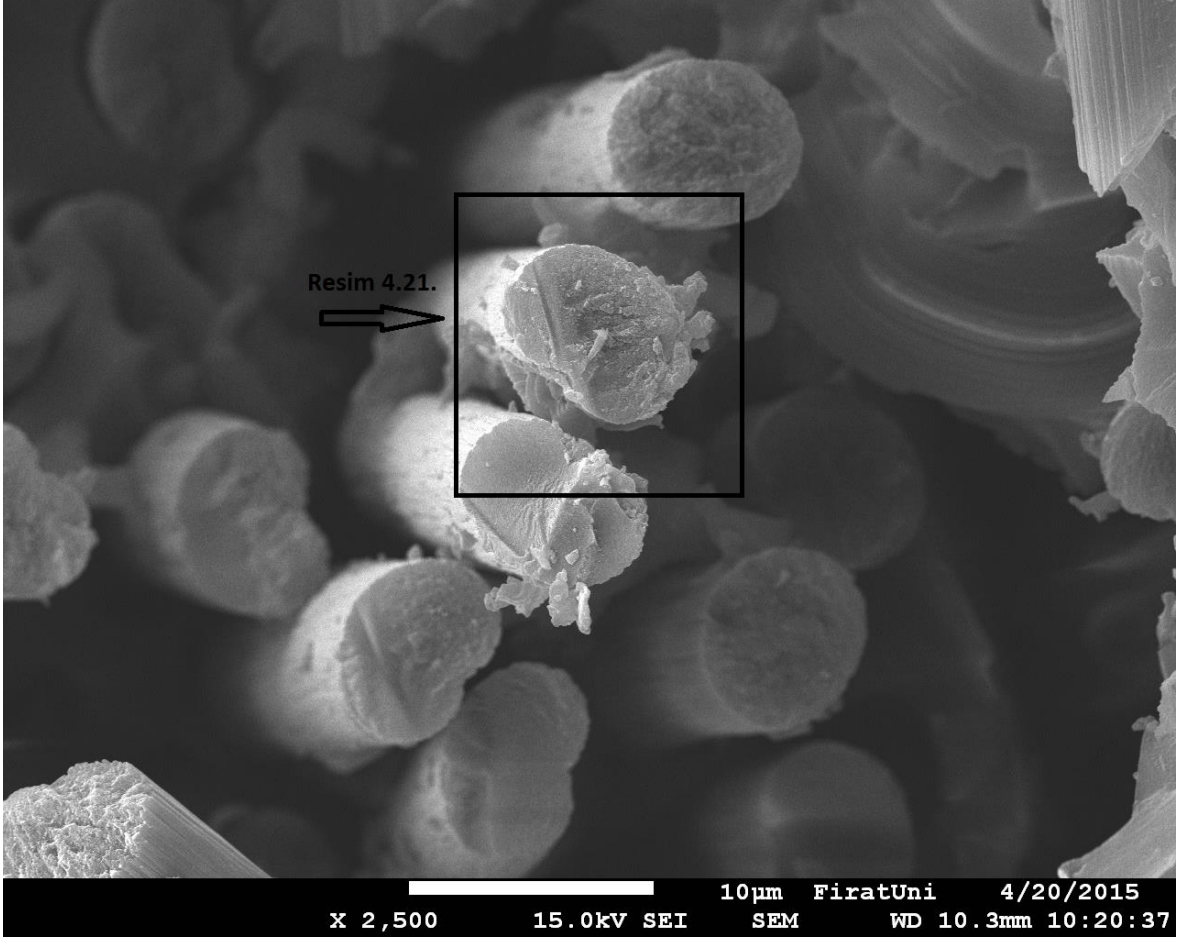
Resim .3.18. - Kompozit karbon çekme numunesi (F:3) SEM' de X900 büyütme görüntüsü

Resim 3.18.'de Kompozit Karbon numunesinin X900 büyütmede ki görüntüsü görülmektedir. Karbon kumaşı binlerce ince yapılı liflerden oluşmuştur.



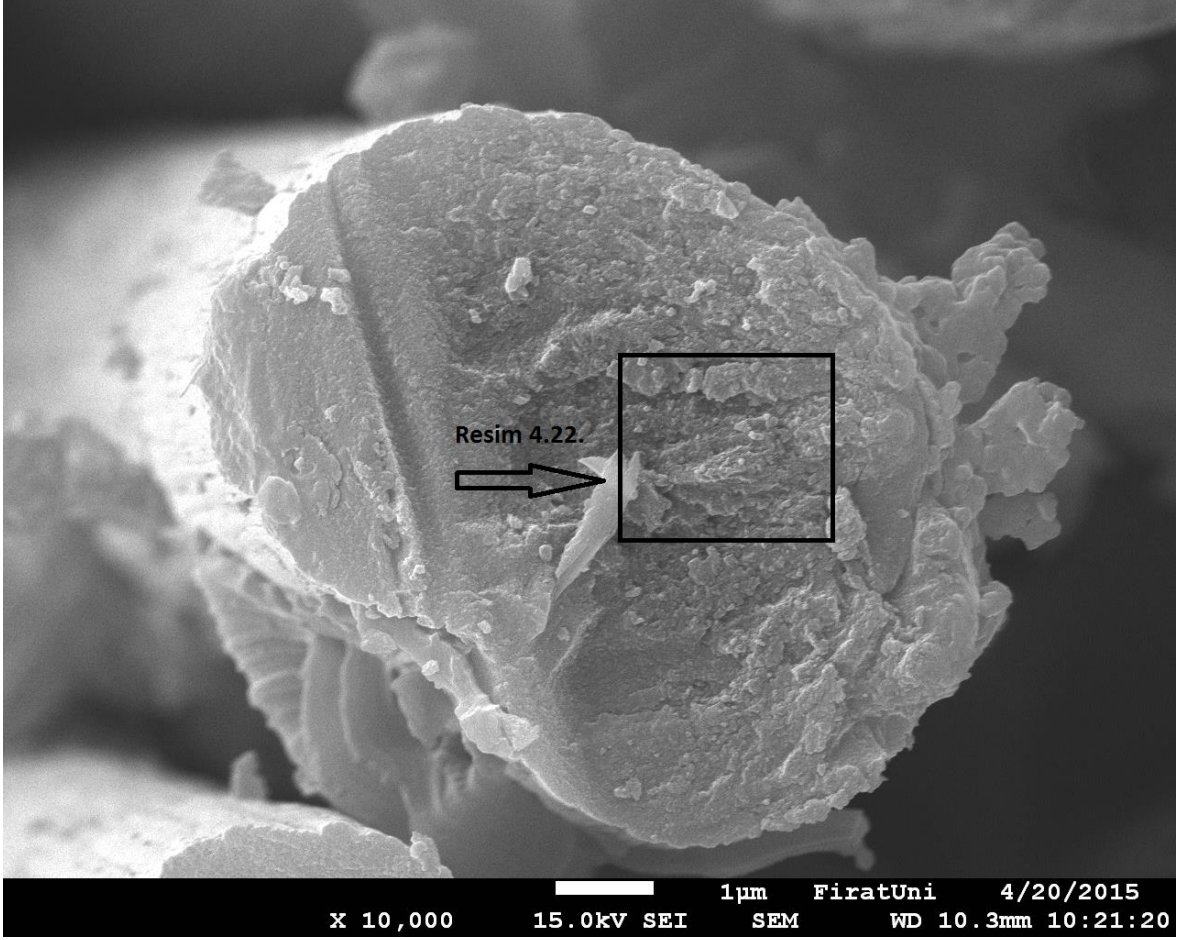
Resim .3.19. Kompozit karbon çekme numunesi (F:3) SEM’ de X4000 büyütme görüntüsü

Resim 3.19.’da Kompozit Karbon numunesinin X4000 büyütmede ki görüntüsü görülmektedir. Karbon kumaşın boyuna liflerinin ve epoksi reçine ile kaynaşmış hali gözükmemektedir.



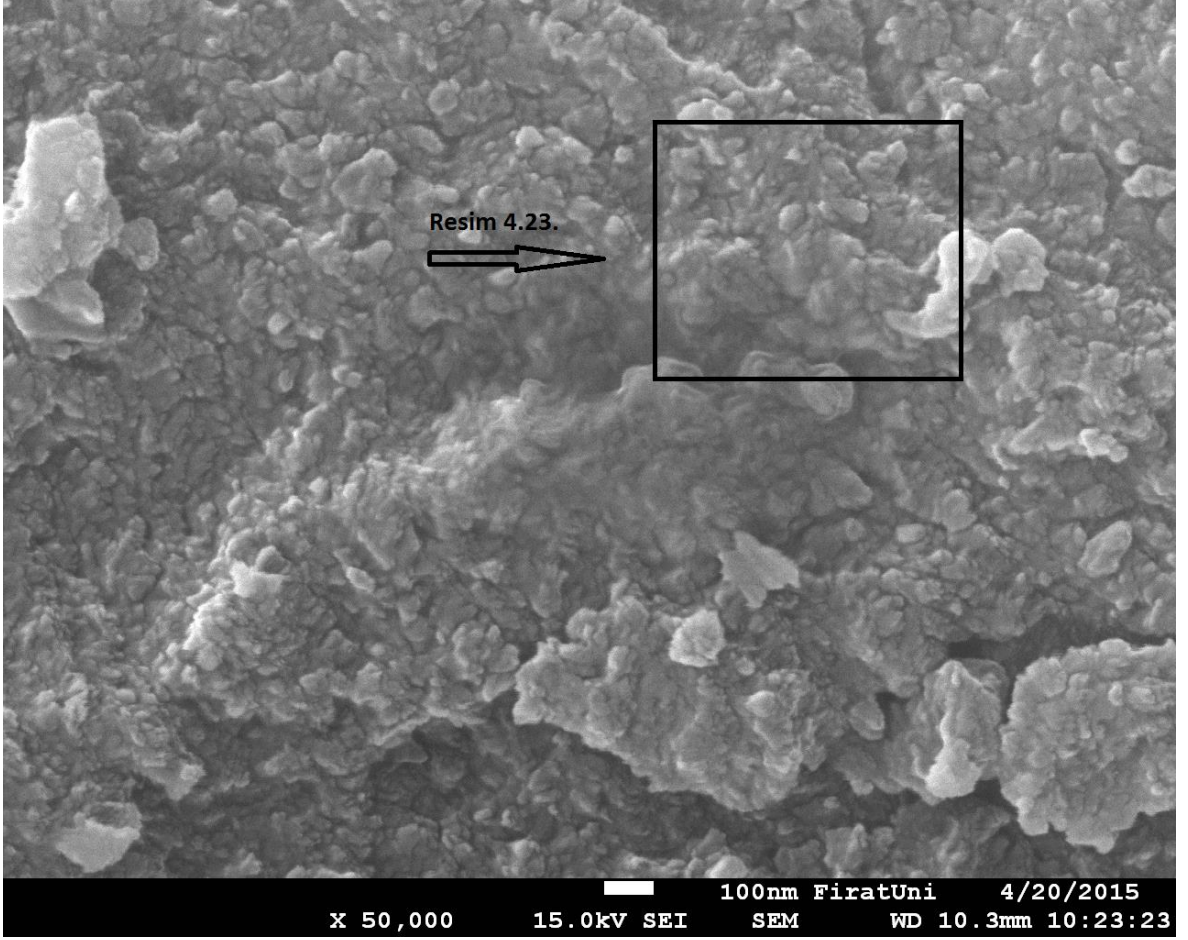
Resim .3.20. Kompozit karbon çekme numunesi (F:3) SEM' de X2.500 büyütme görüntüsü

Resim 3.20.'de Kompozit Karbon numunesinin X2.500 büyütmede ki görüntüsü görülmektedir. Karbon kumaşın enine lifleri ve epoksi reçine gözükmemektedir. Karbon lifleri dairesel kesitli ve boşluksuz yapıdadırlar. Yoğun bir lif demetinden oluşmaktadır ve lifler süreklilik arz ettiğinden bu yapı çekme dayanımı açısından yüksek mukavemet değerleri vermektedir.



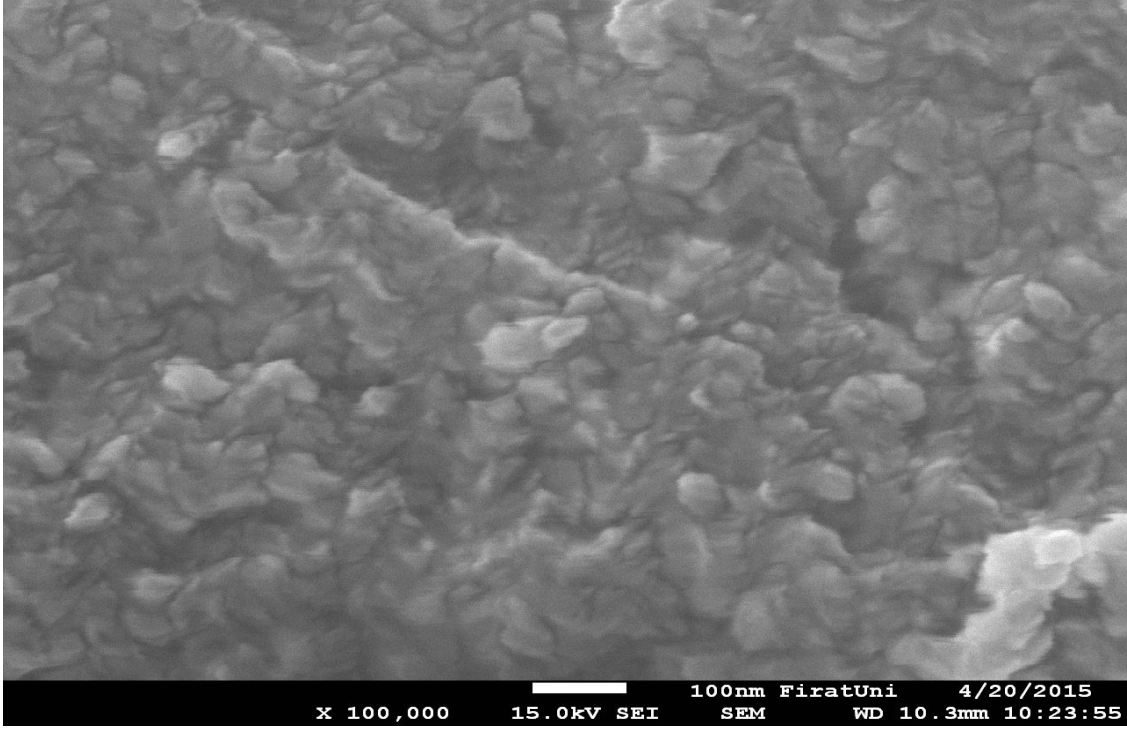
Resim .3.21. Kompozit karbon çekme numunesi (F:3) SEM' de X10.000 büyütme görüntüsü

Resim 3.21.' de Kompozit Karbon numunesinin X10.000 büyütmede ki görüntüsü görülmektedir. Bu görüntü Karbon kumaşın enine liflerinin çok detaylı olarak incelenmesine imkan vermektedir. Lifin en kesitinin detayları gözükmemektedir. Lifin iç yapısında kılcal çatlak veya boşluk olmadığı görülmektedir.



Resim .3.22. Kompozit karbon çekme numunesi (F:3) SEM' de X50.000 büyütme görüntüsü

Resim 3.22.'de Kompozit Karbon numunesinin X50.000 büyütmede ki görüntüsü görülmektedir. Bu görüntü Resim 3.21.'deki enine karbon liflerinin X50.000 büyütmedeki daha detaylı görüntüsüdür.

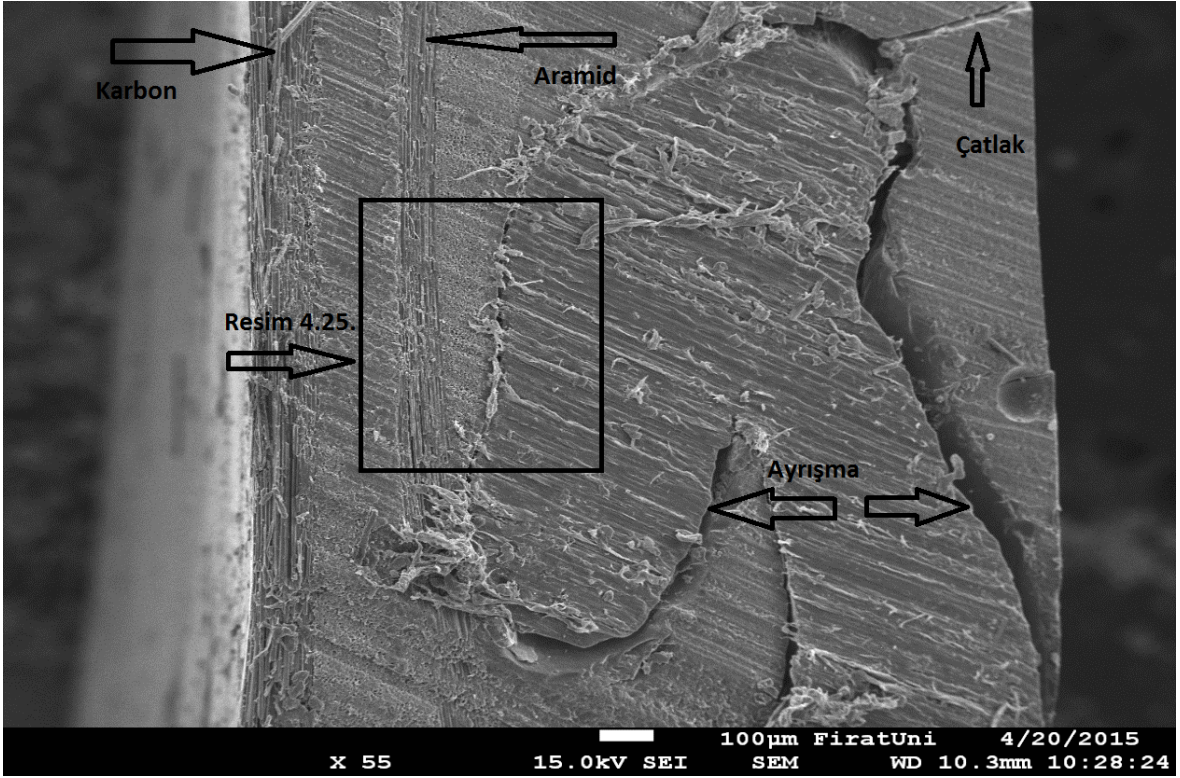


Resim .3.23. Kompozit karbon çekme numunesi (F:3) SEM' de X100.000 büyütme görüntüsü

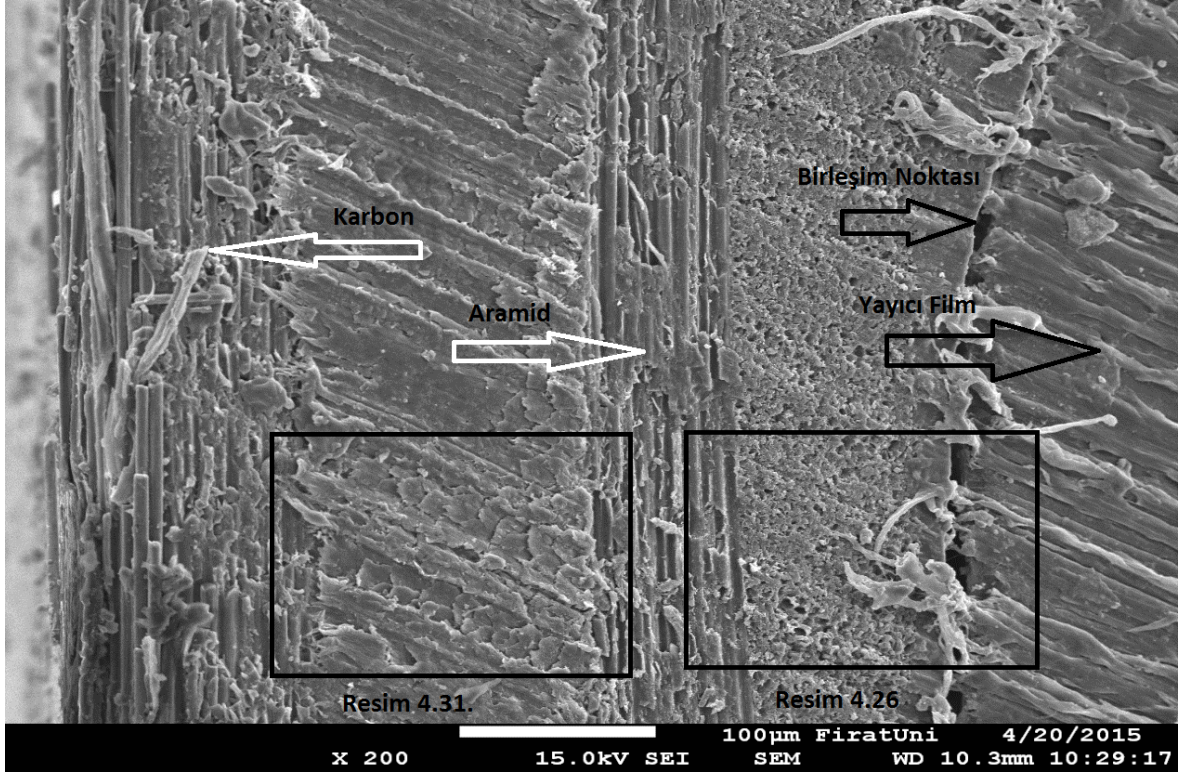
Resim 3.23.' de Kompozit Karbon numunesinin X100.000 büyütmede ki görüntüsü görülmektedir. Bu görüntü Resim 4.22.' deki enine karbon liflerinin X100.000 büyütmedeki daha detaylı görüntüsüdür. Fiber lifin iç yapısındaki homojenlik ve boşluksuz yapı dikkat çekicidir.

3.2.4. Kompozit Karbon- Aramid Fiber çekme numunesi (F:4)

Resim 3.24.' de Kompozit Karbon –Aramid numunesinin X55 büyütmede ki görüntüsü görülmektedir .Bu görüntüde soldan sağa sırasıyla Karbon ve Aramid lifleri ile yayıcı film gözükmemektedir. Yapıda yayıcı film ile reçine arasında birleşme hattında boşluk oluştuğu görülmektedir, yayıcı film reçinenin ilerleyişini sağlayıp malzemeye mukavemet değerleri yönünden katkı sağlamamaktadır, bu nedenle yayıcı film ile reçine arasında oluşan boşluklar deney ve numunelerimizde önem arz etmemektedir. Karbon ve Aramid lif demetlerinin reçine içinde paralel şekilde ve reçine ile nüfus etmiş hali dikkat çekicidir. İnfüzyon yönteminin, eksi basınç altında yapılıyor olması elyaf tabakalarını vakum ile presleyerek ince yapılı malzemeler üretilmeye imkan sağlamaktadır.

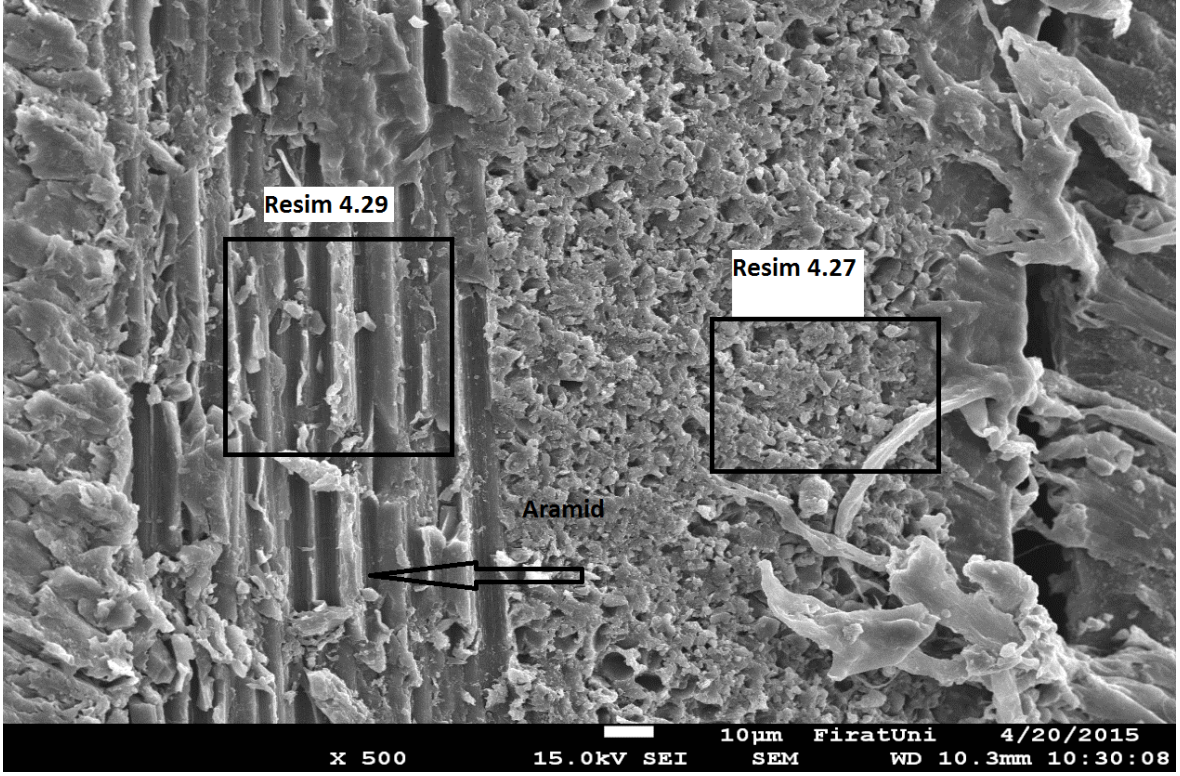


Resim .3.24. Kompozit karbon- aramid çekme numunesi (F:4) SEM' de X55 büyütme görüntüsü



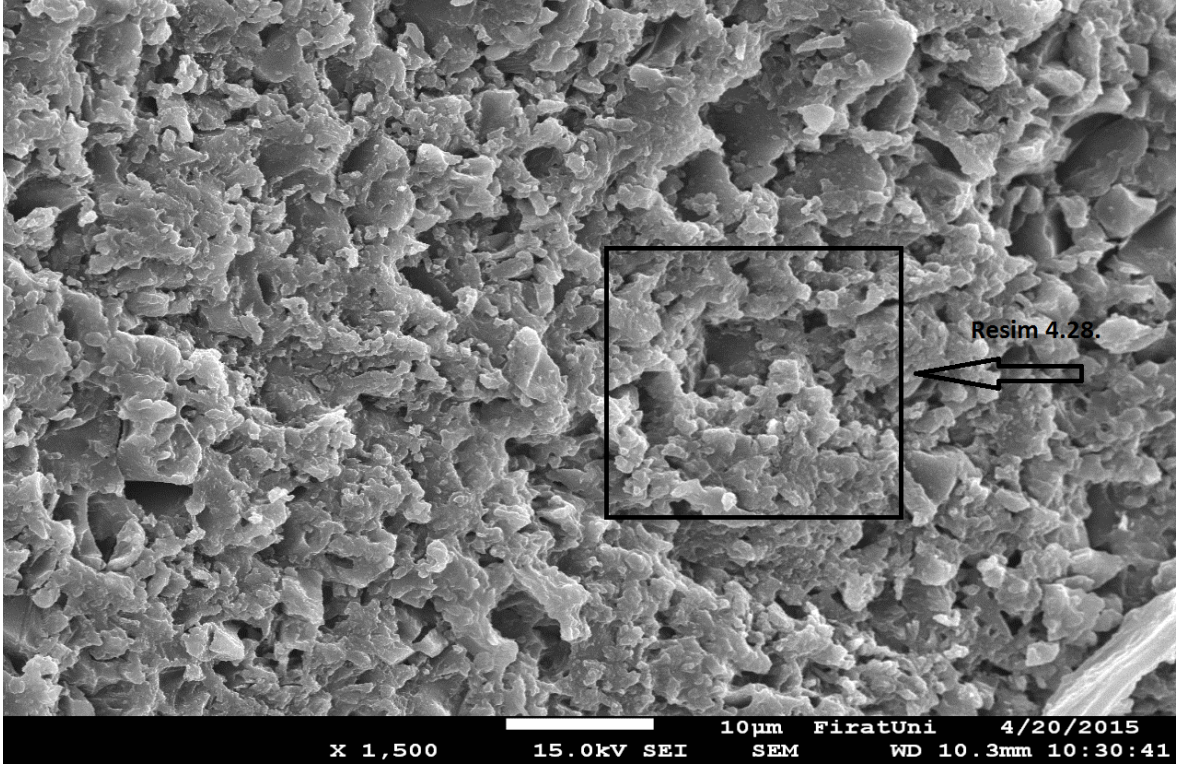
Resim .3.25. Kompozit karbon- aramid çekme numunesi (F:4) SEM' de X200 büyütme görüntüsü

Resim 3.25.' de Kompozit Karbon –Aramid numunesinin X200 büyütmede ki görüntüsü görülmektedir. Resim üzerinde oklarla lifler yayıcı film ve birleşme noktaları verilmiştir, fakat resim 3.31. ve Resim 3.26. ile gösterilen bölümlerde ki reçinenin farklı yapıda olduğu barizdir. Resim 3.31. bölgesi iki elyaf demeti arasında kalan bölge olduğundan infüzyonla reçine ilerleyişi Resim 3.26. tarafında ki yayıcı film tarafına oranla daha yavaş olmaktadır; bu durumun tezgahımızın alttan ısıtmalı olması ve yayıcı film kısmının (Resim 3.26.) tezgahın üst kısmında konumlanması sebebiyle daha az ısıya maruz kalması sonucunda oluştuğu fikri oluşmuştur.



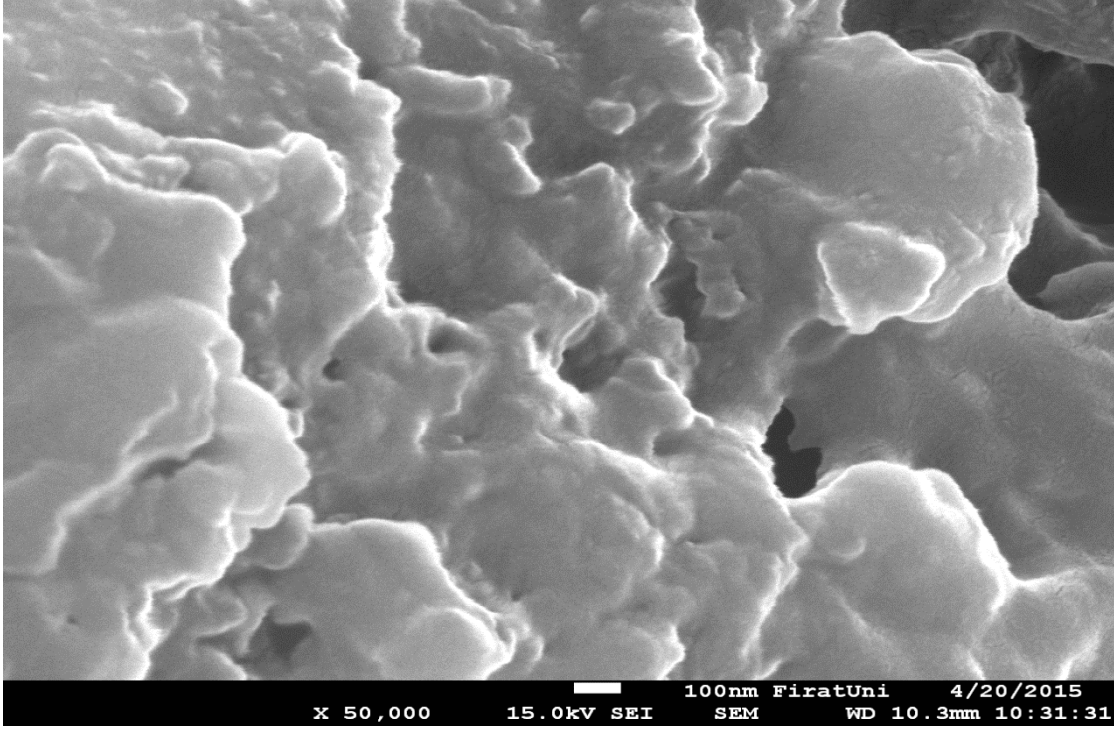
Resim .3.26. Kompozit karbon- aramid çekme numunesi (F:4) SEM' de X500 büyütme görüntüsü

Resim 3.26.' da Kompozit Karbon –Aramid numunesinin X500 büyütmede ki görüntüsü görülmektedir. Bu görüntüde Aramid liflerinin reçineye geçiş bölgeleri gözükmemektedir.



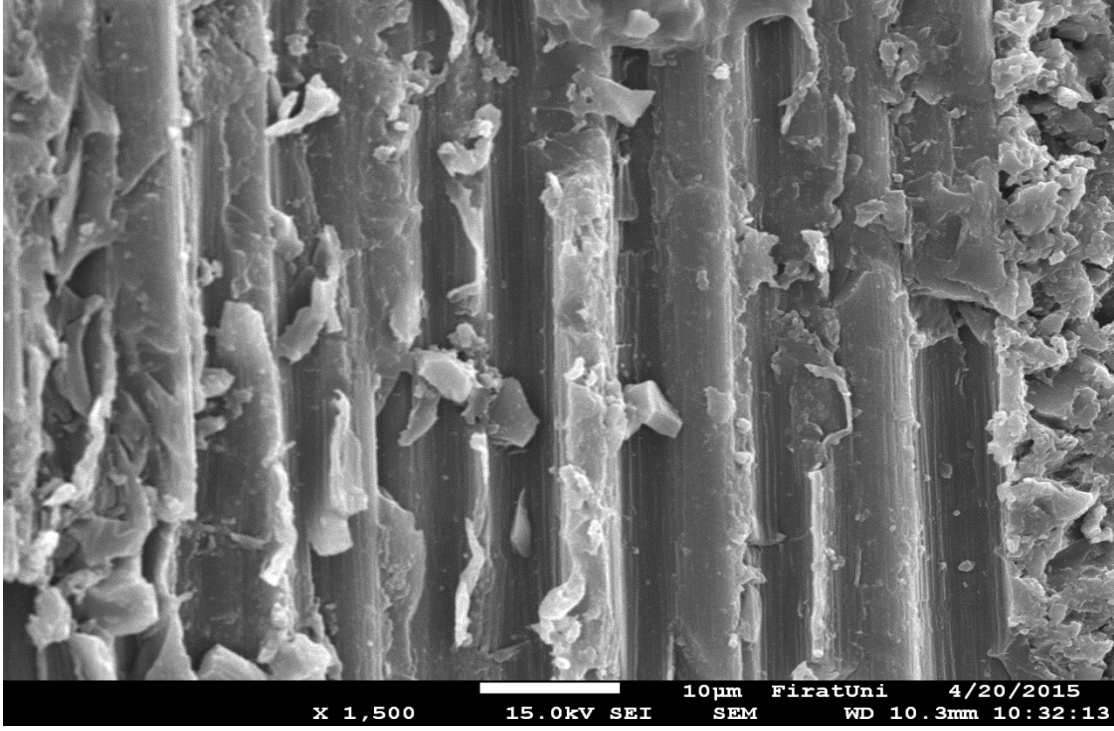
Resim .3.27. Kompozit karbon- aramid çekme numunesi (F:4) SEM’ de X1.500 büyütme görüntüsü

Resim 3.27.’ de Kompozit Karbon –Aramid numunesinin X1.500 büyütmede ki görüntüsü görülmektedir. Bu görüntüde Aramid lifleri ile yayıcı film arasında kalan hızlı ilerleyip ısı merkezine daha uzak olan reçine bölgesinin X1.500 büyütmedeki görüntüsü verilmiştir.



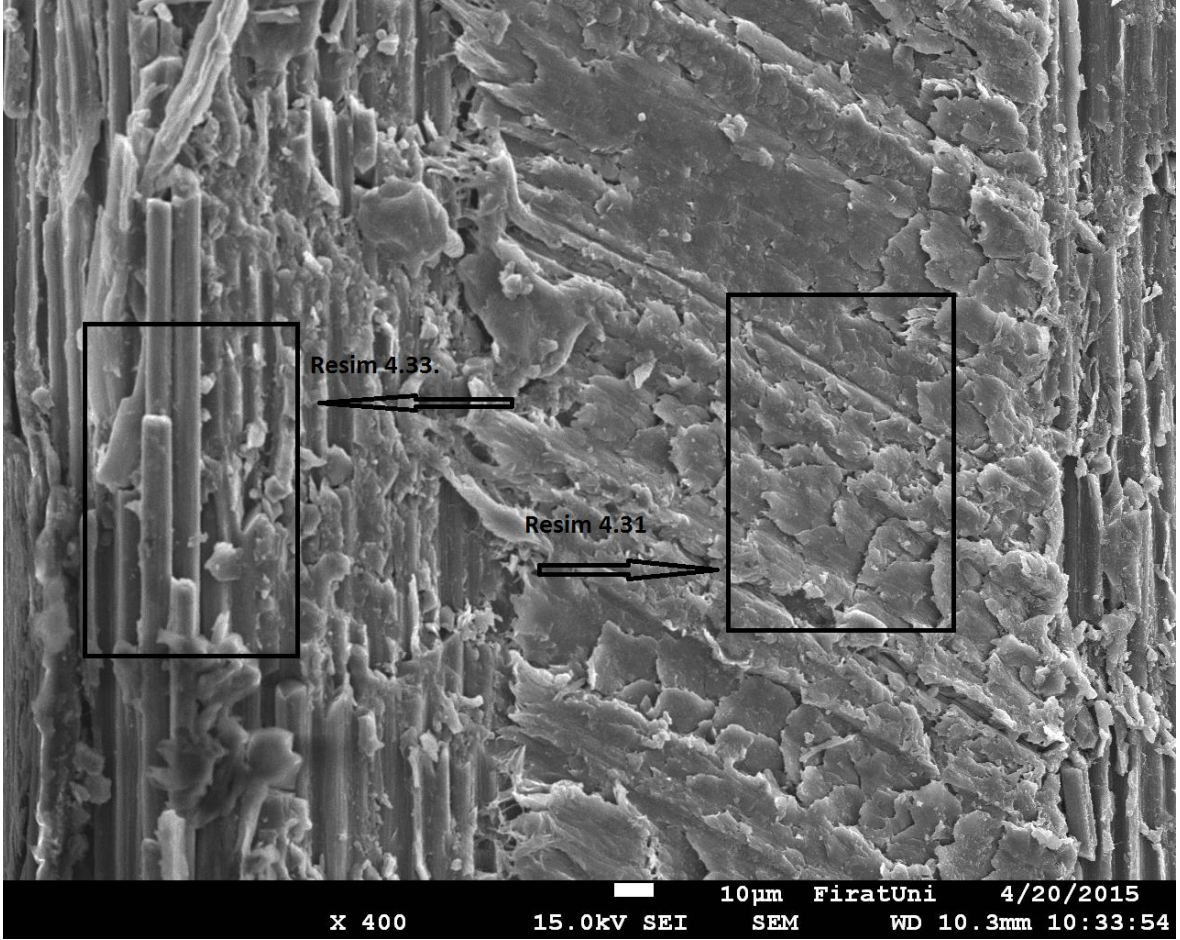
Resim .3.28. Kompozit karbon- aramid çekme numunesi (F:4) SEM’ de X50.000 büyütme görüntüsü

Resim 3.28.’ de Kompozit Karbon –Aramid numunesinin x50.000 büyütmede ki görüntüsü verilmiştir. Bu görüntüde Resim 3.27. de X1.500 büyütme ile verilen Aramid lifleri ile yayıcı film arasında kalan reçine bölgesinin X50.000 büyütmedeki daha detaylı görüntüsü verilmiştir.



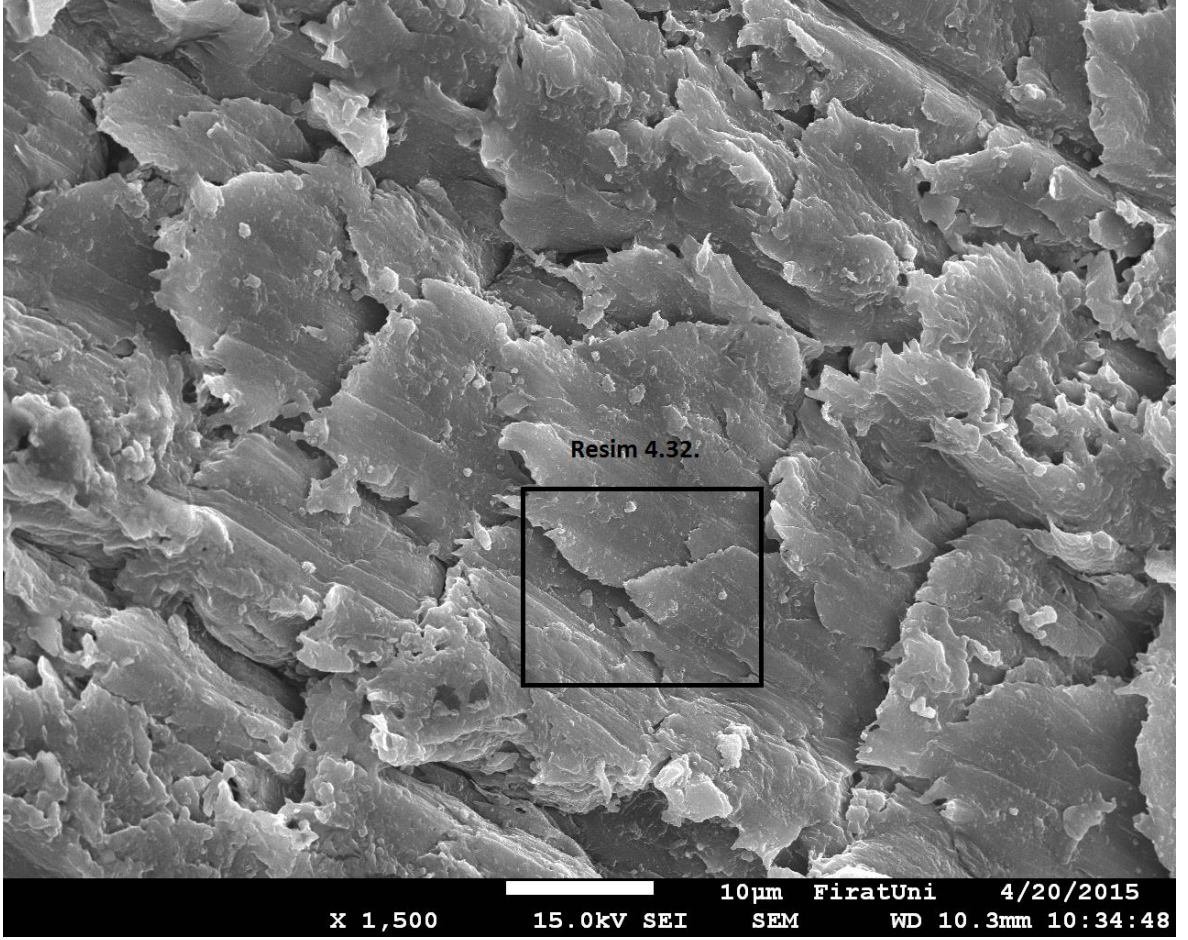
Resim .3.29. Kompozit karbon- aramid çekme numunesi (F:4) SEM’ de X1.500 büyütme görüntüsü

Resim 3.29.’ da Kompozit Karbon –Aramid numunesinin X1.500 büyütmede ki görüntüsü verilmiştir. Bu görüntüde Aramid lifleri ve resmin sağ kısmında reçine geçiş bölgesinin X1.500 büyütmedeki görüntüsü verilmiştir.



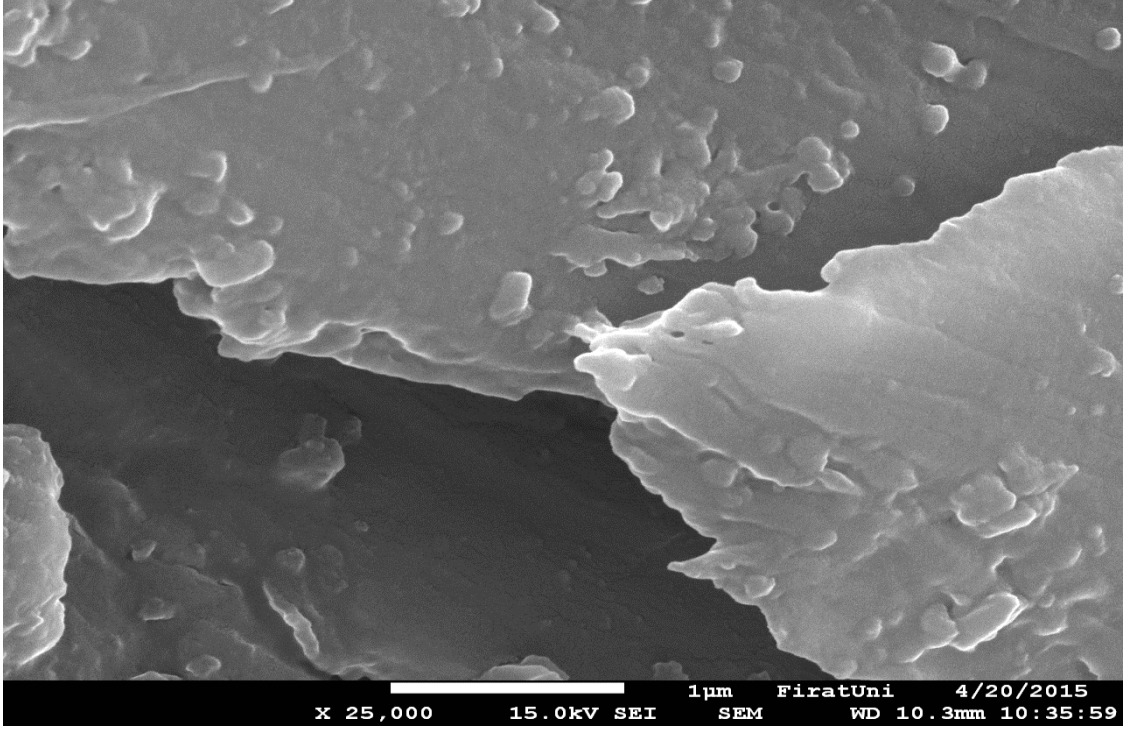
Resim .3.30. Kompozit karbon- Aramid çekme numunesi (F:4) SEM’ de X400 büyütme görüntüsü

Resim 3.30.’ da Kompozit Karbon –Aramid numunesinin X400 büyütmede ki görüntüsü verilmiştir. Bu görüntüde Kompozit Karbon –Aramid numunesinin Resim 3.25.’ de X200 büyütmede ki görüntüsünün daha detaylı olan X400 büyütmesi görülmektedir. Soldan sağa sırasıyla Karbon lifleri Reçine bölgesi ve Aramid lifleri’ nin X400 büyütmedeki görüntüsü verilmiştir.



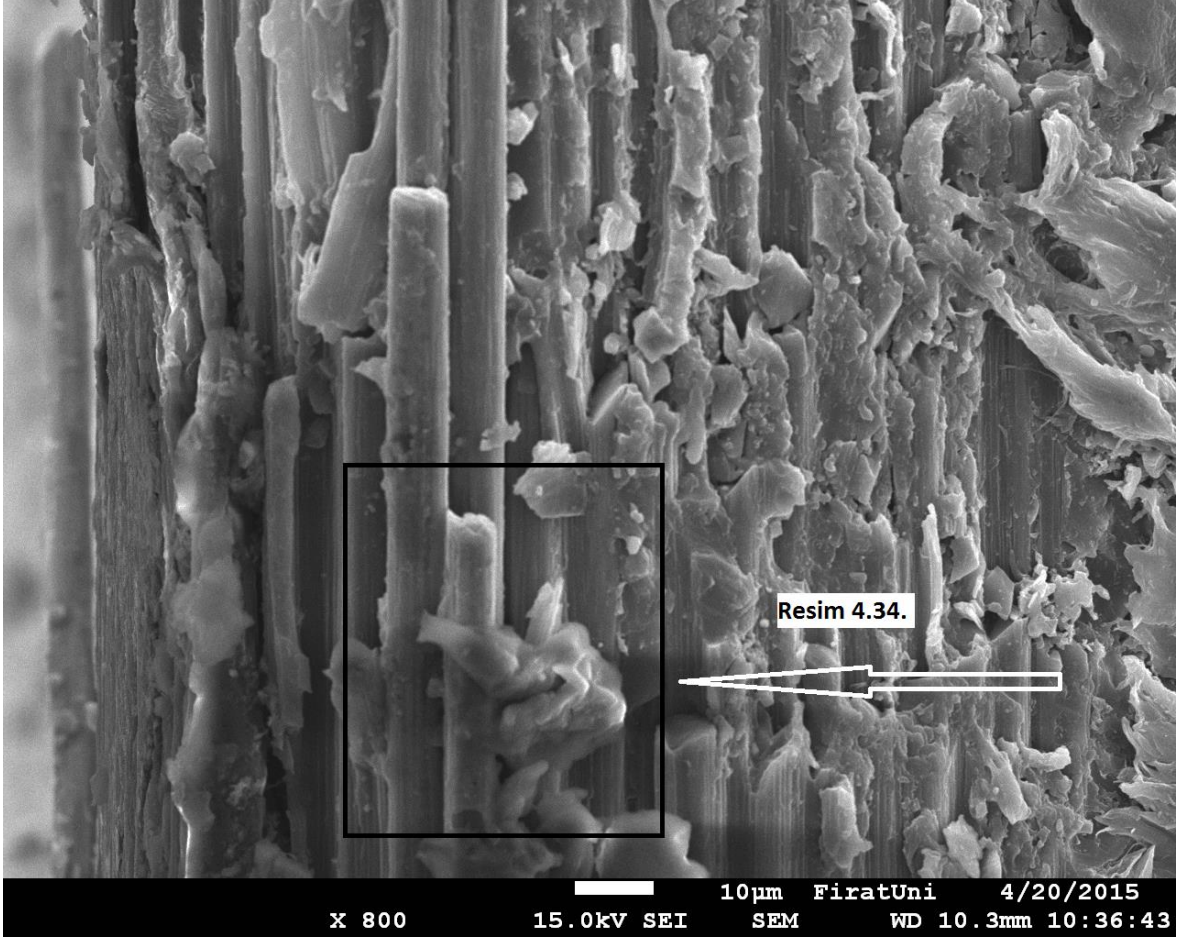
Resim .3.31. Kompozit karbon- aramid çekme numunesi (F:4) SEM' de X1.500 büyütme görüntüsü

Resim 3.31.' de Kompozit Karbon –Aramid numunesinin X1.500 büyütmede ki görüntüsü verilmiştir. Bu görüntüde Karbon lifleri ile Aramid lifleri arasında kalan reçine bölgesinin X1500 büyütmedeki görüntüsü verilmiştir. Yapı Resim 3.26.'da verilen yayıcı film tarafındaki reçine bölgesinden farklı olarak yaprağımsı görünümündedir.



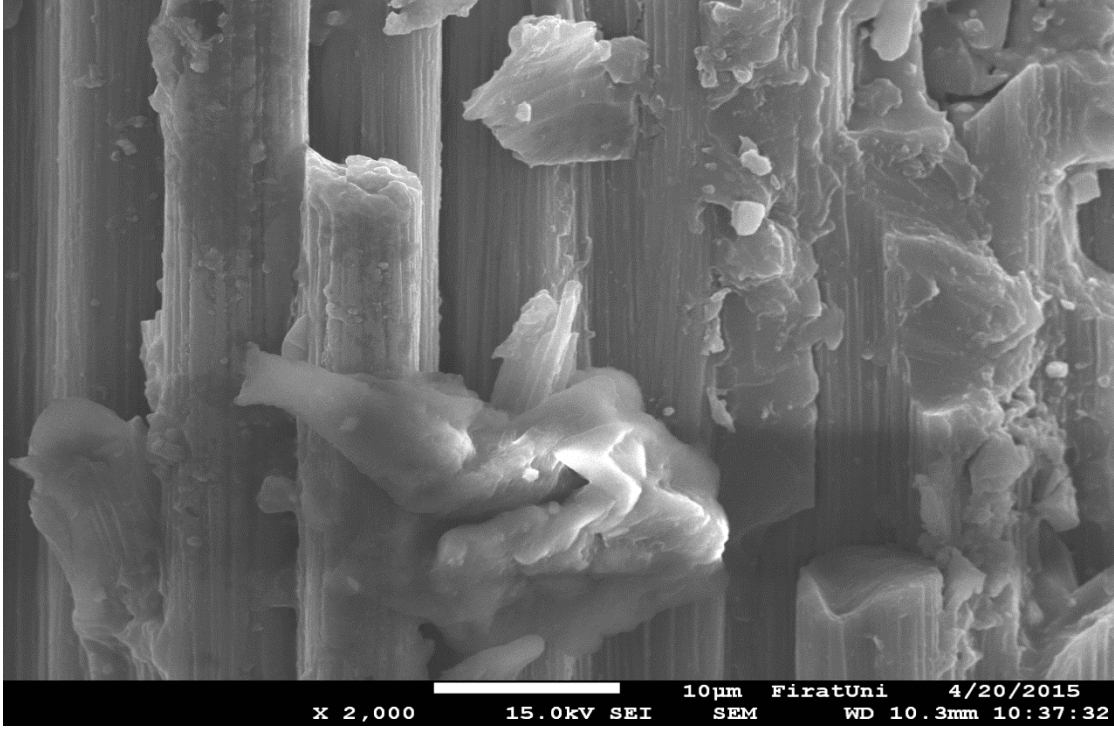
Resim .3.32. Kompozit karbon- aramid çekme numunesi (F:4) SEM’ de X25.000 büyütme görüntüsü

Resim 3.32’ de Kompozit Karbon –Aramid numunesinin X25.000 büyütmede ki görüntüsü verilmiştir. Bu görüntüde Resim 3.31.’de X1.500 büyütme ile verilen görüntünün daha yüksek büyütme görüntüsü verilmiştir. Reçinenin yapraklar şeklinde ve yüzeyler arasında mikro seviyede derinlik farkı olduğu anlaşılmaktadır.



Resim .3.33. Kompozit karbon- aramid çekme numunesi (F:4) SEM’ de X800 büyütme görüntüsü

Resim 3.33.’ de Kompozit Karbon –Aramid numunesinin X800 büyütmede ki görüntüsü verilmiştir. Karbon lifleri ile reçine birleşim bölgesi resimlenmiştir.

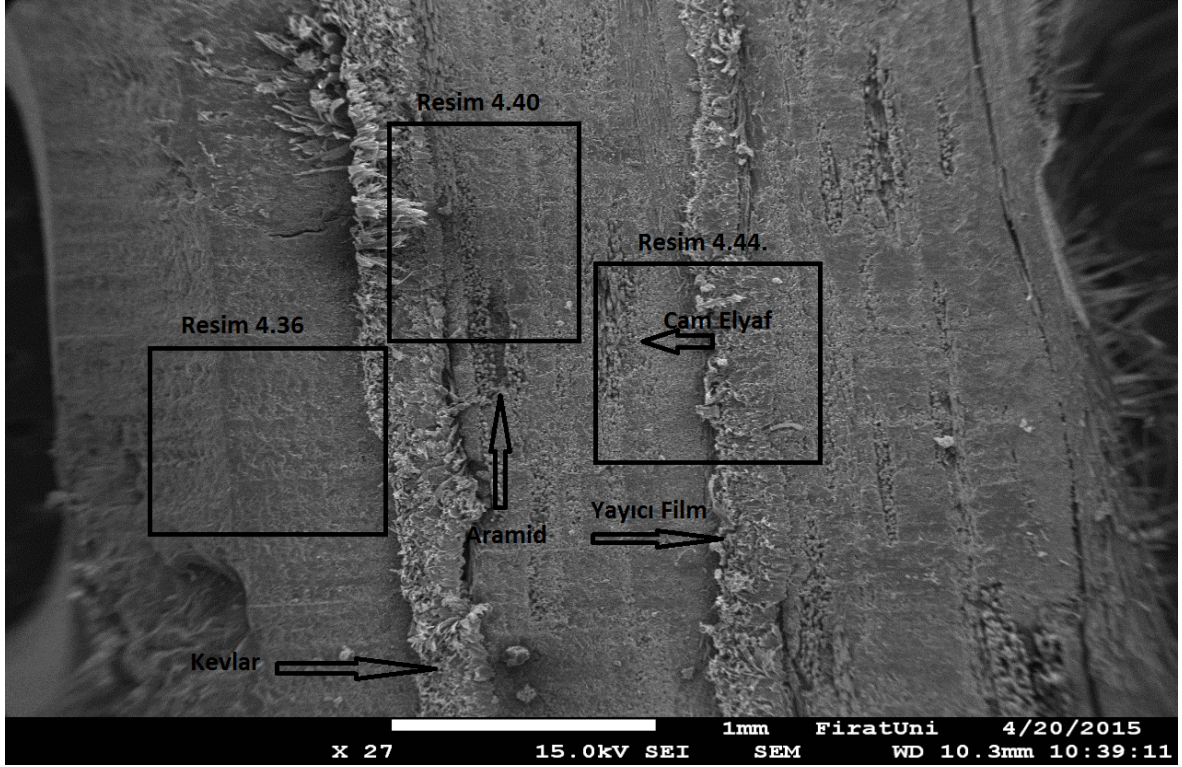


Resim .3.34. Kompozit karbon- aramid çekme numunesi (F:4) SEM’ de X2.000 büyütme görüntüsü

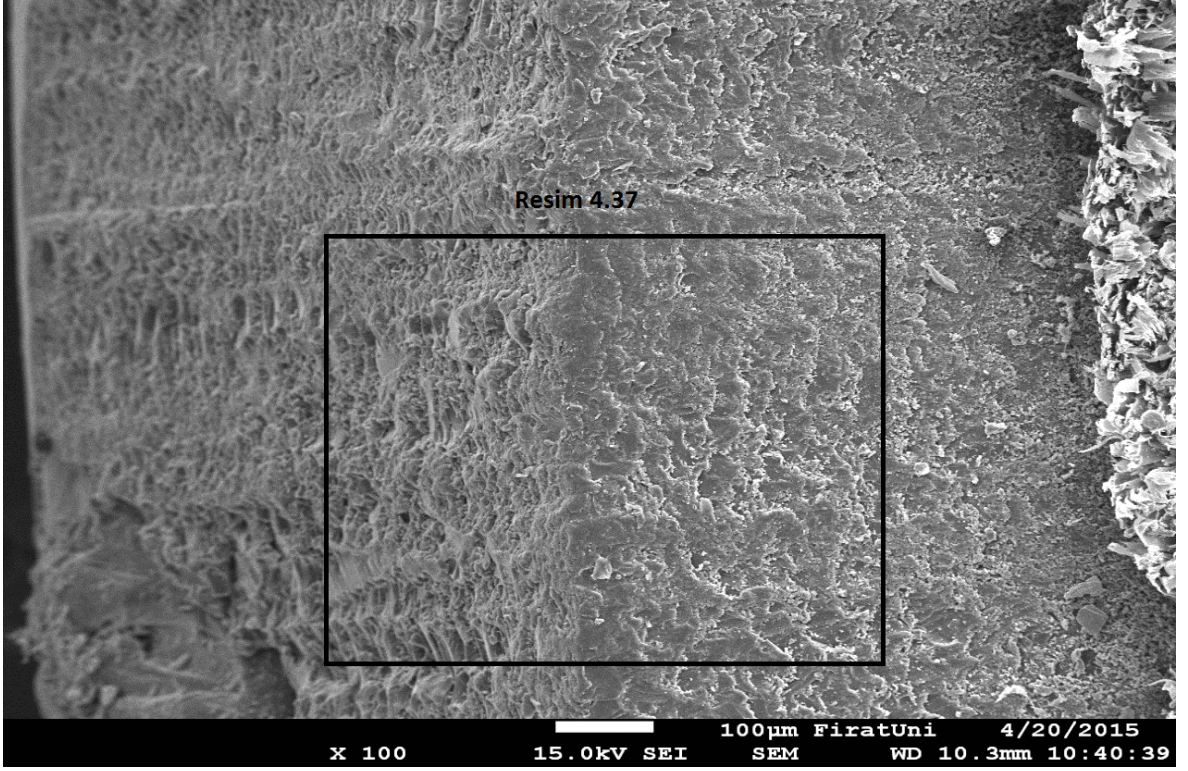
Resim.3.34.’ de Kompozit Karbon –Aramid numunesinin X2.000 büyütmede ki görüntüsü verilmiştir. Bu görüntüde Karbon liflerinin reçine ile nüfuziyeti daha detaylı olarak görülmektedir.

3.2.5 Kompozit Kevlar-Aramid-Cam Fiber çekme numunesi (F:5)

Resim 3.35.' de Kompozit Kevlar-Aramid-Cam Fiber numunesinin X27 büyütmede ki görüntüsü görülmektedir. Bu görüntüde soldan sağa sırasıyla Yayıcı Film, Kevlar lifleri, Aramid lifleri, Cam Elyafı Lifleri ve yayıcı film gözükmemektedir. Yapının daha yüksek büyütmelerde daha detaylı görüntüleri sırasıyla aşağıda gösterilmiştir.

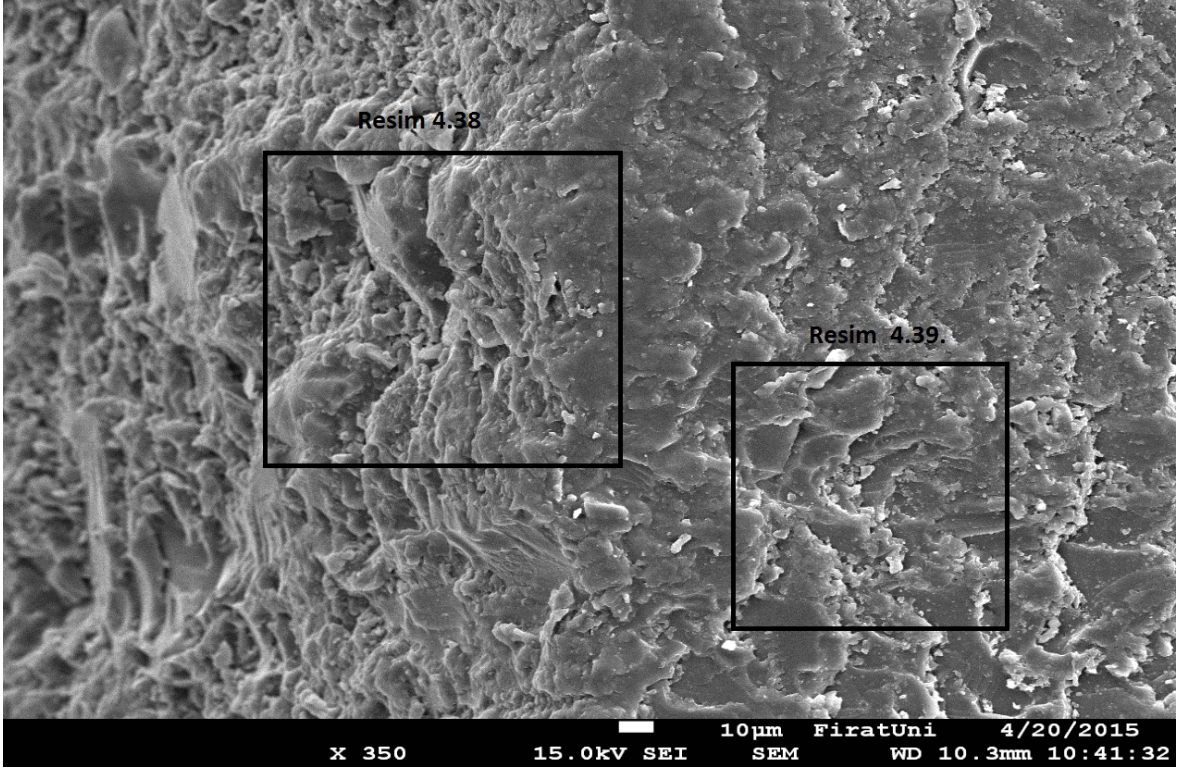


Resim .3.35. Kompozit kevlar-aramid-cam fiber çekme numunesi (F:5) SEM' de X27 büyütme görüntüsü



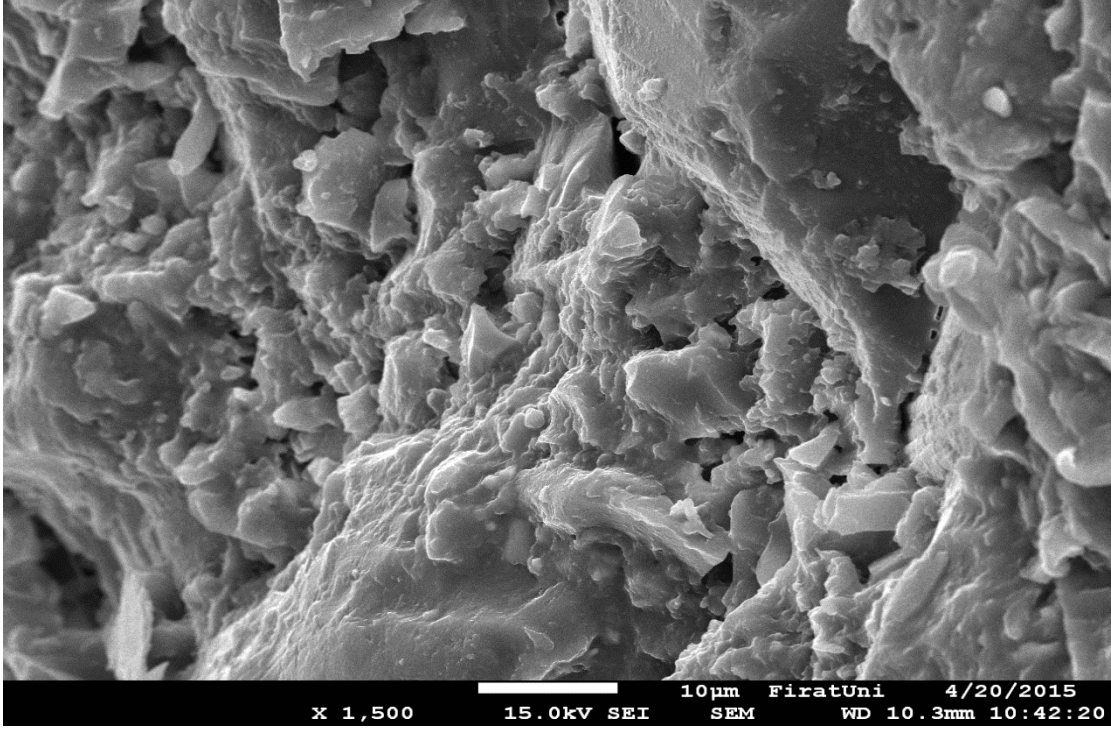
Resim .3.36. Kompozit kevlar-aramid-cam fiber çekme numunesi (F:5) SEM' de X100 büyütme görüntüsü

Resim 3.36.' de Kompozit Kevlar-Aramid-Cam Fiber numunesinin X100 büyütmede ki görüntüsü görülmektedir. Bu görüntüde yayıcı film dışında kalan reçine bölgesinin soğuma etkisiyle farklı iki faz şeklindeki görüntüsü hissedilmektedir. Yapının daha yüksek büyütmelerde daha detaylı görüntüleri sırasıyla aşağıda gösterilmiştir.



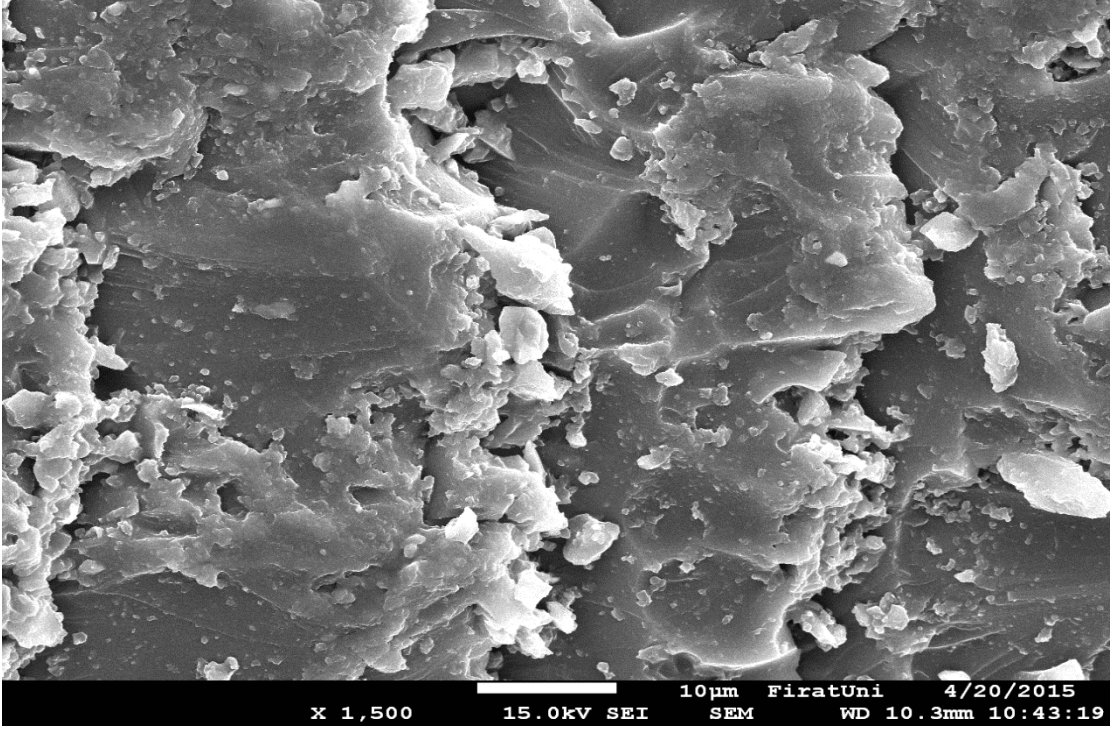
Resim .3.37. Kompozit kevlar-aramid-cam fiber çekme numunesi (F:5) SEM’ de X350 büyütme görüntüsü

Resim 3.37.’ de Kompozit Kevlar-Aramid-Cam Fiber numunesinin X350 büyütmede ki görüntüsü görülmektedir. Bu görüntüde Resim 3.36.’ deki görüntünün X350 büyütmesi resme alınmıştır. Görüntüde reçine bölgesinin ısı geçişinde oluşan kararsızlık sonucunda yükseltinin sırtını andıran bir izafi bir görüntü oluşmuştur.



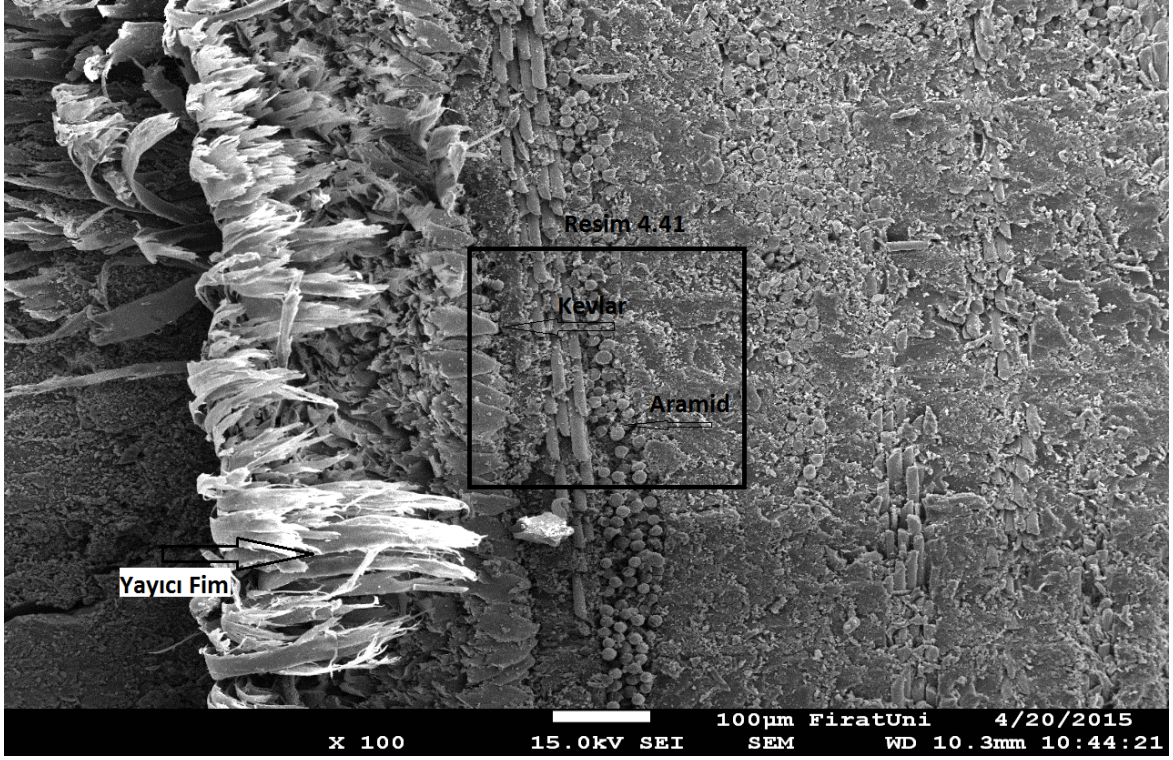
Resim .3.38. Kompozit kevlar-aramid-cam fiber çekme numunesi (F:5) SEM' de X1.500 büyütme görüntüsü

Resim 3.38.' de Kompozit Kevlar-Aramid-Cam Fiber numunesinin izafi sırt çizgisinin resme göre solunda kalan Reçine Bölgesinin X1.500 büyütmede ki görüntüsü görülmektedir.



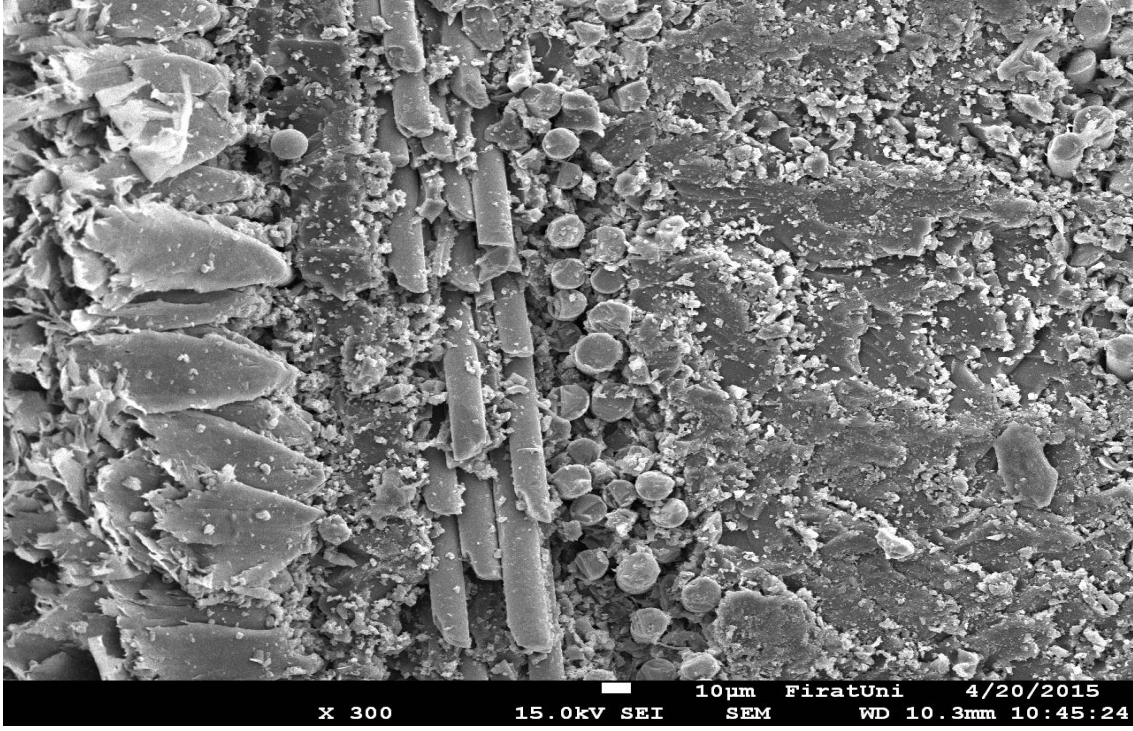
Resim .3.39. Kompozit keklar-aramid-cam fiber çekme numunesi (F:5) SEM’ de X1.500 büyütme görüntüsü

Resim 3.39.’ da Kompozit Kevlar-Aramid-Cam Fiber numunesinin izafi sırt çizgisinin resme göre sağında kalan Reçine Bölgesinin X1.500 büyütmede ki görüntüsü görülmektedir.



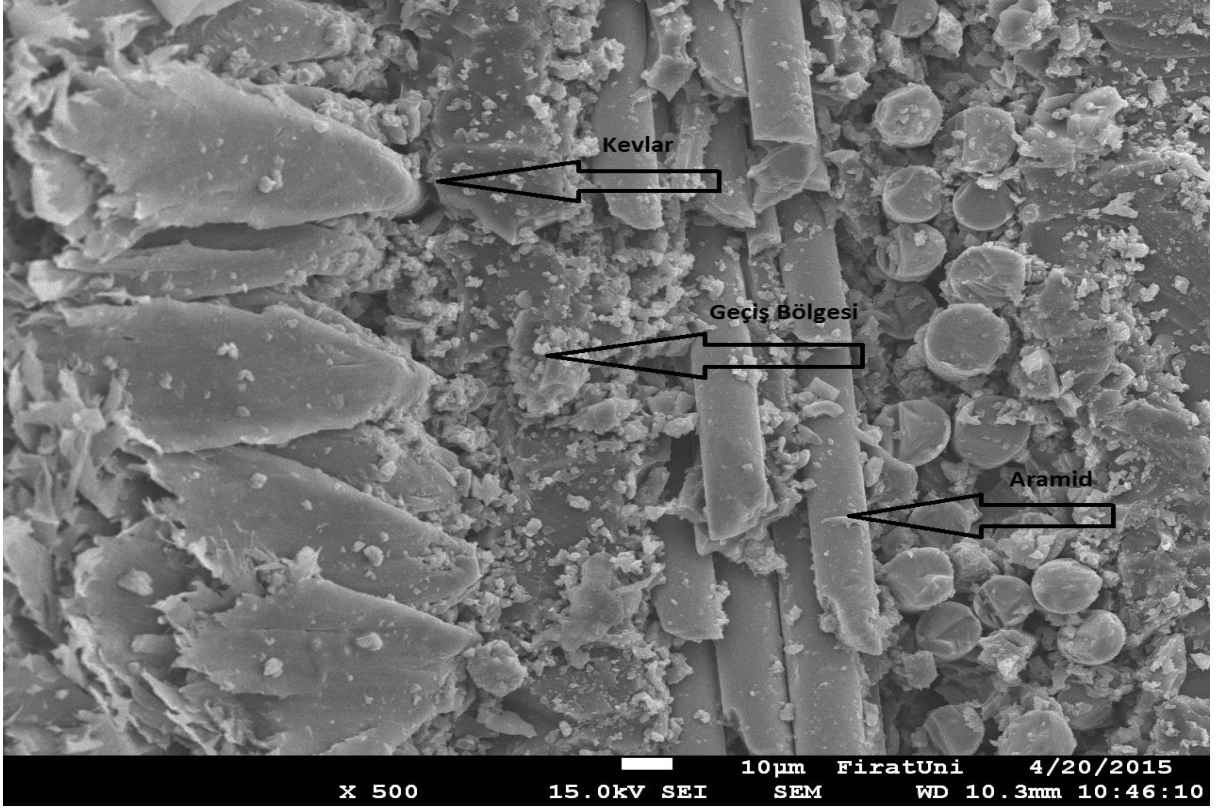
Resim .3.40. Kompozit kevlar-aramid-cam fiber çekme numunesi (F:5) SEM' de X100 büyütme görüntüsü

Resim 3.40.'da Kompozit Kevlar-Aramid-Cam Fiber numunesinin yayıcı film tabakası hemen yanında uçları saçaklanmış kevlar elyafları ve aramid elyafları görünmektedir.



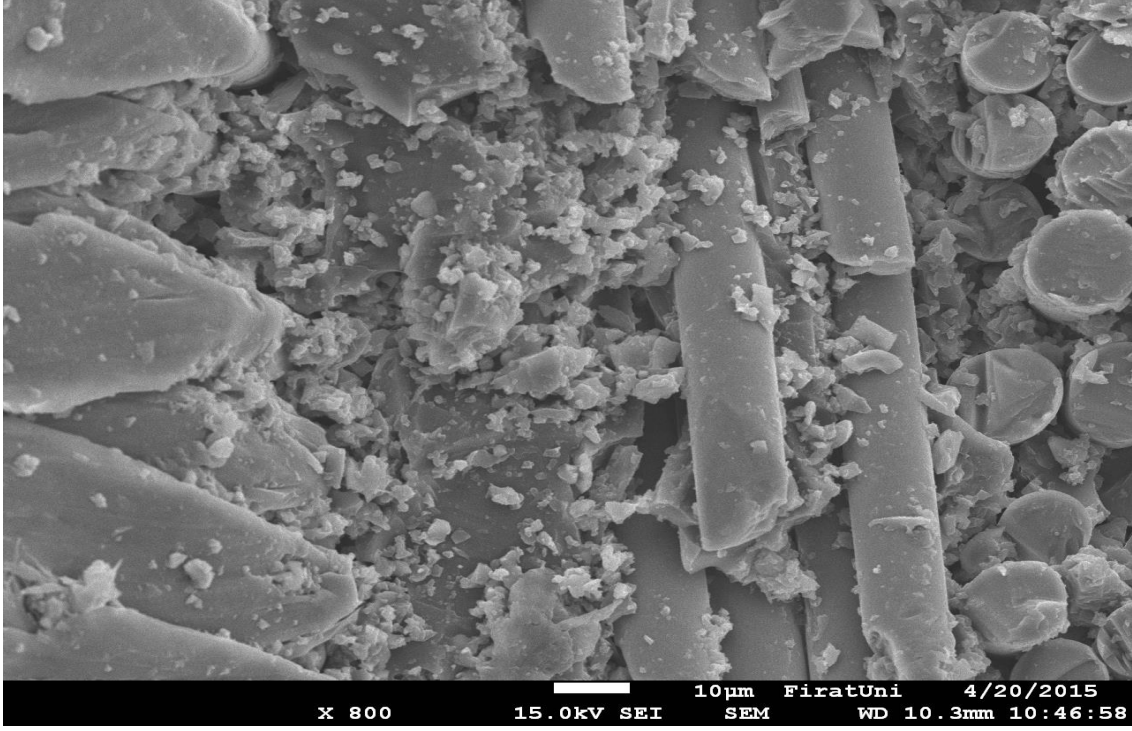
Resim .3.41. Kompozit kevlar-aramid-cam fiber çekme numunesi (F:5) SEM' de X300 büyütme görüntüsü

Resim 3.41.' de Kompozit Kevlar-Aramid-Cam Fiber numunesinin sol kısımda uçları saçaklanmış kevlar lifleri ince bir geçiş çizgisinden sonra ise yatay ve düşey doğrultulu aramid lifleri görülmektedir.



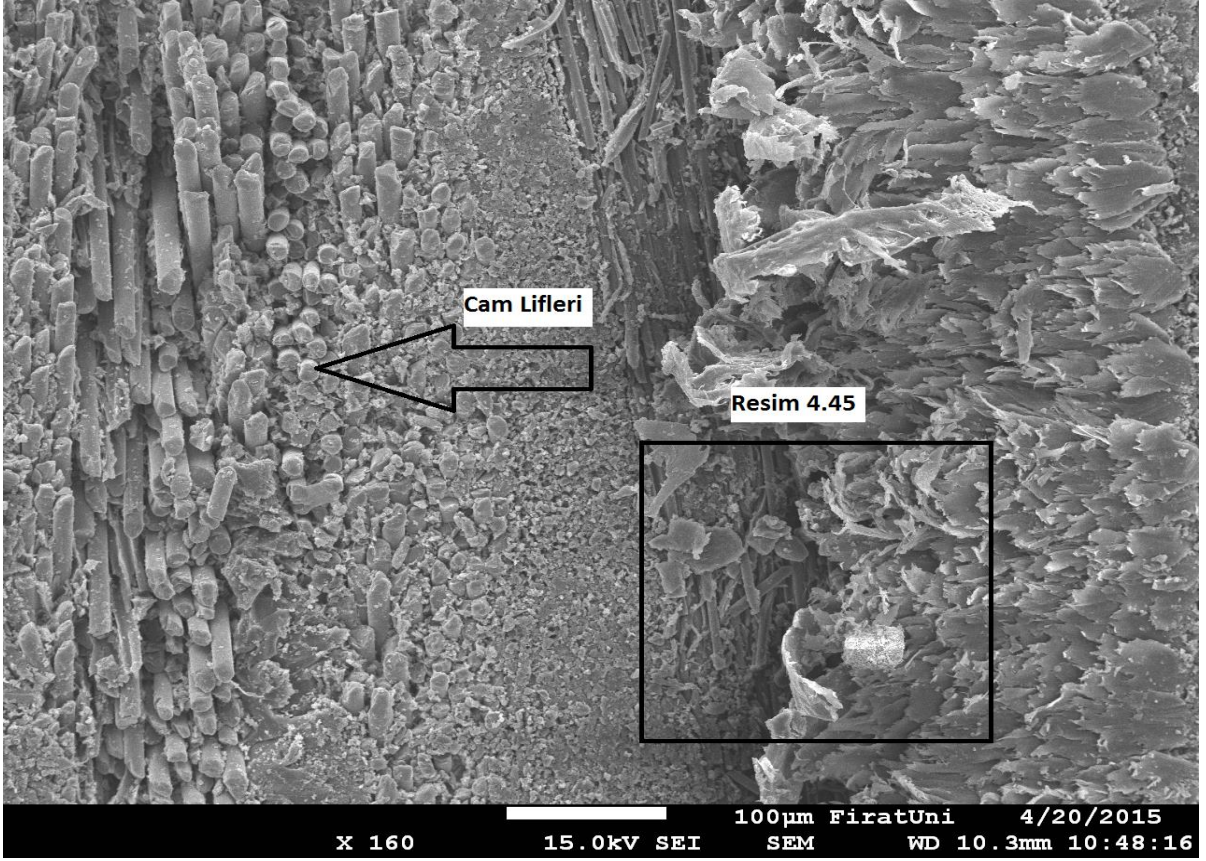
Resim .3.42. Kompozit kevlar-aramid-cam fiber çekme numunesi (F:5) SEM’ de X500 büyütme görüntüsü

Resim 3.42.’de Kompozit Kevlar-Aramid-Cam Fiber numunesinin Kevlar, Aramid lif yapısı ile aradaki geçiş bölgedeki X500 büyütmede görülmektedir.



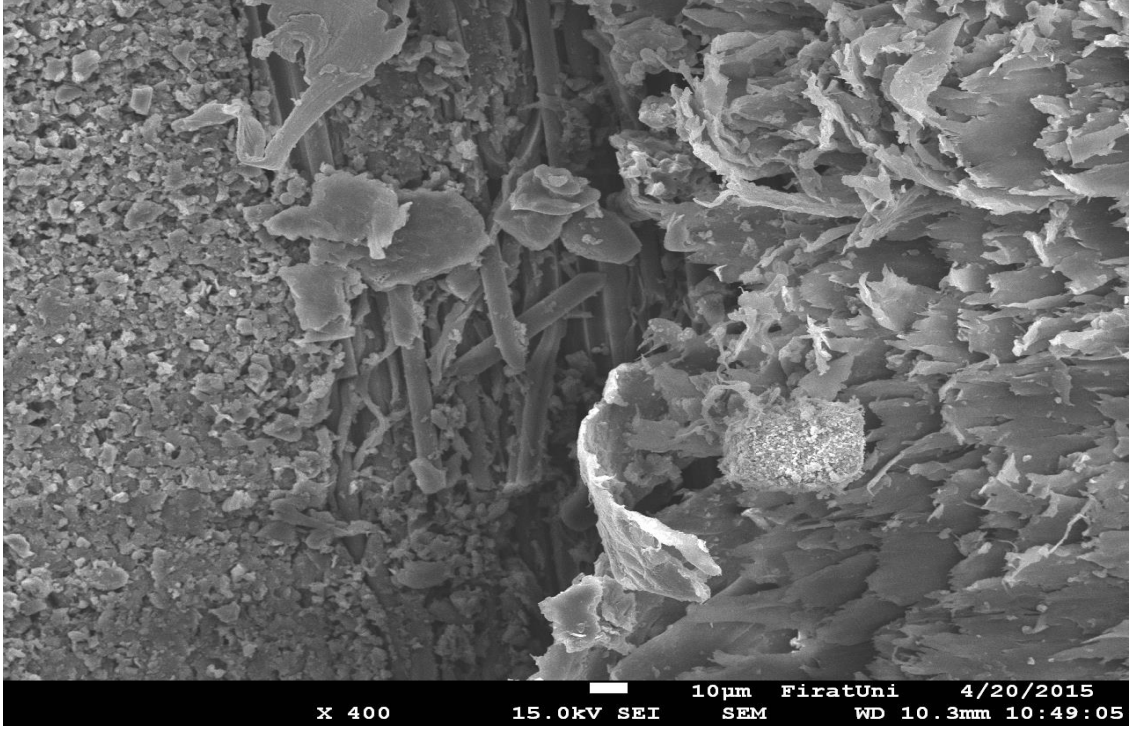
Resim .3.43. Kompozit kevlar-aramid-cam fiber çekme numunesi (F:5) SEM’ de X800 büyütme görüntüsü

Resim 3.43.’ de Kompozit Kevlar-Aramid-Cam Fiber numunesinin Kevlar Aramid Lifleri ile geçiş bölgesinin X800 büyütmede ki görüntüsü görülmektedir.



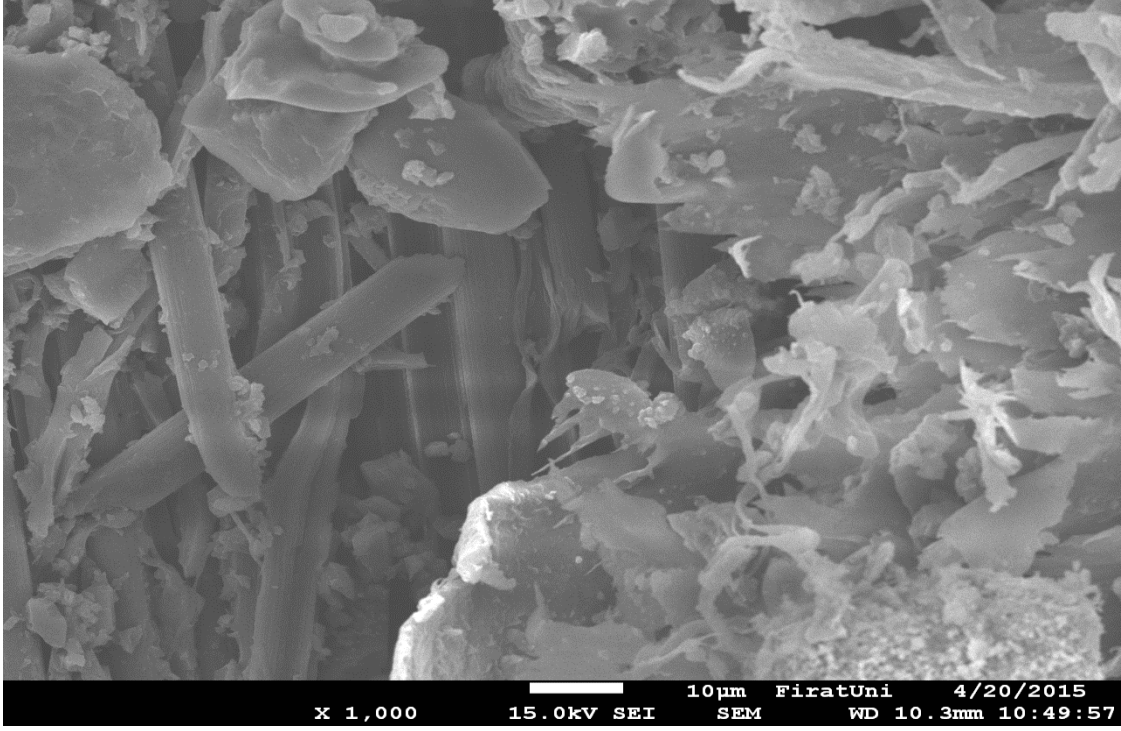
Resim .3.44. - Kompozit kevlar-aramid-cam fiber çekme numunesi (F:5) SEM’ de X160 büyütme görüntüsü

Kompozit Kevlar-Aramid-Cam Fiber numunesinin Resim 3.44.’de Cam Lifleri ile yayıcı film arasında kalan geçiş bölgesinin X160 büyütmede ki görüntüsü görülmektedir.



Resim .3.45. Kompozit kevlar-aramid-cam fiber çekme numunesi (F:5) SEM’ de X400 büyütme görüntüsü

Resim 3.45.’de Kompozit Kevlar-Aramid-Cam Fiber numunesinin Cam Lifleri ile yayıcı film arasında kalan geçiş bölgesinin görüntüsü görülmektedir. Yayıcı film ile reçine arasında kalan boşlukta infüzyon sırasında taşınan cam elyafı lif kırıntıları gözükmemektedir.

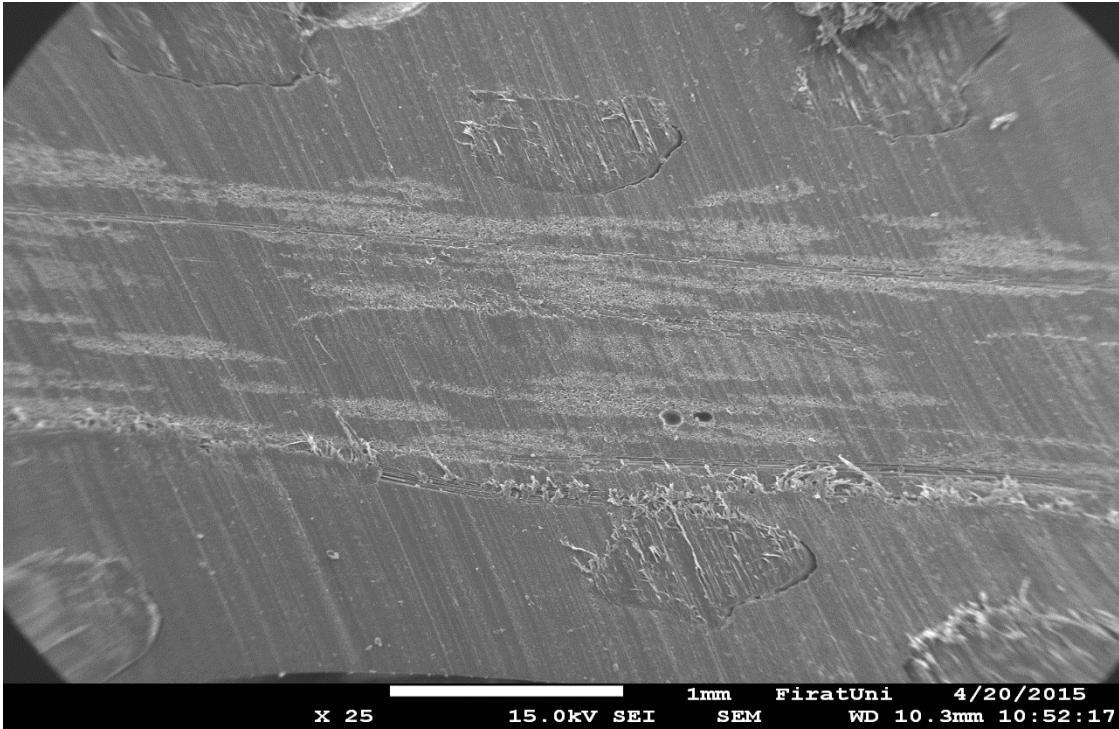


Resim .3.46. Kompozit keklar-aramid-cam fiber çekme numunesi (F:5) SEM’ de X1.000 büyütme görüntüsü

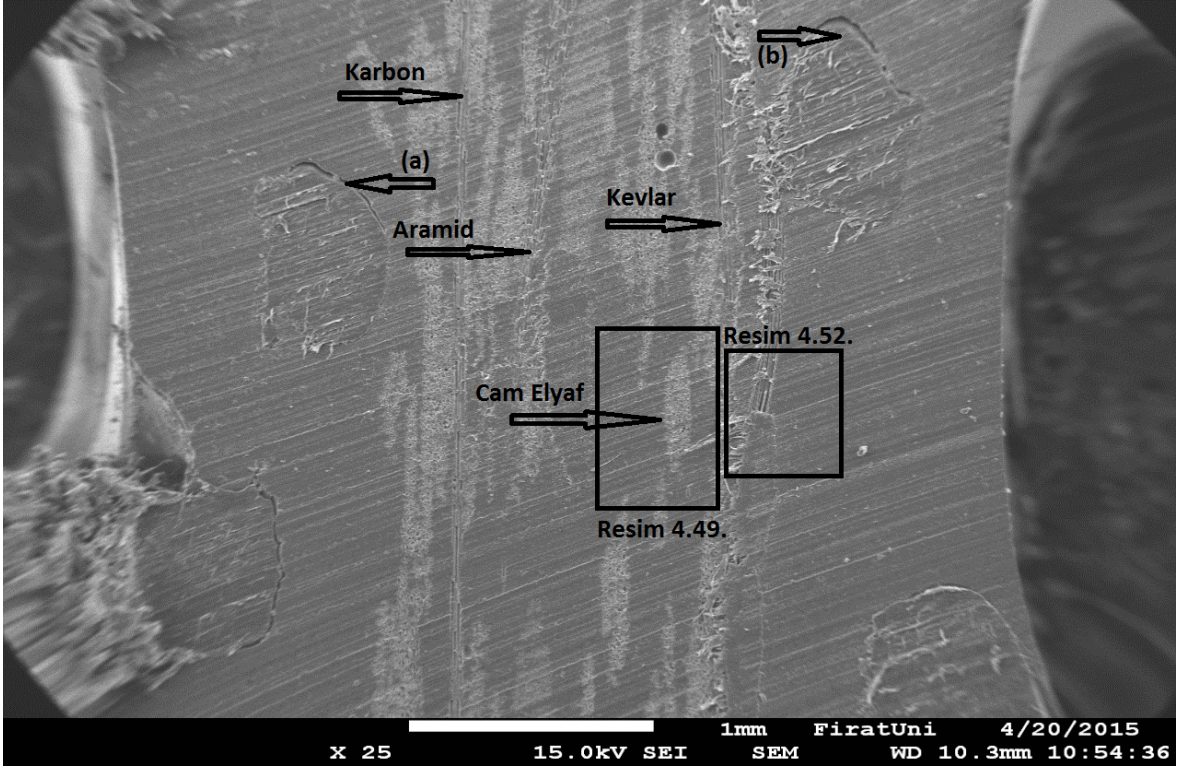
Resim 3.46.’da Kompozit Kevlar-Aramid-Cam Fiber numunesinin Cam Lifleri ile yayıcı film arasında kalan geçiş bölgesinin X1.000 büyütmedeki görüntüsü görülmektedir.

3.2.6 Kompozit Karbon-Aramid- Cam Fiber- Kevlar Tabakalı çekme Numunesi (F:6)

Resim 3.47.' de Kompozit Karbon-Aramid- Cam Fiber- Kevlar Tabakalı çekme numunesinin X25 büyütmede ki görüntüsü görülmektedir. Bu görüntü yatay şekilli olup yukarıdan aşağıya doğru sırasıyla Yayıcı Film, Karbon-Aramid- Cam Fiber- Kevlar ve yayıcı film tabakaları gözükmemektedir. Yapının daha yüksek büyütmelerde daha detaylı görüntüleri sırasıyla aşağıda gösterilmiştir.

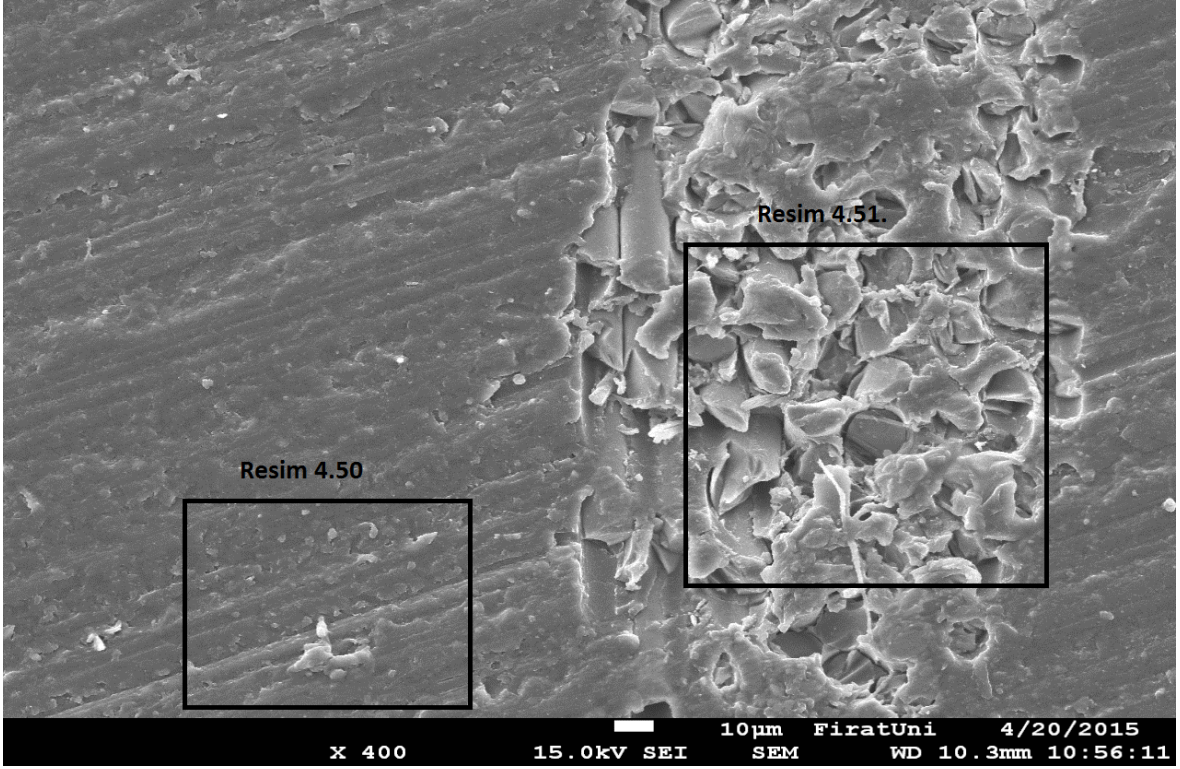


Resim .3.47. Kompozit karbon-aramid- cam Fiber- kevlar tabakalı çekme numunesi (F:6) SEM' de x25 büyütme görüntüsü



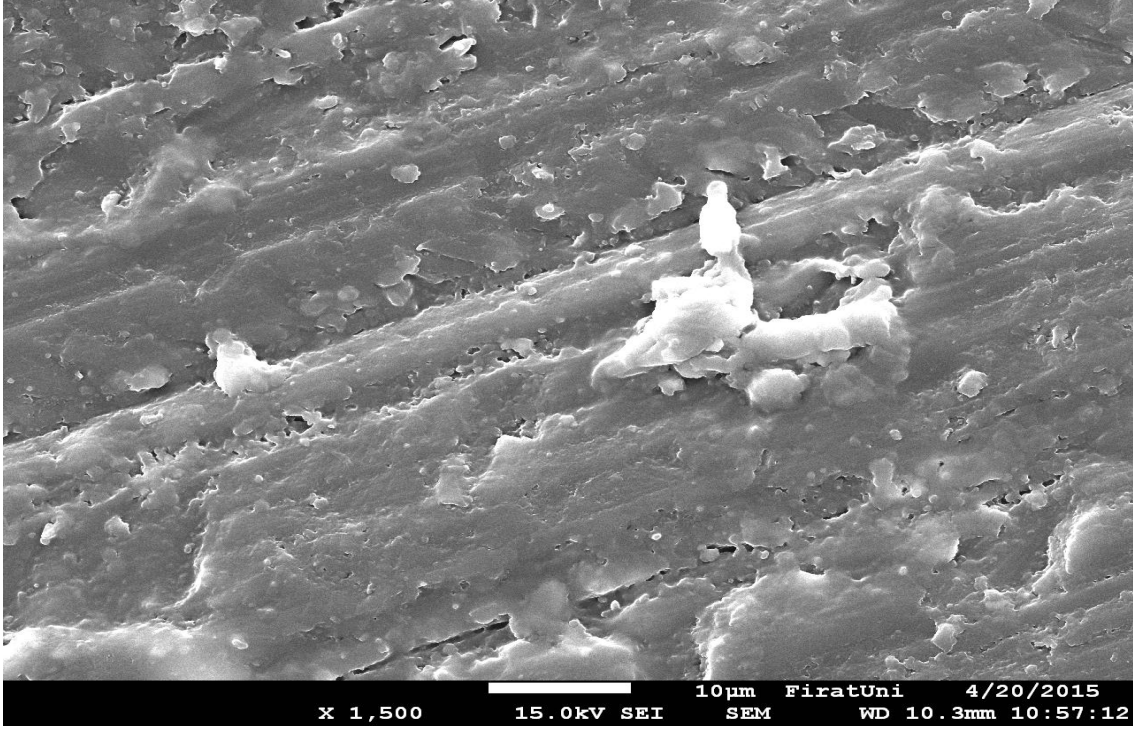
Resim .3.48.. Kompozit karbon-aramid- cam fiber- kevlar tabakalı çekme numunesi (F:6) SEM' de X25 büyütme görüntüsü

Resim 4.48.' de Kompozit Karbon-Aramid- Cam Fiber- Kevlar Tabakalı çekme numunesinin X25 büyütmede ki görüntüsü görülmektedir. Bu görüntü Resim 3.47.' deki görüntünün 90° çevrilmiş dikey şekli olup soldan sağa doğru sırasıyla Yayıcı Film, Karbon-Aramid- Cam Fiber- Kevlar ve yayıcı film tabakalarıdır. Bu numunede de (a) ve (b) detaylarında kesme işlemi sırasında yayıcı filmin yumuşayarak kesme yönüne doğru boşluk oluşturduğu görülmektedir. Yapı bünyesindeki tabakalar oklarla gösterilmiştir.



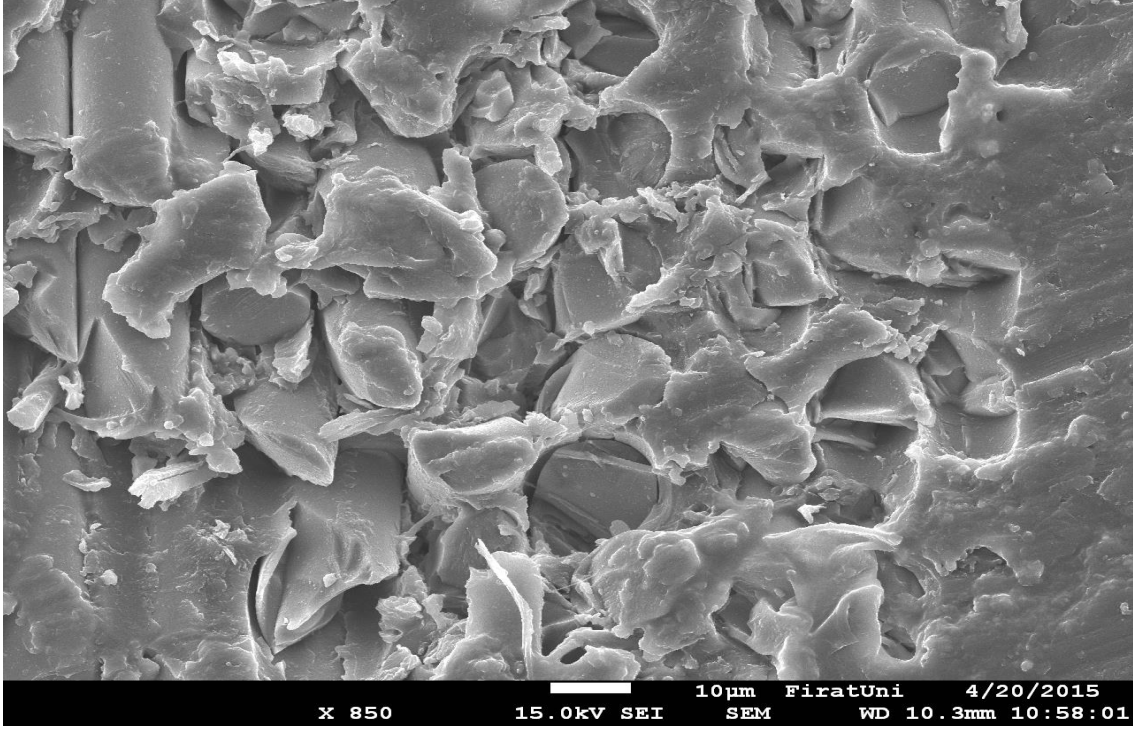
Resim .3.49. Kompozit karbon-aramid- cam fiber- kevlar tabakalı çekme numunesi (F:6) SEM’ de X400 büyütme görüntüsü

Resim 3.49.’ da Kompozit Karbon-Aramid- Cam Fiber- Kevlar Tabakalı çekme numunesinin X400 büyütmede ki görüntüsü görülmektedir. Bu görüntüde Cam elyaflarının reçine içindeki yayılımı gözükmemektedir. Yapının daha yüksek büyütmelerde daha detaylı görüntüleri sırasıyla aşağıda gösterilmiştir.



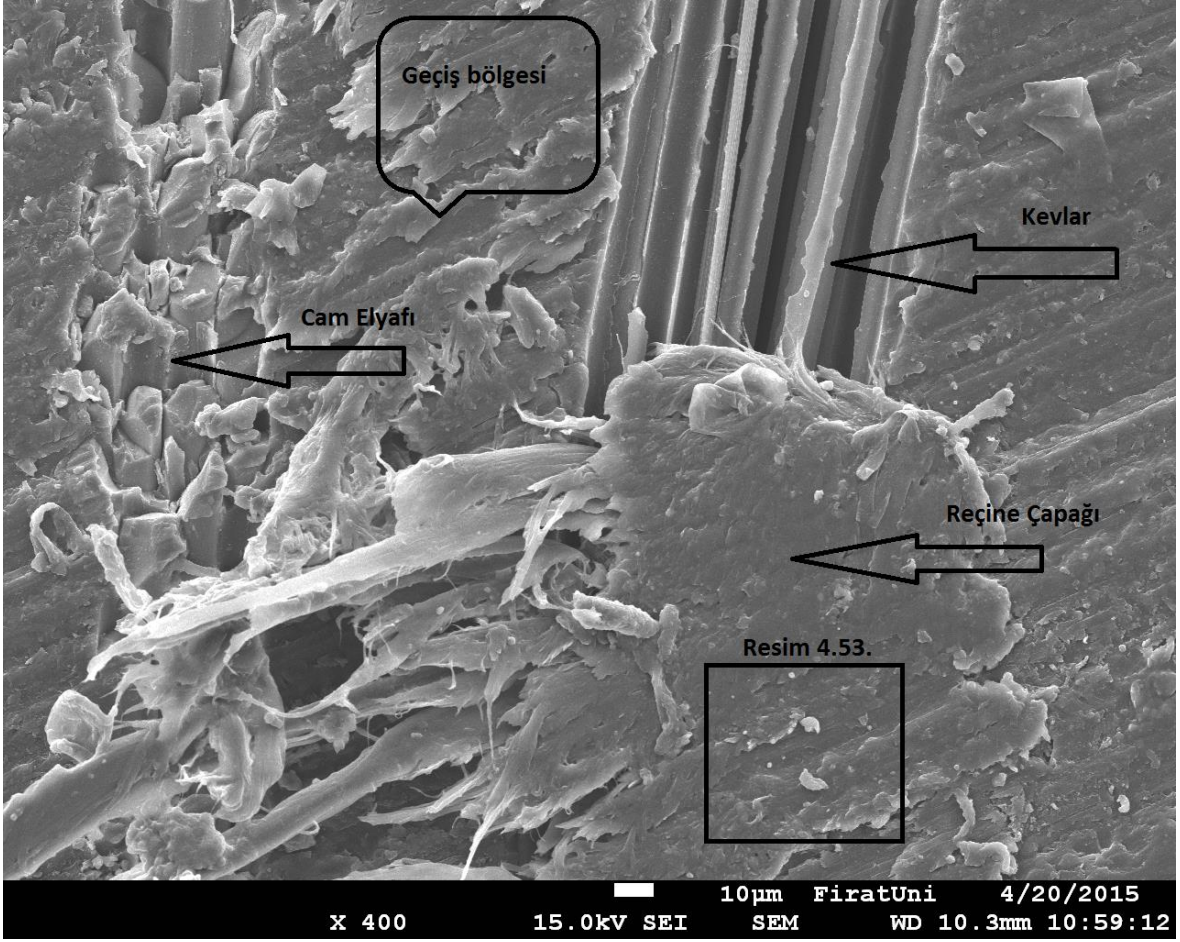
Resim .3.50. Kompozit karbon-aramid- cam fiber- kevlar tabakalı çekme numunesi (F:6) SEM' de X1.500 büyütme görüntüsü

Resim 3.50.' de Kompozit Karbon-Aramid- Cam Fiber- Kevlar Tabakalı çekme numunesinin X1.500 büyütmede ki görüntüsü görülmektedir. Bu görüntüde Resim 3.49.' da X400 büyütmede ki cam elyafı liflerinin solunda kalan reçine bölgesindeki kesme işlemi sırasındaki kesicinin bıraktığı paralel izler yer almaktadır.



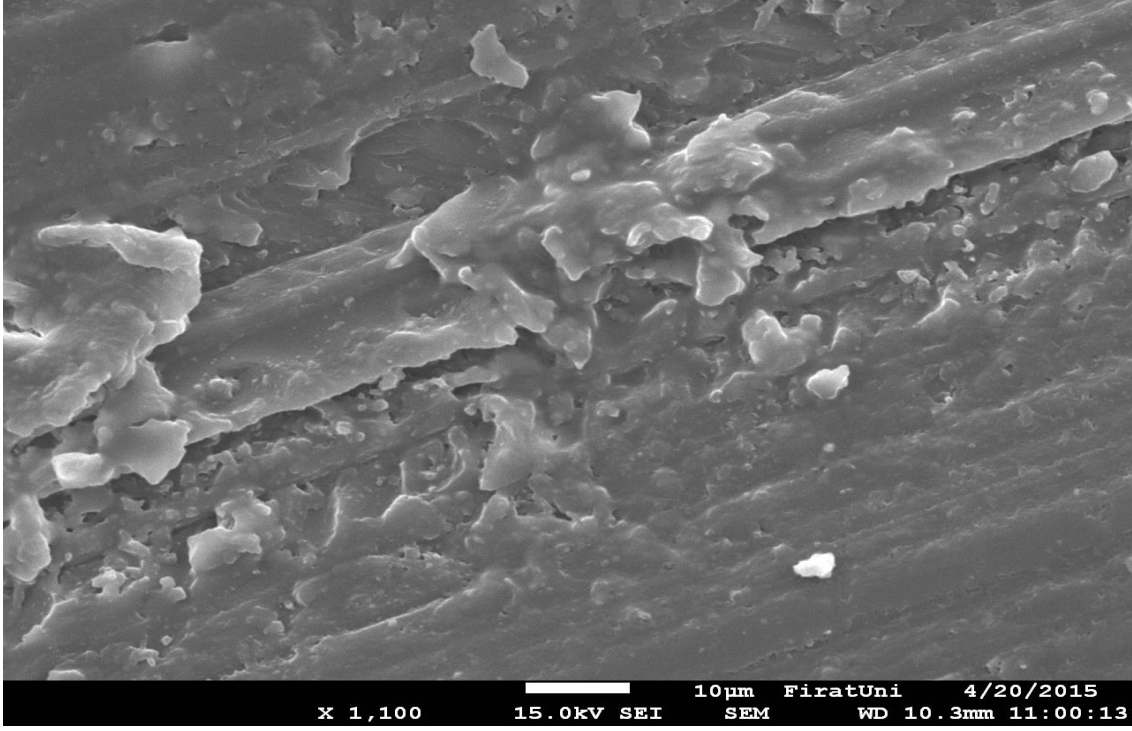
Resim 3.51. Kompozit karbon-aramid- cam fiber- kevlar tabakalı çekme numunesi (F:6) SEM' de X850 büyütme görüntüsü.

Resim 3.51.' de Kompozit Karbon-Aramid- Cam Fiber- Kevlar Tabakalı çekme numunesinin X850 büyütmede ki görüntüsü görülmektedir. Görüntüde cam elyaflarının farklı açılarla reçine içinde tam nüfus ettiği anlaşılmaktadır.



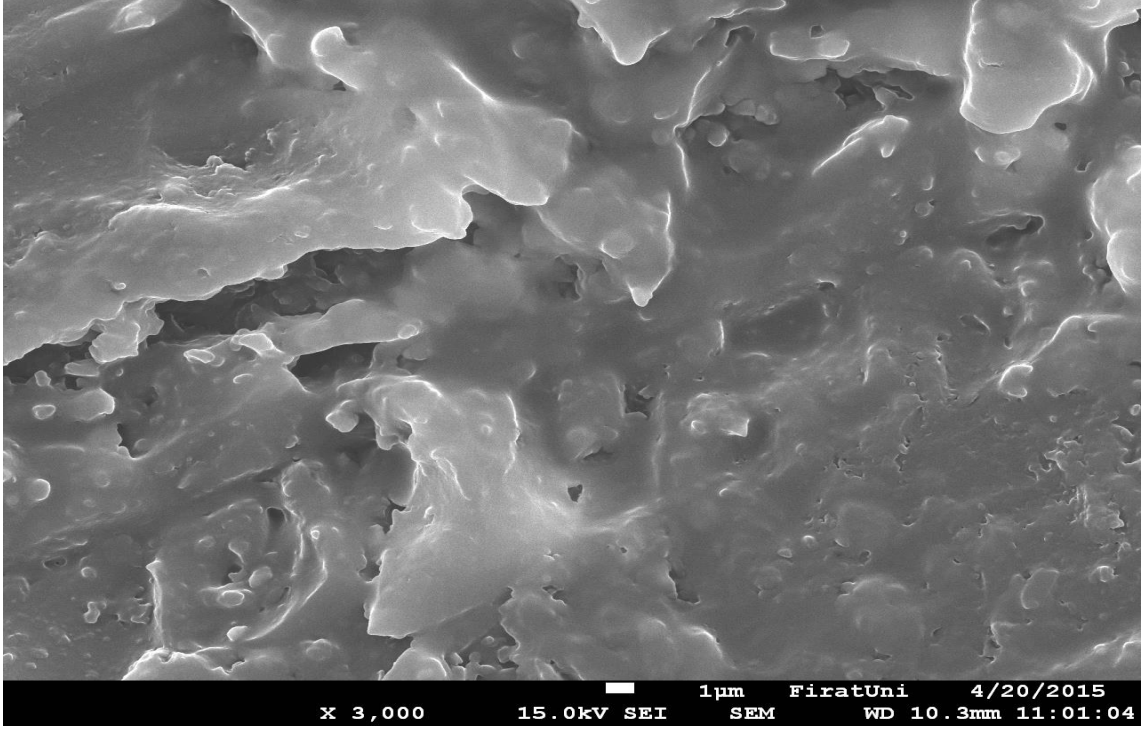
Resim .3.52. Kompozit karbon-aramid- cam fiber- kevlar tabakalı çekme numunesi (F:6) SEM' de X400 büyütme görüntüsü

Resim 3.52.' de Kompozit Karbon-Aramid- Cam Fiber- Kevlar Tabakalı çekme numunesinin X400 büyütmede ki görüntüsü görülmektedir. Bu görüntüde Cam lifleri ile Kevlar lifleri arasındaki geçiş bölgesinin görüntüsü ayrıca kesme işlemi sırasında kopan reçine parçasının yüzeye sıvanması resme alınmıştır.



Resim .3.53. Kompozit karbon-aramid- cam fiber- kevlar tabakalı çekme numunesi (F:6) SEM' de x1.100 büyütme görüntüsü

Resim 3.53.' de Kompozit Karbon-Aramid- Cam Fiber- Kevlar Tabakalı çekme numunesinin X1.100 büyütmede ki görüntüsü görülmektedir. Bu görüntüde Resim 3.52.' de X400 büyütmede ki Cam lifleri ile Kevlar lifleri arasındaki geçiş bölgesinin incelendiği resmin sağ kısmında kalan Kevlar lifleri ile yayıcı film arasında kalan reçine bölgesinin görüntüsü resme alınmıştır.



Resim .3.54. Kompozit karbon-aramid- cam fiber- kevlar tabakalı çekme numunesi (F:6) SEM' de X3000 büyütme görüntüsü

Resim 3.54.' de Kompozit Karbon-Aramid- Cam Fiber- Kevlar Tabakalı çekme numunesinin x3.000 büyütmede ki görüntüsü görülmektedir. Bu görüntüde Resim 3.53.' de X1.100 büyütmede ki reçine bölgesinin X3.000 büyütmede daha detaylı görüntüsü ele alınmıştır.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada vakum destekli reçine infüzyon kalıplama yönteminin, kompozit malzemeler üzerindeki etkileri incelenmiş olup , kullanılan deney setinin imalatı ve özelliklerinin iyileştirilmesi konusunda elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

- Vakum destekli reçine infüzyon kalıplama deney seti başarılı bir şekilde imal edilmiştir.
- Üretilcek kompozit malzemelere ait farklı katmanlarda kullanılacak malzemeler; özellik, yapı, şekil ve yönelemeye bağlı olarak hazırlanarak problemlerli malzemeler yeniden gözden geçirilerek problemler önceden giderildi.
- Reçine olarak kullanılan polyeşterin (epoksi) (teneke üzerindeki ara deney seti üzerinde Temper cam üzerinde akışkan ve hava boşluğu oluşturmadan ilerleyebilmesi için camın alt resistanslar tarafından ısıtılmasının malzemenin üretimi aşamasında çok avantajlı sonuçlar oluşturmuştur
- Kompozitin ara tabakalarında kullanılan malzemeler (Kevler ,Aramid, Karbon fiber, Cam elyafı)değiştirilerek , sandviç kompozit diye adlandırdığımız malzemenin farklı versiyonları oluşturularak kullanımı ve imalatı açısından hangi kompozitin daha elverişli olduğu tespit edildi.
- Kompozit malzemelerin ara yüzlerinden alına mikro yapı fotoğraflarından oluşturulan tabakalar ve bu tabakalar matris (reçine) malzemesiyle uyum ve nüfuziyet tespit edildi. Ara tabakaların kompozit içerisindeki durumu mikro görüntülerle netleştirildi.
- Üretilen farklı malzemelerin mekanik olarak birebirlerinden farklılıkları çekme testleriyle kıyaslamaları yapıldı. Bunun sonucunda; Hazırlanan numuneler içerisinde Karbon fiber bulunan çekme numunelerinin mekanik olarak daha avantajlı olduğu, bu numuneler içerisinde ise et kalınlığına (T) bağlı kalınarak yapılan değerlendirmelerde en az et kalınlığına sahip olan üç nolu numunenin (0,5) mm çok daha yüksek sonuçlarla karşımıza çıkmıştır.

- Bu alışmamızda farklı malzemelerin kompozit üzerindeki etkilerini incelenirken metalografik olarak ta SEM görüntüleri üzerinden oluşan yapıların birbiri arasındaki yönlenmeleri, nufziyet birbirleriyle olan uyumları (alışmaları) yorumlanmıştır.

5. ÖNERİLER

- Vakum destekli reçine infüzyon yöntemi diğer kompozit üretim yöntemlerine kıyasla daha iyi bir yöntem olarak görülmektedir. Fakat bu yöntemle hazırlanan sıvının (Reçinenin) bütün bölgeye düzenli olarak yayılması gerektiğinden kullanılan vakum sisteminin ve sıvı akış sisteminin daha iyi nasıl yapılabileceği incelenebilir.
- Vakum destekli reçine infüzyon tezgahının da üst yüzeyde kullanılan resistanslar da farklı ısı değerlerinde aynı malzemenin hangi yönde farklılıklar göstereceği araştırılabilir.
- Kompozit üretiminde organik malzemelerin kullanımı araştırılarak, geliştirilebilir.

Kompozit malzemelerin dünyada her geçen gün artmakta olan kullanımına paralel olarak ülkemizde de kompozit üretimi ve kullanımında artış görülmektedir. Kompozit malzeme, maliyetinin fazla olmasına rağmen, çok iyi özgül özellikleri sebebiyle bütün dünyada tercih edilen malzemedir. İleriki yıllarda gelişen teknolojiye kompozit malzemelerin üretim maliyetlerinde azalma olursa kompozit malzemeleri birçok alanda görebiliriz. Bu gün dünyada kompozit malzemeler bina yapımında, otomotiv sanayiinde, ulaşımda, elektrik endüstrisinde, denizcilik, havacılık ve uzay sanayiinde, korozyon direnci istenen yerlerde sıklıkla kullanılmaktadır. Kompozit malzemedan yapılacak makine elemanlarında, kompozite has dizayn, üretim ve hesaplamalar yapılmalıdır. Enerjinin, maliyetin ve çevre bilincinin en önemli konular olduğu günümüzde, gelişen ülkelerle rekabet etmek, dışa bağımlılıktan kurtulmak ve ekonomik olarak kalkınmak için günümüzde bir çok alanda tartışmasız ana materyal olan kompozit üretimi kullanımı ve geliştirilmesi yönünde adımlar atılmalı, üniversite sanayi ve ilgili meslek kuruluşlarının işbirliği ile ülke yararına bir çok önemli adımların atılabileceği kanısındayım.

Ülkemizde kompozit malzemeler konusunda yapılan bilimsel çalışmalarda artış görülmektedir. Bu durum, kompozitlerin yakın gelecekte ülkemizde de daha fazla kullanılacağına göstergesidir.

KAYNAKLAR

- Addington, D.M., Schodek, D.,** 2005. Smart materials and new technologies for the architecture and design professions, architectural press, Oxford.05.06.2005
- Akdoğan, A.,** 2014 Plastik matrisli kompozitler 04.04.2014
- Arcasoy, O.,**2006 İstanbul ticaret odası kompozit sektör raporu Aralık 2006
- Anonim, A.S.M.,** 1984.International, composite materials I the basics, Materials Engineering Institute. Ohio,USA, 10-15s
- Atabey,V.,** 2013.Kompozit malzeme yapımında temel maddeler 12 Ağustos 2013, 4s.
- Biçer, N. G.,** 2004, “*Plastik Kereste*”, PAGEV Plastik Araştırma, Geliştirme, İnceleme Dergisi, Ocak-Şubat 2004, Sayı 72, s. 60-64, İstanbul.
- Callister,W.D.,** 1997, Materials science and engineering, an introduction, wiley, Canada Ocak,1997
- Chawla, K.K.,** 1987. Composite materials science and engineering. Springer verlag New York Inc. 140-283s
- Çuhadar, B.** 2005 İçten basınca maruz kapların dizaynı Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Bitirme Projesi.İzmir Haziran 2005
- Durgun, İ.,** 2014. 26 – 27 Mayıs 2014.Otomotiv Teknolojileri Kongresi, BURSA s.2-7
- Erkan,Ö.** İstanbul Kültür Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi 07.2011 İstanbul s.5-9
- Gay, D., Hoa, S.V., Tsai S.W.,** 2003. Composite materials design and applications. Paris 3–27,
- İnkaya, S.,** 2011, TMMOB Makina Mühendisleri Odası Dünyada ve türkiyede kompozit sektörü, Mühendis ve Makina, Cilt 52, Sayı 613,
- Margolis,J.M.,**1986.Advanced thermoset composites industrial and commercialapplications. Van Nostrand Company, New York. USA. 282s.
- Mazumdar, S.K.,** 2002. Composites manufacturing, Materials, Product, and Process Engineering. New York. USA. 4-5s
- Philips N.L.,** 1989. Design with advance composite materials, Springer-Verlag.The Design Council, Great Britain.2-20s
- Soy,U.,** 2009, Kompozit malzemeler, Ders notu, Sakarya Üniversitesi Teknoloji Fakültesi s2-25
- Şahin, Y.,** 2000. Kompozit Malzemelere Giriş. Gazi Kitap Evi Ankara 2s

- Vatangül, E.** 2008. Kompozit malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi ve ANSY 10 programı ile ısıl gerilme analizi. Haziran 2008. 12-18s.
- URL-1,** 2009.http://webb.deu.edu.tr/ansys/tezler/lisans/Aydin_Ugur_Ozturk_2004508065.pdf, Ocak 2009.
- URL-2,** 2005. <http://webb.deu.edu.tr/ansys/tezler/lisans/20.pdf>, Haziran 2005
- URL-3,** 2011. <http://www.cerezforum.net/konu/kompozit-malzemeler.77898/> 20 Kasım 2011
- URL-4,** 2009. <http://muhendisizbiz.net/uploadlar/12216/rapor.pdf> 2009
- URL-5,** 2014. <http://www.kompozitpolyester.com/tr/kompozit-ctp-polyester-hakkında>, 24 Nisan 2014
- URL-6,** 2015. <http://www.bilgiustam.com/kompozit-malzemeler-hakkında-hersey/>, 01 Nisan 2015
- URL-7,** 2015. <http://www.kompozit.net/pinfo.asp?pid=287&diger=tumu>, 01 Nisan 2015
- URL-8,** 2015. <http://www.cncteknik.net/malzeme-bilgisi/1856-kompozit-lzemeler.html>, 01 Nisan 2015.
- URL-9,** 2015. <http://kompozit.org.tr/documents/bildirimler/tez.pdf> 5-20s.
- URL-10,** 2015. http://www2.bayar.edu.tr/muhendislik/malzeme/dersler/malzeme_lab/%C3%A7ekme.pdf 5-20s. 01 Nisan 2015.
- URL-11,** 2015. www.fibersource.com 01 Mart 2015.

ÖZ GEÇMİŞ

Tunceli ili Mazgirt ilçesi Göktepe köyünde memur baba ve köy öğretmeni annenin ikinci oğlu olarak 14.09.1978 tarihinde dünyaya geldim. İlk Okulu Tunceli Munzur ilk Okulunda tamamladım. Orta ve Lise Öğrenimimi Tunceli Cumhuriyet Lisesinde tamamlayarak 1995 yılında Liseden mezun oldum. Üniversite öğrenimimi Elazığ Fırat Üniversitesi Makine Mühendisliği fakültesinde 1996-2000 yılları arasında tamamladım. Mezuniyetimi müteakip Baraj ve GAP Sulama projelerinde şantiye şefi olarak çalıştım. 2004 yılında vatani görevimi kısa dönem er olarak Şanlı Urfa' da tamamladım. 2006 yılında DSİ 93. Şube Müdürlüğüne atandım ve halen Makine İmalat ve Donatım Baş Mühendisi olarak görev yapmaktayım. Evli ve iki kız çocuğu babasıyım. Tunceli Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümünde Yüksek Lisans yapmaktayım. 30.06.2015

Engin ŞAHİN