

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

POLİMER BİLİMİ VE TEKNOLOJİSİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ



TERMOSET KOMPOZİT UYGULAMARINDA KARBON
ELYAFIN ISLANABİLİRLİĞİNİ ÖLÇEN HIZLI BİR METOD
GELİŞTİRİLMESİ

EKREM VATAN

KOCAELİ 2019

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**POLİMER BİLİMİ VE TEKNOLOJİSİ
ANABİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**TERMOSET KOMPOZİT UYGULAMALARINDA KARBON
ELYAFIN ISLANABİLİRLİĞİNİ ÖLÇEN HIZLI BİR METOD
GELİŞTİRİLMESİ**

EKREM VATAN

Doç. Dr. Güralp ÖZKOÇ
Danışman, Kocaeli Üniversitesi
Doç. Dr. Mehmet KODAL
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Derya ÜNLÜ
Jüri Üyesi, Bursa Teknik Üniversitesi



Tezin Savunulduğu Tarih: 28.10.2019

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

“Termoset kompozit uygulamalarında karbon elyafın ıslanabilirliğin ölçen hızlı bir metod geliştirilmesi ” isimli bu çalışma, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Polimer Bilimi ve Teknolojisi Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır. Karbon elyaflardan dokunan bezler kompozit uygulamaları için reçine kaplanarak ‘prepreg’ elde edilmektedir. Bu prepregler ile ilgili olarak, temelde karşılaşılan problemin karbon elyafların yeteri kadar ıslanmamasına bağlı olarak performans düşüşü olduğu raporlanmaktadır. Bu çalışma ile karbon elyafların ıslanabilirliğinin artırılması ve termoset kompozit uygulamalarında karbon elyafların ıslanmasını hızlıca ölçen bir metod geliştirilmesi hedeflenmiştir.

Onunla çalışan şanslı bir öğrenci olarak, danışman hocam Doç. Dr. Güralp Özkoç’a bana ve kariyerime yaptığı katkılardan dolayı teşekkür ederim. Ayrıca bu tez çalışmasının planlanmasında ve yürütülmesinde desteğini esirgemeyen Sayın Hocama sonsuz minnetlerimi sunarım.

Bu tez çalışmanın yapılmasında maddi manevi destek sağlayan KORDSA Teknik Tekstil’e, Dr. Cem Öztürk, Dr. Özlem Türkarıslan, Dr. Fatih Öz ve Dr. Deniz Korkmaz’a teşekkür ederim.

Yüksek lisansıma başladığım 2016 yılından bu yana bana her aşamada desteğini esirgemeyen sevgili eşim Nuray Vatan ‘a tüm katkıları için teşekkür ediyorum.

Haziran – 2019

Ekrem VATAN

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
ŞEKİLLER DİZİNİ	v
TABLolar DİZİNİ.....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	ix
ÖZET	xi
ABSTRACT	xii
GİRİŞ	1
1. TEORİK BİLGİ	4
1.1. Kompozit Malzemeler	4
1.2. Karbon Fiber	8
1.3. Epoksi Reçineler	11
1.4. Prepregler (Reçine Emdirilmiş Bez)	13
1.5. Kullanılan Deneysel Teknikler ve Cihazların Çalışma Prensipleri.....	16
1.5.1. Elektrik iletkenlik yöntemi.....	16
1.5.2. Temas açısı.....	17
1.5.3. Yakma testi.....	18
1.5.4. Sokslet ekstraksiyonu	19
1.5.5. Micro CT.....	20
2. LİTERATÜR TARAMASI	23
2.1. Karbon Elyafların İslanabilirlik Çalışmaları.....	23
2.2. İletkenlik ve Karbon Elyaf lar.....	27
3. MALZEMELER, YÖNTEM VE DENEYSEL TASARIM.....	31
3.1. Malzemeler	31
3.2. Yöntem	32
3.3. Deneysel tasarım	32
3.3.1. Temas açısı ve yayılma hızı ölçümleri.....	32
3.3.2. Karbon elyaf ların elektrik iletkenliği ölçümleri.....	33
3.3.3. Sokslet ekstraksiyonu, yakma ve tomografi (micro-CT) teknikleri ile elektrik iletkenliği metodu arasındaki korelasyonun belirlenmesi.....	34
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	38
4.1. Temas Açısı Ölçümlerinin Değerlendirilmesi	38
4.1.1. Temas açısı ölçüm sonuçları	38
4.1.2. İslatma ajanının temas açısı ölçümlerindeki etkileri	52
4.2. Elektrik İletkenlik Metodu İle İslanabilirlik Ölçümlerinin Değerlendirilmesi	56
4.2.1. Elektrik iletkenlik metodu ile ölçülen direnç sonuçları	56
4.3. Elektrik İletkenlik Metodunun Sokslet Testi, Yakma Testi ve Tomografi Çekimi ile Korelasyonu.....	64
4.3.1. Sokslet ekstraksiyonu ile elektrik iletkenlik metodunun korelasyonu	64
4.3.2. Yakma testi ile elektrik iletkenlik metodunun korelasyonu.....	65

4.3.3. Tomografi (Micro-CT) çekimi ile elektrik iletkenlik metodunun korelasyonu	65
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	69
KAYNAKLAR.....	70
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER.....	74
ÖZGEÇMİŞ	75



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. a) PAN esaslı karbon liflerin eksen yönündeki bir modeli , (b) Grafen düzlem.....	9
Şekil 1.2. Karbon fiber üretimi.....	10
Şekil 1.3. R'nin diglisidil eteri.....	11
Şekil 1.4. R'nin diglisidil esteri.....	11
Şekil 1.5. Prepreg malzemenin özellikleri.....	13
Şekil 1.6. Film üretimi.....	14
Şekil 1.7. Prepreg üretimi.....	15
Şekil 1.8. Daldırma yöntemi ile prepreg üretimi.....	15
Şekil 1.9. Elektrik devresi.....	16
Şekil 1.10. Sırasıyla süperhidrofilik, hidrofilik, hidrofobik ve süperhidrofobik yüzeyler ve temas açıları.....	17
Şekil 1.11. Ganyometre cihazı.....	18
Şekil 1.12. Kül fırını.....	19
Şekil 1.13. Sokslet cihaz şeması.....	20
Şekil 1.14. X-ışını kaynağınca aydınlatılan numune ve dedektör yayı.....	21
Şekil 3.1. Krüss Temas açısı ölçüm cihazı - Cihaza ait şırınga - Cihaza ait plaka.....	33
Şekil 3.2. Elektrik iletkenlik yöntemiyle ıslanabilirlik ölçümü sağlayan düzenek.....	34
Şekil 3.3. Sokslet düzeneği.....	35
Şekil 3.4. Micro-CT tomografi cihazı.....	37
Şekil 4.1. Reçinenin elyaf üzerinde düştüğü ilk andaki temas açısı ölçümü.....	39
Şekil 4.2. Reçinenin elyaf üzerinde düştüğü andan 1 dakika sonraki temas açısı ölçümü.....	39
Şekil 4.3. Dowaksa elyafının LY1556 reçinesi ile temas açıları.....	40
Şekil 4.4. Dowaksa elyafının LY1556 reçinesi (ağırlıkça %5 ıslatma ajanı içeren) ile temas açıları.....	41
Şekil 4.5. Dowaksa elyafının LY1556 reçinesi (ağırlıkça %10 ıslatma ajanı içeren) ile temas açıları.....	42
Şekil 4.6. Dowaksa elyafının LY1556 reçinesi (ağırlıkça %15 ıslatma ajanı içeren) ile temas açıları.....	43
Şekil 4.7. Mitsubishi elyafının LY1556 reçinesi ile temas açıları.....	44
Şekil 4.8. Mitsubishi elyafının LY1556 reçinesi (ağırlıkça %5 ıslatma ajanı içeren) ile temas açıları.....	45
Şekil 4.9. Mitsubishi elyafının LY1556 reçinesi (ağırlıkça %10 ıslatma ajanı içeren) ile temas açıları.....	46
Şekil 4.10. Mitsubishi elyafının LY1556 reçinesi (ağırlıkça %15 ıslatma ajanı içeren) ile temas açıları.....	47
Şekil 4.11. Toray elyafının LY1556 reçinesi ile temas açıları.....	48
Şekil 4.12. Toray elyafının LY1556 reçinesi (ağırlıkça %5 ıslatma ajanı içeren) ile temas açıları.....	49

Şekil 4.13. Toray elyafının LY1556 reçinesi (ağırlıkça %10 ıslatma ajanı içeren) ile temas açıları.....	50
Şekil 4.14. Toray elyafının LY1556 reçinesi (ağırlıkça %15 ıslatma ajanı içeren) ile temas açıları.....	51
Şekil 4.15. Kuru elyafın devredeki direnç ölçümü.....	56
Şekil 4.16. Üzerine reçine damlatılan elyafın devredeki direnç ölçümü.....	57
Şekil 4.17. Az ıslanan numunenin micro-CT tomografi görüntüsü.....	66
Şekil 4.18. Çok ıslanan numunenin micro-CT tomografi görüntüsü.....	67



TABLolar DİZİNİ

Tablo 3.1. Kullanılan malzemeler ve özellikleri.....	31
Tablo 4.1. Dowaksa elyafının LY 1556 epoksi reçinesi ile temas açısı sonuçları.....	40
Tablo 4.2. Dowaksa elyafının %5 ıslatma ajanı içeren LY 1556 epoksi reçinesi ile temas açısı sonuçları.....	41
Tablo 4.3. Dowaksa elyafının %10 ıslatma ajanı içeren LY 1556 epoksi reçinesi ile temas açısı sonuçları.....	42
Tablo 4.4. Dowaksa elyafının %15 ıslatma ajanı içeren LY 1556 epoksi reçinesi ile temas açısı sonuçları.....	43
Tablo 4.5. MRC 12K elyafının LY1556 epoksi reçinesi ile temas açısı sonuçları.....	44
Tablo 4.6. MRC 12K elyafının %5 ıslatma ajanı içeren LY1556 epoksi reçinesi ile temas açısı sonuçları.....	45
Tablo 4.7. MRC 12K elyafının %10 ıslatma ajanı içeren LY1556 epoksi reçinesi ile temas açısı sonuçları.....	46
Tablo 4.8. MRC 12K elyafının %15 ıslatma ajanı içeren LY1556 epoksi reçinesi ile temas açısı sonuçları.....	47
Tablo 4.9. Toray 12K elyafının LY1556 epoksi reçinesi ile temas açısı sonuçları.....	48
Tablo 4.10. Toray 12K elyafının %5 ıslatma ajanı içeren LY1556 epoksi reçinesi ile temas açısı sonuçları.....	49
Tablo 4.11. Toray 12K elyafının %10 ıslatma ajanı içeren LY1556 epoksi reçinesi ile temas açısı sonuçları.....	50
Tablo 4.12. Toray 12K elyafının %15 ıslatma ajanı içeren LY1556 epoksi reçinesi ile temas açısı sonuçları.....	51
Tablo 4.13. Dowkasa 12K elyafında ıslatma ajanının temas açısı ölçümlerine etkisi.....	52
Tablo 4.14. MRC 12K elyafında ıslatma ajanının temas açısı ölçümlerine etkisi.....	53
Tablo 4.15. Toray 12K elyafında ıslatma ajanının temas açısı ölçümlerine etkisi.....	54
Tablo 4.16. Elyaf tiplerinin damla düştüğü ilk andaki temas açısı kıyaslamaları	55
Tablo 4.17. Elyaf tiplerinin damla düştüğü ilk andan 1 dakika sonraki temas açısı kıyaslamaları.....	55
Tablo 4.18. Dowaksa elyafının elektrik iletkenlik metodu ile ölçülen direnç sonuçları.....	58
Tablo 4.19. Toray elyafının elektrik iletkenlik metodu ile ölçülen direnç sonuçları.....	59
Tablo 4.20. Mitsubishi elyafının elektrik iletkenlik metodu ile ölçülen direnç sonuçları.....	60
Tablo 4.21. Elektrik iletkenlik metodunda kullanılan elyafların karşılaştırılması.....	62

Tablo 4.22. Elyaf tiplerine göre ortalama direnç düşüşleri.....	63
Tablo 4.23. Sokslet test sonuçları ve bu numunelerin elektrik iletkenlik metodunda ölçülen direnç değerleri.....	64
Tablo 4.24. Yakma test sonuçları ve bu numunelerin elektrik iletkenlik metodunda ölçülen direnç değerleri.....	65
Tablo 4.25. Micro-CT numunelerinin elektrik iletkenlik metodunda ölçülen direnç değerleri.....	67



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

$\gamma_{K/H}$: Katı-buhar faz arasındaki yüzey gerilimi
$\gamma_{K/S}$: Katı-sıvı faz arasındaki yüzey gerilimi
$\gamma_{S/H}$: Sıvı-buhar faz arasındaki yüzey gerilimi
MPa	: Megapascal
Gpa	: Gigapascal
°C	: Santigrat derece
g/cm ³	: Yoğunluk
T _g	: Camı geçiş sıcaklığı, (°C)
T _m	: Erime sıcaklığı, (°C)
γ_{LV}	: Yüzey gerilimi (g)
ΔH	: Entalpi değişimi (°C)
ΔH_m	: Erime entalpisi, (J/g)
η	: Viskozite
θ	: Temas açısı
V	: Potansiyel farkı
I	: Direnç üzerindeki akım
R	: Direnç
kVA	: Kilo Voltamper

Kısaltmalar

AFM	: Atomic Force Microscop (Atomik Kuvvet Mikroskobu)
BPA	: Bisfenol A - Difenilol propan
BPF	: Bisfenol F - Difenilol metan
CF	: Karbon Fiber
CNT	: Karbon Nano Tüp
ECH	: Epiklorohidrin
ED	: Elektrodpozisyon
HCl	: Hidroklorik Asit
IFSS	: Inter Facial Surface Strength (Aryüzey kayma dayanımı)
Micro CT	: Bilgisayarlı Mikro Tomografi
NaOH	: Sodyum Hidroksit
PAN	: Poliakrilonitril
PEI	: Polieterimid
PP	: Propilen
SEM	: Scanning Electron Microscope (Taramalı Elektron Mikroskobu)
UD	: Uni Directional (Tek Yönlü)
XPS	: X-Ray Photoelectron Spectroscopy (Xışını fotoelektron spektroskopisi)

KARBON FİBERLERİN İSLANABİLİRLİĞİNİ ÖLÇEN HIZLI BİR METOD GELİŞTİRİLMESİ

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, termoset kompozit uygulamalarında kullanılacak karbon fiberlerin ıslanabilirliğini ölçen hızlı bir metod geliştirilmesidir. Bu kapsamda, karbon elyafların elektrik iletebilme yeteneği kullanılmıştır. Karbon elyafları ıslatması ve bu ıslatmanın ölçülmesi için oda sıcaklığında sıvı olan bir çeşit epoksi reçine kullanılmıştır. Çalışmada karbon elyafların direnç oluşturduğu bir devre kurulmuştur. Reçine ile ıslanan karbon elyafların oluşturduğu akım artışı, reçine içerisine farklı oranlarda eklenen ıslatma ajanlarının oluşturduğu akım artışı ve reçinenin karbon elyaf üzerinde oluşturduğu temas açısı ve yayılma hızı incelenmiştir. Ayrıca, elyafları iyi ıslanan ve elyafları iyi ıslanmayan iki prepreg oluşturulmuştur. Bu iki örnekten tomografi (mikro CT) çekimi yapılmıştır. Tomografi görüntüleri ile prepreglerin elektrik iletkenlikleri arasında korelasyon sağlanmıştır. Çalışma sonucunda, reçine ile ıslanan karbon elyafların iletkenliğinin arttığı, reçine içerisine ilave edilen ıslatma ajanlarının iletkenliği arttırdığı dolayısı ile ıslanabilirliği iyileştirdiği gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Epoksi, İslanabilirlik, İletkenlik, Karbon Elyaf, Kompozit.

A FAST METHOD TO INDICATE THE WETTABILITY OF THE UNIDIRECTIONAL CARBON FIBERS IN COMPOSITES

ABSTRACT

The aim of this study is to develop a rapid method to measure the wettability of carbon fibers to be used in thermoset composite applications. In this context, the ability of carbon fibers to conduct electricity was used. A type of epoxy resin, which is liquid at room temperature, was used to wet and measure carbon fibers. In this study, a circuit in which carbon fibers form resistance has been established. The flow increase of the carbon fibers wetted with the resin, the increase in the flow of wetting agents added to the resin in different proportions, and the contact angle and spreading rate of the resin on the carbon fiber were investigated. In addition, two prepregs are formed, the fibers of which are well wetted and the fibers are not well wetted. Tomography (micro CT) was performed from these two samples. There was a correlation between tomography images and electrical conductivity of prepregs. As a result of the study, it was observed that the conductivity of the carbon fiber wetted with the resin increased and the wetting agents added to the resin increased the conductivity, thus improving the wettability.

Keywords: Epoxy, Wettability, Conductivity, Carbon Fiber, Composite.

GİRİŞ

İstenen amaç için tek başlarına uygun olmayan farklı iki veya daha fazla malzemeyi istenen özellikleri sağlayacak şekilde belirli şartlar ve oranlarda fiziksel olarak, makro yapıda bir araya getirilerek elde edilen malzemeye kompozit malzeme denir [1] .

İçyapıları çıplak gözle incelendiğinde (makroskobik muayene) yapı bileşenlerinin seçilip ayırt edilmesi mümkündür. Yapılarında birden fazla sayıda fazın yer aldığı klasik alaşımlar ise makro ölçüde homojen olmalarına rağmen mikro ölçüde (mikroskobik muayene ile seçilebilen) heterojen malzemelerdir [1].

Kompozit malzemelerde yapıyı oluşturan bileşenler birbiri içinde çözünmezler, kimyasal olarak inert davranırlar. Ancak özellikle metalik sistemlerde düşük oranlarda bile olsa, bir miktar çözünme bileşenler arasında kompozit özelliklerini etkileyebilen ara yüzey reaksiyonları görülebilir. Kompozit malzemelerde çekirdek olarak kullanılan bir fiber malzeme bulunmakta, bu malzemenin çevresinde hacimsel olarak çoğunluğu oluşturan bir matris malzeme bulunmaktadır. Bu iki malzeme grubundan, fiber malzeme kompozit malzemenin mukavemet ve yük taşıma özelliğini, matris malzeme ise plastik deformasyona geçişte oluşabilecek çatlak ilerlemelerini önleyici rol oynamakta ve kompozit malzemenin kopmasını geciktirmektedir. Matris olarak kullanılan malzemenin bir amacı da fiber malzemeleri yük altında bir arada tutabilmek ve yükü lifler arasında homojen olarak dağıtmaktır [1].

Prepregler (reçine emdirilmiş kumaş) özellik olarak karbon, cam ve aramid gibi malzemelerle takviye edilmiş, tamamen kürlenmemiş reçine matris sistemidir. Dokunmuş ya da tek yönlü cam, karbon ve aramid kumaşlar üzerine reçine sisteminin emdirilmesi ve yarı küreştirilmesi ile oluşmaktadır. Prepregler, kürlenme için gerekli reçine ve sertleştirici karışımını içerdiğinden ilave reçine işçiliği gerektirmeden serime hazır haldedir [1]. Prepreg en son üretilen kompozit malzemedir. Isınınca sertleşen yüksek sıcaklıktaki reçine, kimyasal reaksiyon sırasında prepreg materyali oldukça sağlam, sıcaklığa dayanıklı, son derece sert ve hafif bir yapı olur [2].

Prepregler ile yapılan kompozit parça üretimlerinde kalınlık, ağırlık ve yüzey kalitesi gibi son ürün özellikleri diğer yöntemlere kıyasla standardize edilebilir ve tekrarlanabilir, yüksek ürün kalitesi sağlanarak düşük fire oranlarına ulaşılabilir. Ayarlanmış reçine oranı reçine zengin bölge, kuru bölge, hava boşlukları gibi problemleri ortadan kaldırdığı için proses verimliliğini artırır [2].

Prepreg'le üretimin avantajları olduğu gibi bazı dezavantajları da vardır. Öncelikle kendisi de üretim yöntemleri de diğerlerine göre oldukça pahalıdır. Otoklav yönteminde sıcaklık, kürleşme grafiğine uygun olarak 120-180°C civarında ayarlanıp aynı zamanda da 3-7 MPa basınç altında gerçekleştirilir. Fırınla üretimde ise yine kürleşme sıcaklığı, uygun sıcaklıklara ayarlanmalıdır. Bu tip otoklav ve fırınlar oldukça pahalı endüstriyel ürünlerdir [3].

Prepreglerin saklama koşulları da üretici için büyük bir zorluktur. Oda şartlarında 4-6 haftaya kadar saklanabilen çeşitleri olsa da genel olarak -18°C civarında dondurucuda saklanma koşulları vardır. Ayrıca dondurucudan çıkarıldıktan sonra kullanılmaları gerekmektedir [3].

Bunun dışında prepreg üretimi sırasında tüm elyafların yeteri kadar ıslanmaması, prepregten kompozit parça üretimi esnasında parçada homojen olmayan kuru bölgeler oluşturarak mukavemete negatif etkileri bulunmaktadır.

Karbon elyaflardan prepreg üretirken elyaflarda ıslanmayan bölgeler gözlemlendi. Prepreglerdeki kuru elyaflar, bu prepreglerden kompozit parça üretirken parçada homojen olmayan mukavemeti düşük bölgeler oluşturmaktadır. Dolayısı ile prepreglerde elyafların homojen şekilde ıslanması oldukça önemlidir. Bu tez çalışması kapsamında elyafların ıslanabilirliğini ölçebilen hızlı bir metod geliştirme çalışmaları yapıldı.

Karbon elyafların elektriği iletme özelliğinden faydalanarak elyaf üzerinden geçen akımı ölçecek bir düzenek kuruldu. Burada elyafların düzenekte oluşturduğu direnç üzerinden akım hesabı yapıldı. Tez kapsamında Dowaksa , Toray ve MRC olmak üzere 3 farklı karbon elyaf kullanıldı. Oluşturulan düzenekte 3 farklı karbon elyaf karşılaştırıldı.

Kuru elyafların iletkenlikleri karşılaştırıldıktan sonra aynı elyaflar üzerilerine birer damla epoksi reçine damlatılarak test edildi. Reçine içerisine farklı oranlarda ıslatma ajanı ilave edilerek ıslatma ajanının iletkenliğe olan etkileri incelendi. Ve daha sonra karbon elyafları iyi ıslanan ve iyi ıslanmayan iki farklı prepreg örneği hazırlandı. Bu iki prepregden Micro-CT ile tomografi çekilip görüntüleri alındı. Aynı iki örnek iletkenlik testine tabi tutuldu. İki örneğin iletkenlikleri ve micro-CT görüntüleri değerlendirilerek metod korele edildi.

Bu çalışmalara paralel olarak, aynı 3 karbon elyafların temas açısı ölçümleri ile ıslanmaya olan eğilimleri incelendi. Önce elyafların reçine ile temas açıları ölçüldü. Elyaf yüzeyleri pürüzsüz olmadığından temas açısı ölçümleri yeterli veri oluşturmadı. Bu durum göz önünde bulundurularak temas açısı ölçüm cihazı ile reçinenin elyaf üzerindeki yayılma hızları ölçüldü. Daha sonra reçine içerisine farklı oranlarda ıslatma ajanı eklenerek ıslatma ajanı içeren reçinenin elyaflar üzerindeki yayılma hızları ölçüldü. Islatma ajanının karbon elyaf üzerindeki yayılma hızları ölçülerek ıslatma ajanının elyafların ıslanmasına olan katkıları değerlendirilmiştir.

Bu tezde, Bölüm 1'de teorik bilgiler verilmiştir. Bölüm 2'de çalışma kapsamında yapılan literatür araştırması paylaşılmıştır. Bölüm 3'te çalışmada kullanılan malzemeler ve deneysel tasarım hakkında bilgi verilmiş. Bölüm 4'te deneysel bulgular verilerek tartışılmıştır. Bölüm 5'te ise sonuçlar ve öneriler sunulmuştur.

1. TEORİK BİLGİ

Bu bölümde tez çalışması kapsamında kompozit malzemeler, kompozit malzemeleri oluşturan matris ve fiberler, epoksi reçineler, karbon elyaflar ve prepreg hakkında genel bilgiler verilmiştir.

1.1. Kompozit Malzemeler

Kompozit malzemeler; belirli bir amaç doğrultusunda iki ya da daha fazla sayıdaki, aynı veya farklı tür malzemelerin özelliklerini, yeni ve tek bir malzeme toplamak için, bileşenlerin kendi sınırlarını koruyacak şekilde makro düzeyde birleştirilmesi ile oluşturulan yeni ve yapay malzemeler olarak tanımlanabilir. Kompozit malzemeler genelde düşük dayanıma sahip matris ana fazı ile bu faz içinde dağılmış takviye fazından meydana gelmektedir. Takviye ve matris fazları atomsal boyutta birleşmez, birbirleri içinde çözünmeyerek inert davranırlar. İçyapıları incelendiğinde bileşenleri seçilip, ayırt edilebilir. Kompozit malzemeler makro ölçekte homojen özellikler gösterebilirler bile mikro ölçekte heterojen yapıya sahiptirler. Kompozit malzemeler mikroskobik açıdan homojen olan alaşımlardan bu bakımdan farklılık göstermektedir [4].

Kompozitlerde takviye malzemesi olarak farklı morfolojilere sahip malzemeler kullanılmaktadır. Takviye malzemesinin kullanımındaki temel amaç; malzeme üzerine gelen yükün taşınması, matrisin rijitliğinin ve dayanımının artırılmasının sağlanmasıdır. Kompozit malzeme içinde matrisin fonksiyonu ise, çoğu gevrek ve kırılğan olan takviye elemanlarını dış ve çevresel etkilere karşı korumak, kompozit malzeme üzerine gelen yükü takviye elemanlarına iletmek ve tüm kompozit yapıyı bir arada tutmak olarak sıralanabilir [5-7].

Kompozit malzemelere üretimi esnasında performansın artırılması, üretimin hızlandırılması, yüzey kalitesinin iyileştirilmesi gibi çeşitli sebeplerden ötürü bazı ilaveler yapılabilmektedir. En sık kullanılan ilave malzemeler jelkotlar, kalıp

ayırıcılar, dolgular ve polimerizasyon (kürleşme) sürecini hızlandıran katalizörler olarak sıralanabilir.

Özetle bir malzemenin kompozit olarak değerlendirilebilmesi için; belirli bir amaç doğrultusunda bir araya getirilen, bileşenlerinin birbirleri içinde çözünmediği ve bileşenlerinin hiç birinin tek başına sahip olmadığı özelliklere sahip olan bir malzeme olması gerekmektedir.

Kompozit malzemeler günümüzde, savunma sanayi, havacılık ve uzay, otomotiv, spor malzemeleri, ev aletleri ve denizcilik gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Kompozit malzemeler binyıllardan beri kullanılmakta ve ilk örnekleri antik çağlara kadar uzanmaktadır. Antik çağlardan beri insanlar kırılğan malzemelerin içersine hayvansal veya bitkisel kaynaklı lifler ekleyerek bu kırılğan malzemeleri güçlendirmeye çalışmışlardır. Bunun bilinen en yaygın ve eski örneği kerpiçtir.

İnsanoğlu zaman içinde kompozit malzemelerin getirdiği avantajların farkına varmış ve kullanım alanlarını yaygınlaştırmıştır. Savaş teknolojileri her zaman yeni malzemelerin sık kullanıldığı yerler olmuşlardır. Normal batılı yaylarda sıkça rastlanan, yayın belirli bir kuvvetten sonra kırılması problemini aşmak isteyen Moğollar, yayın esneyen kısımlarında farklı lif yönlerine sahip hayvansal tendonlar kullanarak bu sorunu ortadan kaldırmıştır [5].

Kompozitlerin popülerliğini daha da arttıracak olan karbon lifi patenti (deneysel de olsa) 1961 yılında A.Shindo tarafından alınmış olsa da, ticari olarak ilk karbon fiberi üreten, yıllar sonra İngilizler olmuştur. Bu fiberler sayesinde çok hafif parçalar yüksek mukavemette üretilebilir ve uzay sektörünün beklediği özellikleri karşılayabiliri hale gelmiştir.

Askeri amaçlar için geliştirilen kompozit malzemelerin getirdiği avantajlar ortada olmakla birlikte, bu malzemelerin üretimindeki güçlük ve yüksek maliyetler, kompozit malzemelerin gelişiminin 1960'lı yıllara kadar sadece özel amaçlara yönelik uygulamalarla sınırlı kalmasına sebep olmuştur. 60'lardan sonra kompozit malzemeler üzerine yapılan düzenli araştırmalar ve alanı geliştirme çabaları, daha dayanıklı ve sağlam ama aynı zamanda daha hafif malzemelere ihtiyaç duyan başta havacılık,

otomotiv, denizcilik, enerji ve inşaat sektörleri olmak üzere spor malzemeleri ve ev eşyaları gibi alanları kompozit malzemelerle tanıştırmıştır. Zaman içinde üretim teknolojilerindeki gelişmeler, ucuzlayan hammadde maliyetleri ve kompozit malzemeler hakkında artan teknik bilgiler, kompozit malzemelerin kullanımını daha da yaygınlaştırmıştır [5].

Son zamanlarda kompozit sektörü çok ilerlemiştir. Elektrikli ve elektronik aletlerde, elektriksel yalıtım özellikleri açısından tercih edilen kompozit malzemeler, televizyonlarda, dikiş makinelerinde, saç kurutma makineleri hatta masa ve sandalye gibi gündelik hayatta sıklıkla kullanılan ürünlerde de kullanılmaktadır. Otomotiv endüstrisinde de motor elemanları, kaporta, fren diskleri, tampon ve lastikler gibi birçok yerde kullanılan kompozitler, inşaat sektöründe de köprü ve hastahane gibi büyük inşaatlarda kolon güçlendirme amacıyla kullanılmaktadır. Şehircilikte özellikle çevresel etkenlere dayanımı açısından elektrik direkleri, heykel, banklar, gişeler, kabinler, büfeler ve otobüs durakları gibi birçok kompozit malzemeler konvansiyonel malzemelere ciddi rakip olmaktadır. Kompozit sektöründe halen inşaat ve taşımacılık (hava ve kara) ilk sıralarda yer alırken uzay sektörünün geride kalmasının sebebi, değer olarak büyük de olsa adet bazında üretimin diğer sektörlerle göre oldukça düşük olmasıdır. Kompozit malzemeler, performans ölçütünün önemli olduğu birçok ürün ve alanda pazar paylarını arttırmayı sürdürmektedir [8].

Kompozit malzemeler bileşenlerinin tek başına sahip olmadığı üstün özelliklere sahiptir. Bu özelliklerden ön önemlileri; Yüksek rijitlik, yüksek dayanım, yorulma direnci, özgül elastisite, korozyon direnci, aşınma direnci, iyi termal ve ısı iletkenlik, düşük ağırlık ve estetik görünümü şeklinde sıralanabilir. Kompozit malzemeler tüm bu özellikleri birarada bünyesinde barındıramayabilir. Kullanım amacı göz önünde bulundurularak, doğru üretim şartları, uygun ve özellikleri bilinen matriks ve takviye bileşenleri kullanılarak kompozit malzemeye istenen özellikler kazandırılabilir [6].

Kompozit malzemeler genel olarak yüksek performans ve hafiflik, yüksek termal dayanım, korozyon direnci gibi özelliklerinden dolayı tercih edilse de, yüksek yüzey kaliteleri ve görselliklerinden dolayı, mimari ve endüstri ürünleri tasarımında tercih edilen malzemeler haline gelmiştir Kompozit malzemelerin belli başlı avantajları;

- a. Kompozit malzemeler, fiziksel ve mekanik özelliklerinden dolayı birçok metal yerine kullanılabilir.
- b. Kompozit malzemeler, aynı eğilme ve çekme dayanımı veren çelikten 5 kat, alüminyumdan 2 kat daha hafiftir.
- c. Kompozit malzemelerin yorulma dayanımları çok iyidir.
- d. Kompozit malzemeler korozyona ve kimyasallara karşı oldukça dirençlidirler. Metaller kimyasal ve suyun bulunduğu ortamda korozyona uğrarlar. Bu durumdan korunmak için kaplama ya da alaşımlama gibi özel durumlara ihtiyaç duyarlar.
- e. Farklı uygulamalar için istendiği takdirde kompozit malzemeler yalıtkan veya iletken olarak üretilebilir.
- f. Kompozit malzemeyi oluşturan bileşenler ısı iletim katsayısı düşük malzemelerden seçildiği takdirde, yüksek ısı altında çalışabilen, ısıya dayanıklı kompozitler elde edilebilir.
- g. Kompozit malzemelerin termal genişleme katsayısı doğru malzeme ve doğru yerleşimle sıfıra indirilebilir.
- h. Kompozit malzemeler yüksek darbe dayanımına sahiptirler. Karbon ve cam takviyeli kompozitler çelik ve alüminyuma göre çok daha yüksek darbe dayanımına sahiptirler.
- i. Kompozit malzemelerdeki süneklik özellikleri sebebiyle ses ve titreşim özellikleri oldukça iyi bir seviyededir. Kompozitler titreşimleri metallerden çok daha iyi sönmekte ve olası şokları yutabilmektedir, bu sayede oluşabilecek çatlakların ilerlemesi de minimize edilmektedir. Bu özellikleri sayesinde, golf sopaları ve uçaklar gibi farklı sektörlerde uygulama alanları bulmuşlardır.

Kompozit malzemelerin bu özellikleriyle diğer malzemelerden daha avantajlı olabilmesi için matris ve takviye malzemelerinin ara yüzey bağlarının kuvvetli olması gereklidir. Ara-yüzey bağlarının kuvvetli olması ise matrisin ıslatabilirlik özelliğine bağlıdır.

1.2. Karbon Fiber

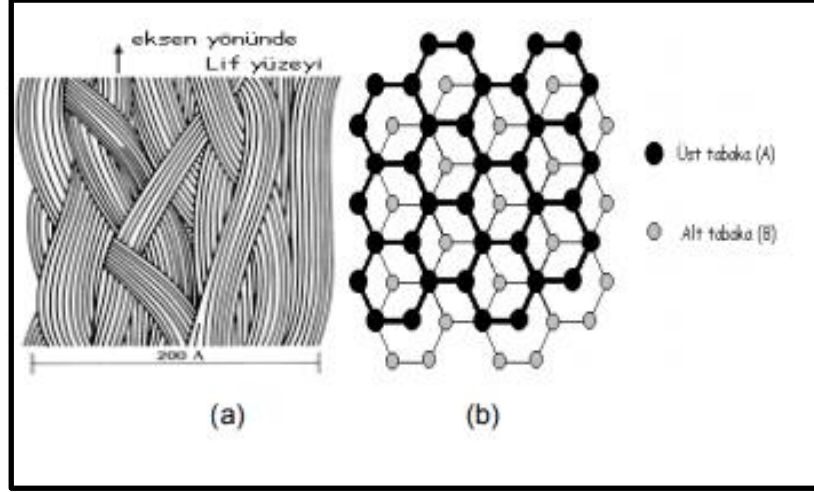
Karbon liflerinin gelişimi ve uygulanabilirliğinin sağlanması ile kullanım alanı genişlemiştir. Başlıca kullanım alanları, savunma amaçlı giysiler, uzay araçları, otomobil sektörü, medikal kullanımlar (özellikle ortopedik operasyonlarda) olan karbon liflerinin üretiminde farklı hammaddeler kullanılmaktadır [9].

Karbon liflerinin üretiminde, organik kökenli hammaddelerin ısıtılması sonucu karbon dışındaki diğer atomlar uzaklaşmakta böylece karbon atomlarından oluşmuş filamentler elde edilmektedir. Bu filamentlerin kristalizasyonundan sonra yüksek mukavemetli lifler elde edilmektedir [9].

Poliakrilnitril liflerinden, bitkisel esaslı hammaddelerden, katran tortusu ve ziftten, polivinilden klorür veya polivinildenklorür kopolimerlerinden üretilen karbon liflerinin özellikleri kullanılan hammaddeye, işlem sıcaklığına ve üretim aşamalarına bağlı olarak değişmektedir. Üretim koşullarına göre farklılık gösteren karbon liflerinin özellikleri ve kullanım alanları birbirlerinden farklı olmaktadır [9].

Karbon liflerinin yoğunluğu kullanılan hammadde ve işlem sıcaklığına bağlı olarak 1,6-2,2 g/cm³ arasında değişiklik göstermektedir. Karbon lif üretiminde kullanılan hammadde yoğunluğu 1,14-1,19 g/cm³ arasında değişmektedir. Elde edilen lif modülündeki artış grafitizasyon sıcaklığının artışı ile artmaktadır [10].

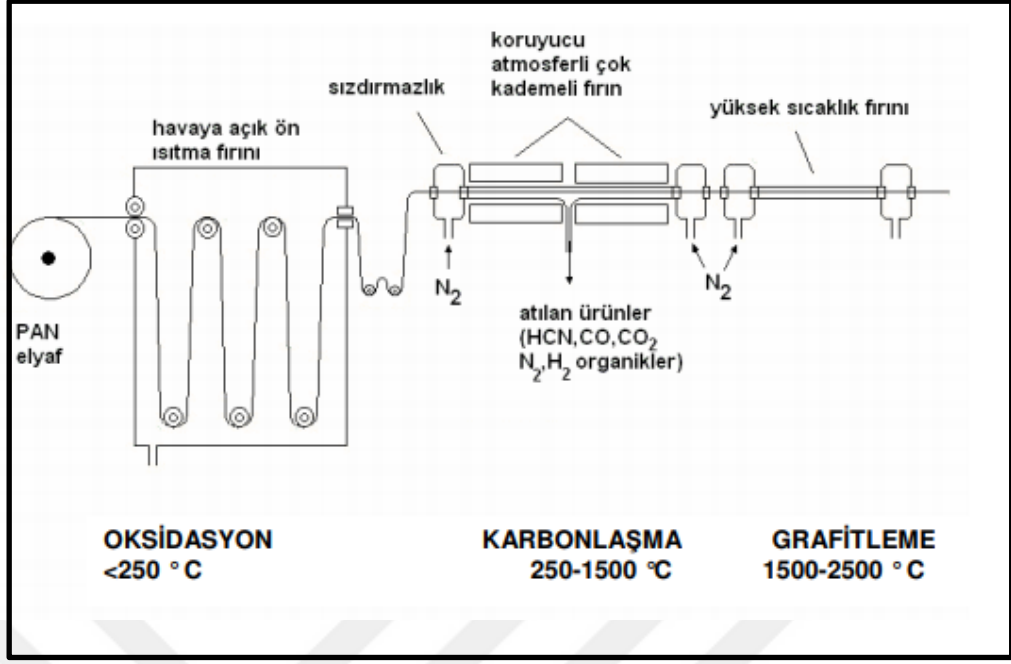
Karbon liflerinin yorulma davranışı bilinen tüm metallere göre daha iyidir. Uygun reçine ile kaplandığı zaman elde edilen kompozitin korozyona karşı dayanımı iyi olmaktadır. Katran esaslı karbon liflerinin elektriksel iletkenliği bakırdan 3 kat daha fazladır. Karbon lifleri kolaylıkla erimedikleri için yüksek sıcaklıkların olduğu uçak frenlerinde ve roketlerde kullanılmaktadır. Karbon liflerinin özelliklerini dikey ve yatay olarak kristalitlerin mikroyapıdaki yerleşimi etkilemektedir. Kurdela benzeri kristalitler az veya çok eksene paralel şekilde yerleşmiştir. Bu kristalitlerin uzunluğu ve düzlüğü lif modülünü etkilemektedir. Şekil 1'de PAN esaslı karbon liflerin eksen yönündeki bir modeli görülmektedir [11].



Şekil 1.1. a) PAN esaslı karbon liflerin eksen yönündeki bir modeli, (b) Grafen düzlem[9]

Karbon elyaf prosesi teknik açıdan 4 aşamadan oluşmaktadır.

- Oksidasyon; elyaflar hava ortamında yaklaşık olarak 300 °C’ de ısıtılırlar. Böylelikle, hidrojenin elyaftan ayrılması ve oksijenin eklenmesi sağlanır. Elyaflar kesilerek grafit tekenelerine koyulur ve karbonizasyon aşamasına hazırlanması sağlanır. Polimer kararlı bir yapıya dönüşür. Bu işlemler neticesinde elyafın rengi beyaz, kahverengi ve en son siyah rengine dönüşür [12].
- Karbonizasyon; yanıcı olmayan bir atmosferde 3000 °C’ ye kadar ısıtılan elyafların %100 karbonlaşması sağlanır. Bu işlemde uygulanan sıcaklık sayesinde üretilen elyafın sınıfı belirlenmiş olur [12].
- Yüzey iyileştirme; karbonun yüzeyinin temizlenmesi ve elyafın reçineye daha iyi yapışabilmesi için elektrolit banyoya yatırılır [12].
- Kaplama; nötr bir sonlandırma basamağıdır. Amaç, elyafı sonraki işlemlerden korumaktır. Elyaf reçine ile kaplanır ve bu kaplama işlemi olarak epoksi kullanılır [12].



Şekil 1.2. Karbon fiber üretimi[10]

Günümüzde karbon elyaflar birçok ürünün önemli bir parçasıdır. Ve her yıl yeni uygulamalar geliştirilmektedir. Birleşik Devletler, Japonya ve Batı Avrupa karbon elyafların önde gelen üreticileridir. Karbon fiberler düşük ağırlık, yüksek sertlik veya yüksek iletkenlik istendiği yerlerde kullanılabilir [13].

Uzay ve havacılık, karbon elyafı benimseyen ilk endüstrilerden bazılarıdır. Yüksek modülü sayesinde, yapısal olarak alüminyum ve titanyum gibi alaşımların yerini almaya uygundur. Sağladığı ağırlık tasarrufu, karbon elyafın havacılık endüstrisi tarafından benimsenmesinin en önemli nedenidir. Her bir kilo azaltılması, yakıt tüketiminde ciddi bir farklılık yaratabilir [13].

Tenis racketleri, golf sopaları, softbol sopaları, hokey sopaları ve okçuluk okları ve yayları, genel olarak karbon elyaf takviyeli kompozitlerle üretilen ürünlerdir. Güçten ödün vermeden hafif ağırlıklı ekipmanlar, sporlarda belirgin bir avantajdır. Örneğin, daha hafif bir tenis racketi ile, daha hızlı racket hızı elde edilebilir ve sonuçta topa daha sert ve daha şiddetli vurabilir. Sporcular, karbon fiberle ekipman açısından avantajlı olmaya devam ediyorlar. Bu nedenle profesyonel bisikletçiler tamamen karbon fiber bisikletlere binerler ve karbon fiber kullanan bisiklet ayakkabılarını kullanırlar [13].

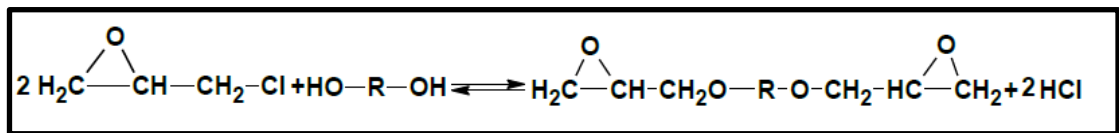
Bir rüzgar türbini bıçağında genel olarak fiberglas kullanmasına karşın, 45 metreden büyük bıçaklarda, bıçağın uzunluğunu uzatan, sertleşen bir kemer içeren bir parçaya sahiptir. Bu bileşenler genellikle %100 karbondur ve sadece birkaç santim kalınlıktadır. Karbon fiber, muazzam miktarda ağırlık eklemekten gerekli sağlamlığı sağlamak için kullanılır. Bu önemlidir çünkü hafif bir rüzgar türbini bıçağı, elektrik yaratmada daha etkilidir [13].

1.3. Epoksi Reçineler

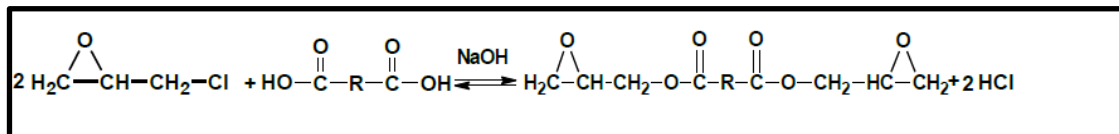
Epoksiler iki ya da daha fazla epoksit içeren bileşenlerden oluşurlar Polifenol'ün epikloridin ile bazik şartlarda reaksiyonu sonucu elde edilirler. Viskoz ve açık renkli bir sıvı halindedirler [14].

Epoksilere uygulanan kür işlemleri ile yüksek sıcaklıklara dayanımları 150-200 °C seviyelerine arttırılabilir. Saydam ve yapışkan hal amorf polimerlerin karakteristiğidir. Tüm polimerler düşük sıcaklıkta saydamlaşırlar ve yüksek sıcaklıkta kauçuklaşırlar. Geçişin meydana geldiği sıcaklık aralığına "cam geçiş sıcaklığı" adı verilir. Cam geçiş sıcaklığı, maksimum çalışabilme sıcaklığının bir ölçüsüdür. 100 °C'de uygulanan bir kür işlemi ile maksimum çalışma sıcaklığı 90- 100 °C arttırılabilir. 150-250 °C arasında uygulanacak bir kür ile 150-250 °C arasında uygulanan maksimum çalışma sıcaklığı sağlanabilir. Kür işlemleri uygun katalizörlerin kullanılması ile hızlandırılabilir [14].

Epoksi reçineleri, epiklorohidrin (ECH) yaygın ismiyle klorometil okziranın, oynak H atomlarına sahip hidroksil veya karboksil gruplarını içeren bileşiklerle tepkimeye sokularak sırasıyla glisidil eter veya glisidil ester yapılarının oluşturulması sonucunda elde edilir.



Şekil 1.3. R'nin diglisidil eteri[14]



Şekil 1.4. R'nin diglisidil esterini[14]

Bu iki reçine türünden diglisidil eter yapılarını içeren birincisi, en fazla kullanıma sahip epoksi reçine türünü oluşturur.

Diglisidil eter yapıları içeren epoksi reçinelerinde kullanılan –OH fonksiyonlu bileşimin türü ve polimerleşme derecesi, oluşan reçinenin kimyasal ve fiziksel özelliklerini belirler.

Başlıca epoksi reçine sentezinde kullanılan –OH fonksiyonlu bileşik türlerine göre oluşan epoksi reçineleri şunlardır:

- Difenilol propan (Bisfenol A (BPA)) esaslı epoksi reçineler,
- Difenilol metan (Bisfenol F (BPF)) esaslı epoksi reçineler,
- Novalak reçinesi esaslı epoksi reçineler,
- Alifatik poliol esaslı epoksi reçineler,
- Sikloalifalik epoksi reçineler,
- Epoksi fonksiyonlu akrilik reçineleri.

Epoksi reçineler doğrusal yapıli oligomer bileşiklerdir. Bu nedenle fiziksel ve mekanik özellikleri çok düşüktür. Epoksi reçinelerinin fiziksel ve mekanik dayanımlarını artırmak için kimyasal özelliklerinin değiştirilerek çok sayıda çapraz bağ içeren yapılara dönüştürülmesi gereklidir. Bu da sertleştiriciler denilen kimyasallarla olur. Sertleştiriciler kullanılarak setleştirilen epoksi reçineleri daha yüksek fiziki ve mekanik özelliklerinin yanı sıra yüksek kimyasal direnç ve elektrik yalıtkanlığı da kazanmış olur.

Epoksi reçinelerin avantajları şunlardır;

- Yüksek aşınma direncine sahiptirler.
- Uçucu değildirler ve kimyasal dirençleri yüksektir.
- Düşük ve yüksek sıcaklıklarda sertleşebilme özelliğine sahiptirler.
- En az su absorbe eden reçinedir.
- Minimum ısınma ve büzülme yapar bu sayede dış katmanı en az etkileyen reçinedir.
- Elyaf yapılarla yüksek bağ mukavemeti sağlarlar.

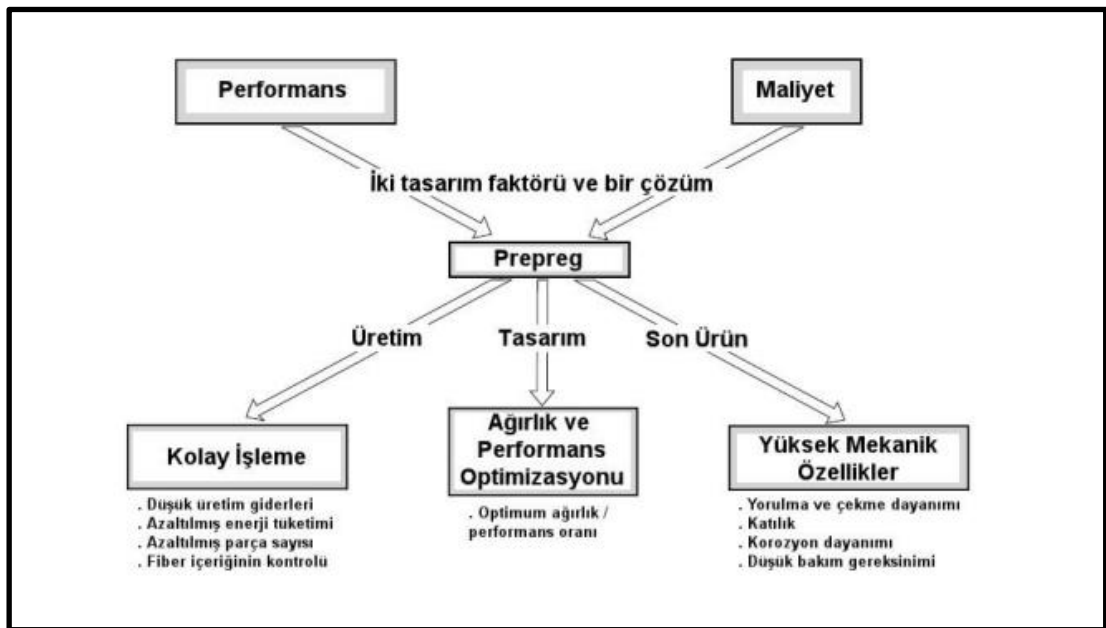
Epoksiler avantajlarının çokluğu ve tüm elyaf malzemelerle kullanılabilir yapılar olmaları nedeniyle, uçak yapısında tabakalı kompozit yapılar olarak yaygın bir kullanım alanına sahiptirler. Genellikle karbon elyaflarla birlikte kullanılırlar.

1.4. Prepregler (Reçine Emdirilmiş Bez)

Prepregler kontrollü şekilde önceden reçine emdirilmiş tek yönlü fiberler ya da dokunmuş kumaşlardır. Özel saklama koşullarında tutulurlar ve belli bir raf ömürleri vardır. Parça üretimi sırasında tekrardan reçineye ihtiyaç yoktur. İstenen parçayı üretmek için parçanın ihtiyacı kadar prepreg kesilerek üst üste konur. Daha sonra prepregde kullanılan kimyasala ait kür prosesindeki basınç ve sıcaklık ile kürlenir.

Prepregler, dayanım kaybına sebep olan tabaka kaymalarını ve fazla ya da eksik reçineden oluşan bölgelerin oluşumunu engeller. Bu kolaylık sayesinde elyaf doğrultuları istenildiği şekilde kontrol edilir ve üretim anında tabakalar kalıp içerisinde isabetli biçimde pozisyonlanabilir.

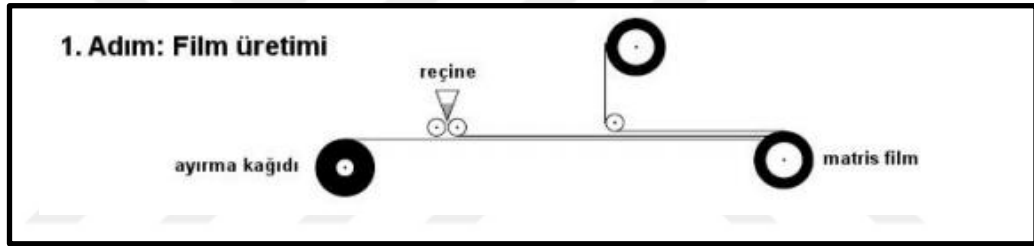
Kompozit ürün üretiminde hammadde olarak prepreg malzemelerin tercih edilmesindeki iki ana sebep performans ve maliyettir. Prepreg malzemeler, üretim, tasarım ve son üründe ortaya çıkan ve Şekil 5’de belirtilen üstünlükler sebebiyle havacılık, denizcilik, enerji sektörlerinde ve spor araç ve gereçlerinde tercih edilmektedir.



Şekil 1.5. Prepreg malzemenin özellikleri[2]

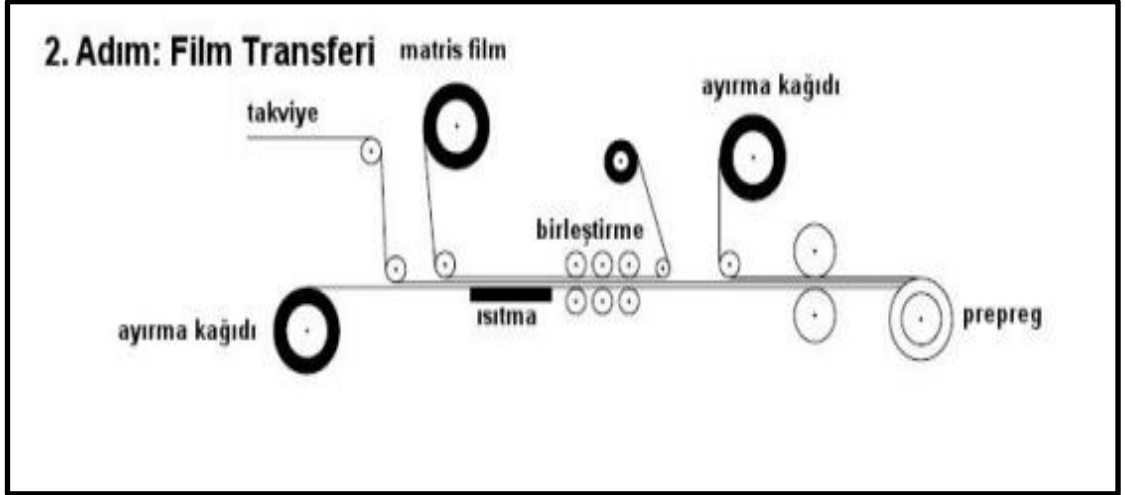
Prepreg üretimi iki aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşama kullanılacak olan reçine sisteminden film yapımı. İkinci aşama ise oluşturulan filmlerin dokuma ya da elyaflarla birleştirilmesi.

Prepreg elde etmek için öncelikle kullanılacak dokuma ya da fiberlere göre hesaplanan yüzde olarak belirlenen oranda film oluşturulmalıdır. Film üretmeden önce, reçine sistemi belirlenen şartlarda hazırlanır. Hazırlanan reçine sistemi film üretim makinasında istenen kalınlıkta kaplanır. Genellikle prepreg üretimlerinde iki film kullanılır. Birinci film dokumanın altına ikinci film ise dokumanın üzerine aktarılır. Prepreg üretiminde kullanılacak reçine filmleri genellikle silikon kaplanmış özel kağıtlara kaplanır. Bu kağıtlar prepreg üretimi aşamasında üzerindeki reçine filmi dokumanın üzerine bırakır. Kullanılan dokumanın alansal ağırlığına göre genellikle % 35-50 arasında reçine kaplanabilir.



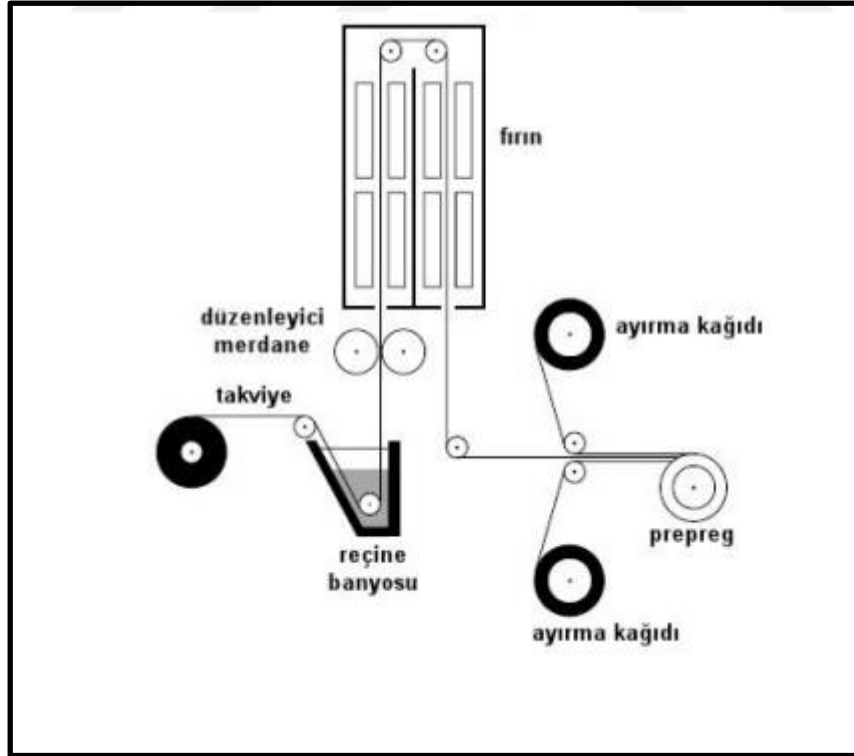
Şekil 1.6. Film üretimi[2]

Oluşturulan filmler prepreg makinasında dokuma ile birleştirilir. Burada reçinenin uygun sıcaklıkta dokumanın üzerine aktarılması önemlidir. Çünkü eğer reçine viskozitesi yeteri kadar düşürülemezse film kağıttan ayrılmaz ve prepreg'teki reçine oranı istenen seviyede olmaz. İkinci bir husus ise oluşturulan prepreglerden parça üretimi sırasında problem yaşanmamasını sağlamak için fiberlerin homojen şekilde reçine ile ıslanmasının sağlanmasıdır. Eğer ıslanma homojen olmazsa parça üretimi sırasında mukavemet bakımından zayıf noktalar oluşur. Fiberlerin ıslanması bu durumdan dolayı çok önemlidir.



Şekil 1.7. Prepreg üretimi[2]

Prepreg üretiminde kullanılan ikinci yöntem ise daldırma yöntemidir. Bu yöntem diğer yöntemlere göre daha ilkeldir. Bu yöntemde prepregde istenen reçine ve fiber oranının tam olarak yakalanması zordur. Film üretimi ile prepreg yapımında reçine ve fiber oranı yüzde olarak hedeflenen değere çok yakın şekilde üretim yapmak mümkündür. Daldırma yöntemi ile prepreg üretiminde dokuma reçine ile dolu havuza girdikten sonra ayırma kağıtları ile kaplanıp sarılmaktadır.



Şekil 1.8. Daldırma yöntemi ile prepreg üretimi[2]

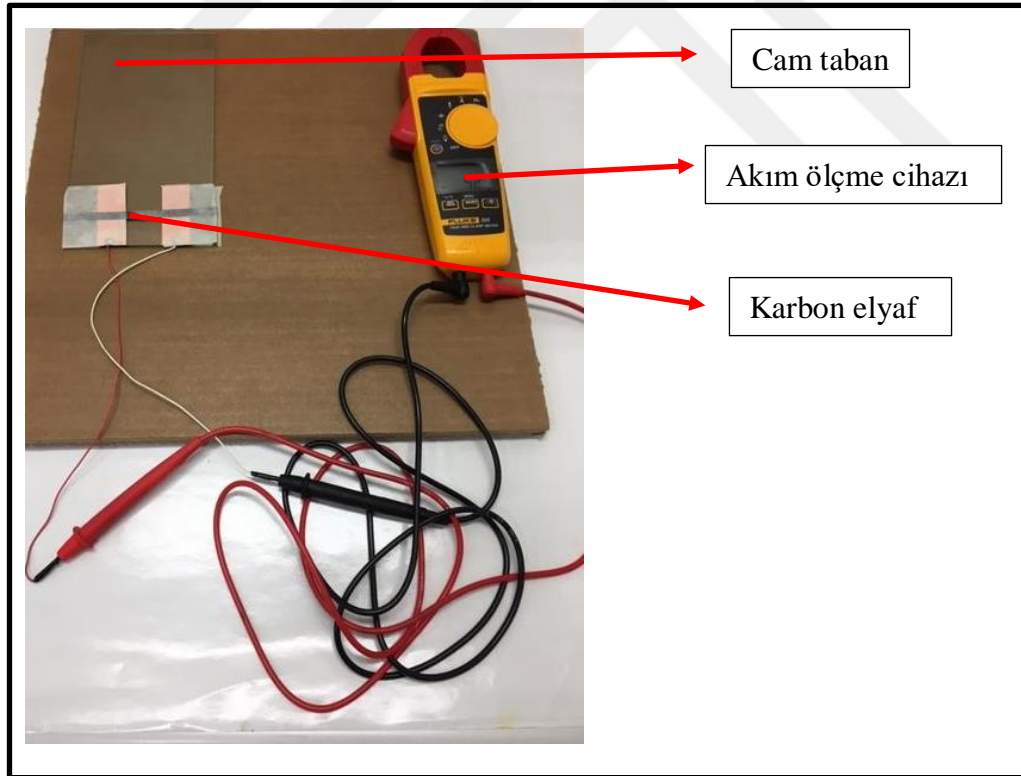
Üretilen prepreglerin, prepregde kullanılan reçine sisteminden kaynaklı belirli raf ömürleri vardır. Bu raf ömürleri -18°C ve oda sıcaklığında farklıdır. Eğer üretilen prepregler -18°C de saklanırsa raf ömürleri maksimum seviyede olur.

Üretilen prepregler, jel süresi (jel time), Viskozite (viscosity), buharlaşma özelliği (volatiles), reçine akışı(resin flow), yapışma derecesi (tack), reçine oranı (resin content), ve fiber ağırlığı (fiber areal weight) özellikleri ile takip edilir.

1.5. Kullanılan Deneysel Teknikler ve Cihazların Çalışma Prensipleri

1.5.1. Elektrik iletkenlik yöntemi

Maddenin temel özelliklerinden bir tanesi elektriği iletebilmesi ya da iletememesidir. Bu özelliğine göre madde iletken, yarı iletken ya da yalıtkan olarak tanımlanır. Karbon elyaflar çok iyi iletkenlerdir. Bu çalışmada karbon elyafların bu özelliğinden yararlanarak karbon elyafların ıslanma derecelerinin ölçülmesi amaçlanmıştır.



Şekil 1.9. Elektrik devresi

Bu kurulan elektrik devresinde devreyi, bakır bantlar üzerine yapıştırılan karbon elyaflar tamamlamaktadır. Devre tamamlandıktan sonra karbon elyaflar üzerinden geçen akım sayesinde karbon elyafların oluşturduğu direnç ölçülmektedir.

Denklem (1.1) okunan direnç değeri, karbon elyaf üzerinden geçen akım değerine dönüştürülebilir.

$$V=I.R \quad (1.1)$$

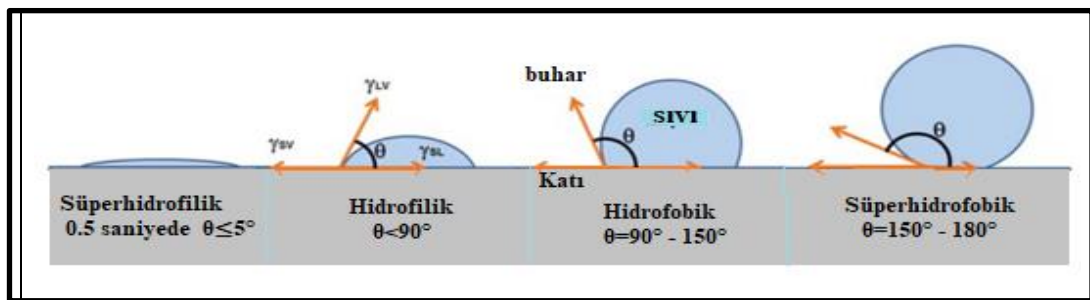
1.5.2. Temas açısı

Katı yüzey ile temas eden bir sıvı belli miktarda bir açı oluşturur. Bu açı temas edilen katının ne olduğuna, temas eden sıvının ne olduğuna bağlı değişir. Temas açısı ıslanabilirlik derecesini ifade eder. Bu açının büyüklüğü kohezyon ve adezyon kuvvetlerinin büyüklüğüne bağlıdır [15].

Kohezyon kuvvetleri, sıvı moleküllerinin kendi içerisindeki çekim kuvveti olarak adlandırılır. Adhezyon kuvvetleri ise sıvı ile katı yüzey arasındaki çekim kuvveti olarak adlandırılır.

Sıvının katı üzerindeki temas açısına göre katı malzemenin ıslanması hakkında genel bilgi verilebilir. Buna göre;

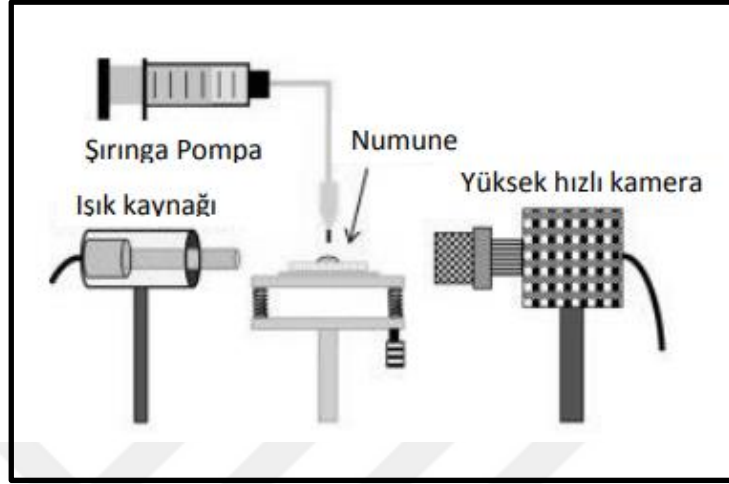
- Eğer temas açısı 90 dereceden büyükse – hidrofobik (ıslatmaz)
- Eğer temas açısı 90 dereceden düşükse – hidrofilik (ıslatma)
- Eğer temas açısı 140 dereceden büyükse – süper hidrofobik
- Eğer temas açısı 0 dereceye çok yakınsa – süper hidrofilik



Şekil 1.10. Sırasıyla süperhidrofilik, hidrofilik, hidrofobik ve süperhidrofobik yüzeyler ve temas açıları[15]

Yüzey ve yüzeyler arası gerilimin belirlenmesinde birçok yöntem bulunmaktadır. Bunlardan başlıcaları; DuNouy halka metodu, Wilhemny tabaka metodu, kapiler (kılcal) yükselme metodu, maksimum kabarcık metodu, Pendant damla ve Sessile damla yöntemleridir. Tüm sistemler için ideal olan bir yüzey gerilimi belirleme

metodu bulunmamaktadır. Uygun yöntemin seçilmesinde numunenin miktarı ve özellikleri, ölçüm sıcaklığı, yüzey geriliminin mi yoksa yüzeyler arası gerilimin mi ölçüleceği gibi, zaman parametresinin çalışma kapsamında olup olmadığı gibi etkenler göz önünde bulundurulmalıdır [15].



Şekil 1.11. Ganyometre cihazı [15]

1.5.3. Yakma testi

Bu test metodunda karbon elyaf ve epoksi reçinenin yanma sıcaklıkları farkından yararlanılmaktadır. Karbon elyafın yanma sıcaklığı yaklaşık 2000°C 'lerdedir. Karbon elyaf ve epoksi reçineden oluşan prepreg kül fırınında 600°C de yaklaşık 3 saat yakıldığında epoksi reçine tamamen yok olmaktadır. Geriye sadece karbon elyaflar kalır. Bu metod prepreg reçine oranı bulmakta kullanılan yaygın bir methoddur. Bu test metodundaki kritik nokta test edilen prepreg kesitinin miktarının az olmasıdır. Dolayısı ile testin sonucunun doğru çıkması için tartımın çok hassas yapılması gerekmektedir.

Bu test yönteminde test edilecek prepreg yakılmadan önce tartılır. Yakma işlemi bittikten sonra tekrar tartılır. Aradaki ağırlık farkı reçine gramajını verir. Reçine gramajının, prepregın gramajına oranı resin content (reçine oranı) olarak adlandırılır.

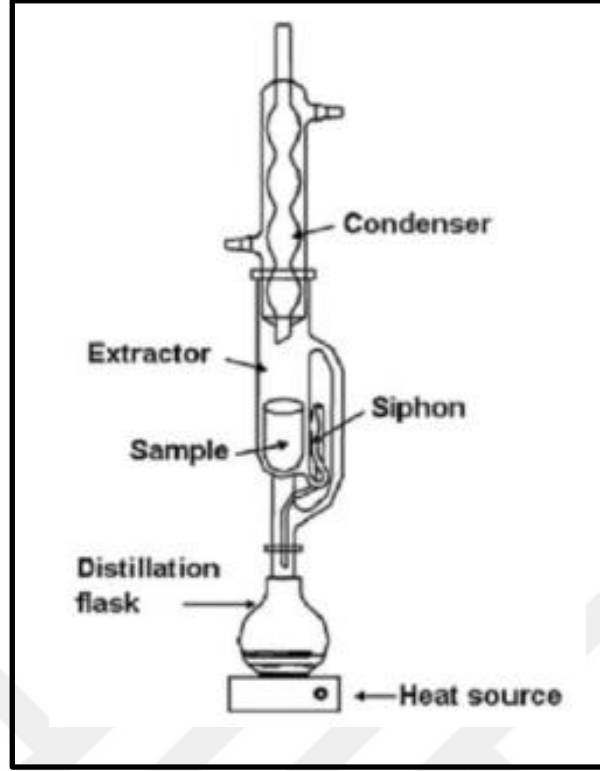


Şekil 1.12. Kül fırını

1.5.4. Sokslet ekstraksiyonu

Ekstraksiyon, katı yada sıvı fazda bulunan bir yada birden çok bileşiğin farklı çözünürlük özellikleri kullanılarak diğer bir sıvı faza alınmasıdır. Sulu bir çözelti ve organik bir çözücünden oluşan iki sıvı fazın kullanıldığı teknik, sıvı-sıvı ekstraksiyon yada kısaca ekstraksiyon olarak bilinir. Ekstraksiyon işlemlerinde genellikle asit (HCl) ve baz (NaOH) çözeltileri tercih edilir. Asidik ve bazik özellikteki organik yapılar sulu asit ve baz çözeltileriyle tepkimeye girerek tuz oluştururlar ve su fazında yer alırlar [16].

Katı sıvı ekstraksiyonunda ise sokslet ekstraktörü denen bir cihaz kullanılır. Sokslet ekstraksiyon yöntemini uygulayabilmek için katı madde kurutulur. Kurutulan malzeme ufak parçalara bölünür. Ve daha sonra selülozdan yapılan kartuşa (süzgeç) yerleştirilir. Cam balona solvent olarak kullanılacak malzeme konur. Epoksi reçineler için solvent olarak dichloremethane kullanılabilir. Buharlaşan çözücü ekstraksiyon kolundan geçerek geri soğutucuya ulaşır. Geri soğutucuda yoğunlaşan çözücü tekrar ekstraksiyon koluna gelerek kartuş içerisinde bulunana maddeyi çözer ve cam balona geri döner. Bu işlem sürekli tekrarlanarak ekstraksiyon tamamlanmış olur [17].



Şekil 1.13. Soxhlet cihaz şeması[17]

1.5.5. Micro CT

Micro CT (bilgisayarlı mikro tomografi) malzemeye zarar vermez. X- ışınlarını kullanarak malzemenin kesitlerinden aldığı görüntülerle üç boyutlu model oluşturur.

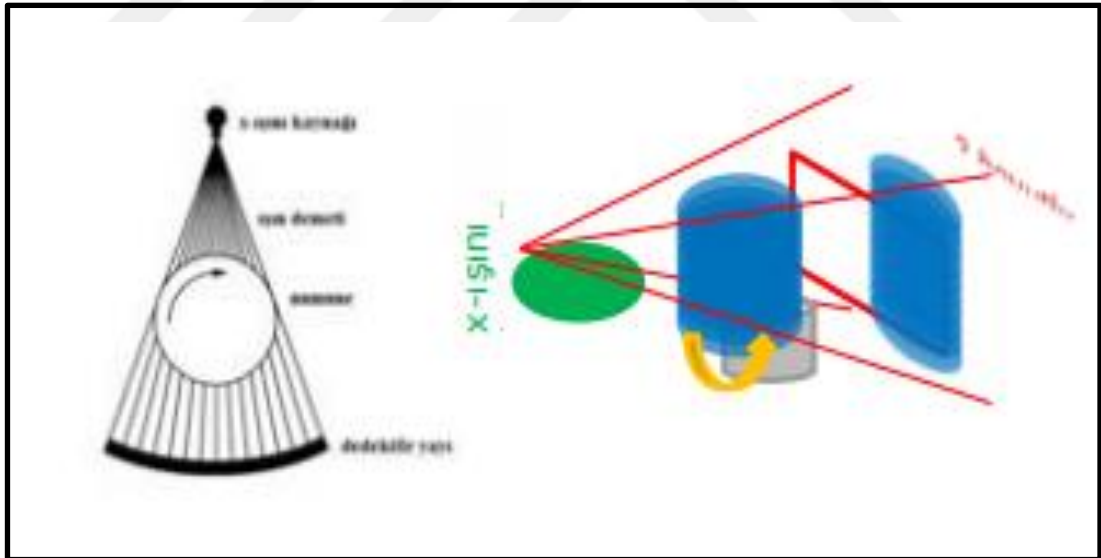
Micro CT; polimerler, biyolojik materyaller (kemik, diş, kırıldak doku, ...) ve kompozit gibi malzemelerin içerisindeki boşluklu yapının incelemesini gerçekleştirebilmektedir. Ayrıca micro CT ile bir materyalin içerisindeki 4 farklı maddeye kadar mikron düzeyinde görüntüleme gibi işlemler in-vitro koşullarda yapılabilir.

Micro CT bu özelliklerinin dışında, soğutma cihazı ile ortam sıcaklığının 15°C altına kadar örneğin sıcaklığını düşürüp bu koşullarda analiz yapabilmektedir. Bunun dışında basınç cihazı ile belirli değerlerdeki sıkıştırma ve germe koşulları altında materyali analiz edebilmektedir.

Micro-CT ile elde edilen 2 veya 3 boyutlu kesit görüntülerini oluşturan pikseller, mikro boyutta olduğundan bir malzemenin iç yapısını tahribatsız biçimde üç boyutta görüntülenmesine ve buna bağlı ölçümlerin yapılmasına imkan sağlamaktadır. Ayrıca

Micro-CT hem canlı hem de değişik özelliklerde katı veya sıvı örneklerin incelenmesinde etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Özellikle Mikro-CT'lerin yumuşak doku ve kemik dokuların görüntülenmesi, kompozit malzemelerin, metal ve alaşımlarının incelenmesi gibi önemli konularda kullanım alanlarının olduğu bilinmektedir [18].

Micro-CT teknik olarak bir Konik Işıklı Bilgisarlı Tomografi tekniğidir. Bu sistemde tomografik düzenlemelerde ve back-projeksiyon işlemi için konik geometriye sahip x-ışınları kullanılmaktadır. Tarama işlemi görüntülenmek istenilen alan etrafında 180° veya 360° lik rotasyon ile gerçekleştirilmektedir. Bu projeksiyonlar ile oluşturulan dijital veriler, yeniden yapılandırma algoritması ile görüntüye çevrilmektedir. Micro-CT'lerin voksel aralığı (sinyalin alındığı bölgenin hacmi) neredeyse hacimsel olarak normal tomografilere göre 1 milyon kat daha küçük olup, 1–50 μm 'dur. Bu küçük voksel aralığı sayesinde micro-CT'ler kesitsel olarak çok iyi bir çözünürlüğe sahiptir. Ve nesnelerin detayları ve iç kusurları hakkında bize daha net bir inceleme olanağı sağlamaktadır (Şekil 14) [18].



Şekil 1.14. X-ışını kaynağına aydınlatılan numune ve dedektör yayı [18]

Micro-CT'nin çalışma prensibinde X ışınına sağlayan mikrofokal spot ve yüksek çözünürlüğe sahip detektörler ile görüntüsü alınacak nesne etrafında dönerek nesnenin 3 boyutlu görüntüsünü elde eder. Bu görüntüler bilgisayar ortamına aktarılır ve ilgili programlar vasıtasıyla 3D modellemeler oluşturulmaktadır. Micro-CT cihazının ana parçaları, 90-150 kVA gücünde X-ışını tüpü, belirli basamaklarda döndürebilen

bilgisayar kontrollü bir elektrik motor, görüntü yoğunlaştırıcı aparatlar, Xışınlarını görüntü verisini çeviren bir CCD kamera, görüntüyü dijital olarak toplayıcısı ve bunları kontrol eden bir bilgisayardan oluşmaktadır. Görüntülenecek olan malzeme bir yuvada dönerken, sistem bu objenin farklı açılardan birden fazla X-ışını gölge geçiş görüntüsünü alır. Bu gölge görüntüler kullanılarak, objenin kesit görüntülerinin yeniden yapılandırılması gerçekleştirilir ve geçiş görüntülerinde seçilen yükseklik aralığındaki iç mikro yapı ve yoğunluğun üç boyutlu modeli oluşturulur. Yeniden yapılandırma ile iç morfolojik parametreler hesaplanabilir [18].



2. LİTERATÜR TARAMASI

Bu bölümde öncelikli olarak karbon elyafların ıslanabilirlik çalışmaları, sonrasında ise iletkenlik ile karbon elyafların ıslanmalarını ölçen çalışmalar incelenmiştir.

2.1. Karbon Elyafların Islanabilirlik Çalışmaları

Nursel Dilsiz ve J.PWightman ' ın 1999 yılında yaptığı çalışmasında karbon fiberlerin polimer matris kompozitlerinde yapışma mekanizmasını daha iyi anlamak için atomik kuvvet mikroskobu (AFM), X ışını fotoelektron spektroskopisi (XPS) ve temas açısı analizlerini, sizingli ve sizing'siz karbon fiberler üzerinde gerçekleştirmiştir. AFM görüntüleri ve yüzey pürüzlülüğü analizleri, sizing' in yüzey topografyasını mikroskobik bir ölçekte değiştirdiğini göstermiştir. Sizing'li elyaflar üzerindeki fonksiyonel grupların yüzdesi, sizing'siz elyaflara kıyasla bir miktar azalmış. Yüzey fonksiyonel grupları ve liflerin yüzey enerjileri, lif matris yapışmasının öngörülmesinde kritik özelliklerdir. Açığa bağlı XPS, voltaj kontrastı XPS ve çevre ölçümleri, karbon fiber yüzeyindeki poli (tioarilen fosfin oksit) (PTPO) sizing'inin, poli (eterimid) (Ultem®) sizing'inden daha büyük olduğunu ortaya koymuştur [19].

Ayman ve arkadaşları 3 elyaf tipi ile takviye edilmiş dolaylı bir dış kompozitinin bükülme özellikleri üzerindeki depolama süresi ve 2 elyaf ıslatıcı maddenin etkisini incelemiştir. Bu çalışmanın sınırlamaları dahilinde, elyaf tipi ve ıslatıcı madde seçiminin, elyaf takviyeli kompozitin eğilme özellikleri üzerinde önemli bir pozitif etkiye sahip olduğu gösterilmiştir [20].

Tagawa ve arkadaşları 1998 yılında karbon elyafların ıslanmasını ölçmek için liflerin temas açılarını ölçmüşlerdir. Wilhelmy tekniği kullanılarak poliakrilonitril karbon fiberlerin yüzey serbest enerjisi incelenmişler. Daldırma ve yayılma arasındaki yüzey serbest enerjisindeki farklılığı, 2500°C' de pirolize edilmiş karbon fiber için gözlemişler. Auger elektron spektroskopisi ile tespit ettikleri, fiber yüzeylerin aktivasyon bölgelerinde bulunan kimyasal adsorbanlara bağlamışlar [21].

Yunfeng Luo ve arkadaşları 2011 yılında CCF karbon elyaflarının yüzey enerjilerini ve ıslanabilirliklerini farklı sizing'ler ve sizing'siz olarak incelemişler. Bu çalışmada sizing'in karbon fiberler üzerindeki rolünü ve karbon fiber polimer matrisli kompozitlerdeki yapışma mekanizmasını, elektronik mikroskobu (SEM), atomik kuvvet mikroskobu (AFM), X-ışını fotoelektron spektroskopisini (XPS) ve dinamik temas açısı analizini (XPS) ile incelemişler. Karbon fiber CCF300' ü iki tip sizing arasındaki farklı özellikleri karakterize etmek için seçmişler. SEM ve AFM görüntülerinden elde edilen yüzey pürüzlülüğü sonuçları sizing'lerin CCF300 yüzeyini pürüzsüzleştirdiğini göstermiştir. Ek olarak, CCF300 sizing'inde yüzey polar işlevsel gruplarının yüzdesi sizing işleminden sonra bir miktar azalmıştır. Diğer yandan, CCF300 sizing'indeki toplam yüzey enerjisi ve kutupsal yüzey enerjisinin kutupsal bileşeni, CCF300 sizingine kıyasla hafifçe azalmıştır ve J4 sizing'i daha fazla etkiye sahip olmuş [22].

Chao Wang ve arkadaşları 2014 yılında karbon nanotüp ve karbon fiber hiyerarşik kompozitlerin arayüzey gelişiminde aşılama kuvveti ve yüzey ıslanabilirliğinin rolünü incelemişlerdir. Bu çalışmada karbon nanotüpün (CNT), karbon fiber (CF) üzerine aşılama kuvveti ve CF yüzeyinin ıslanabilirliği deneysel olarak incelemişler. Daha sonra, arayüzey gelişimi üzerindeki etkileri deneysel ve teorik olarak incelenmiştir. Sonuçlar, CNT / CF greftleme kuvvetinin 5 μN 'den daha güçlü olduğunu ve CNT / CF bağlantılarının CNT'lerin kırılmasını sağlayabildiğini göstermektedir. Bunun, arayüzey özelliklerinin geliştirilmesine katkıda bulunması beklenmektedir. Bununla birlikte, biriken katalizör, arayüzey özelliklerini ve ıslanabilirliği ciddi şekilde bozmaktadır. Sonuç olarak, mikro damlacık testinden elde edilen deneysel sonuçlar, alınan karbon fiber takviyeli kompozitinkine kıyasla hiyerarşik CNT / CF takviyeli kompozitin arayüzey kayma mukavemetinde sadece% 30 artış olduğunu göstermektedir. CNT / CF greftleme kuvvetinin arayüzey gelişimi üzerindeki etkilerini tahmin etmek için analitik bir model geliştirilmiş ve tahmin edilen sonuçlar deneysel ile uyum içindedir [23].

Joung-Man Park ve arkadaşları 2002 yılında karbon elyaf ve epoksi kompozitlerin mikro yapı ve yüzey ıslanabilirlik testleri ile arayüz yapışma ve mikro arıza modlarını incelemişler. Bu çalışmada fiber takviyeli polieterimid (PEI) ile sertleştirilmiş epoksi kompozitin ara yüzey özellikleri ve mikro arıza modları, mikrodroplet testi ve yüzey

ıslanabilirliğinin ölçümü kullanılarak incelenmiştir. Arayüzey kayma dayanımını (IFSS) geliştirmek için ED yapıldı. PEI içeriği arttıkça, PEI'nin artan tokluğu ve plastik deformasyonu nedeniyle IFSS artmış. Öte yandan, ED ile tedavi edilen vaka için IFSS, PEI içeriği ile oldukça düşük iyileşme oranına sahip olarak artmıştır. Muamele edilmemiş durumda, saf epoksi reçinesi kırılma mikrofایلür modu görünürken, saf PEI matrisi daha olası bir sünek mikrofایلür modu sergilemiştir. ED ile tedavi edilen durumda, saf epoksi, muamele edilmeyen vakanınkinden daha sünek bir kırılma sergilemiştir. ED işleminden geçirilmiş karbon fiberin kritik yüzey gerilimi ve polar yüzey serbest enerjisi, muamele edilmemiş fiberinkinden daha yüksektir. Lif ve matris arasındaki yapışma işi, hem tedavi edilmeyen hem de ED ile tedavi edilen vakalar için IFSS ile doğrudan orantılı değildir. Matris tokluğu, IFSS'ye yüzey ıslanabilirliğinden daha muhtemel olduğunu düşünmüşler. Epoksi-PEI kompozitinin arayüz özellikleri, hem matris tokluğunun kontrolü hem de ED tedavisinden etkili bir şekilde etkilenebileceği değerlendirilmiştir [24].

S. Chwastiak 1973 yılında karbon ipliklerinin ıslanma özelliklerini ölçmek için fitilleme yöntemini kullanmıştır. Karbon ipliğinin ıslanabilirliğini ölçmek için dinamik bir yöntem geliştirilmiştir; bu, bir test sıvısının bir iplik demeti tarafından fitil edilme oranına dayanmaktadır. Fitil oranı verilerini, ıslanmanın neden olduğu ipliğin yüzey serbest enerjisindeki değişim ile ilişkilendiren bir denklem elde edilmiştir. Temas açıları serbest enerji değerlerinden hesaplanmıştır. Bu yöntem hızlı olma, operatör kararından bağımsız olma avantajına sahiptir ve sadece yaklaşık 1 g'lık bir örnekleme büyüklüğü gerektirir. Numunenin tüm yüzey alanı ölçümde yer aldığından, yaklaşık 1 m² karbon iplik yüzeyinin ortalama ıslatma özelliği bir testte uygun şekilde belirlenmiştir [25].

Jian Wang ve arkadaşları Mart 2017' de karbon fiberlerin mikro ıslanmasını incelemiştir. Karbon fiberler (CF'ler) ve polimer matrisleri arasındaki fiziksel yapışma ve bu iki malzeme arasındaki ara yüzeydeki boşlukların oluşumu çoğunlukla liflerin ıslatma özellikleri ile kontrol edilir. CF takviyelerinin hiyerarşik yapısı nedeniyle, ıslatma davranışlarını farklı ölçeklerde incelemek gerekir: tekli elyaftan (mikro ölçekli) kumaşa (makro ölçekli) çekme terazisi (mesoskale). Bununla birlikte, CF çekicilerin ıslanabilirliğinin araştırılması, oldukça zordur, çünkü kendiliğinden kapiler fitilleme ve elasto-kılcallık kaynaklı topaklanma ile karakterize edilen fiber

düzenineginin yüzey kimyası ve geometrisinin etkilerini birleştirir. Bu nedenle, önce CF çekme çubuklarının ıslanabilirliğini daha iyi karakterize etmek için bir tensiyometrik yöntemi ve senkronize bir yerinde optik gözlem tekniğini birleştiren yeni bir metodoloji geliştirmişler. Daha sonra, sizing'li ve sizing'siz (T300) CF'leri çekiciler arasındaki ıslanabilirlik farkını değerlendirmek için kullanmışlar. Mikro ve mezoselde ıslanabilirliklerini karşılaştırarak, mikroskaldaki yüzey kimyasının modifikasyonunun mesosale nasıl aktarıldığını ölçmüşler [26].

Jing Zhang Doktora tezinde karbon fiberlerin farklı yüzey işlemleri ve bunların karbon fiber / epoksi kompozitlerin arayüz özellikleri üzerindeki etkilerini incelemiştir. Bu tez çalışmasında, CF'lere sizingleme, ısıl işlem ve karbon nanotüp (CNT) büyümesi dahil üç çeşit yüzey işlemi uygulanmıştır. İlk olarak, polimer yüzeylerinden biriktirme ile CF yüzeyine epoksi bazlı sizingleme işlemi uygulanmış. Sizingleme, karbon elyaf yüzeyini sadece işlem sırasındaki hasardan koruyamaz, aynı zamanda polimer matrisine ıslanabilirliğini de arttırır. Sizing ile kaplama formülasyonunda epoksi ve amin kütle oranının etkisi üzerine detaylı bir çalışma yapılmış. Fiber yüzeyindeki sizingleme seviyesi, polimer çözeltilerinin konsantrasyonunu değiştirerek kontrol edilmiş. İkinci olarak, karbon elyaf yüzeyini değiştirmek için 600°C- 750°C'de bir gaz karışımında ısıl işlem kullanılmış. Gaz karışımı bileşimi, işlem süresi ve sıcaklığın ara yüz üzerindeki etkisi sistematik olarak değerlendirilmiş. Üçüncüsü, CNT'ler hiyerarşik takviye yapıları elde etmek için sürekli bir kimyasal buhar biriktirme (CVD) işlemi ile karbon fiber yüzeyine yerinde aşılama yapılmış. Bu hibrit yapıların, taşıyıcı liflerin artan yanal desteğinden dolayı lif / epoksi kompozitlerin arayüz kuvvetini geliştirme potansiyeline sahip olduğunu düşünmüşler. CNT'ler ile büyütülen CF Genel giriş, farklı CVF koşulları kullanılarak farklı morfolojiler ve yoğunluklarda üretilmiş. Üç işlemin bir araya getirilmesi, CNT-CF hibrid performansını iyileştirebilir ve taşıma ve kompozit hazırlama gibi müteakip kullanım sırasında elyafın zarar görmesini önleyebileceğini düşünmüşler. Yüzey işleminden sonra, karbon fiber / epoksi kompozitlerin arayüz kayma dayanımını (IFSS) değerlendirmek için tek fiber parçalanma testleri yapmışlar. Bu çalışma, CF yüzey işlemeye büyük ölçekli yaklaşımın geliştirilmesini destekleyebilir ve yapısal olarak verimli CF / epoksi kompozitlerin tasarımına ışık tutabilir [27].

2.2. İletkenlik ve Karbon Elyaf lar

Literatür incelendiğinde iletkenlik kullanılarak karbon elyaf ların ıslanmasını ölçen çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalarda genellikle ıslanmanın derecesiyle iletkenlik arasında bir korelasyon kurulamamıştır.

Yoon Jin Kim ve arkadaşları 2005 yılında karbon elyaf ile güçlendirilmiş çimento bazlı kompozitlerin iletkenliğini araştırmışlar. Oksitlenmiş karbon nanotüplerin (MWNT) epoksi kompozitlerin elektriksel iletkenliğini, MWNT'nin kimyasal işlemine göre incelemişler. Oksidasyon koşullarından bağımsız olarak, tüm MWNT aralığında nitrik asit ile oksitlenen MWNT ile üretilenlerden daha yüksek iletkenliğe sahip epoksi kompozitleri sağladığını düşünmüşler [28].

Zhang ve arkadaşları 2007 yılında Karbon nanotüp elyaf ların yapı bağımlı elektriksel özelliklerini incelemişler. Yaptıkları çalışmalarda, altın nanoparçacıkların CNT liflerine kovalent bağlanması ile iletkenliğin belirgin şekilde arttığını, hidrojen içeren bir atmosferde CNT liflerinin tavlama ile ise iletkenlikte çarpıcı bir düşüş gözlemlemişler [29].

Wiriya Thongruang ve arkadaşları 2002 yılında Grafit ve karbon fiber ile doldurulmuş yüksek yoğunluklu polietilenin mekanik ve elektriksel iletkenlik özelliklerini korele etmeye çalışmışlar. Bu çalışmada, karışık dolgu maddelerinin tekli dolgu maddelerine kıyasla kayda değer avantajlar sağlama durumu araştırılmıştır. Yüksek yoğunluklu polietilene (HDPE) grafit (G), karbon fiber (CF) ve G / CF karışımları eklenmiştir. Dolgu tipinin ve bileşimin elektriksel iletkenlik, bileşik morfoloji ve mekanik özellikler üzerindeki etkileri incelenmiş ve yapı-özellik ilişkileri kurmak için ilişkilendirilmiştir. HDPE'de G ve CF için ölçülebilir iletkenlik elde etmek için gerekli olan eşik yüklenme seviyeleri belirlenmiş. HDPE / G kompozitlerine CF ilavesinin, aynı dolgu konsantrasyonundaki HDPE / G kompozitlere göre iletkenliği arttırdığını gözlemlemişler. Bu gözlenen artışın CF uzunluğuna bağlı olduğunu düşünüyorlar. Taramalı elektron mikroskopisi, bu çok bileşenli kompozitlerin morfolojisini aydınlatmak için kullanılırken dinamik mekanik analiz, dolgu maddesi konsantrasyonu, bileşim ve CF uzunluğunun, dinamik depolama modülünün hem büyüklüğüne hem de sıcaklığa bağlı olduğunu etkilediğini ortaya koymuşlar [30].

J.Heremans 1985 yılında buharla beslenen karbon fiberlerin elektriksel iletkenliğini araştırmış. Doğal gazın pirolizi ile üretilen karbon elyaflar 1400 ila 3000 ° C arasındaki sıcaklıklarda ısı işleme tabi tutulmuş ve X ışını kırınımı ile karakterize edilmiş. Elektrik dirençleri 10 ile 370 K arasındaki sıcaklıklar için kontrol edilmiş ve 2200 ° C' nin üzerindeki ısı işlem için basit bir grafik bantlı model kullanılarak açıklanmış. Düşük sıcaklıklarda üretilen liflerde ısı işlem görmüş filamentler, yüksek sıcaklıklarda oluşturulan filamenlere göre daha büyük elektrik direnci gösterdiği incelenmiştir [31].

Zhang ve arkadaşları 2000 yılında karbon elyafının ısı iletkenliği ve elektrik iletkenliği ölçümlerini gerçekleştirmeye çalışmıştır. Bu çalışmada, farklı üretim koşullarında tek bir karbon fiberin termal iletkenliği, sabit durumlu kısa sıcak tel yöntemi kullanılarak ölçülmüştür. Bu yöntem, kısa bir sıcak kabloya tutturulmuş bir pim kanadının ısı transfer fenomenlerine dayanmaktadır. Kısa sıcak tel, düzgün bir ısı akışı oluşturmak için sabit bir doğru akımla beslenir ve her iki ucu da kurşun tellere bağlanır ve ilk sıcaklıkta tutulur. Test lifi, bir ucundaki sıcak telin merkez pozisyonuna bir pim ucu olarak tutturulur ve diğer uç bir soğutucuya bağlanır. Sıcak tel ve test lifi boyunca tek boyutlu sabit durumlu ısı iletimi varsayılır ve temel denklemler analitik olarak çözülür. Çözümlerden, sıcak telin ortalama sıcaklık artışı, ısı üretim hızı, fiberin bağlı ucundaki sıcaklık ve sıcak telden fiberin ısı akışı arasındaki ilişkiler doğru bir şekilde elde edilir. İlişkilere dayanarak, tek bir karbon fiberin termal iletkenliği, ortalama sıcaklık artışı ve sıcak telin ısı üretim hızı aynı sistem için ölçüldüğünde kolayca tahmin edilebilir. Ayrıca, tek karbon fiberin elektrik iletkenliği, dört noktalı bir temas metodu kullanılarak termal iletkenlikle aynı koşullar altında ölçülür. Isı iletkenliği ile elektriksel iletkenlik arasındaki ilişki kristal yapıya dayanılarak ayrıca tartışılmıştır [32].

M.S.Ahmad ve arkadaşları 1992 yılında polipropilen ve nikel kaplı karbon fiber kompozitin elektrik iletkenliğini incelemiştir. Nikel kaplı karbon elyaf ve polipropilenden oluşan dolgu malzemesinin içeriğinin, sıcaklığının ve uygulanan elektrik alanın frekansının DC ve AC elektrik iletkenliği üzerindeki etkisi göz önünde bulundurulmuştur. Empedans davranışı ve bu kompozitlerin dielektrik özellikleri 10Hz – 30 kHz düşük frekans aralığında incelenmiştir. Hacimsel elektrik direncinin dolgu maddesi içeriğini ve sıcaklığa bağlılığı gösterdiği bulunmuştur. Termik hız

işleminin hesaplanan aktivasyon enerjisi dolgu konsantrasyonu ile birlikte düşerken, koruma etkinliği artar. Kompozitlerin genel olarak gözlenen geçirgenliği dolgu maddesi konsantrasyonu ile artar ve dielektrik davranış, uzay yükü, kapalı frekans aralığında elektronik ve arayüzey polarizasyonu açısından tartışılmıştır. AC iletkenliğinin, 100 Hz'nin altındaki frekanstan neredeyse bağımsız olduğu ve bu aralığın üzerindeki frekansla arttığı gözlemlendi. Sonuç olarak, nikel kaplı karbon fiberlerin eklenmesinin elektrik iletme mekanizmasını ve polimerik matrisin polarizasyon sürecini değiştirebileceği sonucuna varmışlardır [33].

Ioana ve arkadaşları 2011 yılında termoplastik karbon fiber destekli kompozitlerin elektrik iletkenliklerini araştırmışlardır. Radyo frekansı girişim koruması, astarsız elektrostatik boya ve statik deşarj gibi uygulamalar için iletken polimerler gereklidir. Bu uygulamalar için iletken termoplastiklerin araştırılmasında karbon elyafı bir katkı maddesi olarak kullanmışlar. Karbon elyaf ve polipropilen (PP) ve karbon elyaf - naylon kompozitlerin elektriksel özellikleri, diğer geleneksel iletken katkı maddeleri tarafından sağlanana kıyasla çok çekici olduğu gözlemlenmiştir. Kullanılan karbon fiber'in düşük çapından dolayı, iletkenlik başlangıcı (süzülme eşiği) % 3'ün altında olabilir. Elyafın yüksek iletken doğası nedeniyle, özellikle bir grafitleme adımından sonra, kompozitler, 0,15 Ω cm kadar düşük dirençlere ulaşmıştır [34].

Joung-Man Park ve arkadaşları, 2014 yılında yaptığı çalışmada ısılatma ve elektriksel direnç ölçümleri ile karbon fiber / termoset kompozitlerin arayüzey değerlendirmesini çalışmıştır. Arayüz özelliklerini, kompozitlerde farklı termoset polimerik matrislere sahip karbon fiber (CF) için değerlendirmişler. CF fenolik veya epoksiler ile ısılatılmış ve elektriksel direnç değişiklikleri ile değerlendirilen arayüzey yapışması fenolik reçineli iki CF tipi ve üç tip epoksi arasındaki ara yüzleri incelemişlerdir. Elektrik direncindeki değişimin, polimer reçineler tarafından CF'nin ıslanabilirliğine bağlı olduğu ve daha belirgin ısı değişimlerinin daha iyi ıslanabilirlik ile ilişkili olduğunu bulmuşlar. Dirençteki değişiklikler ile ara yüz özellikleri arasındaki ilişkiyi doğrulamak için, ara yüz kayma gerilmesi (IFSS) ve ara yüz kayma gerilmesi (ILSS) de ölçülmüştür. Bu mekanik ölçümlerin sonuçları genel olarak, yüksek elektriksel dirençli malzemelerin de yüksek IFSS ve ILSS'yi sergilediğinden elektriksel direnç ölçümleriyle tutarlı olduğunu düşünüyorlar [35].

Özetlenen çalışmalardan da anlaşılacağı gibi elektrik iletkenliğini ıslanma derecesini ölçmede kullanmayı deneyen çok az kişi var. Ayrıca elektrik iletkenliğini micro-CT, yakma, sokslet gibi test sonuçlarıyla korele eden bir çalışma yoktur. Dolayısı ile tez konusu bu anlamda özgündür. Elektrik iletkenliği ile karbon elyafların ıslanmasını korele ederek üretime adapte edilebilen hızlı, maliyeti düşük bir metod geliştirilmiştir. Burada literatürden farklı olan en büyük özellik metodun karbon elyaflardan UD prepreg üretimlerinde, üretime adapte olabilesidir.



3. MALZEMELER, YÖNTEM VE DENEYSSEL TASARIM

3.1. Malzemeler

Bu deneysel çalışmada üç farklı karbon elyaf ve oda sıcaklığında sıvı olan bir çeşit epoksi reçine kullanılmıştır. Karbon elyafların hepsi benzer özelliklere sahiptir, herbiri 12000 filmanet içermektedir. Karbon elyaf tedarikçileri; Dowaksa, Toray ve Mitsubishi' dir. Burada karbon elyafların kıyaslanabilmesi için aynı sayıda filament içermeleri çok önemlidir. Reçine olarak da oda sıcaklığında sıvı olan bir epoksi reçine seçilmiştir. Genelde prepreg üretiminde hot-melt olarak adlandırılan ve oda sıcaklığında katı olan epoksiler kullanılmaktadır. Ancak yapılacak çalışmada epoksinin oda sıcaklığında sıvı olması gerektiğinden bu epoksi çeşidi tercih edilmiştir. Karbon elyaf çeşitleri ve epoksi reçine özellikleri Tablo 3.1. 'de listelenmiştir.

Tablo 3.1. Kullanılan malzemeler ve özellikleri

Malzeme	Firma Adı	Özellikleri
Dowaksa 12K A-42 D012	Aksaca	Çekme direnci : 4200 MPa Çekme modülü : 240 Gpa Yoğunluk : 1,78 g/cm ³
Mitsubishi Rayon Grafil 34-12K WD	Mitsubishi Rayon CO.LTD	Çekme direnci : 4830 MPa Çekme modülü : 234 GPa Yoğunluk : 1,80 g/cm ³
Toray T700 SC 12000-50C	Torayca	Çekme direnci : 4900 MPa Çekme modülü : 230 GPa Yoğunluk : 1,80 g/cm ³
Araldite LY1556	Huntsman	Viskozite : 9500 – 12000 mPa.s Yoğunluk : 1,15-1,20 g/cm ³

3.2. Yöntem

Tez çalışması üç aşamadan oluşmaktadır. İlk aşama herbir elyafın çalışmada kullanılan reçine ile temas açısı ölçümlerinden oluşmaktadır. Burada 3 farklı karbon elyaf üzerine epoksi reçine damlatılarak temas açısı ölçülmüştür. Temas açısı ölçümlerine ek olarak damla karbon elyafın üzerine düştüğü andan 1 dakika sonraki temas açısı ölçülerek yayılma hızları karşılaştırılmıştır. Bu aşamada ıslatma ajanının ıslanmaya olan etkilerini incelemek için reçine içerisine 3 farklı oranda ıslatma ajanı eklenerek temas açıları ölçülmüştür. Temas açısı ölçümlerine ek olarak damla karbon elyafın üzerine düştüğü andan 1 dakika sonraki temas açısı ölçülerek yayılma hızları karşılaştırılmıştır. Islatma ajanının ıslanmaya etkileri değerlendirilmiştir.

İkinci aşamada üç farklı elyaf için iletkenlik ölçümleri yapılmıştır. Karbon elyafın üzerine reçine damlatılarak direnç ölçülmüştür. Direnç ölçümünden iletkenlik hesabı yapılarak karbon elyaflar kıyaslanmıştır. Reçine içerisine 3 farklı oranda ıslatma ajanı eklenerek direnç ölçümleri yapılmıştır. Direnç ölçümünden iletkenlik hesabı yapılarak ıslatma ajanının iletkenliğe etkileri incelenmiştir.

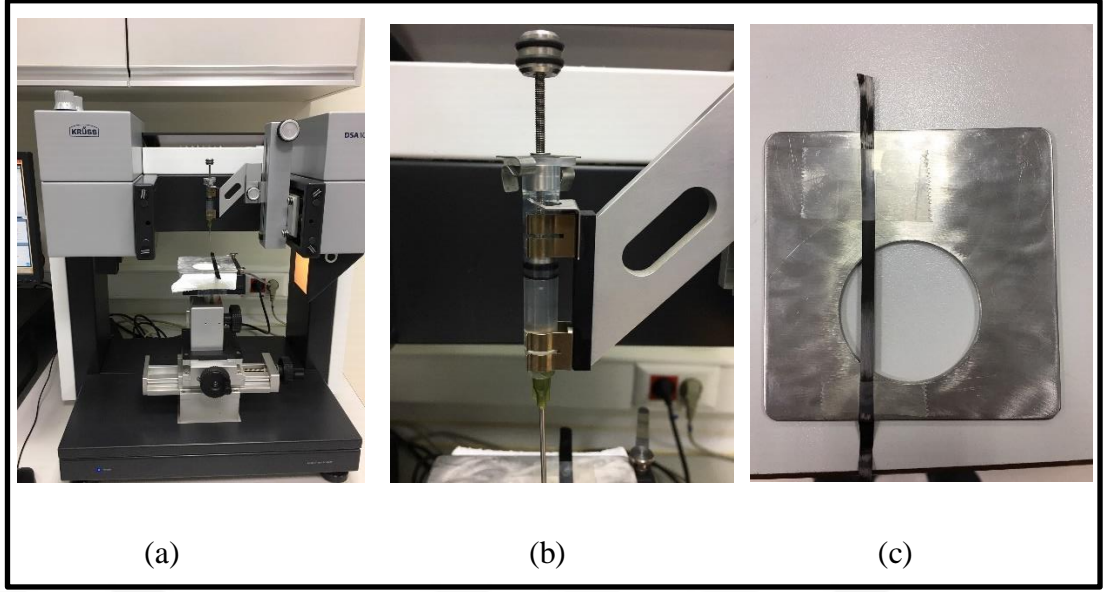
Üçüncü aşamada farklı oranlarda reçine içeren iki farklı prepreg üretilmiştir. Bu üretilen prepreg örneklerine sokslet, yakma ve tomografi çekimleri yapılmıştır. Buradan alınan sonuçlar ile iletkenlik değerleri kıyaslanarak oluşturulan metod sokslet, yakma ve tomografi çekimleri ile korele edilmiştir.

3.3. Deneysel Tasarım

3.3.1. Temas açısı ve yayılma hızı ölçümleri

Öncelikle bu test metodunda kullanılacak üç farklı karbon elyaf, temas açısı ölçümünde kullanılacak epoksi reçine ve üç farklı oranda reçine - ıslatma ajanı karışımları hazırlandı. Islatma ajanı toplam karışımın ağırlıkça % 5 ' i , %10'u ve %15'i olacak şekilde üç farklı kapta reçinelere ilava edildi.

Temas açısı ölçümü için KRÜSS DSA10 isimli cihaz kullanıldı (Şekil 3.1.). Cihaza ait şırıngalara hazırlanan üç farklı karışım ve epoksi reçine dolduruldu (Şekil 3.1.). Görünütüyü en iyi şekilde alabilmek için elyaflar ortasında yuvarlak boşluk olan bir plakaya yapıştırıldı (Şekil 3.1.).



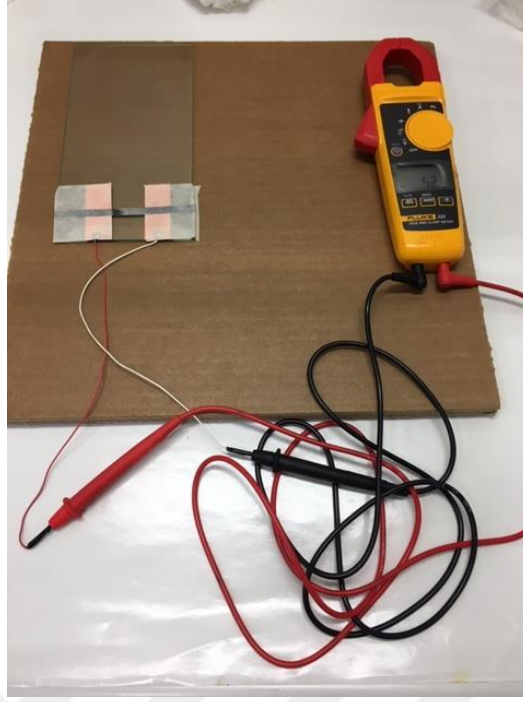
Şekil 3.1. (a) Krüss Temas açısı ölçüm cihazı – (b) Cihaza ait şırınga – (c) Cihaza ait plaka

Öncelikle içerisinde sadece reçine olan şırıngayla test başlatıldı. Her bir elyaf için beş tekrar olacak şekilde temas açısı ölçümü yapıldı. Temas açısı ölçümü damlanın elyaf üzerine düştüğü anda ve bu andan itibaren bir dakika sonra yapıldı. Bu süre içerisinde damlanın ne kadar yayıldığı ve yayılma hızları değerlendirildi.

Aynı işlemler %5, %10 ve %15 ıslatma ajanı içeren reçine karışımları için de tekrar edildi. Herbir elyaf için beş tekrar olacak şekilde test tekrarlandı. İlk andaki ve bir dakika sonraki temas açıları ve yayılma hızları değerlendirildi.

3.3.2. Karbon elyafların elektrik iletkenliği ölçümleri

Bu test metodu için öncelikle içerisine yerleştirdiğimiz karbon elyafın üzerinden geçen akımı ölçebileceğimiz bir düzenek kuruldu (Şekil 3.2.). Bu düzeneği hazırlamak için öncelikle yalıtkan olduğu için cam taban kullanıldı. Bu cam taban üzerine iletken bakır bantlar yapıştırıldı. Bu bantlara birer kablo lehimlendi. Bu kabloların ucuna sisteme elektrik verecek ve sistemdeki direnci ölçecek Fluke ölçüm cihazı bağlandı.



Şekil 3.2. Elektrik iletkenlik yöntemiyle ıslanabilirlik ölçümü sağlayan düzenek

Bu test metodunda daha önce temas açısında kullanılan üç farklı karbon elyaf kullanıldı. Bunun dışında 4 farklı reçine hazırlandı. Bunlardan ilki katkısız epoksi reçine. Diğerleri ise toplam gramajın %5'i, %10'u ve %15' i kadar ıslatma ajanı içeren reçine karışımlarıdır.

Öncelikle 3 farklı karbon elyaftan biri seçildi. Kuru karbon fiber iletken bakır bantlar ile sisteme yapıştırıldı. Bu anda karbon elyafın direnci ölçüldü. Daha sonra üzerine bir damla reçine damlatıldı. Reçine damlatıldıktan sonra 30 saniye kadar bekledikten sonra tekrar karbon elyafın direnci ölçüldü. Bu işlem beş kez tekrarlandı. Diğer iki elyaf için de bu işlemler tekrarlandı.

İçerisinde % 5 ıslatma ajanı bulunan reçine karışımı ile üç farklı karbon elyaf için de bu ölçümler tekrarlandı. Daha sonra %10 ve %15 ıslatma ajanı içeren reçine karışımları için de üç farklı elyaf kullanılarak testler tamamlandı.

3.3.3. Sokslet ekstraksiyonu, yakma ve tomografi (micro-CT) teknikleri ile elektrik iletkenliği metodu arasındaki korelasyonun belirlenmesi

Elektrik iletkenliği ile ıslanma derecesinin belirlenmesini sağlayan bu yeni metodu farklı testlerle belirlenen farklı oranda reçine içeren karbon elyaflar için korele etme

ihtiyacı belirdi. Karbon elyafın üzerindeki reçine oranını belirlemek için sokslet ekstraksiyonu yöntemi kullanıldı. Bunun dışında yakma testi ve tomografi çekimi ile reçine oranı belirlenmeye çalışıldı. Korelasyonu sağlamak için önceki sonuçlara göre MRC karbon elyaf seçildi ve bu testler için kullanıldı. Reçine olarak LY 1556 kullanılmaya devam edildi. İçerisine herhangi bir ıslatma ajanı ilave edilmedi.

3.3.3.1. Sokslet testi

Islanma seviyeleri farklı iki çift numune hazırlandı. Bu numunelerden biri elyafların iyi ıslandığı, diğeri ise elyafların homojen şekilde ıslanmadığı prepreg numunesidir. İki farklı prepreg numunesi reçine oranlarının belirlenmesi amacı ile sokslet testine tabi tutuldu. Aynı şekilde hazırlanan iki farklı prepreg numunesine iletkenlik testi yapıldı. Reçine oranları farklı olan iki prepreg numunesinin iletkenlik test sonuçları karşılaştırıldı.



Şekil 3.3. Sokslet düzeneği

Sokslet ekstraksiyonu testi için numuneler tartılarak kartuşlara yerleştirildi. Kartuşlar ekstraksiyonda kullanılacak kondensere yerleştirilerek içerisinde diklorometan bulunan balonun üzerine takıldı. Diklorometanın buradaki görevi prepreg üzerindeki reçineyi elyaftan ayırarak balon içerisine aktarmaktır. Bu işlem yaklaşık 3 saat boyunca tekrarlanmaktadır. Sifonlar tamalandıktan sonra kondenser içerisindeki kartuş alınarak üzerindeki solventten ayırmak için etüve yerleştirildi. Üzerindeki solvent uçurulduktan sonra kartuş, üzerine nem almadan soğuması için desikatöre yerleştirilerek yarım saat beklendi. Daha sonra kartuş tartılarak reçine ağırlığı

hesaplandı. Bu hesaplar ile reçine oranı belirlendi. Aynı işlemler üç tekrar olarak yapıldı ve ortalaması alındı. Bu test iki numune için de yapıldı ve iki numunenin de reçine oranları belirlendi.

Aynı şekilde hazırlanan diğer numuneler ise elektrik iletkenlik metodu ile karbon fiberin direncini ölçmek için kullanıldı. Düşük miktarda reçine içeren numune ile yüksek miktarda reçine içeren numunenin dirençleri karşılaştırıldı.

3.3.3.2. Yakma testi

Islanma seviyeleri farklı iki çift numune hazırlandı. Bu numunelerden biri elyafların iyi ıslandığı, diğeri ise elyafların homojen şekilde ıslanmadığı prepreg numunesidir. İki farklı prepreg numunesi reçine oranlarının belirlenmesi amacı ile yakma testine tabi tutuldu. Aynı şekilde hazırlanan iki farklı prepreg numunesine iletkenlik testi yapıldı. Reçine oranları farklı olan iki prepreg numunesinin iletkenlik test sonuçları karşılaştırıldı.

Yakma testi için numunelerden alınan üç farklı bölgeden test yapıldı. Bu üç farklı bölgeden alınan numuneler tartılarak krozelere yerleştirildi. İçerisine azot basılan kül etüvünde 600°C de 3 saat bekletilerek test tamamlandı. Test boyunca bu yüksek sıcaklıkta reçineler yanarak ortamdaki uzaklaşmaktadır. Karbonun yanma sıcaklığı çok daha yüksek olduğundan karbon elyaf test boyunca sıcaklıktan etkilenmez. Test sonucunda kalan numune tekrar tarılarak hesap yapıldığında numunelerin reçine oranları hesaplandı.

Aynı şekilde hazırlanan diğer numuneler ise elektrik iletkenlik metodu ile karbon fiberin direncini ölçmek için kullanıldı. Düşük miktarda reçine içeren numune ile yüksek miktarda reçine içeren numunenin dirençleri karşılaştırıldı.

3.3.3.3. Micro-CT (tomografi) çekimi

Islanma seviyeleri farklı iki çift numune hazırlandı. Bu numunelerden biri elyafların iyi ıslandığı, diğeri ise elyafların homojen şekilde ıslanmadığı prepreg numunesidir. İki farklı prepreg numunesi ıslanma derecelerinin görüntülenmesi amacı ile tomografi öekimine tabi tutuldu. Aynı şekilde hazırlanan iki farklı prepreg numunesine iletkenlik

testi yapıldı. Reçine oranları farklı olan iki prepreg numunesinin iletkenlik test sonuçları karşılaştırıldı.

Hazırlanan iki farklı numuneden micro-CT cihazında tomografi çekildi ve ıslanma dereceleri görsel hale getirildi. Her iki numune için de çekim aynı şekilde uygulandı.

Aynı şekilde hazırlanan diğer numuneler ise elektrik iletkenlik metodu ile karbon fiberin direncini ölçmek için kullanıldı. Düşük miktarda reçine içeren numune ile yüksek miktarda reçine içeren numunenin dirençleri karşılaştırıldı.



Şekil 3.4. Micro-CT tomografi cihazı

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

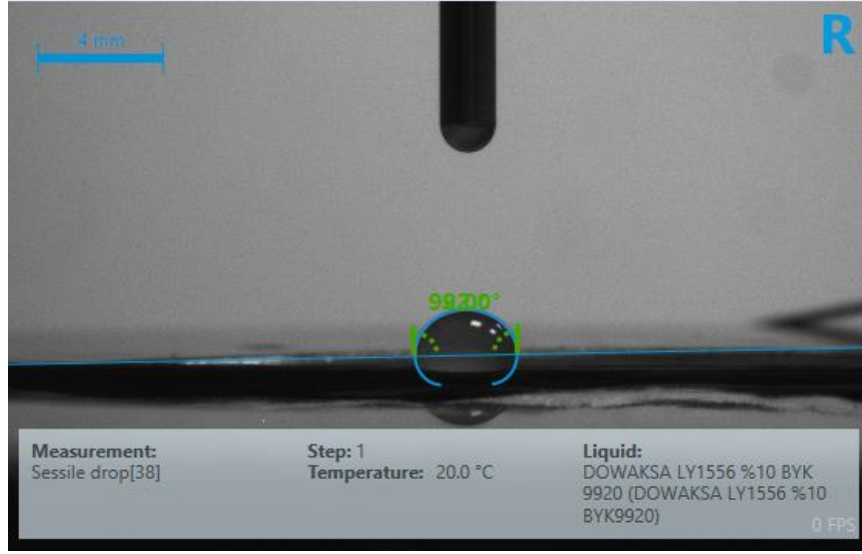
Çalışma kapsamında gerçekleştirilen deneyler üç alt bölümde paylaşılmıştır. Çalışmanın ilk bölümünde, temas açısı ölçümleri değerlendirilmiştir. Islatma ajanının temas açısı ölçüm metodu ile yayılma hızına etkileri değerlendirilmiştir. İkinci bölümde elektrik iletkenlik metodu ile karbon elyafların ıslanabilirlikleri değerlendirilmiştir. Ayrıca ıslatma ajanının bu metod ile ıslanmaya etkileri tartışılmıştır. Son bölümde ise elektrik iletkenlik metodunun sokslet ekstraksiyonu, yakma testi ve tomografi (micro-CT) çekimi ile korelasyonu tartışılmıştır.

4.1. Temas Açısı Ölçümlerinin Değerlendirilmesi

Bu çalışmada üç farklı üreticinin benzer elyafları kullanıldı. Bunlar Dowaksa 12K elyafı, Toray 12K elyafı ve Mitsubishi (MRC) 12K elyafıdır. Tüm bu elyaflar ile LY1556 epoksi reçinesi kullanılarak temas açısı ölçümleri yapıldı. Temas açısı ölçümlerinin yanında yayılma hızlarını ölçmek adına damlanın ilk düştüğü andaki ve bir dakika sonraki temas açıları ölçüldü. Bir sonraki adımda ise reçine içerisine üç farklı oranda ıslatma ajanı eklenerek temas açısı ölçümleri yapıldı. Reçine içerisine %5, %10 ve %15 oranlarında ıslatma ajanı eklenerek temas açısı ölçümleri yapıldı. Bir dakika sonraki temas açıları ölçülerek yayılma hızları takip edildi.

4.1.1. Temas açısı ölçüm sonuçları

Reçine damlası elyafın üzerine düştüğü anda damla ile elyaf yüzeyi arasında bir temas açısı oluşmaktadır. Bu tez kapsamında temas açısı ölçmek için kullanılan KRÜSS DSA10 cihazı damlanın elyaf üzerine düştüğü andaki fotoğrafını çekerek damla ile elyaf arasındaki temas açısını vermektedir. Bu tez çalışması için 3 farklı 12K karbon elyaflar kullanıldı. Bu elyafların herbiri için 5 tekrar olacak şekilde temas açısı ölçümleri yapıldı. Ardından reçine içerisine farklı oranlarda ıslatma ajanı eklendi. Bu 3 farklı karışımdan da 3 farklı elyaf tipi için 5 tekrar olacak şekilde temas açısı ölçümleri yapıldı. Temas açısı ölçümlerinin amacı elyafların ıslanmaya olan eğilimlerini kıyaslamak ayrıca ıslatma ajanının ıslanmaya olan etkilerini incelemektir.



Şekil 4.1. Reçinenin elyaf üzerinde düştüğü ilk andaki temas açısı ölçümü

Reçine damlasının elyaf üzerine düştüğü ilk andaki temas açısı ölçülerek, elyafların ıslanmaya olan yatkınlıklarını kıyaslamak mümkün. Islatma ajanının etkilerini görmek için farklı bir andaki temas açısı ölçülmelidir. Damla elyaf üzerine düştükten 1 dakika sonraki temas açıları ölçülerek reçine karışımlarının elyaf üzerindeki yayılma hızları hakkında yorum yapılabilir. Yine aynı cihaz kullanılarak 3 farklı elyaf için de 3 farklı oranda ıslatma ajanı içeren reçine karışımları ile temas açısı ölçümleri yapılmıştır.

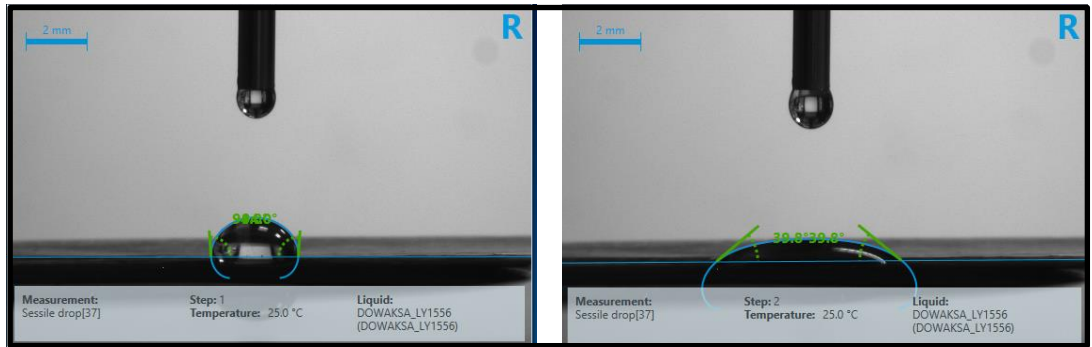


Şekil 4.2. Reçinenin elyaf üzerinde düştüğü andan 1 dakika sonraki temas açısı ölçümü

Tablo 4.1. Dowaksa elyafının LY 1556 epoksi reçinesi ile temas açısı sonuçları

İlk Andaki Temas Açısı Ölçümü			
Ölçüm Sayısı	CA(M) [°]	CA(L) [°]	CA(R) [°]
1	93,98	93,98	93,98
2	94,45	94,45	94,45
3	96,08	96,08	96,08
4	96,13	96,13	96,13
5	96,73	96,73	96,73
Ortalama	95,47	95,47	95,47
Sapma	1,19	1,19	1,19
1 Dakika Sonraki Temas Açısı Ölçümü			
Ölçüm Sayısı	CA(M) [°]	CA(L) [°]	CA(R) [°]
1	39,77	39,77	39,77
2	30,51	30,51	30,51
3	34,82	34,82	34,82
4	36,44	36,44	36,44
5	36,26	36,26	36,26
Ortalama	35,56	35,56	35,56
Sapma	3,36	3,36	3,36

*Dowaksa elyafının üzerine bir damla LY1556 reçinesi damlatılarak temas açısı ölçülmüştür. Ayrıca yayılma hızını hesap edebilmek için damla düştükten 1 dakika sonraki temas açısı ölçülmüştür. CA(M) [°] merkezdeki temas açısı, CA(L) [°] sol temas açısı ve CA(R) [°] sağ temas açısıdır.

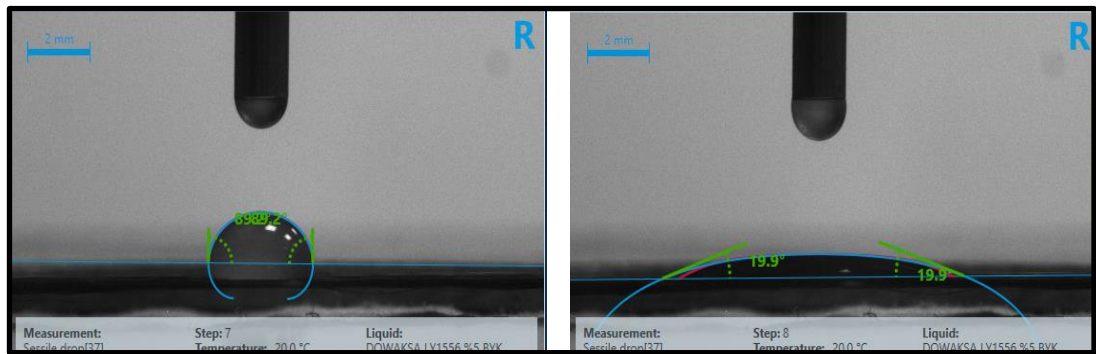


Şekil 4.3. Dowaksa elyafının LY1556 reçinesi ile temas açıları

Tablo 4.2. Dowaksa elyafının %5 ıslatma ajanı içeren LY 1556 epoksi reçinesi ile temas açısı sonuçları

İlk Andaki Temas Açısı Ölçümü			
Ölçüm Sayısı	CA(M) [°]	CA(L) [°]	CA(R) [°]
1	93,17	93,17	93,17
2	92,66	92,66	92,66
3	86,72	86,72	86,72
4	89,23	89,23	89,23
5	89,14	89,14	89,14
Ortalama	90,18	90,18	90,18
Sapma	2,69	2,69	2,69
1 Dakika Sonraki Temas Açısı Ölçümü			
Ölçüm Sayısı	CA(M) [°]	CA(L) [°]	CA(R) [°]
1	18,61	18,61	18,61
2	19,25	19,25	19,25
3	20,48	20,48	20,48
4	19,91	19,91	19,91
5	13,22	13,22	13,22
Ortalama	18,29	18,29	18,29
Sapma	2,92	2,92	2,92

*Dowaksa elyafının üzerine bir damla LY1556 reçinesi (%5 ıslatma ajanı içeren reçine karışımı) damlatılarak temas açısı ölçülmüştür. Ayrıca yayılma hızını hesap edebilmek için damla düştükten 1 dakika sonraki temas açısı ölçülmüştür. CA(M) [°] merkezdeki temas açısı, CA(L) [°] sol temas açısı ve CA(R) [°] sağ temas açısıdır.

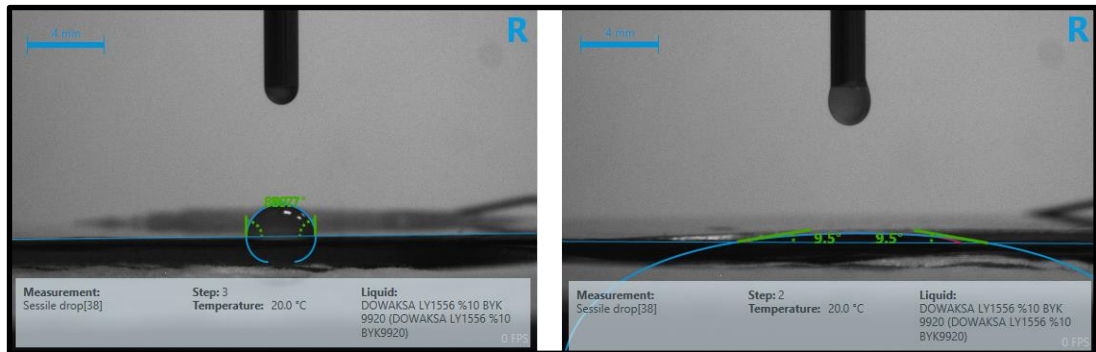


Şekil 4.4. Dowaksa elyafının LY1556 reçinesi (ağırlıkça %5 ıslatma ajanı içeren) ile temas açıları

Tablo 4.3. Dowaksa elyafının %10 ıslatma ajanı içeren LY 1556 epoksi reçinesi ile temas açısı sonuçları

İlk Andaki Temas Açısı Ölçümü			
Ölçüm Sayısı	CA(M) [°]	CA(L) [°]	CA(R) [°]
1	92,04	92,04	92,04
2	89,74	89,74	89,74
3	91,88	91,88	91,88
4	92,20	92,20	92,20
5	92,35	92,35	92,35
Ortalama	91,64	91,64	91,64
Sapma	1,08	1,08	1,08
1 Dakika Sonraki Temas Açısı Ölçümü			
Ölçüm Sayısı	CA(M) [°]	CA(L) [°]	CA(R) [°]
1	9,46	9,46	9,46
2	7,45	7,45	7,45
3	8,96	8,96	8,96
4	7,83	7,83	7,83
5	7,52	7,52	7,52
Ortalama	8,24	8,24	8,24
Sapma	0,91	0,91	0,91

*Dowaksa elyafının üzerine bir damla LY1556 reçinesi (%10 ıslatma ajanı içeren reçine karışımı) damlatılarak temas açısı ölçülmüştür. Ayrıca yayılma hızını hesap edebilmek için damla düştükten 1 dakika sonraki temas açısı ölçülmüştür. CA(M) [°] merkezdeki temas açısı, CA(L) [°] sol temas açısı ve CA(R) [°] sağ temas açısıdır.

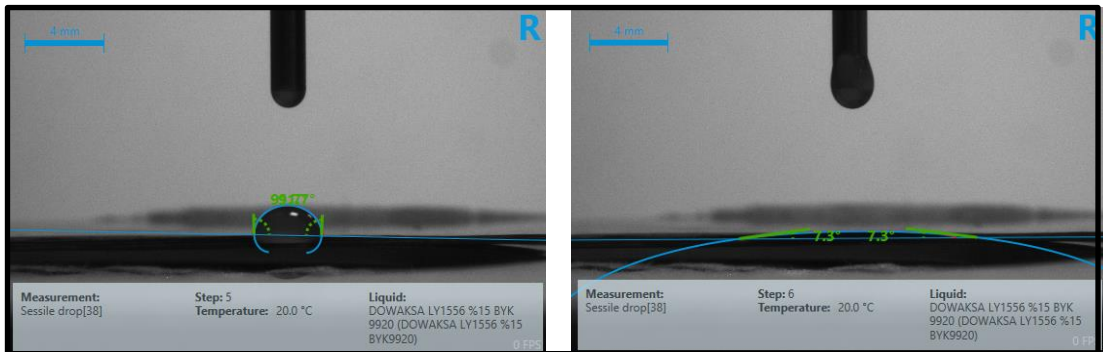


Şekil 4.5. Dowaksa elyafının LY1556 reçinesi (ağırlıkça %10 ıslatma ajanı içeren) ile temas açıları

Tablo 4.4. Dowaksa elyafının %15 ıslatma ajanı içeren LY 1556 epoksi reçinesi ile temas açısı sonuçları

İlk Andaki Temas Açısı Ölçümü			
Ölçüm Sayısı	CA(M) [°]	CA(L) [°]	CA(R) [°]
1	90,39	90,39	90,39
2	91,79	91,79	91,79
3	91,68	91,68	91,68
4	92,52	92,52	92,52
5	89,64	89,64	89,64
Ortalama	91,20	91,20	91,20
Sapma	1,16	1,16	1,16
1 Dakika Sonraki Temas Açısı Ölçümü			
Ölçüm Sayısı	CA(M) [°]	CA(L) [°]	CA(R) [°]
1	8,78	8,78	8,78
2	5,96	5,96	5,96
3	7,26	7,26	7,26
4	6,98	6,98	6,98
5	6,03	6,03	6,03
Ortalama	7,00	7,00	7,00
Sapma	1,15	1,15	1,15

*Dowaksa elyafının üzerine bir damla LY1556 reçinesi (%15 ıslatma ajanı içeren reçine karışımı) damlatılarak temas açısı ölçülmüştür. Ayrıca yayılma hızını hesap edebilmek için damla düştükten 1 dakika sonraki temas açısı ölçülmüştür. CA(M) [°] merkezdeki temas açısı, CA(L) [°] sol temas açısı ve CA(R) [°] sağ temas açısıdır.

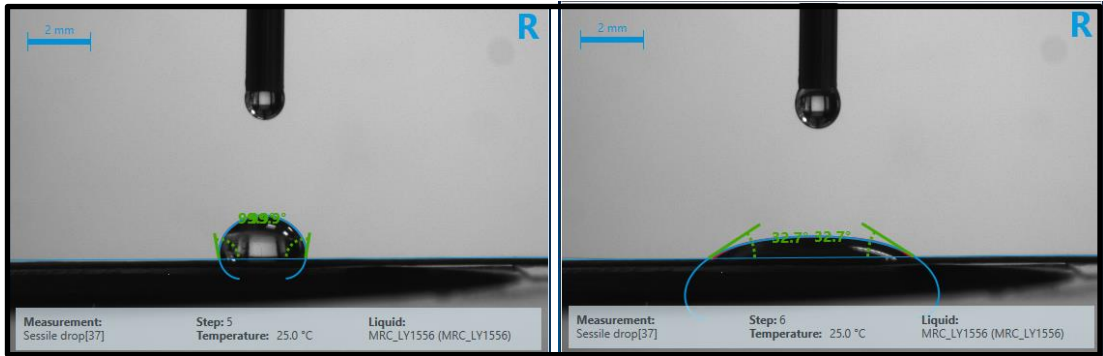


Şekil 4.6. Dowaksa elyafının LY1556 reçinesi (ağırlıkça %15 ıslatma ajanı içeren) ile temas açıları

Tablo 4.5. MRC 12K elyafının LY1556 epoksi reçinesi ile temas açısı sonuçları

İlk Andaki Temas Açısı Ölçümü			
Ölçüm Sayısı	CA(M) [°]	CA(L) [°]	CA(R) [°]
1	98,94	98,94	98,94
2	99,93	99,93	99,93
3	95,15	95,15	95,15
4	93,59	93,59	93,59
5	99,41	99,41	99,41
Ortalama	97,40	97,40	97,40
Sapma	2,85	2,85	2,85
1 Dakika Sonraki Temas Açısı Ölçümü			
Ölçüm Sayısı	CA(M) [°]	CA(L) [°]	CA(R) [°]
1	27,46	27,46	27,46
2	32,73	32,73	32,73
3	33,98	33,98	33,98
4	36,18	36,18	36,18
5	32,79	32,79	32,79
Ortalama	32,63	32,63	32,63
Sapma	3,21	3,21	3,21

*Mitsubishi elyafının üzerine bir damla LY1556 reçinesi damlatılarak temas açısı ölçülmüştür. Ayrıca yayılma hızını hesap edebilmek için damla düştükten 1 dakika sonraki temas açısı ölçülmüştür. CA(M) [°] merkezdeki temas açısı, CA(L) [°] sol temas açısı ve CA(R) [°] sağ temas açısıdır.

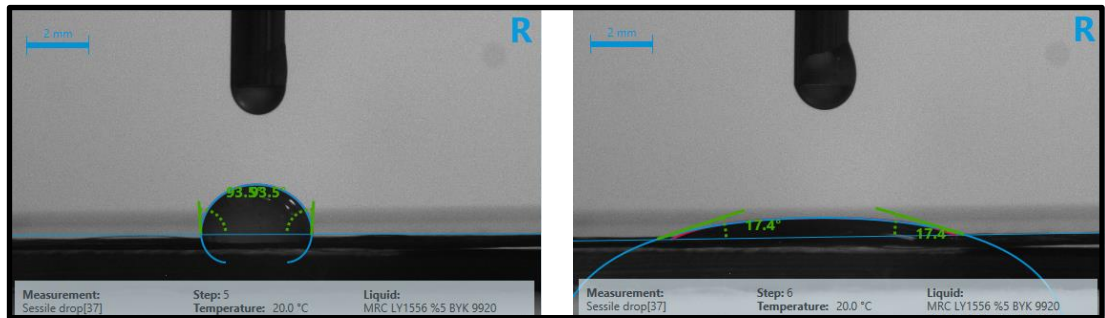


Şekil 4.7. Mitsubishi elyafının LY1556 reçinesi ile temas açıları

Tablo 4.6. MRC 12K elyafının %5 ıslatma ajanı içeren LY1556 epoksi reçinesi ile temas açısı sonuçları

İlk Andaki Temas Açısı Ölçümü			
Ölçüm Sayısı	CA(M) [°]	CA(L) [°]	CA(R) [°]
1	92,54	92,54	92,54
2	93,15	93,15	93,15
3	93,51	93,51	93,51
4	95,31	95,31	95,31
5	94,66	94,66	94,66
Ortalama	93,83	93,83	93,83
Sapma	1,13	1,13	1,13
1 Dakika Sonraki Temas Açısı Ölçümü			
Ölçüm Sayısı	CA(M) [°]	CA(L) [°]	CA(R) [°]
1	19,02	19,02	19,02
2	17,96	17,96	17,96
3	17,39	17,39	17,39
4	19,91	19,91	19,91
5	20,45	20,45	20,45
Ortalama	18,95	18,95	18,95
Sapma	1,28	1,28	1,28

*Mitsubishi elyafının üzerine bir damla LY1556 reçinesi (%5 ıslatma ajanı içeren reçine karışımı) damlatılarak temas açısı ölçülmüştür. Ayrıca yayılma hızını hesap edebilmek için damla düştükten 1 dakika sonraki temas açısı ölçülmüştür. CA(M) [°] merkezdeki temas açısı, CA(L) [°] sol temas açısı ve CA(R) [°] sağ temas açısıdır.

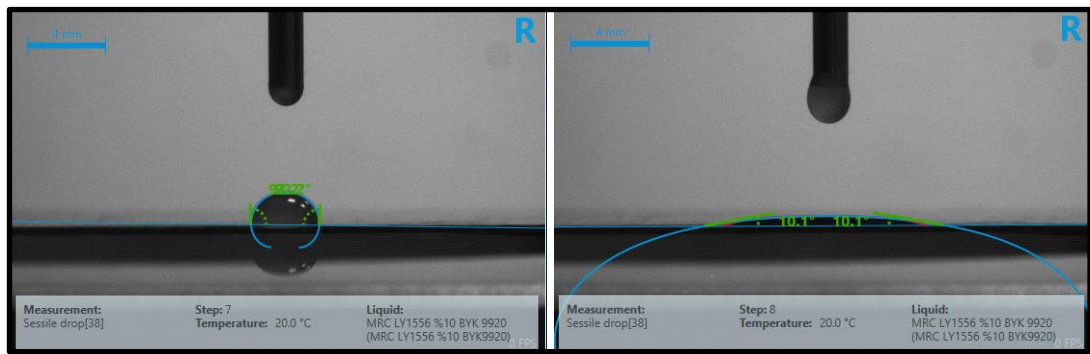


Şekil 4.8. Mitsubishi elyafının LY1556 reçinesi (ağırlıkça %5 ıslatma ajanı içeren) ile temas açıları

Tablo 4.7. MRC 12K elyafının %10 ıslatma ajanı içeren LY1556 epoksi reçinesi ile temas açısı sonuçları

İlk Andaki Temas Açısı Ölçümü			
Ölçüm Sayısı	CA(M) [°]	CA(L) [°]	CA(R) [°]
1	92,33	92,33	92,33
2	92,98	92,98	92,98
3	93,69	93,69	93,69
4	92,24	92,24	92,24
5	91,22	91,22	91,22
Ortalama	92,49	92,49	92,49
Sapma	0,92	0,92	0,92
1 Dakika Sonraki Temas Açısı Ölçümü			
Ölçüm Sayısı	CA(M) [°]	CA(L) [°]	CA(R) [°]
1	12,79	12,79	12,79
2	10,22	10,22	10,22
3	8,98	8,98	8,98
4	10,15	10,15	10,15
5	10,11	10,11	10,11
Ortalama	10,45	10,45	10,45
Sapma	1,40	1,40	1,40

*Mitsubishi elyafının üzerine bir damla LY1556 reçinesi (%10 ıslatma ajanı içeren reçine karışımı) damlatılarak temas açısı ölçülmüştür. Ayrıca yayılma hızını hesap edebilmek için damla düştükten 1 dakika sonraki temas açısı ölçülmüştür. CA(M) [°] merkezdeki temas açısı, CA(L) [°] sol temas açısı ve CA(R) [°] sağ temas açısıdır.

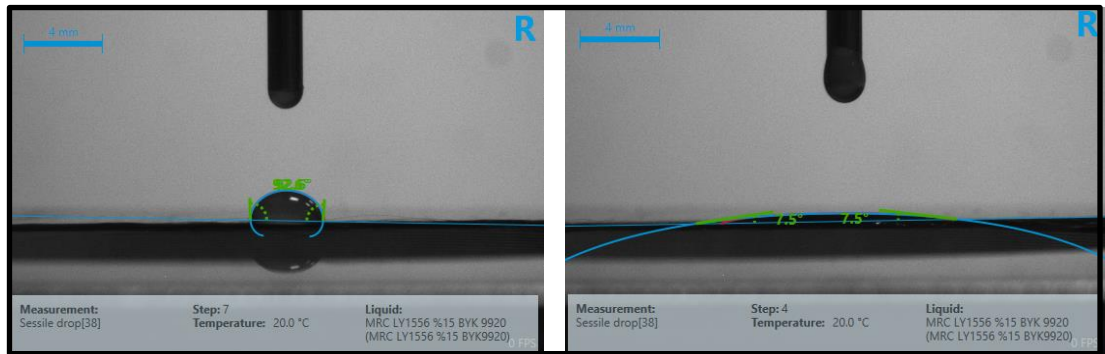


Şekil 4.9. Mitsubishi elyafının LY1556 reçinesi (ağırlıkça %10 ıslatma ajanı içeren) ile temas açıları

Tablo 4.8. MRC 12K elyafının %15 ıslatma ajanı içeren LY1556 epoksi reçinesi ile temas açısı sonuçları

İlk Andaki Temas Açısı Ölçümü			
Ölçüm Sayısı	CA(M) [°]	CA(L) [°]	CA(R) [°]
1	92,94	92,94	92,94
2	91,66	91,66	91,66
3	93,02	93,02	93,02
4	92,60	92,60	92,60
5	91,15	91,15	91,15
Ortalama	92,27	92,27	92,27
Sapma	0,83	0,83	0,83
1 Dakika Sonraki Temas Açısı Ölçümü			
Ölçüm Sayısı	CA(M) [°]	CA(L) [°]	CA(R) [°]
1	9,04	9,04	9,04
2	7,52	7,52	7,52
3	6,48	6,48	6,48
4	6,09	6,09	6,09
5	8,91	8,91	8,91
Ortalama	7,61	7,61	7,61
Sapma	1,35	1,35	1,35

*Mitsubishi elyafının üzerine bir damla LY1556 reçinesi (%15 ıslatma ajanı içeren reçine karışımı) damlatılarak temas açısı ölçülmüştür. Ayrıca yayılma hızını hesap edebilmek için damla düştükten 1 dakika sonraki temas açısı ölçülmüştür. CA(M) [°] merkezdeki temas açısı, CA(L) [°] sol temas açısı ve CA(R) [°] sağ temas açısıdır.

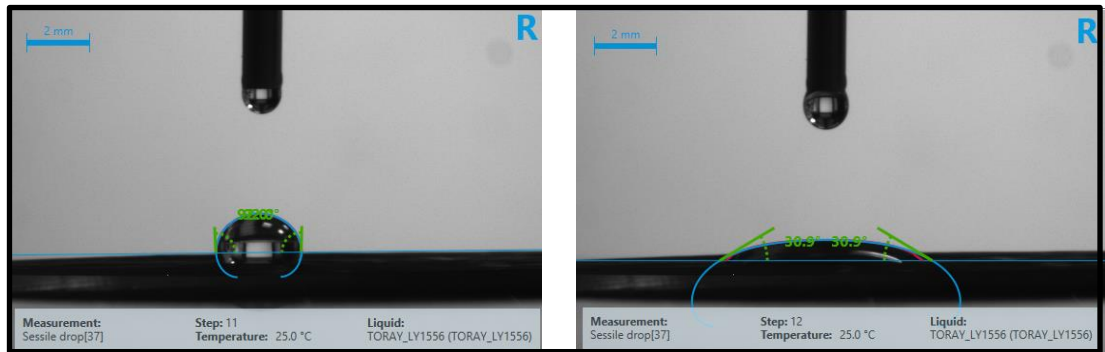


Şekil 4.10. Mitsubishi elyafının LY1556 reçinesi (ağırlıkça %15 ıslatma ajanı içeren) ile temas açıları

Tablo 4.9. Toray 12K elyafının LY1556 epoksi reçinesi ile temas açısı sonuçları

İlk Andaki Temas Açısı Ölçümü			
Ölçüm Sayısı	CA(M) [°]	CA(L) [°]	CA(R) [°]
1	91,62	91,62	91,62
2	90,80	90,80	90,80
3	89,96	89,96	89,96
4	92,23	92,23	92,23
5	92,00	92,00	92,00
Ortalama	91,32	91,32	91,32
Sapma	0,94	0,94	0,94
1 Dakika Sonraki Temas Açısı Ölçümü			
Ölçüm Sayısı	CA(M) [°]	CA(L) [°]	CA(R) [°]
1	29,54	29,54	29,54
2	31,26	31,26	31,26
3	30,23	30,23	30,23
4	30,65	30,65	30,65
5	30,87	30,87	30,87
Ortalama	30,51	30,51	30,51
Sapma	0,66	0,66	0,66

*Toray elyafının üzerine bir damla LY1556 reçinesi damlatılarak temas açısı ölçülmüştür. Ayrıca yayılma hızını hesap edebilmek için damla düştükten 1 dakika sonraki temas açısı ölçülmüştür. CA(M) [°] merkezdeki temas açısı, CA(L) [°] sol temas açısı ve CA(R) [°] sağ temas açısıdır.

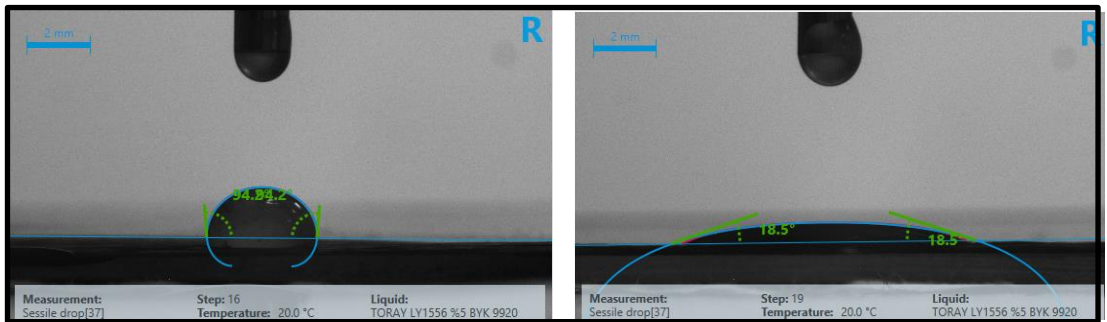


Şekil 4.11. Toray elyafının LY1556 reçinesi ile temas açıları

Tablo 4.10. Toray 12K elyafının %5 ıslatma ajanı içeren LY1556 epoksi reçinesi ile temas açısı sonuçları

İlk Andaki Temas Açısı Ölçümü			
Ölçüm Sayısı	CA(M) [°]	CA(L) [°]	CA(R) [°]
1	93,72	93,72	93,72
2	95,69	95,69	95,69
3	94,21	94,21	94,21
4	94,32	94,32	94,32
5	95,53	95,53	95,53
Ortalama	94,69	94,69	94,69
Sapma	0,87	0,87	0,87
1 Dakika Sonraki Temas Açısı Ölçümü			
Ölçüm Sayısı	CA(M) [°]	CA(L) [°]	CA(R) [°]
1	22,93	22,93	22,93
2	16,06	16,06	16,06
3	15,33	15,33	15,33
4	18,48	18,48	18,48
5	19,54	19,54	19,54
Ortalama	18,47	18,47	18,47
Sapma	3,03	3,03	3,03

*Toray elyafının üzerine bir damla LY1556 reçinesi (%5 ıslatma ajanı içeren reçine karışımı) damlatılarak temas açısı ölçülmüştür. Ayrıca yayılma hızını hesap edebilmek için damla düştükten 1 dakika sonraki temas açısı ölçülmüştür. CA(M) [°] merkezdeki temas açısı, CA(L) [°] sol temas açısı ve CA(R) [°] sağ temas açısıdır.

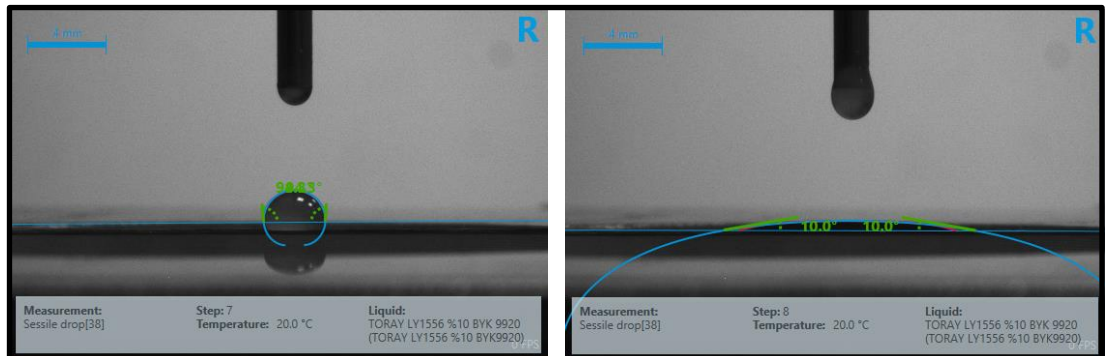


Şekil 4.12. Toray elyafının LY1556 reçinesi (ağırlıkça %5 ıslatma ajanı içeren) ile temas açıları

Tablo 4.11. Toray 12K elyafının %10 ıslatma ajanı içeren LY1556 epoksi reçinesi ile temas açısı sonuçları

İlk Andaki Temas Açısı Ölçümü			
Ölçüm Sayısı	CA(M) [°]	CA(L) [°]	CA(R) [°]
1	94,79	94,79	94,79
2	94,99	94,99	94,99
3	92,87	92,87	92,87
4	94,32	94,32	94,32
5	95,07	95,07	95,07
Ortalama	94,41	94,41	94,41
Sapma	0,91	0,91	0,91
1 Dakika Sonraki Temas Açısı Ölçümü			
Ölçüm Sayısı	CA(M) [°]	CA(L) [°]	CA(R) [°]
1	9,92	9,92	9,92
2	10,44	10,44	10,44
3	9,90	9,90	9,90
4	9,98	9,98	9,98
5	10,55	10,55	10,55
Ortalama	10,16	10,16	10,16
Sapma	0,31	0,31	0,31

*Toray elyafının üzerine bir damla LY1556 reçinesi (%10 ıslatma ajanı içeren reçine karışımı) damlatılarak temas açısı ölçülmüştür. Ayrıca yayılma hızını hesap edebilmek için damla düştükten 1 dakika sonraki temas açısı ölçülmüştür. CA(M) [°] merkezdeki temas açısı, CA(L) [°] sol temas açısı ve CA(R) [°] sağ temas açısıdır.

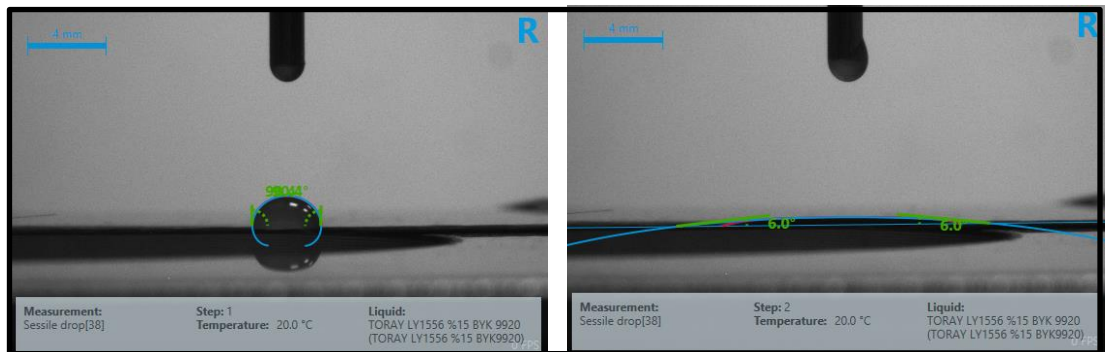


Şekil 4.13. Toray elyafının LY1556 reçinesi (ağırlıkça %10 ıslatma ajanı içeren) ile temas açıları

Tablo 4.12. Toray 12K elyafının %15 ıslatma ajanı içeren LY1556 epoksi reçinesi ile temas açısı sonuçları

İlk Andaki Temas Açısı Ölçümü			
Ölçüm Sayısı	CA(M) [°]	CA(L) [°]	CA(R) [°]
1	90,40	90,40	90,40
2	89,97	89,97	89,97
3	88,96	88,96	88,96
4	89,64	89,64	89,64
5	90,40	90,40	90,40
Ortalama	89,87	89,87	89,87
Sapma	0,60	0,60	0,60
1 Dakika Sonraki Temas Açısı Ölçümü			
Ölçüm Sayısı	CA(M) [°]	CA(L) [°]	CA(R) [°]
1	5,98	5,98	5,98
2	6,64	6,64	6,64
3	6,27	6,27	6,27
4	6,74	6,74	6,74
5	6,56	6,56	6,56
Ortalama	6,44	6,44	6,44
Sapma	0,31	0,31	0,31

*Toray elyafının üzerine bir damla LY1556 reçinesi (%15 ıslatma ajanı içeren reçine karışımı) damlatılarak temas açısı ölçülmüştür. Ayrıca yayılma hızını hesap edebilmek için damla düştükten 1 dakika sonraki temas açısı ölçülmüştür. CA(M) [°] merkezdeki temas açısı, CA(L) [°] sol temas açısı ve CA(R) [°] sağ temas açısıdır.



Şekil 4.14. Toray elyafının LY1556 reçinesi (ağırlıkça %15 ıslatma ajanı içeren) ile temas açıları

4.1.2. İslatma ajanının temas açısı ölçümlerindeki etkileri

Tablo 4.13. Dowkasa 12K elyafında ıslatma ajanının temas açısı ölçümlerine etkisi

İlk Andaki Temas Açısı Ölçümü				
Ölçüm Sayısı	LY1556	%5 İslatma Ajanı	%10 İslatma Ajanı	%15 İslatma Ajanı
1	93,98	93,17	92,04	90,39
2	94,45	92,66	89,74	91,79
3	96,08	86,72	91,88	91,68
4	96,13	89,23	92,20	92,52
5	96,73	89,14	92,35	89,64
Ortalama	95,47	90,18	91,64	91,20
Sapma	1,19	2,69	1,08	1,16
1 Dakika Sonraki Temas Açısı Ölçümü				
Ölçüm Sayısı	LY1556	%5 İslatma Ajanı	%10 İslatma Ajanı	%15 İslatma Ajanı
1	39,77	18,61	9,46	8,78
2	30,51	19,25	7,45	5,96
3	34,82	20,48	8,96	7,26
4	36,44	19,91	7,83	6,98
5	36,26	13,22	7,52	6,03
Ortalama	35,56	18,29	8,24	7,00
Sapma	3,36	2,92	0,91	1,15

*Dowaksa elyafında ıslatma ajanı oranının temas açısına etkileri gösterilmektedir.

Tablo 4.13.'te ıslatma ajanının dowaksa elyafı üzerindeki temas açısına olan etkileri verilmiştir. Sadece epoksi reçine ve 3 farklı oranda ıslatma ajanı içeren reçine-ıslatma ajanı karışımları Dowaksa elyafı üzerine damlatılmıştır. Damlanın ilk düştüğü anda ölçülen temas açıları, ıslatma ajanına bağlı olarak ciddi değişim göstermemiştir. Ancak damla elyafın üzerine düştükten 1 dakika sonra yapılan temas açısı ölçümleri incelendiğinde ıslatma ajanı oranı arttıkça temas açısının ciddi şekilde düştüğü gözlenmiştir. 1 dakika sonraki temas açısı, reçinenin elyaf üzerindeki yayılma hızı hakkında bilgi vermektedir. Bu şekilde incelendiğinde reçine içerisindeki ıslatma ajanı oranı arttıkça reçinenin yayılma hızı artmaktadır. Yayılma hızı artışı elyafın reçine ile ıslanması açısından oldukça önemlidir. Prepreg üretiminde reçinenin elyaf üzerinde hızlıca yayılması istenir.

Tablo 4.14. MRC 12K elyafında ıslatma ajanının temas açısı ölçümlerine etkisi

İlk Andaki Temas Açısı Ölçümü				
Ölçüm Sayısı	LY1556	%5 Islatma Ajanı	%10 Islatma Ajanı	%15 Islatma Ajanı
1	98,94	92,54	92,33	92,94
2	99,93	93,15	92,98	91,66
3	95,15	93,51	93,69	93,02
4	93,59	95,31	92,24	92,6
5	99,41	94,66	91,22	91,15
Ortalama	97,40	93,83	92,49	92,27
Sapma	2,85	1,13	0,92	0,83
1 Dakika Sonraki Temas Açısı Ölçümü				
Ölçüm Sayısı	LY1556	%5 Islatma Ajanı	%10 Islatma Ajanı	%15 Islatma Ajanı
1	27,46	19,02	12,79	9,04
2	32,73	17,96	10,22	7,52
3	33,98	17,39	8,98	6,48
4	36,18	19,91	10,15	6,09
5	32,79	20,45	10,11	8,91
Ortalama	32,63	18,95	10,45	7,61
Sapma	3,21	1,28	1,40	1,35

*Mitsubishi elyafında ıslatma ajanı oranının temas açısına etkileri gösterilmektedir.

Tablo 4.14.'te ıslatma ajanının Mitsubishi elyafı üzerindeki temas açısına olan etkileri verilmiştir. Sadece epoksi reçine ve 3 farklı oranda ıslatma ajanı içeren reçine-ıslatma ajanı karışımları Dowaksa elyafı üzerine damlatılmıştır. Damlanın ilk düştüğü anda ölçülen temas açıları, ıslatma ajanına bağlı olarak ciddi değişim göstermemiştir. Ancak damla elyafın üzerine düştükten 1 dakika sonra yapılan temas açısı ölçümleri incelendiğinde ıslatma ajanı oranı arttıkça temas açısının ciddi şekilde düştüğü gözlenmiştir. 1 dakika sonraki temas açısı, reçinenin elyaf üzerindeki yayılma hızı hakkında bilgi vermektedir. Bu şekilde incelendiğinde reçine içerisindeki ıslatma ajanı oranı arttıkça reçinenin yayılma hızı artmaktadır. Mitsubih elyafı için ıslatma ajanı arttıkça reçinenin elyaf üzerindeki yayılma hızının arttığı gözlenmektedir.

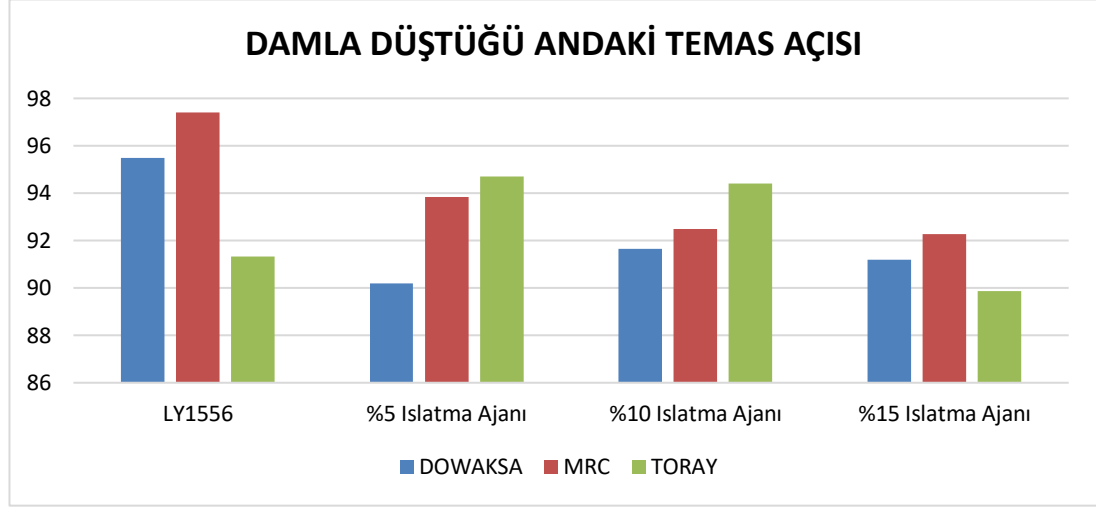
Tablo 4.15. Toray 12K elyafında ıslatma ajanının temas açısı ölçümlerine etkisi

İlk Andaki Temas Açısı Ölçümü				
Ölçüm Sayısı	LY1556	%5 Islatma Ajanı	%10 Islatma Ajanı	%15 Islatma Ajanı
1	91,62	93,72	94,79	90,4
2	90,8	95,69	94,99	89,97
3	89,96	94,21	92,87	88,96
4	92,23	94,32	94,32	89,64
5	92,00	95,53	95,07	90,40
Ortalama	91,32	94,69	94,41	89,87
Sapma	0,94	0,87	0,91	0,60
1 Dakika Sonraki Temas Açısı Ölçümü				
Ölçüm Sayısı	LY1556	%5 Islatma Ajanı	%10 Islatma Ajanı	%15 Islatma Ajanı
1	29,54	22,93	9,92	5,98
2	31,26	16,06	10,44	6,64
3	30,23	15,33	9,90	6,27
4	30,65	18,48	9,98	6,74
5	30,87	19,54	10,55	6,56
Ortalama	30,51	18,47	10,16	6,44
Sapma	0,66	3,03	0,31	0,31

*Toray elyafında ıslatma ajanı oranının temas açısına etkileri gösterilmektedir.

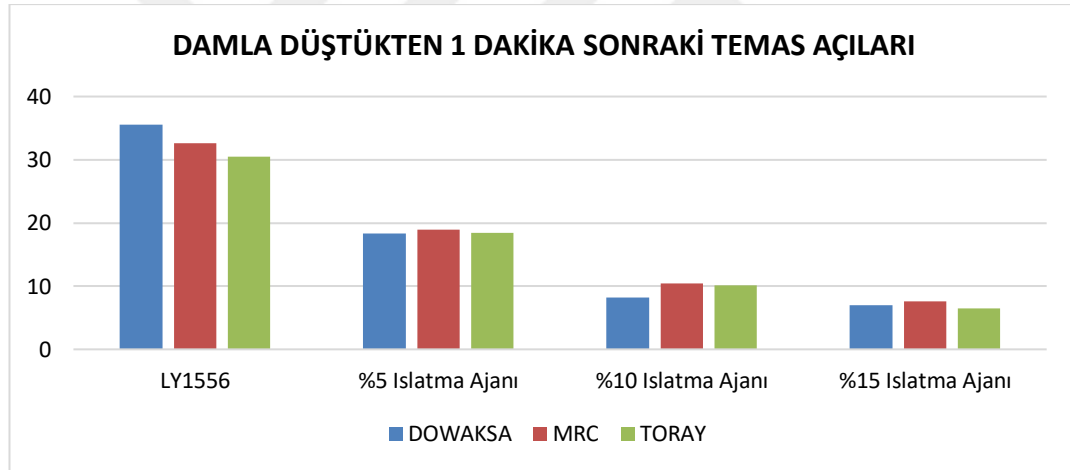
Tablo 4.15.'te ıslatma ajanının Toray elyafı üzerindeki temas açısına olan etkileri verilmiştir. Sadece epoksi reçine ve 3 farklı oranda ıslatma ajanı içeren reçine-ıslatma ajanı karışımları Dowaksa elyafı üzerine damlatılmıştır. Damlanın ilk düştüğü anda ölçülen temas açıları, ıslatma ajanına bağlı olarak ciddi değişim göstermemiştir. Ancak damla elyafın üzerine düştükten 1 dakika sonra yapılan temas açısı ölçümleri incelendiğinde ıslatma ajanı oranı arttıkça temas açısının ciddi şekilde düştüğü gözlenmiştir. 1 dakika sonraki temas açısı, reçinenin elyaf üzerindeki yayılma hızı hakkında bilgi vermektedir. Bu şekilde incelendiğinde reçine içerisindeki ıslatma ajanı oranı arttıkça reçinenin yayılma hızı artmaktadır.

Tablo 4.16. Elyaf tiplerinin damla düştüğü ilk andaki temas açısı kıyaslamaları



* Tablo reçine ile elyafların temas açısı ölçümlerinin ortalamalarını vermektedir.

Tablo 4.17. Elyaf tiplerinin damla düştüğü ilk andan 1 dakika sonraki temas açısı kıyaslamaları



* Tablo reçine ile elyafların temas açısı ölçümlerinin ortalamalarını vermektedir.

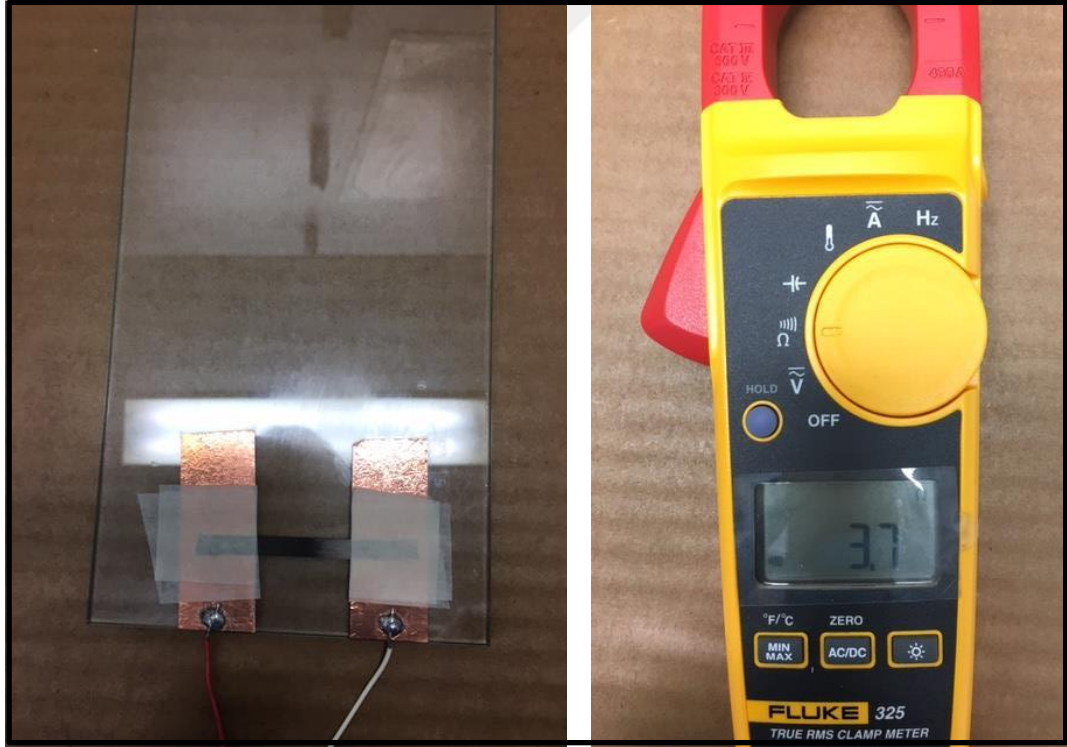
İslatma ajanının, elyaflar üzerindeki etkileri değerlendirildiğinde ıslanmaya olan yatkınlıkları bakımından birbirleri arasında çok fazla fark olmadığı gözleniyor. Ancak yine de sıralamak gerekirse en iyi ıslanan Toray 12K diyebiliriz. Sırasıyla Dowaksa 12K ve en sonuncu da MRC 12K diyebiliriz. Karbon elyafların arasında ıslanmaya olan yatkınlıkları bakımından çok fazla fark olmasa da ıslatma ajanının yayılma hızına olan etkilerini net şekilde görmekteyiz. Dolayısı ile ıslatma ajanının ıslanmaya olan katkılarını net şekilde ortaya koymuş bulunmaktayız.

4.2. Elektrik İletkenlik Metodu İle Islanabilirlik Ölçümlerinin Değerlendirilmesi

Bu çalışmada üç farklı üreticinin benzer elyafı kullanılmıştır. Bunlar Dowaksa 12K elyafı, Toray 12K elyafı ve Mitsubishi (MRC) 12K elyafıdır. Elektrik iletkenliği metodunu kullanarak bu elyafların kuru dirençleri ölçüldü. Daha sonra üzerlerine birer damla reçine damlatarak direnç tekrar ölçüldü. Aynı işlemler 3 farklı elyaf için tekrar edildi. Bir sonraki adımda ise reçineye bir önceki çalışmada olduğu gibi ıslatma ajanı eklendi. Islatma ajanı 3 farklı oranda reçineye ilave edildi. Her bir karışım sistemi için 3 farklı elyaf kullanılarak dirençler tekrar ölçüldü.

4.2.1. Elektrik iletkenlik metodu ile ölçülen direnç sonuçları

Oluşturulan devrede karbon elyaf direnç oluşturmaktadır. Devre karbon elyaf ile tamamlandığında ölçüm cihazında ohm cinsinden direnç değeri okunmaktadır. Yapılan çalışma kapsamında önce kuru elyafın devrede oluşturduğu direnç ölçüldü.



Şekil 4.15. Kuru elyafın devredeki direnç ölçümü

Daha sonra elyaf üzerine bir damla reçine damlatılarak oluşturulan direnç ölçüldü. Kuru elyaf ve üzerinde damla olan elyafın oluşturduğu dirençlerin farkı hesaplanarak tabloya yerleştirildi.



Şekil 4.16. Üzerine reçine damlatılan elyafın devredeki direnç ölçümü

Direnç ölçümleri Dowaksa, Toray ve Mitsubishi iplikleri için 5 tekrar olacak şekilde yapıldı ve tüm ölçümler tabloya yerleştirildi. Bu çalışmada amaç oluşturulan sistemin çalışıp çalışmadığını ortaya koymaktı. Reçine damlaları karbon elyafın filamentlerini yanal yüzeylerden birbirine temas ettirerek direncin düşmesini sağlıyor.

Çalışmanın devamında ise ıslatma ajanının direncin düşmesine olan etkilerini incelemek için 3 farklı reçine-ıslatma ajanı karışımı hazırlandı. Sadece reçine ile yapılan çalışma hazırlanan reçine karışımları ile tekrar edildi. Ortaya çıkan direnç düşüşleri tabloda ortaya kondu.

Aynı şekilde önce kuru elyafın direnci ölçüldü ve üzerine hazırlanan reçine karışımları damlatıldıktan sonraki direnç ölçülerek ortaya çıkan direnç düşüşleri karşılaştırıldı.

Tablo 4.18. Dowaksa elyafının elektrik iletkenlik metodu ile ölçülen direnç sonuçları

Ölçüm Sayısı	KURU ELYAF DİRENCİ (Ω)	LY1556 DAMLATILDIKTAN SONRAKİ DİRENÇ (Ω)	DİRENÇ DÜŞÜŞÜ (AKIM ARTIŞI) (Ω)
1	3,2	2,7	0,5
2	2,9	2,4	0,5
3	3,2	2,6	0,6
4	3,3	2,7	0,6
5	3,2	2,7	0,5
Ortalama	3,16	2,62	0,54
Sapma	0,15	0,13	0,05
Ölçüm Sayısı	KURU ELYAF DİRENCİ (Ω)	LY1556 + %5 BYK DAMLATILDIKTAN SONRAKİ DİRENÇ (Ω)	DİRENÇ DÜŞÜŞÜ (AKIM ARTIŞI) (Ω)
1	3,3	2,7	0,6
2	3,3	2,6	0,7
3	3,4	2,7	0,7
4	3,3	2,6	0,7
5	3,4	2,7	0,7
Ortalama	3,34	2,66	0,68
Sapma	0,05	0,05	0,04
Ölçüm Sayısı	KURU ELYAF DİRENCİ (Ω)	LY1556 + %10 BYK DAMLATILDIKTAN SONRAKİ DİRENÇ (Ω)	DİRENÇ DÜŞÜŞÜ (AKIM ARTIŞI) (Ω)
1	3,1	2,3	0,8
2	3,3	2,5	0,8
3	3,2	2,3	0,9
4	3,2	2,4	0,8
5	3,3	2,5	0,8
Ortalama	3,22	2,4	0,82
Sapma	0,08	0,10	0,04
Ölçüm Sayısı	KURU ELYAF DİRENCİ (Ω)	LY1556 + %15 BYK DAMLATILDIKTAN SONRAKİ DİRENÇ (Ω)	DİRENÇ DÜŞÜŞÜ (AKIM ARTIŞI) (Ω)
1	3,2	2,2	1,0
2	3,3	2,4	0,8
3	3,2	2,2	1,0
4	3,2	2,3	0,9
5	3,3	2,3	1,0
Ortalama	3,24	2,28	0,94
Sapma	0,05	0,08	0,09

*Dowaksa elyafının ohm cinsinden direnç ölçüm sonuçları verilmiştir. Kuru elyaf ile üzerine reçine damlatıldıktan sonra ölçülen direncin farkı direnç düşüşü olarak verilmiştir.

Tablo 4.19. Toray elyafının elektrik iletkenlik metodu ile ölçülen direnç sonuçları

Ölçüm Sayısı	KURU ELYAF DİRENCİ (Ω)	LY1556 DAMLATILDIKTAN SONRAKİ DİRENÇ (Ω)	DİRENÇ DÜŞÜŞÜ (AKIM ARTIŞI) (Ω)
1	3,5	3,0	0,5
2	3,7	3,3	0,4
3	3,7	3,3	0,4
4	3,6	3,1	0,5
5	3,7	3,2	0,5
Ortalama	3,64	3,18	0,46
Sapma	0,09	0,13	0,05
Ölçüm Sayısı	KURU ELYAF DİRENCİ (Ω)	LY1556 + %5 BYK DAMLATILDIKTAN SONRAKİ DİRENÇ (Ω)	DİRENÇ DÜŞÜŞÜ (AKIM ARTIŞI) (Ω)
1	3,7	3,2	0,5
2	3,7	3,1	0,6
3	3,8	3,2	0,6
4	3,6	3,0	0,6
5	3,8	3,2	0,6
Ortalama	3,72	3,14	0,58
Sapma	0,08	0,09	0,04
Ölçüm Sayısı	KURU ELYAF DİRENCİ (Ω)	LY1556 + %10 BYK DAMLATILDIKTAN SONRAKİ DİRENÇ (Ω)	DİRENÇ DÜŞÜŞÜ (AKIM ARTIŞI) (Ω)
1	3,7	2,9	0,8
2	3,9	3,1	0,8
3	3,8	3,0	0,8
4	3,8	3,0	0,8
5	3,8	3,0	0,8
Ortalama	3,8	3,0	0,8
Sapma	0,07	0,07	0,00
Ölçüm Sayısı	KURU ELYAF DİRENCİ (Ω)	LY1556 + %15 BYK DAMLATILDIKTAN SONRAKİ DİRENÇ (Ω)	DİRENÇ DÜŞÜŞÜ (AKIM ARTIŞI) (Ω)
1	3,9	3,0	0,9
2	3,9	3,0	0,9
3	3,9	3,0	0,9
4	4,2	3,3	0,9
5	4,1	3,3	0,8
Ortalama	4,0	3,12	0,88
Sapma	0,14	0,16	0,04

*Toray elyafının ohm cinsinden direnç ölçüm sonuçları verilmiştir. Kuru elyaf ile üzerine reçine damlatıldıktan sonra ölçülen direncin farkı direnç düşüşü olarak verilmiştir

Tablo 4.20. Mitsubishi elyafının elektrik iletkenlik metodu ile ölçülen direnç sonuçları

Ölçüm Sayısı	KURU ELYAF DİRENCİ (Ω)	LY1556 DAMLATILDIKTAN SONRAKİ DİRENÇ (Ω)	DİRENÇ DÜŞÜŞÜ (AKIM ARTIŞI) (Ω)
1	3,7	3,3	0,4
2	3,5	3,0	0,5
3	3,8	3,3	0,5
4	3,6	3,1	0,5
5	3,6	3,1	0,5
Ortalama	3,64	3,16	0,48
Sapma	0,11	0,13	0,04
Ölçüm Sayısı	KURU ELYAF DİRENCİ (Ω)	LY1556 + %5 BYK DAMLATILDIKTAN SONRAKİ DİRENÇ (Ω)	DİRENÇ DÜŞÜŞÜ (AKIM ARTIŞI) (Ω)
1	3,4	2,9	0,5
2	3,5	2,9	0,6
3	3,6	3,0	0,6
4	3,7	3,1	0,6
5	3,4	2,7	0,7
Ortalama	3,52	2,92	0,6
Sapma	0,13	0,15	0,07
Ölçüm Sayısı	KURU ELYAF DİRENCİ (Ω)	LY1556 + %10 BYK DAMLATILDIKTAN SONRAKİ DİRENÇ (Ω)	DİRENÇ DÜŞÜŞÜ (AKIM ARTIŞI) (Ω)
1	3,7	2,9	0,8
2	3,3	2,6	0,7
3	3,6	2,7	0,9
4	3,7	3,0	0,7
5	3,5	2,8	0,7
Ortalama	3,56	2,8	0,76
Sapma	0,17	0,16	0,09
Ölçüm Sayısı	KURU ELYAF DİRENCİ (Ω)	LY1556 + %15 BYK DAMLATILDIKTAN SONRAKİ DİRENÇ (Ω)	DİRENÇ DÜŞÜŞÜ (AKIM ARTIŞI) (Ω)
1	3,7	2,8	0,9
2	4,0	3,1	0,9
3	3,9	2,9	1,0
4	4,0	3,0	1,0
5	3,6	2,6	1,0
Ortalama	3,84	2,88	0,96
Sapma	0,18	0,19	0,05

*Toray elyafının ohm cinsinden direnç ölçüm sonuçları verilmiştir. Kuru elyaf ile üzerine reçine damlatıldıktan sonra ölçülen direncin farkı direnç düşüşü olarak verilmiştir.

Tablo 4.18, Tablo 4.19. ve Tablo 4.20 incelendiğinde, kuru elyafın üzerinden geçen akıma göre ölçüm cihazından ölçülen direnç, üzerine reçine damlatıldıktan sonra ölçülen dirençten daha fazla. Burada elyaf, üzerine reçine damlatıldığında elyafı oluşturan filamentler yanal yüzeylerden de birbirlerine temas ederek elektrik akımının geçeceği yolları arttırıyor. Elektrik akımının kendine daha kolay yol bulması direncin daha düşük olduğu anlamına geliyor. Direncin düşmesi bu durumda ıslanmanın göstergesidir. Islanma ne kadar iyi seviyede olursa direnç o kadar düşecektir. Bu sonuçlar tez konumuz olan karbon elyafların ıslanma seviyesini ölçen hızlı bir metod geliştirilmesi konusunda metodun çalıştığını ortaya koymaktadır.

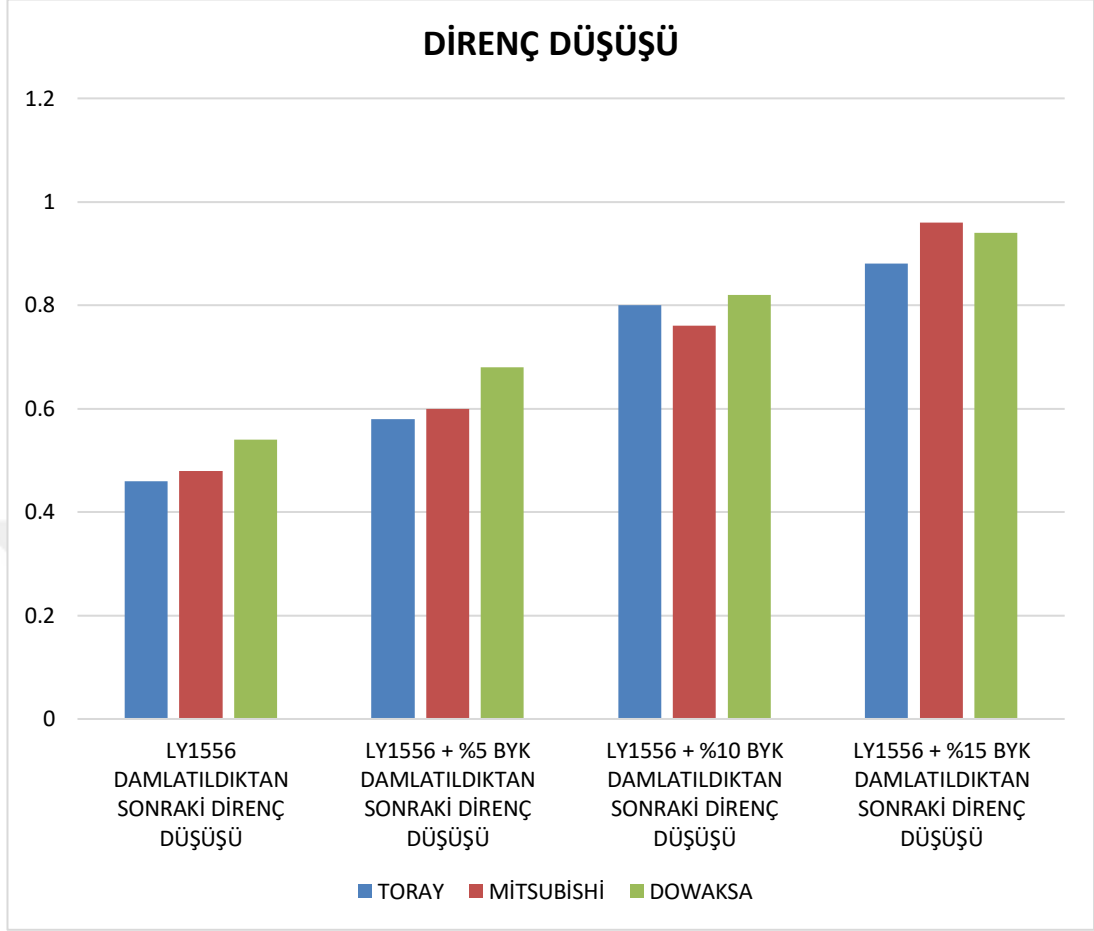
Tablo 4.18, Tablo 4.19. ve Tablo 4.20' deki 3. Sütun karbon elyaf üzerine damlatılan reçine hakkında bilgi vermektedir. Karbon elyaflara 4 farklı reçine damlatılarak direnç ölçümleri yapıldı. Bunlardan ilk oda sıcaklığında sıvı olan LY1556 reçinesi. Elyaf üzerine sadece reçine damlatıldığında kuru elyafın direncine göre yaklaşık 0,5 ohm direnç düşüşü meydana geliyor. Daha sonra %5 ıslatma ajanı içeren reçine karışımı damlatılarak ölçümler yapıldı. Bu reçine karışımının direnç düşüşüne katkısı yaklaşık 0,6 ohm civarında oldu. %10 ıslatma ajanı içeren reçine karışımının ise direnç düşüşüne katkısı yaklaşık 0,8 ohm. Trendden de anlaşılacağı gibi %15 ıslatma ajanı içeren reçine karışımında direnç düşüşü hepsinden fazla olmalı. Bu reçine karışımının direnç düşüşüne sağladığı katkı ise yaklaşık 1 ohm. Düşüşler incelendiğinde reçine içerisindeki ıslatma ajanı oranı arttıkça direnc düşüşünün yani iletkenliğin de aynı oranda arttığı gözleniyor. Islatma ajanı elyafın filamentlerinin daha iyi ıslanmasına bu şekilde de iletkenliğin artmasına yardımcı oluyor. Tam tersine doğru gittiğimizde direncin düşmesi elektrik iletkenliğinin arttığını ortaya koyuyor. İletkenliğin artması da ıslanmanın daha iyi olduğunu kanıtıyor. Islatma ajanı arttıkça ıslanmanın artması da ıslatma ajanının çalıştığını ortaya koymaktadır.

Tablo 4.21. Elektrik iletkenlik metodunda kullanılan elyafların karşılaştırılması

		TORAY	MRC	DOWAKSA
LY1556 DAMLATILDIKTAN SONRAKİ DİRENÇ		DİRENÇ DÜŞÜŞÜ (Ω)	DİRENÇ DÜŞÜŞÜ (Ω)	DİRENÇ DÜŞÜŞÜ (Ω)
		0,5	0,4	0,5
		0,4	0,5	0,5
		0,4	0,5	0,6
		0,5	0,5	0,6
		0,5	0,5	0,5
	ORTAL AMA	0,46	0,48	0,54
	SAPMA	0,05	0,04	0,05
LY1556 + %5 BYK DAMLATILDIKTAN SONRAKİ DİRENÇ		DİRENÇ DÜŞÜŞÜ (Ω)	DİRENÇ DÜŞÜŞÜ (Ω)	DİRENÇ DÜŞÜŞÜ (Ω)
		0,5	0,5	0,6
		0,6	0,6	0,7
		0,6	0,6	0,7
		0,6	0,6	0,7
		0,6	0,7	0,7
	ORTAL AMA	0,58	0,6	0,68
	SAPMA	0,04	0,07	0,04
LY1556 + %10 BYK DAMLATILDIKTAN SONRAKİ DİRENÇ		DİRENÇ DÜŞÜŞÜ (Ω)	DİRENÇ DÜŞÜŞÜ (Ω)	DİRENÇ DÜŞÜŞÜ (Ω)
		0,8	0,8	0,8
		0,8	0,7	0,8
		0,8	0,9	0,9
		0,8	0,7	0,8
		0,8	0,7	0,8
	ORTAL AMA	0,8	0,76	0,82
	SAPMA	0,00	0,09	0,04
LY1556 + %15 BYK DAMLATILDIKTAN SONRAKİ DİRENÇ		DİRENÇ DÜŞÜŞÜ (Ω)	DİRENÇ DÜŞÜŞÜ (Ω)	DİRENÇ DÜŞÜŞÜ (Ω)
		0,9	0,9	1,0
		0,9	0,9	0,8
		0,9	1,0	1,0
		0,9	1,0	0,9
		0,8	1,0	1,0
	ORTAL AMA	0,88	0,96	0,94
	SAPMA	0,04	0,05	0,09

*Elyafların ıslanma eğilimlerini belirlemek için elyaflara göre direnç düşüşleri verilmiştir. Direnç düşüşleri ohm cinsinden verilmiştir.

Tablo 4.22. Elyaf tiplerine göre ortalama direnç düşüşleri



*Kuru elyaf direnci ile reçine damlatıldıktan sonraki direnç arasındaki farkların ortalamaları verilmiştir. Direnç düşüşleri ohm cisinden verilmiştir.

Bu çalışmada kullanılan elyafların iletkenlik metoduna göre ıslanma eğilimlerini incelemek gerekirse, aralarında çok ciddi farklar olmadığı görülüyor. Ancak yine de bir sıralama yapılacaksa; iletkenlik metodu verilerine göre ıslatma ajanı oranı arttıkça en çok Dowaksa elyafında direnç düşüşü görülmüştür. Bu da en fazla Dowaksa elyafının ıslanma eğilimi vardır anlamına gelir. Dowaksa elyafından sonra ıslatma ajanı etkisiyle en fazla direnç düşüşü görülen elyaf Mitsubishi elyafı olmuştur. Toray elyafı ise Dowaksa elyafı ve Mitsubishi elyafından çok fazla farklı olmamakla birlikte en az direnç düşüşü görülen elyaf olarak karşımıza çıkmaktadır. Ancak sadece bu sonuçlara göre bir elyafın diğerlerinden ıslanmaya daha yatkın olduğu hakkında net bir sonuç ortaya koymak mümkün değildir.

4.3. Elektrik İletkenlik Metodunun Sokslet Testi, Yakma Testi ve Tomografi Çekimi ile Korelasyonu

Elektrik iletkenlik metodunun doğruluğunu ortaya koyabilmek adına farklı testler ile korele etmek için kullanılan elyafardan Mitsubishi 12K ipliği tercih edildi. Korelasyonu kurmak için yapılacak testlerde bu elyafı ıslatmak için LY1556 epoksi reçinesi kullanıldı. Elektrik iletkenlik metodu sokslet ekstrasyonu, yakma testi ve tomografi(micro-CT) çekimi ile korele edildi.

4.3.1. Sokslet ekstraksiyonu ile elektrik iletkenlik metodunun korelasyonu

MRC 12K elyafı ve epoksi reçine kullanılarak iki farklı numune hazırlandı. Bu numunelerden biri üzerinde daha çok reçine olan ve dolayısı ile daha iyi ıslanan, diğeri ise üzerinde daha az reçine olan dolayısı ile daha az ıslanan numunelerdir. Hazırlanan iki numuneden sokslet ekstraksiyonu ile reçine oranlarının belirlenmesi için test yapıldı. Aynı numunelerden korelasyon çalışmaları için elektrik iletkenlik testi yapıldı. İki test sonucu da tabloya yerleştirildi.

Tablo 4.23. Sokslet test sonuçları ve bu numunelerin elektrik iletkenlik metodunda ölçülen direnç değerleri

	ÖLÇÜM SAYISI	FİBER ORANI (%)	REÇİNE ORANI(%)	DİRENÇ ÖLÇÜMÜ (Ω)
İYİ ISLANAN NUMUNE	1	34,12	65,88	2,7
	2	34,84	65,16	2,7
	3	33,81	66,19	2,7
	4	33,43	66,57	2,8
	ORTALAMA	34,05	65,95	2,73
	SAPMA	0,60	0,60	0,05
AZ ISLANAN NUMUNE	1	76,78	23,22	3,6
	2	75,44	24,56	3,6
	3	77,88	22,12	3,6
	4	78,89	21,11	3,4
	ORTALAMA	77,25	22,75	3,55
	SAPMA	1,48	1,48	0,10

* İyi ıslanan ve az ıslanan numunelerin sokslet test sonuçları ve aynı numunelerden yapılan iletkenlik ölçüm sonuçları verilmiştir.

Tablo 4. 23. incelendiğinde reçine oranının %65,95 olduğu numunenin elektrik iletkenlik metodunda ölçülen direnç değerinin 2,73 Ω olduğu görülmektedir. Daha az ıslanan numunenin soxhket test sonucu % 22,75 dir. Bu numunenin elektrik iletkenlik metodunda ölçülen direnç değeri ise 3,55 Ω dur. Bu sonuçlar reçine oranı arttıkça direncin düştüğünü yani iletkenliğin arttığını ortaya koymaktadır. Bu da ıslanma oranı arttıkça elyafın iletkenliğinin arttığı düşüncesini desteklemektedir. Burada reçine oranı arttıkça elyaflar daha iyi ıslanmakta ve filamentler yanal yüzeylerden de birbirlerine temas etmektedirler. Bu temas sonucu elektrik akımı kendine daha kolay yol bulmakta ve direnç düşmektedir. Sokslet ekstraksiyonu testi ile reçine oranlarını ortaya koyarak, reçine oranları test sonucu ile ortaya konan numunelerin elektrik iletkenlik sonuçları kontrol edilmiştir. Daha fazla reçine içeren numunenin direncinin daha düşük olması gerekmektedir. Test sonuçları da bu durumu kanıtlamış oldu.

4.3.2. Yakma testi ile elektrik iletkenlik metodunun korelasyonu

MRC 12K elyafı ve LY1556 epoksi reçine kullanılarak iki farklı numune hazırlandı. Bu numunelerden biri üzerinde daha çok reçine olan ve dolayısı ile daha iyi ıslanan, diğeri ise üzerinde daha az reçine olan dolayısı ile daha az ıslanan numunelerdir. Hazırlanan iki numuneden yakma testi ile reçine oranlarının belirlenmesi için test yapıldı. Aynı numunelerden korelasyon çalışmaları için elektrik iletkenlik testi yapıldı.

Tablo 4.24. Yakma test sonuçları ve bu numunelerin elektrik iletkenlik metodunda ölçülen direnç değerleri

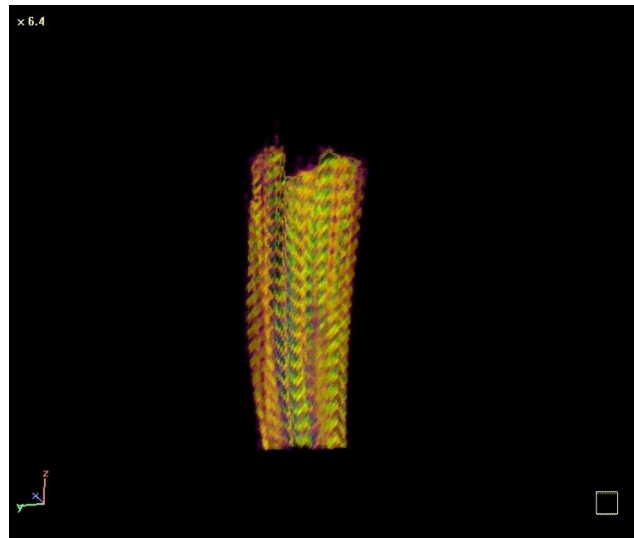
	ÖLÇÜM SAYISI	FİBER ORANI (%)	REÇİNE ORANI(%)	DİRENÇ ÖLÇÜMÜ (Ω)
İYİ ISLANAN NUMUNE	1	48,43	51,57	2,7
	2	43,96	56,04	2,6
	3	40,02	59,98	2,7
	4	44,24	55,76	2,8
	ORTALAMA	44,16	55,84	2,70
	SAPMA	3,44	3,44	0,08
AZ ISLANAN NUMUNE	1	77,77	22,23	3,5
	2	77,04	22,96	3,6
	3	76,83	23,17	3,5
	4	77,00	23,00	3,5
	ORTALAMA	77,16	22,84	3,53
	SAPMA	0,42	0,42	0,05

* İyi ıslanan ve az ıslanan numunelerin yakma test sonuçları ve aynı numunelerden yapılan iletkenlik ölçüm sonuçları verilmiştir.

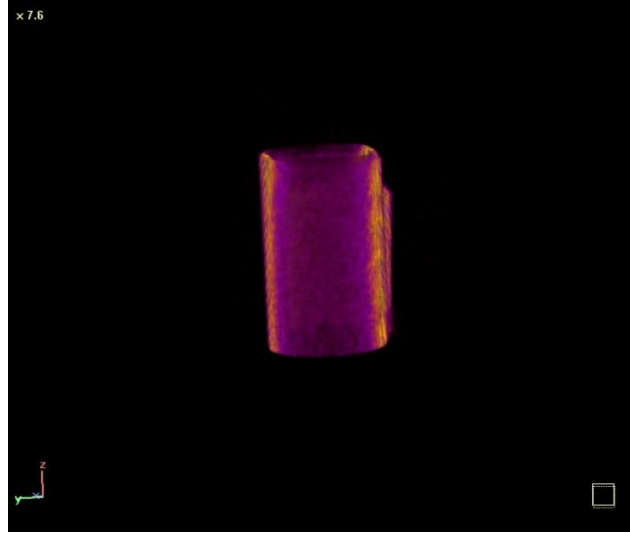
Tablo 4.24. incelendiğinde reçine oranının %55,84 olduğu numunenin elektrik iletkenlik metodunda ölçülen direnç değerinin 2,70 Ω olduğu görülmektedir. Daha az ıslanan numunenin yakma test sonucu % 22,84 dür. Bu numunenin elektrik iletkenlik metodunda ölçülen direnç değeri ise 3,53 Ω dur. Bu sonuçlar reçine oranı arttıkça direncin düştüğünü yani iletkenliğin arttığını ortaya koymaktadır. Bu da ıslanma oranı arttıkça elyafın iletkenliğinin arttığı düşüncesini desteklemektedir. Burada reçine oranı arttıkça elyaflar daha iyi ıslanmakta ve filamentler yanal yüzeylerden de birbirlerine temas etmektedirler. Bu temas sonucu elektrik akımı kendine daha kolay yol bulmakta ve direnç düşmektedir. Yakma testi ile reçine oranlarını ortaya koyarak, reçine oranları test sonucu ile ortaya konan numunelerin elektrik iletkenlik sonuçları kontrol edilmiştir. Daha fazla reçine içeren numunenin direncinin daha düşük olması gerekmektedir. Test sonuçları da bu durumu kanıtlamış oldu.

4.3.3. Tomografi (Micro-CT) çekimi ile elektrik iletkenlik metodunun korelasyonu

MRC 12K elyafı ve LY1556 epoksi reçine kullanılarak iki farklı numune hazırlandı. Bu numunelerden biri üzerinde daha çok reçine olan ve dolayısı ile daha iyi ıslanan, diğeri ise üzerinde daha az reçine olan dolayısı ile daha az ıslanan numunelerdir. Hazırlanan iki numuneden de ıslanma derecelerinin görüntülenmesi için tomografi çekildi. Aynı numunelerden korelasyon çalışmaları için elektrik iletkenlik testi yapıldı.



Şekil 4.17. Az ıslanan numunenin micro-CT tomografi görüntüsü



Şekil 4.18. Çok ıslanan numunenin micro-CT tomografi görüntüsü

Tablo 4.25. Micro-CT numunelerinin elektrik iletkenlik metodunda ölçülen direnç değerleri

	ÖLÇÜM SAYISI	DİRENÇ ÖLÇÜMÜ (Ω)
İYİ ISLANAN NUMUNE	1	2,8
	2	2,9
	3	2,9
	4	2,8
	5	2,7
	ORTALAMA	2,82
	SAPMA	0,08
AZ ISLANAN NUMUNE	1	3,8
	2	3,9
	3	3,9
	4	3,9
		3,8
	ORTALAMA	3,86
	SAPMA	0,05

*Tomografi çekimi yapılan numunelerin iletkenlik ölçüm sonuçları verilmiştir.

Tablo 4.25. incelendiğinde çok ıslanan numunenin direnç değerinin 2,82 Ω olduğu, az ıslanan numunenin direnç değerinin ise 3,86 Ω olduğu görülmektedir. Micro-CT görüntüleri numunelerin ıslanmalarını görüntü olarak ortaya koymaktadır. Islanma dereceleri farklı iki numune elektrik iletkenlik testine tabi tutulduğunda iyi ıslandığını tomografi görüntüleri ile ortaya koyduğumuz numunenin direncinin daha düşük olduğu görülmektedir. Burada reçine oranı fazla olan numune görüntüsünde hiç boşluk

yoktur. Boşluk olmaması demek filamentlerin yanıl yüzeylerinin birbirlerine temas ettiğini ortaya koymaktadır. Filamentlerin yanıl yüzeylerden birbiri ile temas halinde olması elektrik iletkenlik ölçümlerinde direncin daha düşük çıkmasına neden olmaktadır. İslanma derecesini tomografi çekimi ile ortaya koyduğumuz iki numuneden daha iyi ıslanan elektrik iletkenlik metodunda daha düşük direnç hareketi sergilemiştir.

Yakma testi, sokslet testi ve tomografi çekimi ile desteklediğimiz elektrik iletkenlik metodunda ıslanma derecesi arttıkça direncin düştüğünü net şekilde ortaya koymuş olduk. Direncin düşmesi iletkenliğin arttığı anlamına gelmektedir. Bu durumda 3 farklı test ile ıslanma derecelerini ortaya koyduğumuz numunelerin iletkenliklerini ölçtüğümüzde 3 ölçüm için de daha iyi ıslanan numunelerin dirençleri daha düşük çıkmıştır. Bu da tez konusu olarak geliştirdiğimiz kompozit uygulamalarında tek yönlü prepreg çalışmalarında karbon elyafların ıslanma derecesini ölçen bu metodun çalıştığını kanıtlamaktadır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez kapsamında UD prepreg üretimlerinde yaşanan en büyük problemlerden biri olan elyafın ıslanmama problemi ele alınmıştır. Prepregin ıslanma derecesini hızlıca ölçebilen bir metod geliştirildi. Sonrasında bu metodun doğru çalışıp çalışmadığını ölçmek için sokslet ekstraksiyonu, yakma testi ve tomografi (micro-CT) çekimi ile reçine oranı ölçümleri yapıldı. Aynı numuneler ile elektrik iletkenlik ölçümleri yapılmış, doğruluğu ortaya kondu. Aynı zamanda karbon elyafların ıslanma derecesini arttırmak için bir ıslatma ajanı kullanıldı. Bu ajan yine elektrik iletkenliği ile ıslanma derecesi ölçen metod ile kontrol edildi. Islatma ajanının karbon elyafın ıslanmasına olumlu etki ettiği kanıtlandı.

Islatma ajanının ıslanmaya olan etkilerini incelemek için farklı oranlardan ıslatma ajanı içeren (%5, %10, %15) reçine karışımları hazırlandı. Bu karışımlardan çalışmada kullanılan üç farklı elyaf ile temas açısı ölçümleri yapıldı ve yayılma hızları hesaplandı. Yayılma hızlarının ıslatma ajanı oranı arttıkça arttığı gözlenmiştir. Islatma ajanının ıslanmaya olan etkisi ortaya kondu.

Bu çalışma ile literatürde ilk defa,

- Elektrik iletkenliği ile ıslanma derecesini ölçen metod, sokslet ekstraksiyonu testi ile korele edilmiş ve bu metodun çalıştığı kanıtlandı.
- Elektrik iletkenliği ile ıslanma derecesini ölçen metod, prepreg yakma testi ile korele edildi.
- Prepregden tomografi çekilmiş ve prepregin ıslanma derecesi bu şekilde ortaya kondu. Elektrik iletkenliği ile ıslanma derecesini ölçen metod, bu görüntülerle korele edildi.
- Karbon elyafların ıslanmasını arttırmak için reçine içerisine ıslatma ajanı eklendi ve bu ajanın ıslanmaya olumlu etkileri ortaya kondu.

Çalışmanın başlangıcında sadece reçine kullanılarak ıslanma çalışmaları yapıldı. Daha sonra farkı ortaya koymak adına üç farklı oranda (%5, %10, %15) ıslatma ajanı içeren reçine karışımı hazırlandı. Bu karışımlar hem temas açısı ölçümlerinde incelendi. Hem de elektrik iletkenliği ile ıslanma derecesini ölçen metod kullanılarak ıslanmaya olan etkileri değerlendirildi. Islatma ajanının ıslanmaya olan pozitif etkisi ortaya kondu.

Daha sonra ise, elektrik iletkenliği ile ıslanma derecesini ölçen metodun doğru çalıştığını ortaya koymak için bu metod sokslet ekstraksiyonu , yakma testi ve tomografi çekimi ile korele edildi.

Sokslet test sonuçlarına bakıldığında yüksek oranda reçine içeren numunenin iletkenlik testinde daha düşük direnç gösterdiği görüldü. Bu da daha yüksek oranda reçine içeren numunenin daha iyi iletken olduğunu yani daha iyi ıslandığını ortaya koymaktadır.

Yakma testi sonuçlarında da yüksek oranda reçine içeren numuneni elektrik iletkenlik testinde düşük direnç gösterdiği gözlemlendi. Aynı şekilde burada daha yüksek oranda reçine içeren numunenin daha iyi iletken olduğu buna bağlı olarak da daha iyi ıslandığı kanıtlanmıştır

Son işlem olarak hazırlanan iki farklı numuneden tomografi çekimi yapıldı. Az ıslanan numune ve çok ıslanan numunenin tomografi görüntüleri alındı. Burada yine çok ıslanan numunenin iletkenlik testinde düşük direnç gösterdiği ortaya kondu. Az ıslanan ve çok ıslanan numunelerin doğruluğu tomografi görüntüleri ile kanıtlandı.

Bu çalışmanın devamı niteliğinde, ileriye dönük yapılacak çalışmalar kapsamında ise;

- Doğrudan elyafa püskürtülerek kullanılan ıslatma ajanları gibi farklı ıslatma ajanları ile çalışma yapılabilir.
- Bu çalışmada kullanılan reçine oda sıcaklığında sıvı olan bir reçineydi. Hot-melt reçine kullanılarak etkileri gözlemlenebilir.
- Bu çalışmada üç farklı üreticinin 12K elyafı kullanıldı. Farklı elyaf tipleri ile çalışılmaya devam edilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Prof. Dr. Mehmet Zor, Kompozit Malzemeler, Dokuz Eylül Üniversitesi, http://ansys.deu.edu.tr/wp-content/uploads/cmdm/568/1450875606_12.pdf. (Ziyaret Tarihi: 10 Ocak 2019).
- [2] Oğuz B., Prepreg Teknolojisi ile Üretilen Kompozit Malzemelerin Performanslarının Araştırılması, Tezsiz Yüksek Lisans Bitirme Projesi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, 2017.
- [3] Özbayram F., Prepreg Nedir, Malzeme Bilimi Net, https://www.fibreglast.com/product/about-prepregs/Learning_Center, (Ziyaret Tarihi: 12 Ocak 2019).
- [4] Sönmez M. Polimer Matrisli Kompozitlerin Endüstri Ürünleri Tasarımında Önemi ve Geleceği : Türkiye’den Dört Örnek Firma Üzerine Bir İnceleme, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2009, 291977.
- [5] Hull D. *An Introduction to Composite Materials*, 2nd Ed., Cambridge University Press, Cambridge, 2003.
- [6] Şahin Y., *Kompozit Malzemelere Giriş*, 2. Baskı, Seçkin Yayıncılık, İstanbul, 2006 .
- [7] Attaf B., *Advances in Composite Materials*, 1st Ed., Shutterstock, India, 2011.
- [8] Strong A., History of Composite Materials–Opportunities and Necessities <http://www.et.byu.edu/groups/strong/pages/articles/articles/history.pdf> (Ziyaret Tarihi: 15 Ocak 2019).
- [9] Yaman N., Öktem T., Seventekin N., Karbon Liflerin Özellikleri ve Kullanım Olanakları, *dergipark.org*, DOI: 218008.
- [10] URL 1: http://www.eng.uab.edu/epcl/b_fiber.htm#carbon. (Ziyaret Tarihi: 15 Ocak 2019).
- [11] Kovalovs A., Portnov G., Kulakov V., Arnautov A., Analysis of Interfacial Stresses Between Composite Rebar and Concrete, *4th International Conference Civil Engineering`13 Proceedings Part I Structural Engineering*, Jelgava, 2013.
- [12] Erbaş Ö., Karbon Fiber Nedir?, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bursa, 2017.

- [13] URL 2: <http://www.turkchem.net/karbon-fiber-teknolojisi.html>, (Ziyaret Tarihi : 30 Ocak 2019).
- [14] Erdem D, Karbon Fiber Destekli Polimer Kompozit Pasarella Tasarım ve Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2011, 301923.
- [15] Geçim G., Yüzey Gerilimi ve Temas Açısı Ölçümü, *Bursa Teknik Üniversitesi*, KBM0404, 1-6, 2011.
- [16] URL 3: <https://www.e-kimya.com/ekstraksiyon-ekstraksiyon-nedir.html>, (Ziyaret Tarihi: 2 Şubat 2019).
- [17] URL 4: <http://www.filozof.net/Turkce/nedir-ne-demek/48599-ekstraksiyon-nedir-ekstraksiyon-ornekleri-hakkinda-teorik-bilgi.html>, (Ziyaret Tarihi: 2 Şubat 2019).
- [18] Yakıncı M.E., Onar K., Depçi T., Orhan K., Turan C.C., Sağlık Fen ve Mühendislik Bilimlerinde Mikro Bilgisayarlı Tomografinin (Mikro-CT) Önemi, *TIPTEKNO'16*, Antalya, Türkiye, 27-19 Ekim 2016.
- [19] Dilsiz N., Wightman J.P., Effect of Acid–Base Properties of Unsized and Sized Carbon Fibers on Fiber/Epoxy Matrix Adhesion, *Colloids and Surfaces A Physicochemical and Engineering Aspects*, DOI: 10.1016/S0927-7757(99)00400-8.
- [20] Ellakwa AE1, Shortall AC, Marquis PM., Influence of Fiber Type and Wetting Agent on the Flexural Properties of an Indirect Fiber Reinforced Composite, *J Prosthet Dent.*, DOI: 10.1067/mpr.2002.129303.
- [21] Tagawa M., Ohmae, N., Umeno, M., Contact Angle Hysteresis in Carbon Fibers Studied by Wetting Force Measurements et al. *Colloid & Polymer Sci (1989)* DOI: 267: 702. 10.1007/BF01524372.
- [22] Yunfeng Luo, Yan Zhao *, Yuexin Duan, Shanyi Du, Surface and Wettability Property Analysis of CCF300 Carbon Fibers with Different Sizing or Without Sizing, *Materials and Design*, DOI: Materials and Design 32 (2011) 941–946.
- [23] Zhao M., Linghui M., Lichun M., Lina M., Yang X., Huang Y., Jong E., Akash S., Zhanhu G., Layer-by-layer Grafting CNTs onto Carbon Fibers Surface for Enhancing the Interfacial Properties of Epoxy Resin Composites, *Composites Science and Technology*, DOI: Composites Science and Technology 154 (2018) 28e36.
- [24] Park J., Kim D., Kong J., Kim M., Kim W., Park I.. Interfacial Adhesion and Microfailure Modes of Electrodeposited Carbon Fiber/Epoxy-PEI Composites by Microdroplet and Surface Wettability Tests, *J Colloid Interface Sci.*, DOI: 10.1006/jcis.2002.8252.

- [25] Chwastiak S., A Wicking Method for Measuring Wetting Properties of Carbon Yarns, *Journal of Colloid and Interface Science*, DOI: 10.1016/0021-9797(73)90293-2.
- [26] Wang I., Fuentes C., Zhang D., Wang X., Willem A., Seveno D., Wettability of Carbon Fibres at Micro- and Mesoscales, *Material Science*, DOI: 10.1016/j.carbon.2017.05.055.
- [27] Zhang J., Different Surface Treatments of Carbon Fibers and Their Influence on The Interfacial Properties of Carbon Fiber/Epoxy Composites, *Engineering Sciences [physics] / Materials*, DOI: tel-01146459.
- [28] Yoon J. K., Taek S. S., Hyung D. C., Jong H. K., Yeon C. C., Ho G. Y., Electrical Conductivity of Chemically Modified Multiwalled Carbon nanotube/epoxy Composites, *Korea University Research Output*, DOI: 10.1016/j.carbon.2004.08.015.
- [29] Qingwen L., Yuan L., Zhang X., Satishkumar B., Zhao Y., Structure-Dependent Electrical Properties of Carbon Nanotube Fibers, *Advanced Materials*, DOI: 10.1002/adma.200602966.
- [30] Hao T., Xinfang C., Studies on The Electrical Conductivity of Carbon Black Filled Polymers, *Applied Polymer Science*, DOI:10.1002/(SICI)10974628(19960118)59:3<383::AID-APP1>3.0.CO;2-L.
- [31] Heremans J., Electrical Conductivity of Vapor-Grown Carbon Fibers, *Science Direct*, DOI: [https://doi.org/10.1016/0008-6223\(85\)90037-5](https://doi.org/10.1016/0008-6223(85)90037-5).
- [32] Zhang X., Measurements of Thermal Conductivity and Electrical Conductivity of a Single Carbon Fiber, *Research Gate*, DOI: 10.10 23/A:1006674510648.
- [33] Ahmad M. S., Zihilif M.A., The Electrical Conductivity of Polypropylene and Nickel-Coated Carbon Fiber Composite, *Polymer Composites*, DOI: <https://doi.org/10.1002/pc.750130108>.
- [34] Finegan C.I., Tibbetts G.G., Electrical Conductivity of Vapor-Grown Carbon Fiber/Thermoplastic Composites, *Journal of Materials Research*, Electrical Conductivity of Vapor-Grown Carbon Fiber, thermoplastic composites DOI: <https://doi.org/10.1557/JMR.2001.0231>.
- [35] Park J.M., New Method for Interfacial Evaluation of Carbon Fiber Thermosetting Composites by Wetting and Electrical Resistance Measurements, *Journal of Adhesion Science and Technology*, DOI: <https://doi.org/10.1080/01694243.2014.911646>.
- [36] URL 5: <http://www.tammilyon.com/ne-ise-yarar/soxhlet-ekstraksiyon-cihazinedir-ne-ise-yarar> (Ziyaret Tarihi: 5 Şubat 2019).

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

- [1] **Vatan E., Özkoç G.**, Termoset Kompozit Uygulamalarında Karbon Elyafın Islanabilirliğini Ölçen Hızlı Bir Metod Geliştirilmesi, *35th International Conference of The Polymer Processing Society*, Radisson Blu Hotel, İzmir, 26-30 Mayıs 2019



ÖZGEÇMİŞ

1990 yılında Kocaeli’de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Kocaeli’de tamamladı. 2008 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü’nden 2013 yılında Kimyager olarak mezun oldu. 2016 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Polimer Bilimi ve Teknolojisi Anabilim Dalı’nda yüksek lisans öğrenimine başlamıştır. 2015 yılından beri Kordsa Teknik Tekstil A.Ş.’de Kimyager olarak görev yapmaktadır.

